

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

AMABILLY SCHVAMBACH

**EFEITO DA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO
MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

FLORIANÓPOLIS

2022

AMABILLY SCHVAMBACH

**EFEITO DA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO
MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Dissertação apresentada ao
Mestrado Profissional em
Clima e Ambiente do Campus
Florianópolis do Instituto
Federal de Santa Catarina
para a obtenção do diploma de
Mestre em Clima e Ambiente.

Orientador: D.Sc. Cássio
Aurélio Suski

FLORIANÓPOLIS
2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE

Aluno (a): Amabilly Schvambach

Título:	EFEITO DA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA
----------------	--

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente



Documento assinado digitalmente
CASSIO AURELIO SUSKI
Data: 13/10/2022 17:30:51-0300
CPF: 020.400.049-12
Verifique as assinaturas em <https://vifsc.edu.br>

Dr(a). Cássio Aurélio Suski

Orientador(a) / Presidente / IFSC / Itajaí – SC

Participação: (x) Presencial () Videoconferência
(x) Aprovado () Reprovado



Documento assinado digitalmente
MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO
Data: 11/10/2022 16:37:06-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Dr(a). Mário Francisco Leal de Quadro

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: () Presencial (x) Videoconferência
(x) Aprovado () Reprovado

Dr(a). Walter Marin Widmer

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: () Presencial (x) Videoconferência
(x) Aprovado () Reprovado

Dr(a). Camila Burigo Marin

Avaliador(a) Externo / Univali / Itajaí - SC

Participação: (x) Presencial () Videoconferência
(x) Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(x) unanimidade

Florianópolis, 06 de outubro de 2022.

CDD 551.5
S291e

Schvambach, Amabilly

Efeito da implantação do plano de mobilidade urbana no município de Brusque/SC na emissão de gases de efeito estufa - [DIS] / Amabilly Schvambach; orientação de Cássio Aurélio Suski – Florianópolis, 2022.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Gases do efeito estufa. 2. Mobilidade urbana. 3. Plano de mobilidade urbana.. I. Suski, Cássio Aurélio. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

Dedico este trabalho a minha irmã Mikaella, que mesmo diante de sua breve passagem, deixou um legado incrível, o qual incentivou sempre a todos a busca pela felicidade. O plano era viver essa fase (e tantas outras) com você comigo, mas te levarei para sempre no lugar mais especial do meu coração. Espero que esteja orgulhosa de mim (como você sempre me falava) e que esteja vivendo no plano celestial de forma leve e feliz, como você merece. Te amo sem fim, minha “pequena”!

Continuaremos por você e por nós!

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO

A mudança climática é um desafio global que demanda atividades de mitigação, tanto em nível local, como em nível internacional. O setor de transporte possui uma importante participação para o aumento das emissões de GEE, que é uma das causas das mudanças climáticas, e possui significativas emissões de CO₂. A Lei da Mobilidade Urbana menciona sobre a obrigatoriedade da realização do Plano de Mobilidade Urbana - PMU para municípios com mais de vinte mil habitantes. O PMU é um documento técnico que define metas e estabelece orientações futuras, visando a melhoria da mobilidade urbana, tendo como uma das premissas o desenvolvimento sustentável das cidades. O presente trabalho teve o objetivo de analisar o potencial de redução da emissão de GEE, a partir da implantação do PMU do município de Brusque/SC, sendo que para isso foi utilizado o Programa Brasileiro GHG *Protocol*. Além do mais, foi determinada a influência dos GEE na variação da temperatura do município e em esfera global, até o ano de 2121 e foi elaborada uma Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade. Os cenários contemplaram os meios de transporte: coletivo público, motorizado individual, bicicletas e caminhadas. Como resultado obteve-se que o transporte individual corresponde ao maior quantitativo das emissões totais do setor de transporte urbano e que a aplicação dos cenários correspondeu a uma redução de aproximadamente 20% de dióxido de carbono (fóssil e equivalente), metano e óxido nitroso. Verificou-se também uma tendência de diminuição da temperatura, a partir da aplicação dos cenários propostos, sendo que utilizando o método UCAR (2022) obteve-se uma diminuição de 0,90°C e com o método Ellis (2008) obteve-se o decréscimo de 0,92°C. A elaboração da Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade possibilitará que os munícipes possam analisar a sua contribuição para emissões GEE para a cidade, para uma de suas atividades cotidianas, que é o transporte e podendo também verificar o quantitativo de árvores que são necessárias a ser plantadas na Mata Atlântica como forma de compensar sua emissão. Com a realização do trabalho conclui-se que a permanência da execução das ações atuais de mobilidade, sem a introdução de ações voltadas para mobilidade urbana coletiva e mais sustentável, acarretará em maiores emissões de gases poluentes à atmosfera, com consequências para o ambiente e para a população.

Palavras-Chave: Gases do Efeito Estufa. Mobilidade Urbana. Plano de Mobilidade Urbana.

ABSTRACT

Climate change is a global challenge that demands mitigation activities both locally and internationally. The transportation sector has an important role in the increase of GHG emissions, which is one of the causes of climate change, and has significant CO₂ emissions. The Urban Mobility Law mentions the obligation to make an Urban Mobility Plan - UMP for municipalities with more than twenty thousand inhabitants. The PMU is a technical document that defines goals and establishes future guidelines, aiming at improving urban mobility, having as one of the premises the sustainable development of cities. The present work had the objective of analyzing the potential for GHG emission reduction from the implementation of the UMP in the city of Brusque/SC, and for this the Brazilian GHG Protocol Program was used. Furthermore, the influence of GHGs on the city's temperature variation and on the global sphere was determined, until the year 2121, and a GHG Emissions Calculator for Mobility was elaborated. The scenarios contemplated the means of transportation: public transportation, individual motorized transportation, bicycles and walking. As a result it was obtained that individual transport corresponds to the largest quantity of total emissions in the urban transport sector and that the application of the scenarios corresponded to a reduction of approximately 20% of carbon dioxide (fossil and equivalent), methane and nitrous oxide. A tendency towards temperature decrease was also verified, as from the application of the proposed scenarios, and using the UCAR method (2022) a decrease of 0.90°C was obtained and with the Ellis method (2008) a decrease of 0.92°C was obtained. The elaboration of the GHG Emissions Calculator for Mobility will allow citizens to analyze their contribution to GHG emissions for the city, for one of their daily activities, which is transportation, and also to verify the amount of trees that are necessary to be planted in the Atlantic Forest as a way to offset their emissions. With the accomplishment of the work, it is concluded that the permanence of the execution of the current actions of mobility, without the introduction of actions aimed at collective and more sustainable urban mobility, will lead to greater emissions of pollutant gases into the atmosphere, with consequences for the environment and for the population.

Keywords: Greenhouse Gases. Urban Mobility. Urban Mobility Plan.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Emissões de GEE (em MtCO ₂ e) do Brasil, por setor, entre o período de 1990 a 2020.	24
Figura 2 - Principais processos envolvidos no setor de Mudança de Uso da Terra (MUT).	25
Figura 3 - Contribuição das emissões humanas para o efeito estufa antropogênico.	32
Figura 4 - Emissões de gás metano causadas por atividades humanas.	33
Figura 5 - Emissões de óxido nitroso causadas por atividades humanas.	34
Figura 6 - Futuras emissões anuais de dióxido de carbono (à esquerda) e de um subconjunto dos demais principais gases não-CO ₂ (à direita), nos cinco cenários analisados.	39
Figura 7 - Contribuição para o aumento da temperatura da superfície global a partir de diferentes emissões, com papel dominante das emissões de dióxido de carbono.	39
Figura 8 - Ilustração apresentando a tendência em relação ao incremento de temperatura (°C) no planeta Terra.	41
Figura 9 - Ilustração apresentando a tendência da precipitação e da umidade total da coluna de solo a partir do incremento do aquecimento global.	42
Figura 10 - Quantidade de veículos no município de Brusque entre os anos 2002 e 2020.	47
Figura 11 – Caracterização da Rodovia Antônio Heil.	48
Figura 12 – Caracterização da Rodovia Ivo Silveira.	49
Figura 13 – Caracterização da Rua Frederico Petrusky.	49
Figura 14 – Caracterização da Rua General Osório.	50
Figura 15 – Caracterização da Rua General Osório.	50
Figura 16 – Mapa das ciclofaixas existentes em Brusque registradas no PMU.	52
Figura 17 – Fluxograma das etapas metodológicas.	54
Figura 18 - Localização do município de Brusque/SC.	56
Figura 19 – Mapa topográfico do município de Brusque/SC.	57
Figura 20 - Emissões totais, em toneladas, de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.	82
Figura 21 - Emissões, em toneladas, de dióxido de carbono fóssil (CO ₂) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.	83
Figura 22 - Emissões, em toneladas, de gás metano (CH ₄) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.	84
Figura 23 - Emissões, em toneladas, de óxido nitroso (N ₂ O) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.	84
Figura 24 - Emissões, em toneladas, de dióxido de carbono biogênico (CO ₂ biogênico) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.	85

Figura 25 - Tendência da temperatura global (para o cenário base e para os cenários propostos) utilizando o método de UCAR.	88
Figura 26 - Tendência da temperatura global para os cenários propostos utilizando o método de UCAR – análise dos anos 2110 a 2121.	89
Figura 27 - Tendência da temperatura global (para o cenário base e para os cenários propostos) utilizando o método de Ellis.	89
Figura 28 - Tendência da temperatura global para os cenários propostos utilizando o método de Ellis – análise dos anos 2110 a 2121.	90
Figura 27 - Concentração de CO ₂ atmosférico nos modelos CMIP6, cenário base e cenário 5.	92
Figura 21 - Representação do espaço necessário para transportar 40 passageiros, comparando a utilização do veículo motorizado individual, ônibus e bicicleta.	97
Figura 29 – Informações iniciais do site da Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade.	106
Figura 30 - Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade.	106
Figura 31 - Exemplo de utilização da Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Mudanças na temperatura da superfície global nos cenários ilustrados para curto, médio e longo prazo.	40
Tabela 2 - Distribuição das metas para a categoria de transporte coletivo para os cenários propostos no estudo.	58
Tabela 3 - Distribuição das metas para a categoria veículo motorizado individual para os cenários propostos no estudo.	59
Tabela 4 - Distribuição das metas para a categoria de bicicleta para os cenários propostos no estudo.	60
Tabela 5 - Determinação dos cenários para estudo.	60
Tabela 6 - Quantificação de veículos no município de Brusque no ano de 2020, considerado o ano base do estudo, consumo médio (km/l) e quantificação de passageiros em deslocamento.	63
Tabela 7 – Dados utilizados para os cálculos, considerando o tipo de combustível (gasolina ou diesel).	69
Tabela 8 - Consumo mensal de combustível fóssil para os cenários propostos.	72
Tabela 9 - Consumo mensal de biocombustível para os cenários propostos.	73
Tabela 10 - Consumo total mensal de combustível para os cenários propostos.	74
Tabela 11 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário base (Ano 2020).	76
Tabela 12 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2022.	77
Tabela 13 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2024.	78
Tabela 14 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2026.	79
Tabela 15 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2028.	80
Tabela 16 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2030.	81
Tabela 17 - População do Município de Brusque e mundial, e fator de multiplicação em função da população.	86
Tabela 18 - Redução global de GEE e de temperatura para cada cenário estudado.	87
Tabela 19 - Temperatura obtida para o ano de 2121 e a redução de temperatura (em relação ao cenário base) utilizando o método UCAR e Ellis.	90
Tabela 20 - Concentrações de CO ₂ atmosférico nos modelos CMIP6, aplicado ao cenário base do estudo e ao Cenário 2030 proposto.	91
Tabela 21 - Comparativo da alteração de temperatura até o ano de 2121 nos cenários determinados pelos métodos UCAR e de Ellis.	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CH₄ - Gás metano

CO₂ - Dióxido de carbono

CO₂ biogênico - Dióxido de carbono biogênico

CO₂e - Dióxido de carbono equivalente

GEE - Gases de Efeito Estufa

GWP - *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global)

IPCC - Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas

MtCO₂e - Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente

MUT - Mudanças de Uso da Terra

N₂O - Óxido nitroso

PMU - Plano de Mobilidade Urbana

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo geral.....	17
1.1.2 Objetivo(s) específico(s)	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	19
2.1.1 Mudanças de Uso da Terra.....	24
2.1.2 Agropecuária.....	27
2.1.3 Setor de Energia.....	28
2.2 PROBLEMAS AMBIENTAIS.....	29
2.3 EFEITO ESTUFA.....	30
2.3.1 Gases de Efeito Estufa - GEE... ..	31
2.3.1.1 Dióxido de carbono (CO ₂)	32
2.3.1.2 Metano (CH ₄)	33
2.3.1.3 Óxido nitroso (N ₂ O)	33
2.3.2 Meios de medição dos Gases de Efeito Estufa.....	34
2.3.2.1 Analisadores de gases.....	35
2.3.2.2 Simuladores/Softwares.....	35
2.3.2.3 Ferramentas de cálculo.....	36
2.3.2.4 Satélites ambientais.....	37
2.3.3 Influência dos GEE nos elementos meteorológicos.....	37
2.4 LEI DE MOBILIDADE URBANA.....	42
2.5 PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE.....	45
2.5.1 Diagnóstico da situação atual - gerado pelo PMU Brusque.....	46
3 METODOLOGIA.....	533
3.1 PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS BASEADOS NAS FASES DE IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE MOBILIDADE URBANA.....	55
3.1.1 Área de estudo.....	55
3.1.2 Cenários propostos.....	57
3.2 AVALIAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA - GEE DOS CENÁRIOS POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL.....	61
3.3 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS GASES DE EFEITO ESTUFA NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE E EM ESFERA GLOBAL, ATÉ O ANO DE 2121.....	65
3.4 FORNECIMENTO DE INFORMAÇÕES RELACIONADAS A EMISSÃO DE GEE ORIUNDAS DO TRANSPORTE DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE E DO PMU AO PÚBLICO EM GERAL.....	68
4 RESULTADOS.....	71
4.1 COMPARATIVO ENTRE OS CENÁRIOS.....	82

	13
4.2 INFLUÊNCIA DOS GASES DE EFEITO ESTUFA NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE E EM ESFERA GLOBAL, ATÉ O ANO DE 2121.....	86
5 DISCUSSÕES.....	93
5.1 COMPARATIVO ENTRE OS CENÁRIOS.....	93
5.2 Comparativo entre os meios de transporte analisados.....	95
5.2.1 Transporte individual motorizado.....	96
5.2.2 Ônibus coletivo.	98
5.2.3 Bicicleta.....	100
5.2.4 Caminhada.....	101
5.3 Influência dos resultados nos elementos meteorológicos.....	103
6 PRODUTOS DESENVOLVIDOS.....	105
6.1 Produto tecnológico.....	105
6.2 Publicação de artigo.....	108
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
APÊNDICE.....	124

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são um desafio global que demanda atividades de mitigação, tanto em nível local, como em nível internacional. Pelo fato da preocupação com esta temática ser constante e crescente, cada vez mais são realizadas ações e pesquisas, como forma de estudar e abrandar as consequências negativas deste acontecimento.

Uma das causas para as mudanças climáticas é a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) (NOBRE, *et al.*, 2012). Em relação às consequências adversas destas alterações climáticas oriundas da atividade antrópica, pode-se apresentar: aumento de temperatura média acompanhada da diminuição da camada de gelo permanente e aumento dos níveis dos oceanos, alteração nos regimes de pluviosidade (na quantidade e na intensidade), alterações nas salinidades oceânicas e alteração do seu pH, entre outras.

De acordo com Toledo (2019) nas últimas décadas foi verificado um aumento notável da temperatura média de diferentes regiões do planeta, sendo que a temperatura combinada da superfície terrestre e dos oceanos apresentou um incremento de 0,85°C durante o período de 1880 a 2012. Este aumento não ocorreu de maneira homogênea, sendo registrado em algumas localidades, o acréscimo de até 2,5°C. Há uma alta probabilidade de que mais da metade do aumento observado na temperatura média global da superfície entre os anos de 1951 e 2010 tenha ocorrido devido ao aumento antropogênico das concentrações de GEE. As consequências adversas desta ação impactam negativamente a saúde e bem estar na humanidade e fauna, bem como a economia em escala mundial.

No Brasil está ocorrendo um aumento de emissão de GEE e no ano de 2020 obteve um acréscimo de 9,5% de suas emissões, permanecendo na tendência inversa com dados mundiais, quando a pandemia do Covid-19 paralisou em larga escala a economia mundial e acarretou em inédita redução de 7% nas emissões globais (SEEG, 2021).

A primeira meta doméstica de redução de emissões brasileiras ocorreu em 2010, sendo este o ano de regulamentação da Política Nacional sobre Mudanças do Clima, porém, ainda assim o país elevou em 23,2% sua emissão total. Esta curva ascendente indica uma tendência preocupante, uma vez que o Brasil passa a ter uma desvantagem para o ano de 2021, ano que se inicia a etapa de cumprimento da Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC, firmada no Acordo de Paris, no ano

de 2015 . Nesta etapa os países do G20, incluindo o Brasil, possuem uma maior responsabilidade para a estabilização do aquecimento da Terra em 1,5°C neste século (SEEG, 2021).

O setor de transporte possui uma importante participação para o aumento das emissões de GEE, e é um dos setores que mais colaborou para o crescimento das emissões, possuindo significativas emissões de CO₂ e grande consumo final de combustíveis fósseis (GONÇALVES & MARTINS, 2008). No entanto, as emissões oriundas do uso de automóveis são provenientes do processo de combustão e queima incompleta do combustível. Além do dióxido de carbono, há também a emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não queimados (HC), óxidos de enxofre (SO_x) e partículas inaláveis (MP10) (CETESB, 2013).

De acordo com a análise de emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil, realizada pelo Observatório do Clima (2021), o setor de energia representou 18% (394 MtCO_{2e}) da emissão total do ano de 2020. Este foi o único setor que obteve redução de emissão, quando comparado com o ano de 2019. Esta diminuição está diretamente relacionada com o isolamento social oriundo da pandemia do novo coronavírus, uma vez que o transporte é o item de maior participação no setor de energia e seu uso no ano em análise foi drasticamente reduzido. No entanto, esta redução não possui tendência de permanecer, visto sua crescente participação das emissões que possuíram o crescimento mais relevante a partir de 2009 devido ao aumento de quilometragem realizada pelos veículos e pela diminuição do uso do etanol e aumento da demanda de gasolina.

Em análise aos cenários futuros, verifica-se que se manter nesse ritmo, o setor de transporte permanecerá com uma contribuição significativa para as emissões de GEE. Se nas próximas décadas os países continuarem na dependência dos combustíveis fósseis como sua principal fonte de energia, problemas ambientais regionais e globais possuem grandes possibilidades de serem acentuados. Já identifica-se incentivos em âmbito global referente à descarbonização deste setor, porém, fatores ainda dificultam esta transição, como por exemplo, baixo incentivo e consciência dos gestores públicos, incentivos fiscais para combustíveis fósseis, carência de financiamentos voltados a mobilidade sustentável, baixa autonomia dos governos municipais e falta de priorização da mobilidade urbana nos investimentos públicos (TOLEDO & LA ROVERE, 2018).

Além disso, o atual desenvolvimento brasileiro vai ao encontro com a crise da

mobilidade urbana, uma vez identificada, na maior parte das cidades a priorização do transporte motorizado individual em detrimento ao coletivo, do uso restrito do transporte não motorizado, da ineficiência da integração entre as diferentes modalidades disponíveis em um mesmo município, bem como, da falta de sintonia entre o planejamento urbano de uma região com o desenvolvimento do transporte (MELLO & PORTUGAL, 2017).

Diante deste cenário, verifica-se a necessidade urgente de mudança de paradigma, visando alterar o padrão de desenvolvimento e sua relação com o transporte urbano, criando uma visão mais integrada entre a gestão urbanística de uma cidade, tendo como base os princípios de sustentabilidade e priorizando a inclusão social. Neste sentido, o Governo Federal brasileiro promulgou a Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012, denominada como Lei da Mobilidade Urbana.

Esta lei está em conformidade com o estabelecido na Constituição Federal, que determina que a União deve impor diretrizes para o desenvolvimento urbano. A Lei de Mobilidade Urbana está fundamentada em princípios e entre eles encontra-se o “desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais”. Para isso, elenca diretrizes voltadas para uma mobilidade urbana mais sustentável e com diminuição da emissão de gases de efeito estufa, e consequentemente, da poluição atmosférica.

O Art. 24, parágrafo 1º da referida lei, menciona que “em municípios acima de 20.000 (vinte mil) habitantes e em todos os demais obrigados, na forma da lei, à elaboração do plano diretor, deverá ser elaborado o Plano de Mobilidade Urbana - PMU, integrado e compatível com os respectivos planos diretores ou neles inserido”. O PMU é um documento técnico que define metas e estabelece orientações para os municípios seguirem para os próximos anos, visando a melhoria da mobilidade urbana. Este é também um instrumento que visa a aplicabilidade da Política Nacional de Mobilidade Urbana e tem como objetivo integrar os diferentes modos de transporte e melhorar a acessibilidade e mobilidade de pessoas e cargas em um município. Além do mais, deve contemplar planejamento para curto, médio e longo prazo. Este documento deve incluir os serviços coletivos de transporte público, tráfego rodoviário, infraestruturas do sistema de mobilidade urbana, acessibilidade para pessoas com deficiência e restrições de mobilidade, entre outros aspectos da mobilidade, visando ganhos de qualidade de vida (BRASIL, 2012).

Deste modo, caso o PMU seja elaborado de acordo com as diretrizes e conteúdo exigidos pela legislação, bem como, seja elaborado a partir de um

diagnóstico criterioso do município e planejado visando a mobilidade sustentável, a emissão de GEE, mesmo diante do desenvolvimento das cidades, tende a diminuir quando comparada ao cenário de análise inicial. Esta é uma das razões da importância de elaboração de estudos que relacionem planejamento urbano, políticas públicas, planejamento de mobilidade urbana, emissões de GEE e cenários de emissão (TOLEDO, 2019).

Visando cumprir os requisitos legais na legislação em vigor, atualmente o município de Brusque/SC encontra-se em fase de aprovação do PMU já finalizado. O Plano de Mobilidade Urbana buscou atender todas as exigências previstas em lei e tem entre os seus objetivos, proporcionar melhoria na qualidade de vida urbana, através da ampliação da infraestrutura para pedestres e ciclistas e diminuição da dependência por viagens de automóveis e motocicletas e melhoria nas condições ambientais da cidade, com a redução da poluição atmosférica, visual e sonora.

O foco é que se busque a redução da emissão a medida que forem analisados os cenários propostos, visando o desenvolvimento do setor de transporte, mas que ele ocorra de maneira equilibrada com o meio ambiente. A busca de um equilíbrio entre o desenvolvimento e o meio ambiente é um desafio atual e que se estenderá para as demais gerações, sendo que medidas devem ser tomadas de maneira imediata para questões ainda não implantadas e as medidas que já foram implantadas, deverão ser intensificadas cada vez mais.

As ações foram analisadas em âmbito local, focadas no município de Brusque/SC, porém, as consequências positivas poderão se estender para seus municípios limítrofes, visto não haver limites territoriais para a questão atmosférica. Além do mais, visto que estes municípios também estão em fase de elaboração de seus Planos de Mobilidade Urbana, a medida estudada em Brusque, poderá incentivá-los a também realizá-la, objetivando a implantação gradual de seus PMU visando a redução de Gases de Efeito Estufa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o potencial de redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE),

a partir da implantação do Plano de Mobilidade Urbana (PMU) do município de Brusque/SC.

1.1.2 Objetivo(s) específico(s)

- 1) Analisar os cenários baseados nas fases de implantação do Plano de Mobilidade Urbana - PMU;
- 2) Avaliar a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE dos cenários por meio da utilização do Programa Brasileiro GHG *Protocol*;
- 3) Determinar a influência dos gases de efeito estufa na variação da temperatura do município de Brusque e em esfera global, até o ano de 2121;
- 4) Proporcionar o fornecimento de informações relacionadas a emissão de GEE oriundas do transporte do município de Brusque e do PMU ao público em geral.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A partir do advento da Revolução Industrial ocorrido no século XVIII, as cidades em toda a esfera global, passaram por um crescimento representativo e por um incremento populacional, que passou a ser constante (GOLLIN; JEDWAB; VOLLRATH, 2015). A associação do desenvolvimento urbano e do crescimento da população humana, ocasionou no aumento da procura por bens e serviços, bem como por alimentos, resultando em estímulo à exploração dos recursos naturais de maneira excessiva e em efeitos negativos sobre a capacidade de resiliência dos ecossistemas (BARBOSA; GOMES; PEREIRA, 2018).

O momento foi marcado por transformações, sendo que a Revolução Industrial ficou representada como um marco na história da humanidade, uma vez que este período acarretou em transformações nas relações sociais, nas relações de trabalho, no sistema produtivo do campo e das cidades, na economia em nível mundial e no desenvolvimento tecnológico. Além do mais, estabeleceu novos padrões de consumo e uso dos recursos naturais (SILVA *et al.*, 2016).

De acordo com Gonçalves (1999), o processo e a concentração industrial acarretam em problemas ambientais que podem se estender para diferentes compartimentos ambientais e por consequência, elevam a poluição do meio ambiente. Sendo assim, este período também ficou marcado pelo incremento de danos ambientais e pelo aumento de emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE, contribuindo para ampliar o processo de mudanças climáticas. Além do mais, as consequências adversas para a qualidade de vida passaram a ser cada vez mais evidentes, sendo nítida a poluição atmosférica oriunda da emissão de fumaças provenientes das operações das fábricas, a falta de saneamento, insalubridade dos espaços edificados e diminuição da vegetação (SIEBERT, 2017).

As mudanças do clima estão dentre os desafios mais complexos deste século e nenhum país, cidade e pessoa está imune aos seus efeitos. As mudanças climáticas globais, representam um problema complexo em âmbito social, econômico, político, de saúde e ambiental (BARBIERI; FERREIRA; BARBI, 2018). Este cenário propicia o aumento dos riscos ambientais que abrange para além do local em que é ocasionado o dano, uma vez que as mudanças climáticas não são mais vistas a partir de uma perspectiva unicamente local ou então considerado um fenômeno isolado, ela atinge

a todos, não respeita os limites geográficos e é facilmente perceptível pela maioria das pessoas (BECK, 2010).

O IPCC (Glossário 2019, p. 808) define mudanças climáticas como sendo:

mudança no estado do clima que pode ser identificado (por exemplo, através de testes estatísticos) por alterações da média e/ou a variabilidade das suas propriedades e que persiste por um longo período de tempo, normalmente décadas ou períodos mais longos.

Segundo Aumond (MOVIMENTO ODS, 2020), as mudanças climáticas sempre foram geradoras de riscos globais, sendo que nos últimos 2 milhões de anos já houveram 16 intercalações de Eras Glaciais, que duram em média cem mil anos e eras interglaciais, que duram em média dez mil anos. Esta intercalação é frequente e contínua, sendo que a Era Interglacial é o período que passa atualmente o planeta Terra. Esta Era é caracterizada pelo Efeito Estufa (natural), porém as ações antrópicas estão interferindo e intensificando o Efeito Estufa e consequentemente, estimulando as mudanças climáticas e retardando o início da nova Era Glacial.

Além do mais, as causas das mudanças climáticas podem ser tanto naturais quanto antrópicas. No que se refere às causas naturais, têm-se: incidência solar; fenômeno El Niño e La Niña e atividades vulcânicas. Já em relação às causas antrópicas têm-se como uma das principais causas a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE, provenientes da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, desmatamento, práticas insustentáveis de agricultura e pecuária, atividades industriais (BERTOLDI; SEOANE, 2016).

De acordo com Siebert (2017), os centros urbanos, incluindo principalmente os seus complexos industriais e energéticos, são considerados corresponsáveis pelas mudanças climáticas, uma vez que intensificam o aquecimento global, quando suas atividades adversas não são mitigadas de maneira eficaz. Por outro lado, eles também são considerados vítimas das trágicas consequências, uma vez que passam a sentir, muitas vezes de maneira direta, os resultados negativos desta alteração.

Com este cenário há a alteração do ciclo hidrológico, que faz com que haja o aumento da tendência das cidades passarem a ter uma acentuação de riscos pré-existentes, como por exemplo: inundações, deslizamento de terra, ondas de calor e limitações no fornecimento de água potável. Além do mais, os considerados “estresses climáticos” podem ocasionar um efeito negativo progressivo nos sistemas

de infraestruturas de um centro urbano, uma vez que estes são interdependentes entre si, como é o exemplo dos setores de transporte, energia, saneamento e água (SIEBERT, 2017).

Os riscos das mudanças climáticas já estão em pauta de discussões há muito tempo, porém, a partir da década de 1980, o foco das discussões passou a ser principalmente, a busca para a redução das cargas ambientais, em nível global. Estas discussões ocasionaram em acordos internacionais, estabelecidos em conferências as quais possuíram a participação de representantes de grande parte dos países. Embora a pauta já esteja em discussão há anos, ainda não se alcançou o resultado esperado (UNFCCC, 2015).

Alvarez e Bragança (2018), mencionam que entre as causas para o não alcance dos objetivos e metas estabelecidos nos acordos, está o quesito econômico, uma vez que, para o alcance das reduções determinadas, se faz necessário em alterações na produção e no desenvolvimento dos países, influenciando diretamente os países alicerçados em uma economia industrial.

De acordo com dados disponíveis no Quarto Relatório do IPCC (2007), na época do estudo já havia ocorrido o aumento de quase um grau centígrado nos últimos cem anos, sendo que houve regiões em que o aumento já tinha alcançado dois graus centígrados. Este acréscimo na temperatura está relacionado com o aumento da emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE e foi constatado também que o aumento vem ocorrendo de maneira mais rápida, quando comparado os últimos vinte e cinco anos. Além do mais, verificou-se que a velocidade do aumento de temperatura do planeta Terra subiu em uma velocidade quatro vezes superior, quando comparadas as médias desde o ano de 1850. O estudo do IPCC engloba as causas naturais e antrópicas, porém, foi constatado que as forças das atividades humanas são consideradas um fator dominante.

O cenário de acréscimo de emissão de GEE ainda é existente, sendo exemplos de consequências o aumento de furacões, invernos mais curtos e rigorosos, elevação do nível do mar, estiagens, chuvas intensas e degelos. Sendo que, segundo Aumond (MOVIMENTO ODS, 2020), se houver a duplicação da emissão de Gases de Efeito Estufa, poderá elevar em até 3°C até o final do século, sendo que o nível do oceano poderá subir em aproximadamente 2 metros até 2121, podendo acarretar em consequências imprevisíveis para o planeta Terra.

Visto a importância do tema, no ano de 2012 na Conferência das Nações

Unidas, foram criados os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, com o foco de elaborar um conjunto de objetivos que suprissem os desafios mundiais na esfera ambiental, política e econômica. Entre os objetivos criados, foi incluído o objetivo de número 13 denominado como “Ação contra a mudança global do clima”. Este objetivo se refere em tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos e, de acordo com a Agenda 2030 (BRASIL, 2020), possui as seguintes submetas:

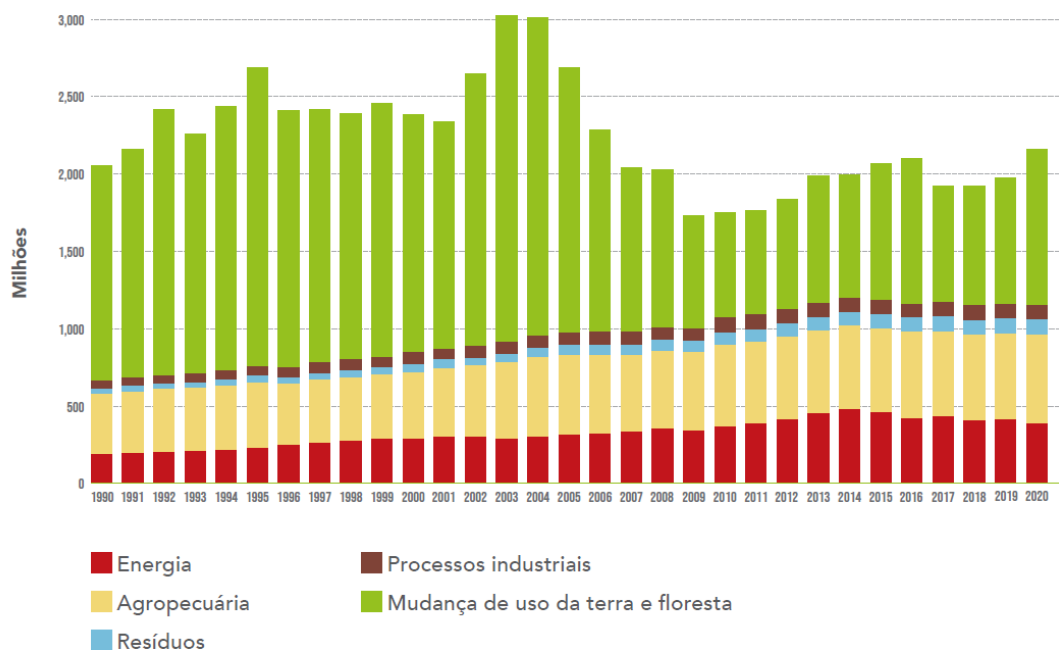
- 13.1 Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países
- *Reconhecendo que a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima é o fórum internacional, intergovernamental primário para negociar a resposta global à mudança do clima;
- 13.2 Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais;
- 13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação global do clima, adaptação, redução de impacto, e alerta precoce à mudança do clima;
- 13.a Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano até 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto de ações significativas de mitigação e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima, por meio de sua capitalização, o mais cedo possível;
- 13.b Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

Visto que as mudanças climáticas já são perceptíveis em âmbito mundial e suas causas são oriundas e atenuadas com a contribuição de cada centro urbano, cidades, estados e países do planeta Terra, a parceria global para a diminuição de seus efeitos, se torna extremamente necessária. Havendo uma parceria global revitalizada, aumenta a probabilidade de haver um engajamento global intensivo em apoio à

implementação deste e dos demais ODS estabelecidos, bem como suas submetas (BRASIL, 2020). Analisando a emissão do Brasil, de acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG (2019), o país emitiu no ano de 2018 1,939 bilhão de toneladas brutas de GEE, medidas em gás carbônico equivalente (CO_2e). A emissão registrada no ano de 2018 é considerada 0,3% superior ao emitido no ano de 2017 (1,932 bilhão de toneladas de CO_2e).

Já analisando o ano de 2020, ano em que ocorreu a pandemia do novo coronavírus no mundo, o Brasil possuiu um aumento de 9,5% de emissão de GEE, sendo que o restante dos países passou por uma inédita redução de aproximadamente 7% das emissões globais, devido ao cenário de paralisação da economia mundial, sendo o Brasil considerado um dos únicos países do mundo a apresentar alta. O total de emissões brutas atingiu 2,16 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente no ano de 2020 e de 1,97 bilhão de toneladas no ano de 2019, sendo que o nível de emissões verificado em 2020 é o maior desde o ano de 2006. A Figura 1 apresenta as emissões de GEE do Brasil (em MtCO_2e), por setor, entre o período de 1990 a 2020 (SEEG, 2021).

Figura 1- Emissões de GEE (em MtCO₂e) do Brasil, por setor, entre o período de 1990 a 2020.



Fonte: SEEG (2021).

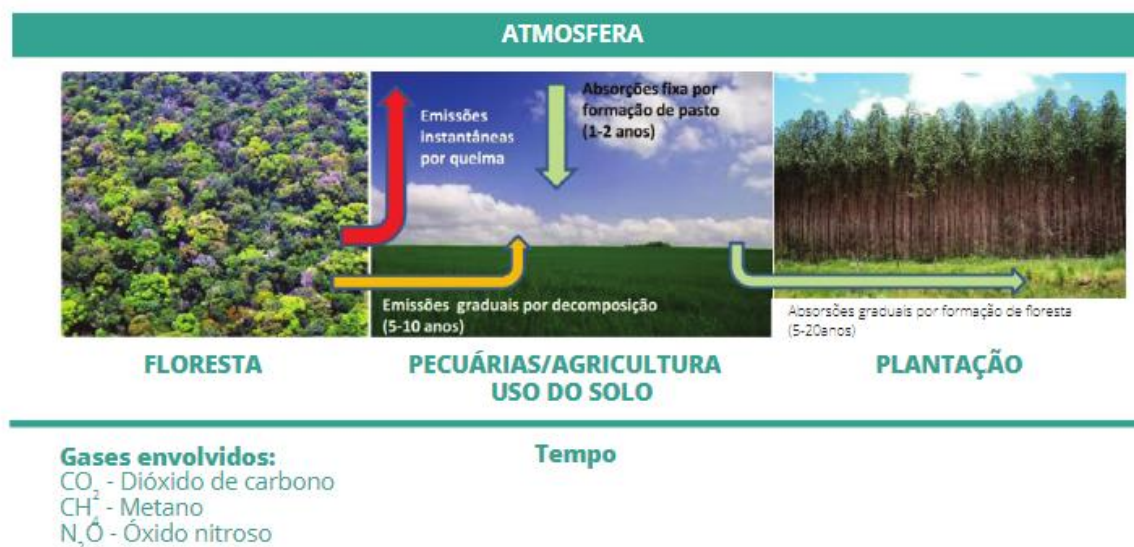
É possível identificar que as emissões analisadas englobam as contribuições do setor de energia, dos processos industriais, da agropecuária, dos resíduos e da mudança de uso da terra e floresta, sendo que, em todo o período analisado (1990 a 2020) é possível identificar que este último apresentou as maiores contribuições, seguida da agropecuária e do setor de energia.

Nos itens a seguir serão apresentados detalhamentos da contribuição desses setores para a emissão de GEE.

2.1.1 Mudanças de Uso da Terra

O setor de Mudanças de Uso da Terra - MUT permanece como sendo o principal emissor de GEE desde o ano de 1990, conforme apresentado por SEEG (2021). Este setor está relacionado com as alterações do uso da paisagem, em um certo período de tempo, sendo que cada alteração pode acarretar em emissão ou redução de GEE. Os principais GEE envolvidos neste setor são: dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. A Figura 2 apresenta os principais processos envolvidos no setor.

Figura 2 - Principais processos envolvidos no setor de Mudança de Uso da Terra (MUT).



Fonte: SEEG (2019).

Este setor teve crescimento de 3,6% de 2017 para 2018, sendo que a emissão passou de 816 MtCO₂e para 845 MtCO₂e. Analisando o ano de 2020 é possível identificar que as MUT contribuíram com 998 milhões de toneladas de dióxido de carbono, representando no ano de análise, 46% do total nacional. A tendência de emissões brutas deste setor está diretamente relacionada com ações e políticas públicas, relacionadas principalmente ao desmatamento. Contempla este setor as atividades do setor de calagem, a queima de resíduos florestais e o desmatamento. De acordo com Silva *et al.* (2014) *apud* Fuentes, Bezdicek, Flury, Albrecht e Smith (2006):

a emissão provocada pela calagem realizada com calcário dolomítico é de 0,13t C-CO₂ por tonelada de calcário aplicado no solo, que representa o conteúdo equivalente de carbonato material (13% para CaMg (CO₃)²), supondo-se que todo o carbono do calcário aplicado é emitido na forma de CO₂ no ano da aplicação. Como consequência, ocorre um significativo aumento da atividade microbiana do solo medido pela quantidade adicional de CO₂ emitido após a calagem.

O calcário dolomítico é o cálcio calcário com maior concentração de óxido de magnésio e cálcio, sendo que a calagem utilizando este produto é indicado para a correção de solos com deficiência de Óxido de Magnésio e Óxido de Cálcio, sendo que o preparo do solo para atividades agrícolas, faz crescer, inicialmente, a emissão

de CO₂ do solo para a atmosfera. Este crescimento está associado ao rompimento dos agregados do solo, que tem como consequência tornar o carbono, anteriormente protegido em seu interior, mais suscetível à mineralização, em virtude de sua relação à ação microbiana (LA SCALA JR *et al.*, 2008).

Segundo Cerri *et al.* (2009), grandes quantidades de dióxido de carbono e de demais GEE já foram emitidas para a atmosfera devido à transformação da terra para que ela se torne propícia para a agricultura. Nesta etapa de transformação estão inclusos o desmatamento e a queima de vegetação.

Em relação ao desmatamento, em especial na Amazônia e no Cerrado, este é apontado como o principal fator de emissão do grande grupo do setor de MUT. Esta atividade é considerada um dos grandes responsáveis pelas mudanças climáticas em nível global, pois acarreta na diminuição dos processos de absorção do dióxido de carbono, que é liberado para atmosfera por meio, principalmente de atividades antrópicas (IPCC, 2007).

Em âmbito federal, o desmatamento da floresta Amazônica possui grande contribuição na emissão de GEE. Em análise aos dados disponíveis desde o ano de 1990, é possível identificar que até 2004 houve uma crescente taxa de desmatamento para este bioma, o que fez com que neste período fosse emitido aproximadamente 23 bilhões de tCO₂. Após o ano de 2004, houve a criação de ações envolvendo entidades do âmbito federal, estadual, municipal e a sociedade civil, visando o combate do desmatamento nesse bioma, como por exemplo, sistemas de monitoramento mensal por satélite, o Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal e criação de novas áreas protegidas (NEPSTAD *et al.*, 2014). Estas ações possuíram um reflexo positivo, fazendo com que houvesse a redução da média anual para a atividade de desmatamento na região.

No entanto, a tendência de redução ocorreu por um pequeno período de tempo e os aumentos da emissão oriundos do desmatamento, voltaram a crescer. Em análise dos dados do ano de 2018, o desmatamento da Amazônia foi responsável pela emissão bruta de 499 MtCO₂e, sendo que no ano de 2017 esta emissão foi de 454 MtCO₂e. No bioma Cerrado, as emissões para o ano de 2018 foram de 168 MtCO₂e, sendo que esta emissão foi maior no ano de 2017, uma vez que foi registrado 186 MtCO₂e. Verifica-se então que o crescimento da taxa de emissão do setor MUT se refere, principalmente, pelo acréscimo no desmatamento da Amazônia, porém, em partes foi compensado por um decréscimo do desmatamento do Cerrado (SEEG,

2019). Pelos dados mais recentes, de acordo com Assis *et al.* (2019), desde o ano de 2019 o desmatamento na floresta tropical amazônica atingiu o patamar de mais de 10.000 km², enquanto o do bioma Cerrado foi de 7.339,9 km² no ano de 2020, um aumento de 13% em relação ao ano anterior, que apresentou 6.483,4 km².

Em relação ao Estado de Santa Catarina, este era coberto integralmente pela Mata Atlântica, ou seja, aproximadamente 9,5 milhões de hectares. No ano de 2015 restaram apenas 2.212.225 milhões de hectares, o correspondente a cerca de 23% do total deste bioma. Segundo MapBiomas (2022), em análise do período de 2019 a 2021, foi registrado em Santa Catarina o desmatamento de 3.736 hectares, totalizando 868 alertas de desmatamentos, sendo que o aumento de alertas de 2019 para 2021, apresentou um acréscimo de 195%.

Em relação às queimadas que acompanham o desmatamento, de acordo com Fearnside (2002) estas emitem gases não somente pela parte da biomassa que sofre a queima, mas também pela parcela de material que não queima. Em uma queimada há a emissão de gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e nitroso de oxigênio (N₂O). A parcela de material que não sofreu a queima também contribui para as emissões, uma vez que aquece por consequência da queimada e oxida. As queimadas com temperaturas mais baixas, formadoras de brasas, possuem maiores emissões de gases-traço.

2.1.2 Agropecuária

O setor da agropecuária é um setor essencial para o abastecimento da sociedade, uma vez que originaliza o cultivo para a alimentação de humanos e animais, bem como, fornecem inúmeras matérias-primas para o setor industrial. Este setor é a junção da atividade de agricultura e de pecuária, responsáveis por 27% da emissão de GEE no Brasil no ano de 2020, o qual totalizou 577 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, representando um acréscimo de 2,5% quando comparado com o ano de 2019, sendo este o maior alta de um ano para outro, desde 2010 (SEEG, 2021).

De acordo com Assad *et al.*, (2019), as fontes de emissão deste setor, são: adubação orgânica; aplicação de calcário; aplicação de defensivos agrícolas; aplicação de fertilizante nitrogenado sintético; consumo de energia elétrica; cultivo de arroz; dejetos de animais em pastagens; fermentação entérica; fontes secundárias (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial); manejo de dejetos;

manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagens); alteração do uso do solo; operações mecanizadas; queima de resíduos vegetais e resíduos das culturas.

Em análise dos subsetores, o que apresentou a maior contribuição no ano de 2020 foi a fermentação entérica¹, a qual totalizou uma emissão de 373 MtCO₂e, representando 65% do total do setor (praticamente dois terços da emissão total do setor). Este valor representa um acréscimo de 1,5% em relação ao ano de 2019. Com a segunda maior emissão encontra-se a emissão direta da agricultura, com 166 milhões de toneladas e um crescimento de 5,4% em relação a 2019 (SEEG, 2021).

Diante deste cenário de contribuição de emissão, é fundamental que este setor passe a utilizar com maior frequência tecnologias de baixa emissão de carbono, tal como a Integração Lavoura-Pecuário-Floresta - ILPF, uma vez que acarreta em elevada diminuição da emissão de Gases do Efeito Estufa oriunda da fixação de carbono na biomassa e matéria orgânica do solo (ASSAD *et al.*, 2019).

2.1.3 Setor de Energia

De acordo com Chovancová e Tej (2020), o setor de energia está associado com necessidades básicas humanas, porém, também origina uma série de pressões ambientais adversas, tais como poluição atmosférica e geração de resíduos. Ao se referir a emissões de GEE no setor de energia, está sendo considerada a emissão proveniente da queima de combustíveis nas atividades de transporte, indústria e geração de energia elétrica, além das emissões fugitivas oriundas dos vazamentos e demais libertações involuntárias de gases em equipamentos sob pressão, como por exemplo, o escape de gás metano durante a exploração de gás natural e de petróleo.

No ano de 2020 o setor emitiu 393,7 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, sendo que houve um decréscimo de 4,6% da emissão de GEE, quando comparado ao ano de 2019 e sendo considerada a menor contribuição desde o ano de 2011. Este valor inferior está diretamente relacionado com a situação do país e do mundo, diante da pandemia do novo coronavírus, na qual houve retração das atividades econômicas. O distanciamento social acarretou no decréscimo de 5,6% das emissões de GEE no setor de transporte, sendo esta a principal fonte emissora do setor da energia. A indústria também obteve uma diminuição de emissão, sendo de 6,9% e a geração de

¹ Processo digestivo natural que ocorre em animais ruminantes e que ocasiona a emissão do principal gás de efeito estufa gerado na pecuária - o metano entérico (CH₄).

eletricidade obteve uma queda de 10,8% (SEEG, 2021). No entanto, a queda de emissão de GEE no setor neste cenário pandêmico não é considerada a maior do período de 1970 a 2020, uma vez que no ano de 2016, época de desaceleração da economia associada com um incremento no uso de fontes de energias renováveis, a diminuição foi de 7,3%.

2.2 PROBLEMAS AMBIENTAIS

Quando analisada a temática das mudanças climáticas, pode-se considerar que cidades se encontram em um cenário de incompatibilidade, uma vez que, por um lado são consideradas as maiores fontes de emissão de GEE, porém, são consideradas também áreas sensíveis aos impactos que as emissões acarretam. As alterações previstas no clima em escala global possuem a tendência de afetar negativamente os assentamentos humanos, principalmente os centros urbanos, os quais possuem uma maior concentração de habitantes. (BRAGA, 2012).

Segundo Braun e Aumond (2017), a biosfera é considerada um sistema dinâmico complexo, o qual manifesta os impactos das mudanças ocasionadas no clima, tendo como um dos fatores a emissão em larga escala dos GEE. A escassez de água, desastres naturais, intensificação de eventos climáticos extremos, elevação do nível do mar são alguns dos exemplos citados pelos autores dentre inúmeros outros impactos decorrentes, que afetam diretamente o meio ambiente e as comunidades humanas (WENNERSTEN *et al.*, 2015).

Braga (2012) cita também que com o incremento das emissões de GEE, espera-se que haja um aumento de incidências de doenças infecciosas associadas à água, além de, consequências negativas perante as pessoas com saúde mais debilitadas, ocasionados devido à intensificação das ondas de calor. Santoyo-Castelazo *et al.* (2014) citam sobre o crescimento do estresse humano diante do crescimento destes problemas ambientais, bem como o fato de que as localidades desprovidas de infraestrutura básica e demais serviços essenciais e as áreas de exposição direta, serão dentro dos assentamentos humanos, os mais afetados. Para os sistemas marítimos e de água doce, Moore *et al.* (2008) mencionam que as concentrações crescentes de GEE acarretam no aumento de temperatura da superfície, baixem o pH e causem alterações nos padrões de mistura vertical,

aflorescimento, precipitação e evaporação.

De acordo com Wennersten *et al.* (2015), os efeitos das mudanças climáticas antropogênicas estão se tornando mais graves e as ações mais urgentes. Os problemas ambientais oriundos da ação humana já são sentidos há algum tempo no mundo devido às transformações já observadas, porém, devido a continuação das transformações devido a contínua emissão de GEE, ainda haverá mais aquecimento e mudanças nos componentes do sistema climático, conforme mencionado por Braun e Aumond (2017).

Santoyo-Castelazo *et al.* (2014) afirmam que a crescente emissão de GEE amplia a probabilidade de agravamento dos problemas ambientais já concretizados e possibilita a existência de novos, podendo ser estes irreversíveis e até mesmo ainda desconhecidos. Diante deste cenário de incremento de GEE na atmosfera e de incerteza de suas inúmeras consequências, fica evidenciado que alguns ecossistemas e sistemas humanos são vulneráveis a esta situação.

Deste modo, consolida-se o fato de que há uma urgente necessidade de transformação do metabolismo social em direcionamento a uma maior eficiência do uso dos recursos naturais, destacando-se a intensificação do uso das energias renováveis (WENNERSTEN *et al.*, 2015).

2.3 EFEITO ESTUFA

O planeta Terra é regulado por um fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera, sendo que quando absorvida, tem como consequência o aquecimento do planeta. Parte desta energia retorna ao espaço para que o excesso de calor seja dissipado e outra parte desta energia fica retida por gases na atmosfera, ocasionando o efeito estufa. Na atmosfera há a presença natural de alguns GEE (vapor d'água, CO₂, CH₄ e N₂O e ozônio), que permitem a entrada da radiação ultravioleta e possuem a capacidade de dificultar o retorno do calor para o espaço. O efeito estufa é natural e extremamente necessário para que o planeta Terra não se torne gélido, garantindo desta forma, condições para que haja vida na Terra (NELLES; SERRER, 2021).

Em seu estado natural o efeito estufa não é considerado prejudicial ao planeta e às espécies que nele habitam, porém, as transformações ocorridas nos processos das empresas desde a época da Revolução Industrial, associada ao desmatamento e

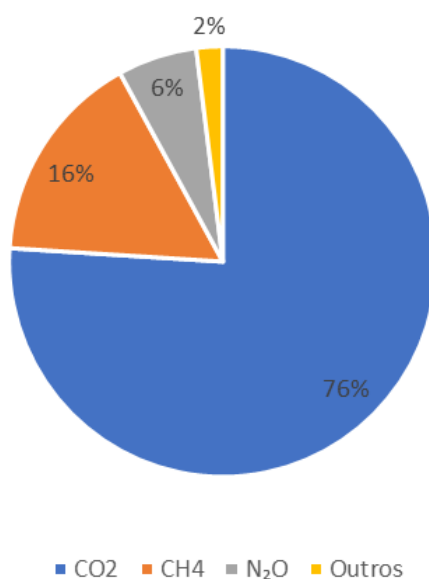
ao uso de alguns métodos de cultivo do solo, bem como ao uso intenso de combustíveis fósseis, ocasionaram em um acréscimo de concentração de GEE na atmosfera (BERTOLDI; SEOANE, 2016).

De acordo Alvarez e Bragança (2018), a emissão em excesso de GEE ocasiona o bloqueio da radiação de ondas longas, diante do acréscimo da concentração de GEEs, acarretando deste modo, em maior retenção de calor, além do necessário, ocasionando o aquecimento da baixa atmosfera, elevando a temperatura média da Terra e causando mudanças climáticas. Deste modo, observa-se que o desenvolvimento das cidades está diretamente relacionado com o aumento cumulativo de emissões de GEE, que implica em um acréscimo contínuo da temperatura global. Existe em âmbito mundial, uma grande preocupação quanto aos riscos da intensificação do efeito estufa e de seus reflexos sobre o clima do planeta.

2.3.1 Gases de Efeito Estufa - GEE

De acordo com o Protocolo de Quioto são sete os principais gases causadores por intensificar o efeito estufa, sendo eles: Dióxido de Carbono (CO_2); Óxido nitroso (N_2O); Metano (CH_4); Clorofluorcarbonetos (CFC); Hidrofluorcarbonetos (HFCs); Perfluorcarbonetos (PFCs) e Hexafluoreto de enxofre (SF_6). No entanto, destes sete, três possuem destaque, pois podem influenciar o clima a longo prazo, uma vez que possuem a característica de permanecerem na atmosfera do Planeta Terra por décadas e até mesmo por séculos. Os principais Gases de Efeito Estufa são: dióxido de carbono (CO_2); metano (CH_4) e Óxido Nitroso (N_2O), sendo que a soma destes GEE representa 98% da contribuição das emissões humanas para o efeito estufa (Figura 3).

Figura 3 - Contribuição das emissões humanas para o efeito estufa antropogênico.



Fonte: NELLES E SERRER (2021).

Segundo Nelles e Serrer (2021), os GEE emitidos pela atividade humana são denominados gases do efeito estufa antropogênico e a contribuição destes gases para a intensificação do efeito estufa depende da sua concentração (impacto) na atmosfera terrestre e de seu potencial (efetividade) de aquecimento. O impacto dos gases está diretamente relacionado com o potencial de aquecimento global (Global Warming Potential - GWP), sendo que este potencial expressa com que intensidade os gases aquecem o clima, quando comparado com a mesma quantidade de dióxido de carbono, em um intervalo de tempo (na maioria dos casos é considerado o intervalo de 100 anos).

Nos tópicos a seguir serão apresentados com mais detalhes as características dos três principais GEE.

2.3.1.1 Dióxido de carbono (CO₂)

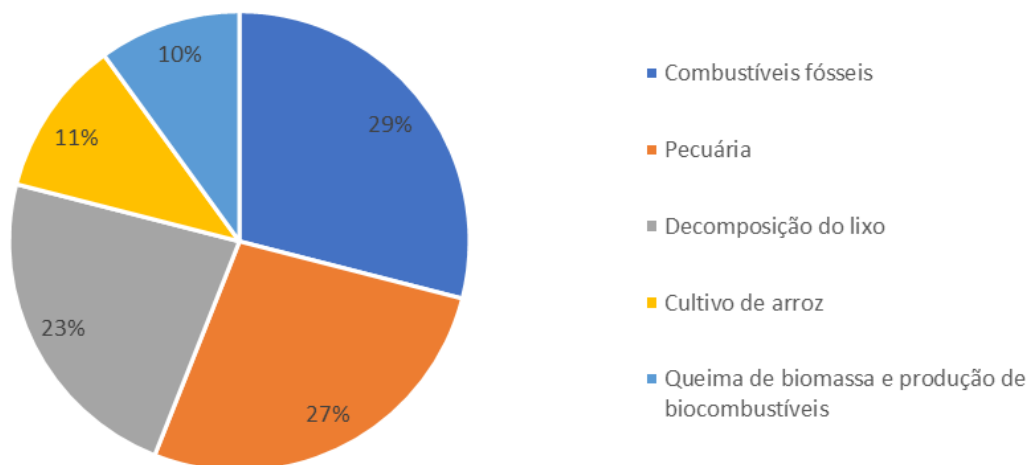
O dióxido de carbono é o gás mais comum dos GEE, suas principais liberações ocorrem pela extração e queima de combustíveis fósseis e pela atividade de desmatamento e queima de resíduos florestais. Este gás também é o mais comum a ser emitido pela humanidade, sendo que do total das emissões humanas, 76% corresponde a emissão de CO₂, deste modo, apesar de o GWP do CO₂ ser menor dos demais GEE, principalmente quando comparado ao do gás metano e ao óxido nitroso, a sua alta concentração na atmosfera faz com que este seja o gás de maior

contribuição para o efeito estufa antropogênico. Além do mais, este gás pode permanecer na atmosfera por um período de cinquenta a duzentos anos (NELLES; SERRER, 2021).

2.3.1.2 Metano (CH₄)

A emissão do gás metano ocorre a partir da decomposição de matéria orgânica em locais com ausência ou pouco oxigênio, como por exemplo os aterros sanitários. A sua emissão ocorre também da extração de combustíveis minerais e da fermentação entérica de ruminantes. A sua permanência na atmosfera é menor, uma vez que permanece por até doze anos, porém, seu potencial de aquecimento é vinte e oito vezes superior, quando comparado com o dióxido de carbono. Este gás corresponde a 16% das emissões de GEE (LAMB *et al.*, 2021). A Figura 4 apresenta as emissões de gás metano oriundo de atividades humanas.

Figura 4 - Emissões de gás metano causadas por atividades humanas.



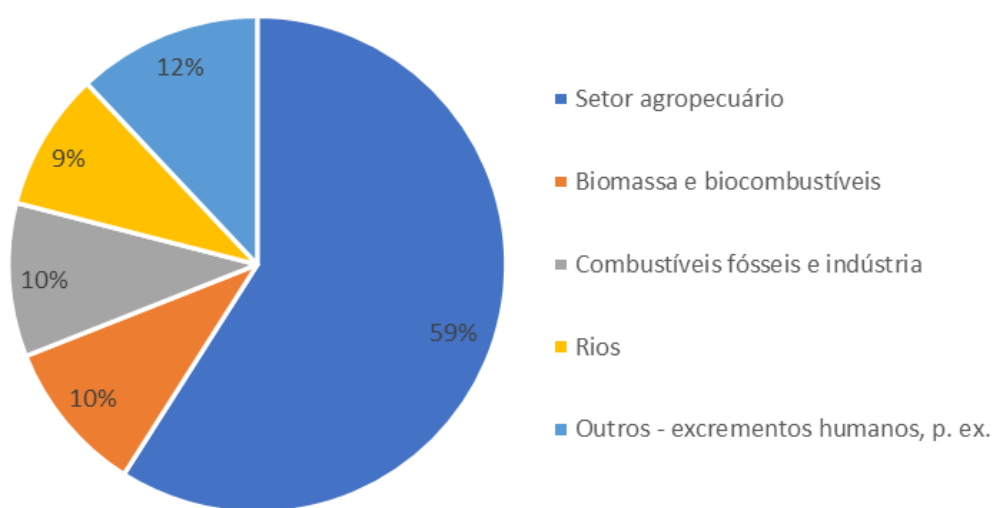
Fonte: NELLES E SERRER (2021).

2.3.1.3 Óxido nitroso (N₂O)

De acordo com Huang *et al.* (2018), o gás óxido nitroso é produzido principalmente nos solos compostos por matéria orgânica rica em nitrogênio, como os fertilizantes nitrogenados, que liberam o gás nas reações químicas com as bactérias

do solo. Este gás representa 6% das emissões humanas, porém, seu potencial de aquecimento é 265 vezes superior, comparado com o dióxido de oxigênio e sua permanência na atmosfera pode ocorrer por até 114 anos. A sua emissão está em crescimento, devido ao aumento do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura. A Figura 5 apresenta as emissões de óxido nitroso causadas por atividades humanas.

Figura 5 - Emissões de óxido nitroso causadas por atividades humanas.



Fonte: NELLES E SERRER (2021).

2.3.2 Meios de medição dos Gases de Efeito Estufa

Uma das formas mais eficazes de compreender, para posterior mitigação das mudanças climáticas provenientes da emissão de GEE por fontes antrópicas, é o ato de quantificar os GEE. A partir da possibilidade de medição destes gases é possível elaborar um plano de adaptação à mudança do clima, seja em âmbito privado, municipal, regional, federal e até mesmo mundial. Além do mais, cria-se a oportunidade de verificar se as ações elencadas para cada plano ocorrerão de forma positiva, com a diminuição dos registros de emissões (COSTA *et al.*, 2006).

Sendo assim, de acordo com Finnegan *et al.* (2018), possuir um controle efetivo sobre as emissões dos Gases de Efeito Estufa proporciona ambientes mais seguros e ecoeficientes. Após a etapa de identificação e medição com precisão das emissões, a organização tem uma visão mais clara das áreas que exigem mais atenção e ações direcionadas.

Nos tópicos abaixo serão apresentados alguns exemplos de metodologias de medição de Gases de Efeito Estufa - GEE.

2.3.2.1 Analisadores de gases

Os analisadores de gases são equipamentos capazes de quantificar os GEE presentes na atmosfera. Muitos destes medidores são altamente portáteis e, portanto, compatíveis para campanhas de medição de longo prazo em áreas remotas com pouca infraestrutura, por exemplo. O espectrômetro de absorção solar quantifica gases tais como dióxido de carbono e metano na atmosfera por meio da análise da radiação do sol utilizando o sistema CAMTracker, que é insensível a distorções, por exemplo, de nuvens ou objetos obstrutivos. Este é considerado um sistema de retroalimentação baseado em câmaras, seguindo o sol como fonte de luz e é considerado um analisador de gás atmosférico de alta precisão (BRUKER, 2022).

Outro exemplo de analisador de gases é o detector de metano remoto portátil com tecnologia de espectroscopia a laser. Este produto é utilizado para detecção de vazamento de gás metano e monitoramento de redes e instalações industriais. Produtos com esta tecnologia são passíveis de detectar vazamentos a aproximadamente 50 metros de distância, é capaz de detectar gás através de vidro, possui baixo tempo de resposta (0,1 segundos) e são equipamentos leves e fáceis de serem transportados. Existem analisadores de gases que são capazes de quantificar elementos além do metano e dióxido de carbono, sendo possível também mensurar sulfeto de hidrogênio, oxigênio, além de pressão, vazão e temperatura (ECOTEC BRASIL, 2022).

2.3.2.2 Simuladores/Softwares

A mensuração dos GEE pode ocorrer também por meio da utilização de simuladores e softwares, sendo que neste caso, há uma ampla oferta de produtos disponíveis no mercado. Normalmente este método está associado à geração automática do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, uma vez que há a inserção de dados pelo usuário, tais como fontes de emissão e dados quantitativos

iniciais e por meio de cálculos baseados em fórmulas padronizadas e dados científicos, há o resultado da mensuração. Alguns destes softwares além de dados quantitativos, apresentam também dados para a neutralização das emissões (ALVES, 2018).

Embora o monitoramento contínuo de GEE, por meio da medição direta é o método de maior exatidão, esse tipo de metodologia não é compatível com mensuração de grande escala, principalmente geográfica, quando se deseja elaborar inventários de um setor de uma cidade, por exemplo. Porém, embora o ambiente de teste controlado simule as condições reais do fato a ser estudado, os resultados de tais testes podem apenas aproximar as condições e emissões do mundo real. Sendo assim, através de um inventário de GEE elaborado por meio de simuladores/softwares de qualidade é possível obter resultados muito próximos daqueles alcançados com o monitoramento por meio de medidores (FRAY *et al.*, 2018).

Existem simuladores/softwares específicos para a determinação de fontes específicas, como por exemplo, para emissões oriundas da gestão de resíduos sólidos, de transporte, de desmatamento, de diferentes processos industriais, entre outros. Em geral os simuladores/softwares são atualizados frequentemente com dados mais atuais com o objetivo deste método possuir resultados mais compatíveis com a realidade. Estas atualizações ocorrem diante resultados de pesquisas científicas mais atuais e com dados históricos atualizados (ALVES, 2018).

2.3.2.3 Ferramentas de cálculo

Muito similar aos simuladores/softwares existem também as ferramentas de cálculo que normalmente disponibilizam planilhas, com bases de dados pré-elaboradas visando a realização do cálculo das emissões de GEE. Um exemplo muito utilizado é o GHG *Protocol*, sendo que este é um método de gestão alinhado com normas da ISO - *International Organization for Standardization*, bem como com as metodologias de mensuração de gases do IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*. A ferramenta foi desenvolvida pelo *World Resources Institute* - WRI em associação com o *World Business Council for Sustainable Development* - WBCSD em 1998 e no Brasil é utilizada a versão adaptada ao contexto nacional (GREENHOUSE GAS PROTOCOL, 2022).

Esta ferramenta consiste em planilhas (Excel) com inserção de metodologias pré definidas e fatores de emissões. A quantificação dos gases ocorre por escopos, sendo que em cada um deles encontram-se as devidas categorias a serem

identificadas e quantificadas. O recorte temporal para análise é anual, sendo esta a análise temporal utilizada em grande maioria das organizações para elaboração de seus Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Esta ferramenta é requalificada periodicamente com introdução de dados atualizados, visando a melhoria dos resultados obtidos pelos usuários (GOMES, 2020).

2.3.2.4 Satélites ambientais

Os satélites ambientais também são uma ferramenta para mensurar a emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE. Existem satélites que realizam um número elevado de imagens diárias que permite verificar o comportamento das emissões. Um exemplo desse tipo de mensuração ocorreu por meio da utilização do satélite Sentinel-5P, da ESA (Agência Espacial Europeia), que a partir da análise das milhares de imagens diárias capturadas durante 2 anos, foi possível identificar 1.800 plumas de metano em todo o mundo, das quais 1.200 foram atribuídas à extração de combustíveis fósseis. Os pesquisadores consideraram esta análise como sendo a primeira a conseguir quantificar em escala global, os volumes de emissões de metano diretamente ligadas às atividades de extração de petróleo e seus derivados (UDOP, 2022).

2.3.3 Influência dos GEE nos elementos meteorológicos

As alterações climáticas ocorrem como resultado de ajustamentos ao Desequilíbrio Energético da Terra imposta à medida que o sistema da Terra tenta restabelecer o equilíbrio radiativo (VON SCHUCKMANN *et al.*, 2016). De acordo com Moore *et al.* (2008) os aumentos antropogênicos das concentrações atmosféricas de GEE têm sido implicados nas recentes alterações climáticas, e prevê-se que tenham um impacto substancial no clima em escala global no futuro. Wang *et al.* (2010) citam que uma das alterações que pode ser elencada é a relação de absorção de radiação pela atmosfera que tem como um dos efeitos a alteração do ciclo do carbono terrestre, sendo um dos reflexos a variação nas mudanças ambientais. Segundo Von Schuckmann *et al.* (2016), o planeta Terra com o passar dos tempos passou a absorver mais energia radiante do sol e como resultado tem-se o acúmulo de calor nos sistemas terrestres.

A absorção de radiação pela atmosfera acarreta no aumento da temperatura

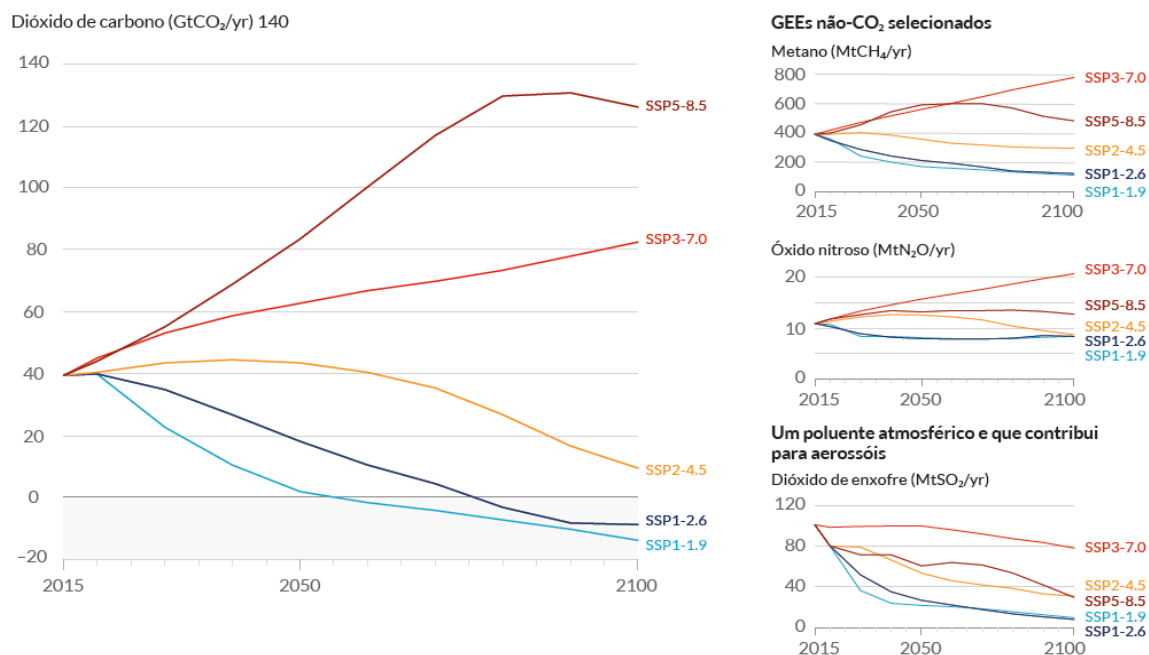
da Terra, que tem como consequências o acréscimo de temperatura nas águas superficiais, que está associado ao aumento de umidade do ar, ocasionando deste modo, na alteração da circulação atmosférica tendo efeitos sobre pressão atmosférica e ventos. Sendo assim, é possível afirmar que, na grande maioria dos biomas, diante do acréscimo da temperatura do ar, faz com que haja o aumento da concentração do vapor de água, intensificando o efeito estufa e acarretando em alterações em demais elementos meteorológicos (LUIZ, 2022).

Os efeitos oriundos da emissão de GEE podem ocorrer de forma direta e de forma indireta sobre as variáveis climáticas. A alteração da umidade em decorrência das emissões de GEE pode acarretar em alterações nos regimes de chuva, na sensação térmica e nas temperaturas. Os locais que possuem maior umidade tendem a possuir maiores regimes de chuva, uma vez que a saturação do ar provoca de maneira mais constante a sua condensação (LUIZ, 2022; IUCN, 2016).

A determinação da influência dos GEE nos elementos meteorológicos é determinada em muitos casos por meio de modelos climáticos. Estes modelos utilizam de equações para simular as características e compartimentos da Terra e apresentar respostas a respeito da influência dos GEE sobre diferentes elementos, tais como: temperatura, vento, pressão atmosférica e umidade.

O sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2021) apresentou um conjunto de cinco cenários ilustrativos que apresentam a resposta do clima em relação à uma maior introdução de GEE na atmosfera, oriundos da projeção do uso da terra e da poluição do ar. Esse conjunto de cenários norteia os modelos de projeções da mudança do clima no sistema climático, sendo que foi considerada a atividade solar e a forçante negativa de vulcões. O relatório apresenta os resultados para três períodos distintos de tempo, sendo eles categorizados como: curto prazo (2021–2040), meio prazo (2041–2060) e longo prazo (2081–2100). A Figura 6 apresenta os resultados dos cenários estudados.

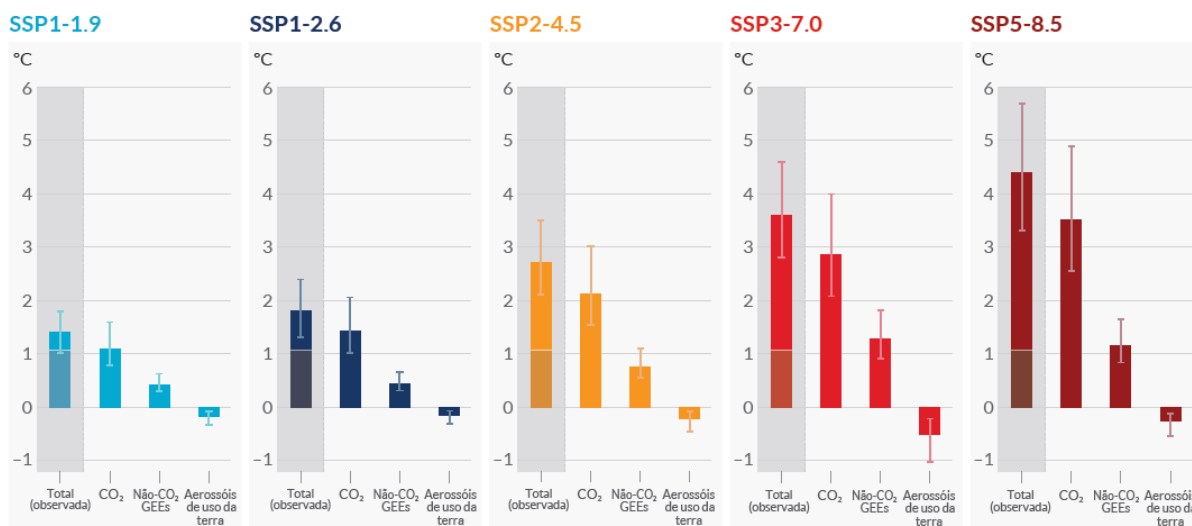
Figura 6 - Futuras emissões anuais de dióxido de carbono (à esquerda) e de um subconjunto dos demais principais gases não- CO_2 (à direita), nos cinco cenários analisados.



Fonte: IPCC (2021).

O relatório apresenta também gráficos de cada cenário estudado contendo as mudanças na temperatura da superfície global em 2081-2100 em relação a 1850-1900 ($^{\circ}\text{C}$). A Figura 7 apresenta o conteúdo mencionado.

Figura 7 - Contribuição para o aumento da temperatura da superfície global a partir de diferentes emissões, com papel dominante das emissões de dióxido de carbono.



Aquecimento total (em cores escuras: o aquecimento observado até o momento), aquecimento por CO_2 , aquecimento por GEE não- CO_2 e resfriamento por mudanças causadas por aerossóis e uso da terra

Fonte: IPCC (2021).

Em forma de sintetizar os resultados obtidos no relatório, no documento é apresentada uma tabela (Tabela 1) contendo a influência na temperatura em curto, médio e longo prazo dos modelos.

Tabela 1- Mudanças na temperatura da superfície global nos cenários ilustrados para curto, médio e longo prazo.

Cenário	Curto prazo, 2021–2040		Médio prazo, 2041–2060		Longo prazo, 2081–2100	
	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 a 1,7	1,6	1,2 a 2,0	1,4	1,0 a 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 a 1,8	1,7	1,3 a 2,2	1,8	1,3 a 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 a 1,8	2,0	1,6 a 2,5	2,7	2,1 a 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 a 1,8	2,1	1,7 a 2,6	3,6	2,8 a 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 a 1,9	2,4	1,9 a 3,0	4,4	3,3 a 5,7

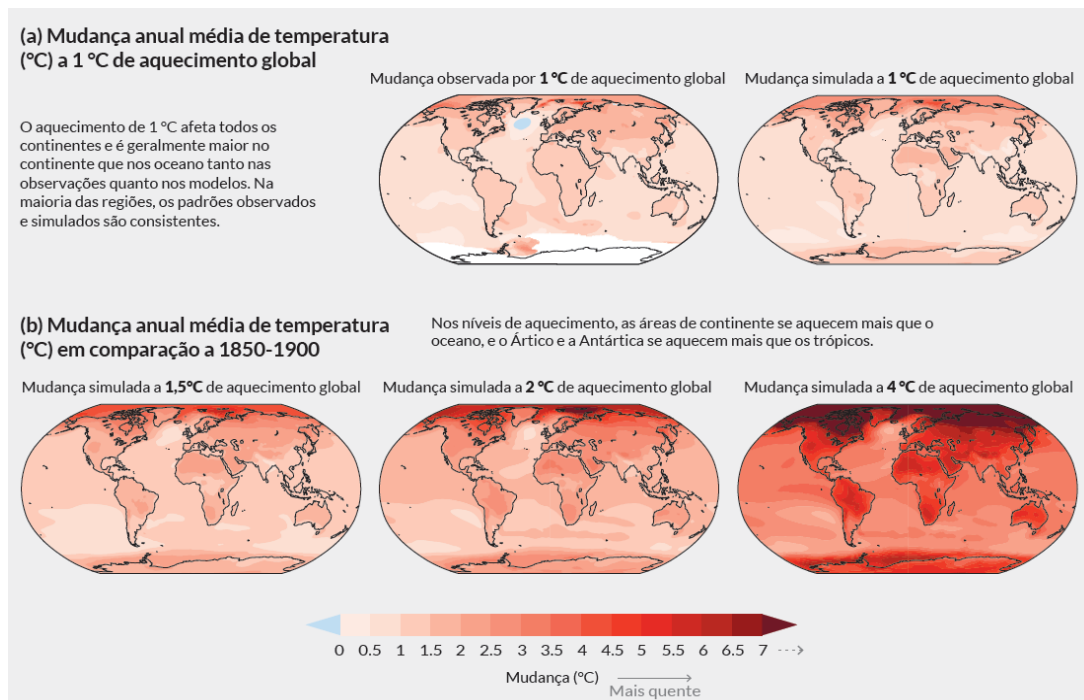
Fonte: IPCC (2021).

Verifica-se, segundo IPCC (2021) que, a partir dos resultados obtidos com a simulação dos cenários ilustrados:

o aquecimento global de 2°C seria excedido durante o século XXI nos cenários de emissões altas e muito altas de GEE considerados no relatório (SSP3-7.0 e SSP5-8.5, respectivamente). É ‘muito provável’ que o aquecimento global de 2°C seja excedido no cenário intermediário (SSP2-4.5). Nos cenários de emissões baixas e muito baixas de GEE, é ‘extremamente improvável’ que o aquecimento de 2°C seja excedido (em SSP1-1.9), ou ‘improvável’ de ser excedido (em SSP1-2.6). É ‘muito provável’ que o aquecimento global de 2°C seja ultrapassado no período considerado como médio prazo (2041–2060) no cenário de emissões muito altas de GEE (SSP5-8.5), ‘provável’ de acontecer no cenário de emissões altas (SSP3-7.0), e ‘mais provável’ que ‘improvável’ de acontecer no cenário de emissões intermediárias (SSP2-4.5).

Ainda segundo o sexto relatório do IPCC (2021), pode-se afirmar que é praticamente certo que a superfície terrestre continuará a aquecer mais que a superfície dos oceanos (provavelmente de 1,4 a 1,7 vezes mais). Além do mais, teve-se também como resultado que é ‘praticamente certo’ que o Ártico vai continuar a aquecer acima da temperatura da superfície global, com confiança alta de que será acima de duas vezes a taxa de aquecimento global. A Figura 8 apresenta o mencionado e ilustra o impacto no planeta Terra em relação ao acréscimo de 1°C, 1,5°C, 2°C e 4°C.

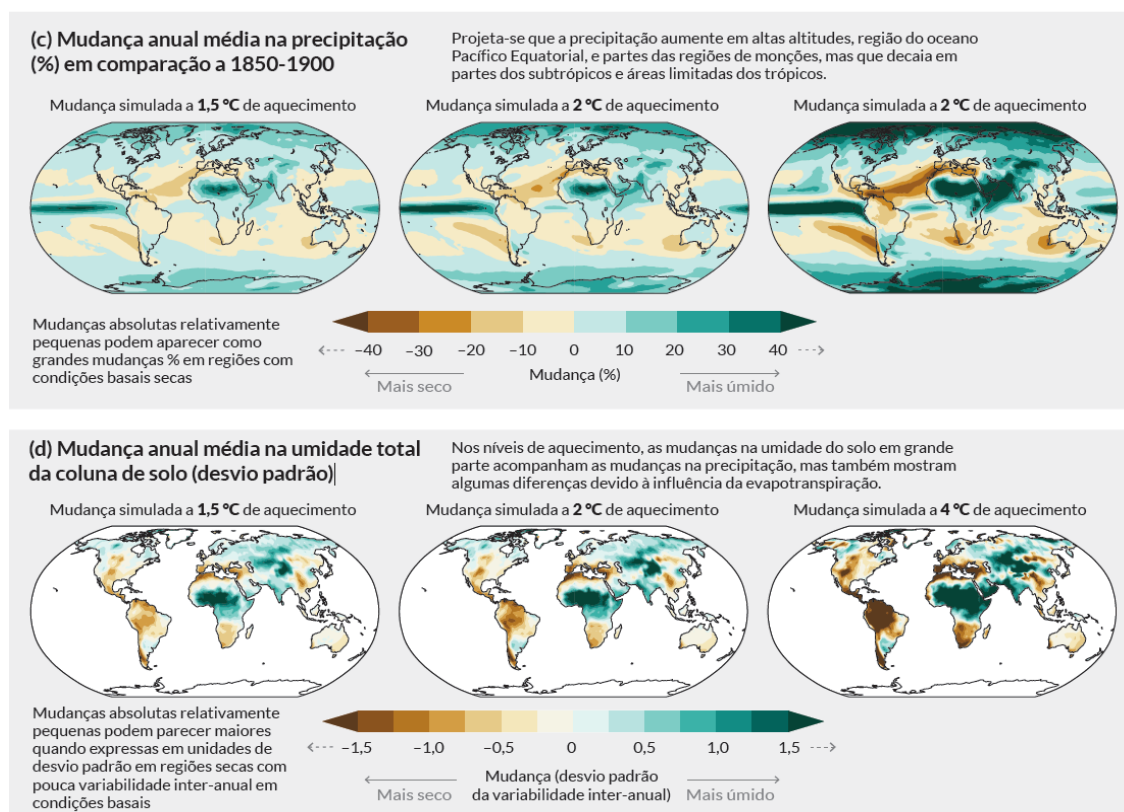
Figura 8 - Ilustração apresentando a tendência em relação ao incremento de temperatura (°C) no planeta Terra.



Fonte: IPCC (2021).

É ilustrado também a tendência da mudança anual média na precipitação (%) em comparação a 1850-1900 e a mudança anual média na umidade total da coluna de solo (desvio padrão), conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Ilustração apresentando a tendência da precipitação e da umidade total da coluna de solo a partir do incremento do aquecimento global.



Fonte: IPCC (2021).

Observa-se que nas altas latitudes, região do oceano Pacífico Equatorial e parte das regiões de monções há o aumento de precipitação, porém, observa-se também que nos subtropicais e áreas limitadas dos trópicos há o decaimento da precipitação. Em relação a umidade do solo verifica-se que em grande parte as alterações são similares a tendência encontrada para a precipitação, sendo que as diferenças estão relacionadas à influência da evapotranspiração (IPCC, 2021).

2.4 LEI DE MOBILIDADE URBANA

A Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada como Estatuto da Cidade, regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências, tem o objetivo de garantir o direito à cidade como um dos direitos fundamentais das pessoas, para que todos tenham acesso às oportunidades que a vida urbana oferece. O Estatuto da Cidade estabelece que a política urbana deva ser objeto de um planejamento extensivo, envolvendo planos de ordenamento do território integrados entre si, nas escalas nacional, estaduais, regionais, metropolitanas, municipais e intermunicipais. Especificamente

no âmbito municipal, a lei detalha que o planejamento municipal deva envolver o planejamento urbano, ambiental, orçamentário, setorial e o planejamento do desenvolvimento econômico e social, especificando também que a gestão orçamentária deve ser feita de forma participativa, aberta a todos os cidadãos.

Entretanto, o Estatuto da Cidade não dispõe diretamente sobre mobilidade urbana, ela estabelece apenas em seu Art. 41, inciso VI, parágrafo 2º que as cidades com mais de 500 mil habitantes devem elaborar um plano de transporte urbano integrado, compatível com o Plano Diretor ou nele inserido. Posterior a esta lei foi, diante da escassez de conteúdo em relação a este tema no Estatuto da Cidade, elaborou-se a Lei n. 12.587/2012, conhecida como Política Nacional de Mobilidade Urbana. Ela não possui apenas informações sobre as cidades que possuem a obrigatoriedade de elaborar planos, mas também, de detalhar o conteúdo mínimo e informações necessárias para estes planos.

Sendo assim, a Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012 institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências.

Em seu Art. 1º a lei define que:

A Política Nacional de Mobilidade Urbana é instrumento da política de desenvolvimento urbano de que tratam o inciso XX do art. 21 e o art. 182 da Constituição Federal, objetivando a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do Município.

As diretrizes da política estão informadas no Art. 6º da lei, sendo elas:

- I - integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos;
- II - prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;
- III - integração entre os modos e serviços de transporte urbano;

IV - mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade;

V - incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;

VI - priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado; e

VII - integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.

VIII - garantia de sustentabilidade econômica das redes de transporte público coletivo de passageiros, de modo a preservar a continuidade, a universalidade e a modicidade tarifária do serviço. (Incluído pela Lei nº 13.683, de 2018).

É visível, principalmente no conteúdo elencado nas diretrizes II, IV, V e IV a causa ambiental envolvida nesta lei, bem como quando analisado os princípios da lei, na qual determina em seu Art. 5º, inciso II: “desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais” e o objetivo no Art. 7º, inciso IV: “promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades”.

Um dos instrumentos de efetivação da Política Nacional de Mobilidade Urbana é o Plano de Mobilidade Urbana - PMU, conforme determinado no Art. 24 da lei, e que determina que este plano deverá contemplar os princípios, os objetivos e as diretrizes, bem como demais conteúdos listados nos incisos I a XI do referido artigo.

No parágrafo 1º, do inciso XI, do Art. 24 são determinadas as características dos municípios que possuem obrigatoriedade de elaboração do plano, sendo elas:

I - com mais de 20.000 (vinte mil) habitantes; (Incluído pela Lei nº 14.000, de 2020)

II - integrantes de regiões metropolitanas, regiões integradas de desenvolvimento econômico e aglomerações urbanas com população total superior a 1.000.000 (um milhão) de habitantes; (Incluído pela Lei nº 14.000, de 2020)

III - integrantes de áreas de interesse turístico, incluídas cidades litorâneas que têm sua dinâmica de mobilidade normalmente alterada nos finais de semana, feriados e períodos de férias, em função do aporte de turistas, conforme critérios a serem estabelecidos pelo Poder Executivo. (Incluído pela Lei nº 14.000, de 2020)

2.5 PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE

Diante do conteúdo da Lei de Mobilidade Urbana, em específico neste caso nas características de obrigatoriedade de elaboração do PMU, observa-se que o município de Brusque/SC, objeto de análise do presente estudo, se enquadra como sendo um município que possui a necessidade de elaboração do PMU, visto possuir mais de 20.000 habitantes.

O PMU do município foi realizado em atendimento ao Contrato n°. 083/2018 e ao Termo de Referência correspondente e foi elaborado com a colaboração do Núcleo Técnico do Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE em parceria com a equipe da Secretaria de Trânsito e Mobilidade de Brusque - SETRAM. O documento foi entregue pela contratada no ano de 2020, porém, até a finalização do presente estudo, ainda não havia sido aprovado pela Câmara de Vereadores do município, ou seja, ainda não foi iniciada a sua execução.

Para a elaboração do PMU foi necessário a obtenção de dados primários e secundários. Os dados primários foram obtidos por meio de distribuição de questionários para a população brusquense, realização de oficinas comunitárias, contagem de fluxos de veículos (meio de quadras e intersecções), levantamento de itinerários de transporte público, mapeamento *in loco* por meio do uso de GPS, mapeamento dos pontos de paradas e lentidão do transporte público e de ciclovias/ciclofaixas e estacionamentos. Já as fontes dos dados secundários foram: dados históricos de Brusque, referências teóricas no campo de mobilidade, consultas em sites oficiais, dados sociais obtidos com a Prefeitura Municipal de Brusque, IBGE e SEBRAE e dados em gerais adquiridos em contato com o Departamento Estadual de Trânsito - DETRAN, Secretaria de Trânsito e Mobilidade Urbana - SETRAM e Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN.

A criação do plano foi dividida em três fases, sendo que a primeira fase focou na mobilização e levantamento de dados e modelo inicial, identificando os principais problemas existentes, sob a ótica do usuário, do poder público, das agências reguladoras e dos operadores de transporte público. A segunda fase se refere à realização de Diagnóstico e Prognóstico. Nesta fase, além da pesquisa de campo, foi realizada a consolidação do diagnóstico da situação atual de mobilidade urbana na região metropolitana e a projeção de demanda por mobilidade (com base na pesquisa de campo). Foram realizadas atividades que possibilitaram a capacitação dos

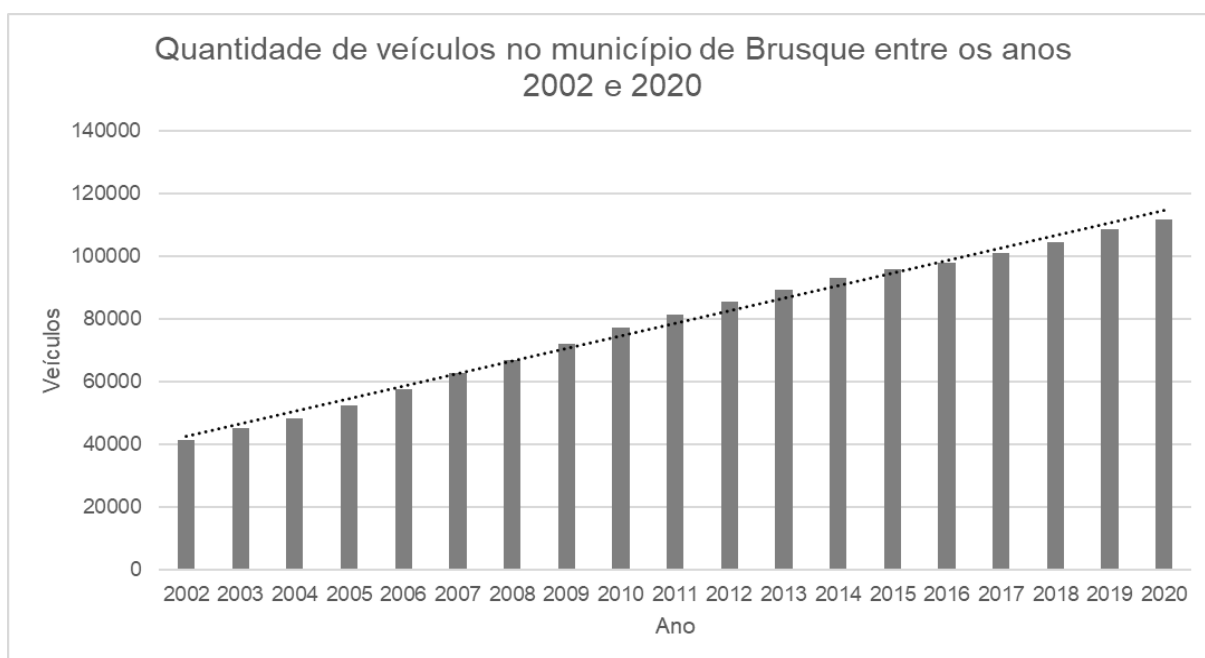
profissionais selecionados pelo cliente quanto a ferramentas (incluindo *hardwares* e *softwares*), técnicas e metodologias aplicadas na consolidação das informações e etapas de modelagem (UNIFEBE, 2020).

Por fim, a terceira fase se refere às estratégias de ação e tratou da parte analítica do projeto. Principalmente nesta fase, a existência de um corpo técnico estável e qualificado, por parte do cliente, foi requisito essencial para uma adequada transferência de tecnologia e conhecimento. Ao fim destas etapas, foi proposta a minuta do PMU de Brusque (UNIFEBE, 2020).

2.5.1 Diagnóstico da situação atual - gerado pelo PMU Brusque

Como a maior parte das cidades do Brasil, Brusque vem sofrendo com o crescimento acelerado da população e com a frota de veículos, ocasionando tráfego intenso e limitação de capacidade nas vias existentes. De acordo com o Departamento Estadual de Trânsito - DETRAN, no fim do ano de 2020 a cidade de Brusque possuía uma frota de 112.030 veículos, sendo que o meio de transporte mais utilizado pela população é o automóvel particular. Analisando estes dados, verifica-se que a cidade possui 0,797 veículos por habitantes, sendo que de acordo com Observatório das Metrópoles (2019), a média brasileira é de 0,297 veículos por habitantes.

A Figura 10 apresenta a evolução da quantificação dos veículos entre o período de 2002 a 2020 na cidade de Brusque/SC. Neste período de dezoito anos houve um incremento de 37% da frota brusquense, sendo que a população do município aumentou 57%.

Figura 10 - Quantidade de veículos no município de Brusque entre os anos 2002 e 2020.

Fonte: adaptado de DETRAN (2022).

De acordo com UNIFEBE (2020), esta elevada taxa de veículos na cidade acarreta em diversos problemas na mobilidade urbana do município, bem como ocasiona o esgotamento da capacidade dos corredores e vias existentes para o tráfego de veículos. Além da taxa elevada, o Plano de Mobilidade Urbana da cidade elencou outros fatores que contribuem para intensificar a problemática, listados a seguir:

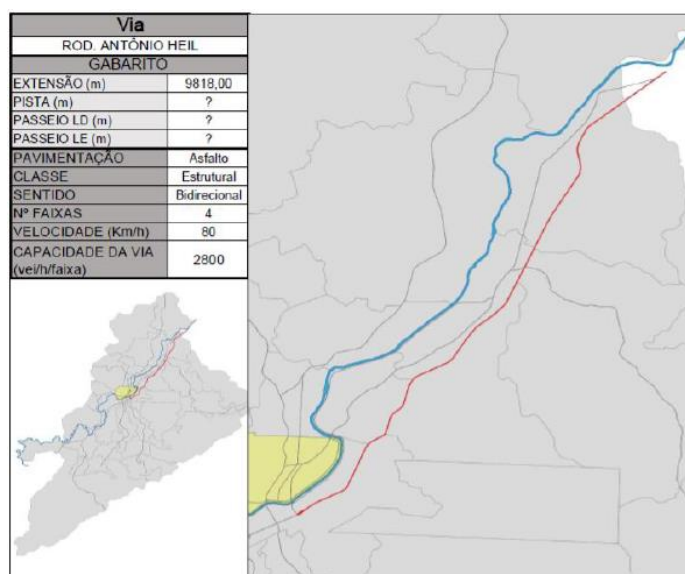
- O sistema viário de Brusque, em sua maioria, é composto por vias com caixas estreitas, articulando-se com poucas avenidas, que fazem a conexão entre os bairros;
- As avenidas importantes e de maior fluxo de tráfego, em muitos casos, permeiam as áreas centrais, sobrecarregando o movimento no local;
- Existem ainda também as barreiras naturais existentes no município, como por exemplo, os corpos hídricos abrangendo desde o Rio Itajaí-Mirim até mesmo os ribeirões menores existentes;
- A cidade possui inúmeras empresas, porém é inexistente uma legislação urbanística que norteie o local de implantação dos empreendimentos. Deste modo, há diferentes centros industriais, além de empresas isoladas, que acarretam na locomoção de veículos pesados em grande parte da cidade, abrangendo vias arteriais, coletoras e até em alguns casos, em vias locais;

- Devido à permanência de veículos pesados em diferentes áreas da cidade, ocorre a diminuição da velocidade das vias e, conseqüentemente, demais problemas;
- A lentidão das vias também está relacionada com a estrutura de estacionamentos da cidade. As áreas para esta finalidade são restritas e se limitam a faixa de via pública, paralela à guia e aos recuos frontais de algumas construções comerciais.

Em relação aos veículos de carga o PMU apresentou que há poucas informações sobre este modal. No entanto, registra que há um intenso fluxo de caminhões com destino a Brusque, utilizando a cidade como rota para outros destinos. O PMU apresentou o dado de que cerca de 80 carretas saem do município de Botuverá e passam diariamente por Brusque, com containers e outros materiais, trafegando pelas áreas urbanas do município.

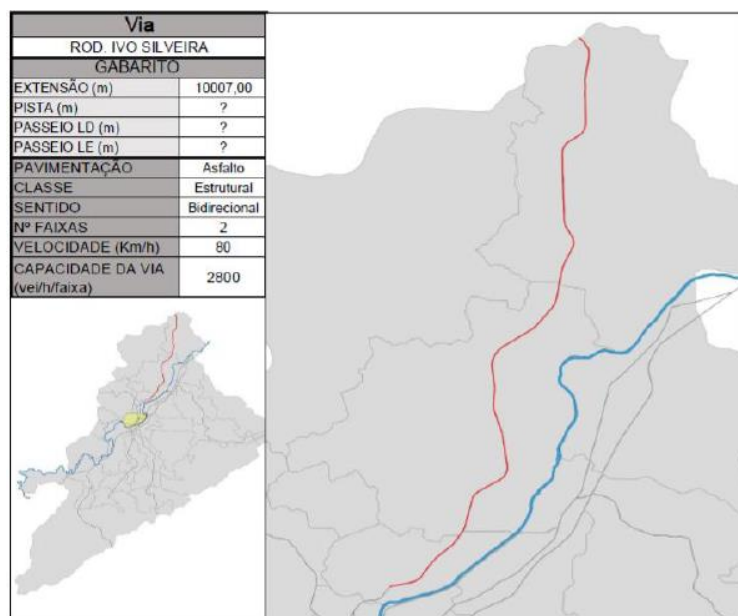
As principais vias utilizadas por caminhões são as Rodovias Antônio Heil (Figura 11) e Ivo Silveira (Figura 12), Rua Frederico Petrusky (Figura 13) – Rua General Osório (Figura 14), Rua Hugo Schlosser e a Avenida Bepe Roza/Beira Rio (Figura 15) sendo, esta última, de uso preferencial em virtude de menor quantidade de obstáculos, interferências e cruzamentos na via. Foi constatado que a porcentagem de veículos pesados é baixa na cidade, no entanto, o modo que os caminhões circulam nas vias, sua baixa velocidade e espaço que ocupam, os tornam bastante importantes para consideração de mobilidade na cidade.

Figura 11 – Caracterização da Rodovia Antônio Heil.



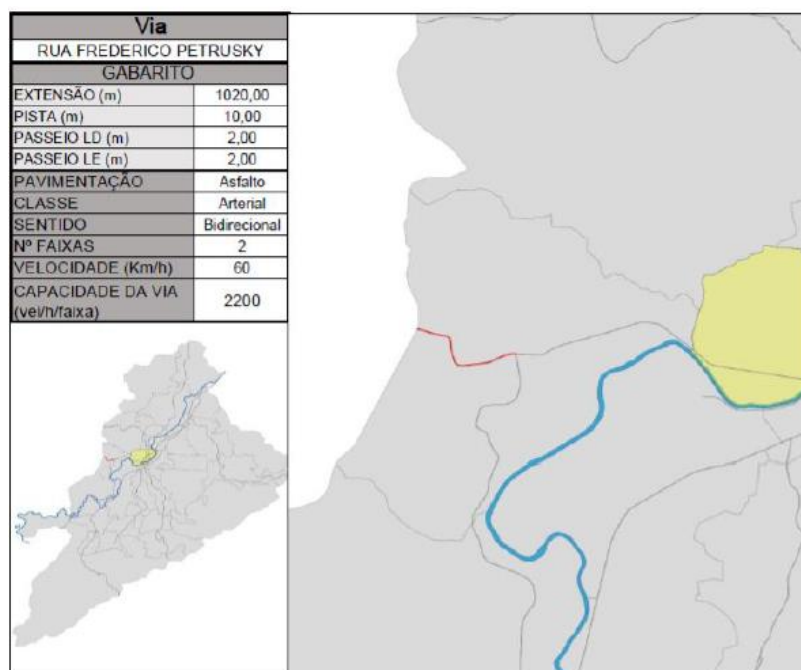
Fonte: UNIFEBE (2020).

Figura 12 – Caracterização da Rodovia Ivo Silveira.

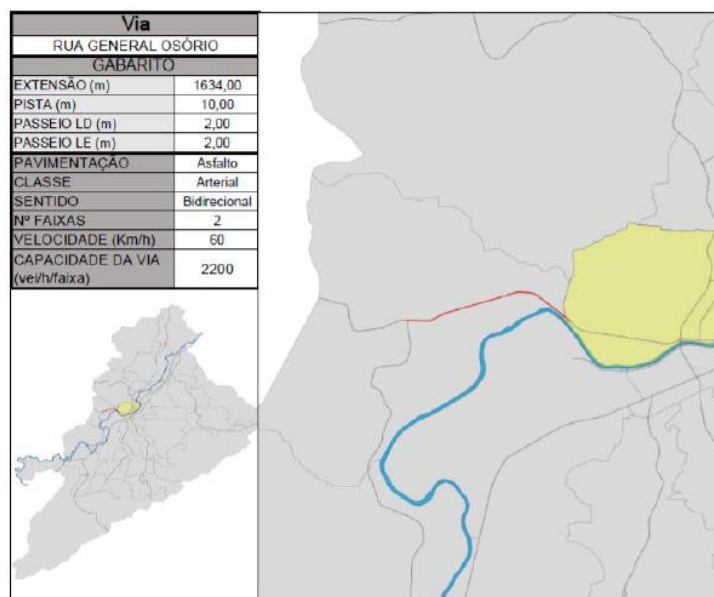


Fonte: UNIFEBE (2020).

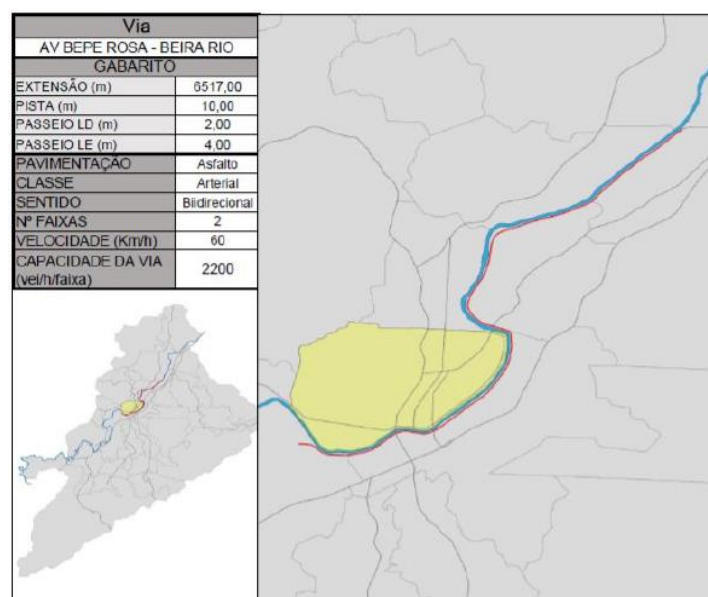
Figura 13 – Caracterização da Rua Frederico Petrusky.



Fonte: UNIFEBE (2020).

Figura 14 – Caracterização da Rua General Osório.

Fonte: UNIFEBE (2020).

Figura 15 – Caracterização da Rua General Osório.

Fonte: UNIFEBE (2020).

No que se refere aos estacionamentos o PMU apresentou que o bairro Centro 1 é o local com maior demanda de estacionamentos de veículos, devido, principalmente, ao grande número de comércios e serviços prestados nesta região. Foi registrado a presença de nove trechos onde há a implantação de estacionamento público e dezenove locais destinados a estacionamento privado, todos localizados no bairro Centro 1.

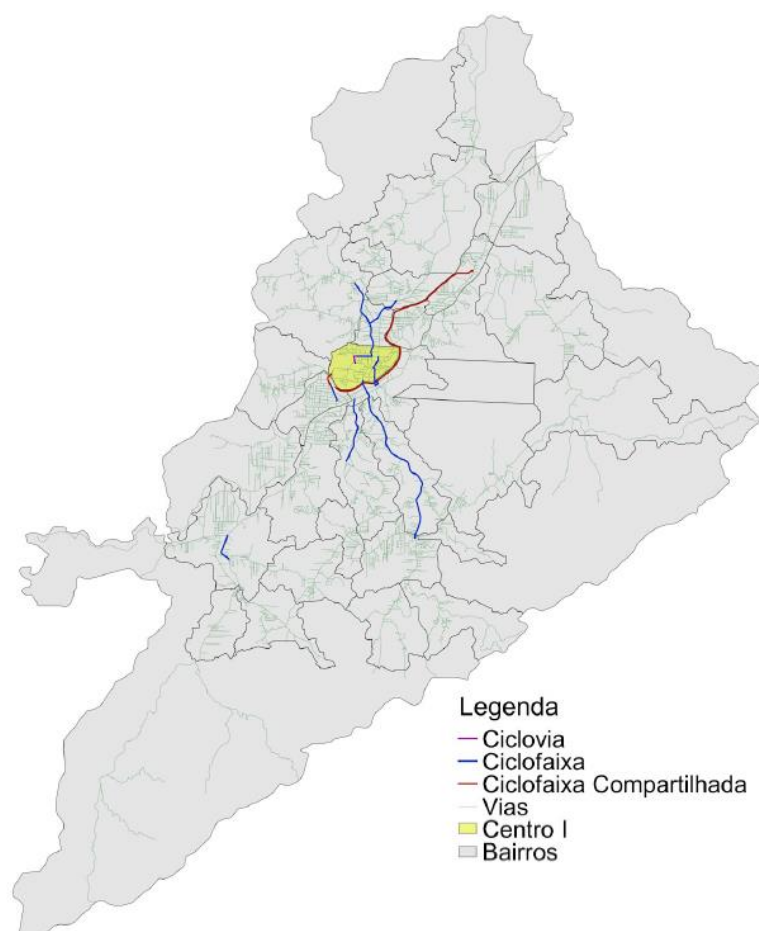
Observou-se que os maiores fluxos de veículos ocorrem nos horários de pico,

normalmente entre o período das 07h às 08h, 12h às 13h e das 17h às 18h, durante os dias úteis. A região central da cidade apresenta o maior número de congestionamento, em todos os acessos. As vias artérias responsáveis pela ligação entre os bairros também apresentam lentidão nesses horários, sendo que aos sábados de manhã, o fluxo de veículos também se mantém alto nas mesmas regiões, reduzindo no período da tarde. Afirma-se que, diante das análises realizadas, um dos fatores responsáveis pelo alto congestionamento na cidade é a ausência de rotas de acesso. Em algumas regiões, existem diferentes rotas para acessar outros locais, porém não há o uso dessas vias, atentando o fluxo sempre nas mesmas regiões. Observa-se também que as áreas com maior concentração de viagens internas realizadas por transporte privado estão nos Bairros Águas Claras e Centro.

Quando analisado o transporte público do município detecta-se que o ônibus é o principal modal de transporte coletivo utilizado pela população. No momento da elaboração do diagnóstico foram identificadas 72 linhas principais sobre as quais podem ocorrer pequenas variações em horários dos dias, ou em épocas do ano, como horários extras em períodos escolares. Este setor apresenta constantes contestações devido a não contemplação da real demanda de linhas e horários dos munícipes. Diante deste fato, o PMU detectou no decorrer dos anos a queda do número de usuários transportados, no mesmo tempo em que o número de veículos registrados na cidade cresceu exponencialmente. Em relação aos fluxos de deslocamento por transporte público coletivo tendo como objetivo a alteração de bairros, observou-se uma maior concentração nos bairros Paquetá, Souza Cruz, Primeiro de Maio e Limeira. Já em relação a viagens internas identificou-se a maior demanda nos bairros Santa Luzia, Águas Claras, Primeiro de Maio e Azambuja.

Por meio da análise da situação do transporte cicloviário da cidade, foram registradas 18 rotas de ciclovias, consideradas bidirecionais, sendo 17 rotas na configuração ciclofaixa, 3 rotas passeio compartilhado e 1 rota ciclovia, sendo que não há nenhuma ciclorrota na cidade. A maior concentração de fluxos de deslocamento através de bicicletas acontece na área rural da Limeira, bairros Poço Fundo, Santa Luzia, Águas Claras e Limeira. As viagens internas (entre o mesmo setor censitário) com uso de bicicletas se dão nos bairros São João, Thomaz Coelho, Limeira, Nova Brasília, São Pedro, Bateas e Souza Cruz e Paquetá (Figura 16).

Figura 16 – Mapa das ciclofaixas existentes em Brusque registradas no PMU.



Fonte: UNIFEBE (2020).

Em relação à circulação de pedestres, a falta de arborização viária na cidade, a ausência de padronização de materiais e a má conservação das calçadas, a ausência de sinalização (piso podotátil), a ausência de rebaixamento da guia para facilitar o acesso de pedestre e a ausência de calçadas em alguns pontos da cidade, dificultam este tipo de circulação.

Em síntese, diante da elaboração do diagnóstico da mobilidade urbana do município de Brusque, por meio da confecção do PMU, identificou-se uma série de problemáticas necessárias a serem analisadas e resolvidas, visando a constante e crescente demanda dos munícipes.

3 METODOLOGIA

O presente estudo utilizou o Programa Brasileiro GHG *Protocol* que é uma iniciativa da GVces (Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas) para registro e publicação de Inventários de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE, em inglês, GHG – *GreenHouse Gases*), através de uma plataforma de Registro Público de Emissões. O seu padrão de quantificação dos gases é compatível com norma ISO 14.064 que especifica princípios e requisitos no âmbito da organização para a quantificação e para a elaboração de relatórios de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE).

O objetivo do programa é estimular governos, associações industriais, ONGs, empresas e outras organizações a compreenderem, quantificarem e gerenciarem as suas emissões de GEE. Esta metodologia é adaptada pela criada pelos Estados Unidos da América (EUA) no ano de 1998 e atualmente é o método mais utilizado em nível mundial para análise e controle de emissões de GEE. No ano de 2016, 92% das empresas da *Fortune 500* utilizaram o GHG Protocol de forma direta ou de forma indireta por meio de algum programa similar baseado na ferramenta para poderem responder ao questionário da CDP - *Disclosure Insight Action*, sendo esta é uma instituição sem fins lucrativos que administra o sistema de divulgação global para investidores, empresas, cidades, estados e regiões para gerenciar seus impactos ambientais.

Este programa estabelece diretrizes para elaboração de um inventário de GEE, identifica os gases que devem ser mensurados e reportados, e os princípios da relevância, integralidade, consistência, transparência e exatidão que um inventário deve conter (GHG PROTOCOL, 2022).

A metodologia é modular, flexível e foi construída com base em amplos processos de estudos e de consulta pública, sendo que a ferramenta é constantemente atualizada é a versão utilizada para o presente estudo foi a versão do ano de 2022.

O desenvolvimento do estudo foi dividido em 4 etapas:

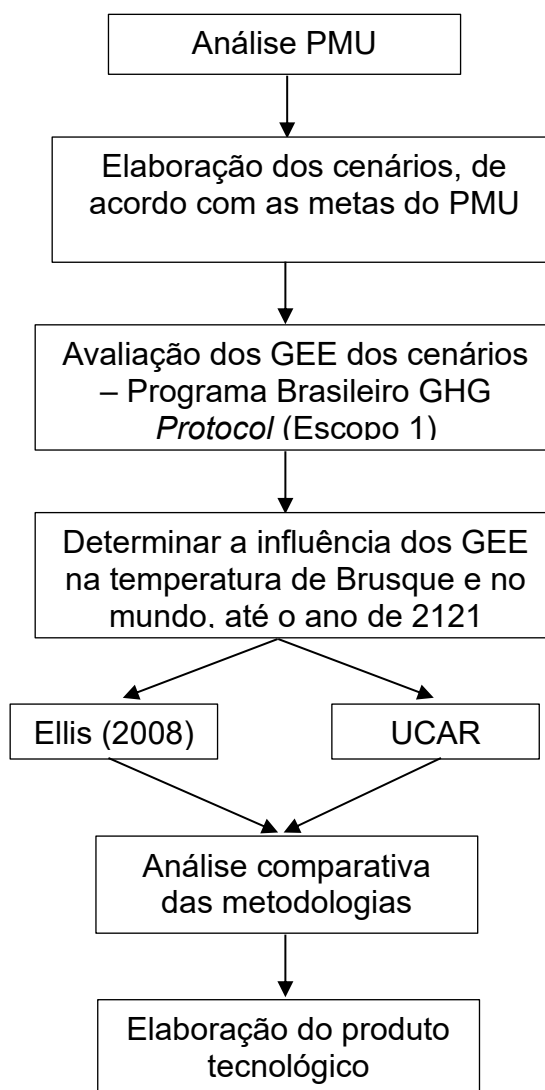
- Etapa 1: Analisar os cenários baseados nas fases de implantação do Plano de Mobilidade Urbana - PMU;
- Etapa 2: Avaliar a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE dos cenários por

meio da utilização do Programa Brasileiro GHG *Protocol*;

- Etapa 3: Determinar a influência dos gases de efeito estufa na variação da temperatura do município de Brusque e na esfera global, até o ano de 2121;
- Etapa 4: Proporcionar o fornecimento de informações relacionadas a emissão de GEE oriundas do transporte do município de Brusque e do PMU ao público em geral.

A Figura 17 apresenta o fluxograma das etapas que constituíram a elaboração da presente pesquisa.

Figura 17 – Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Nos tópicos a seguir são apresentados o detalhamento metodológico de cada uma dessas etapas.

3.1 PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS BASEADOS NAS FASES DE IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE MOBILIDADE URBANA

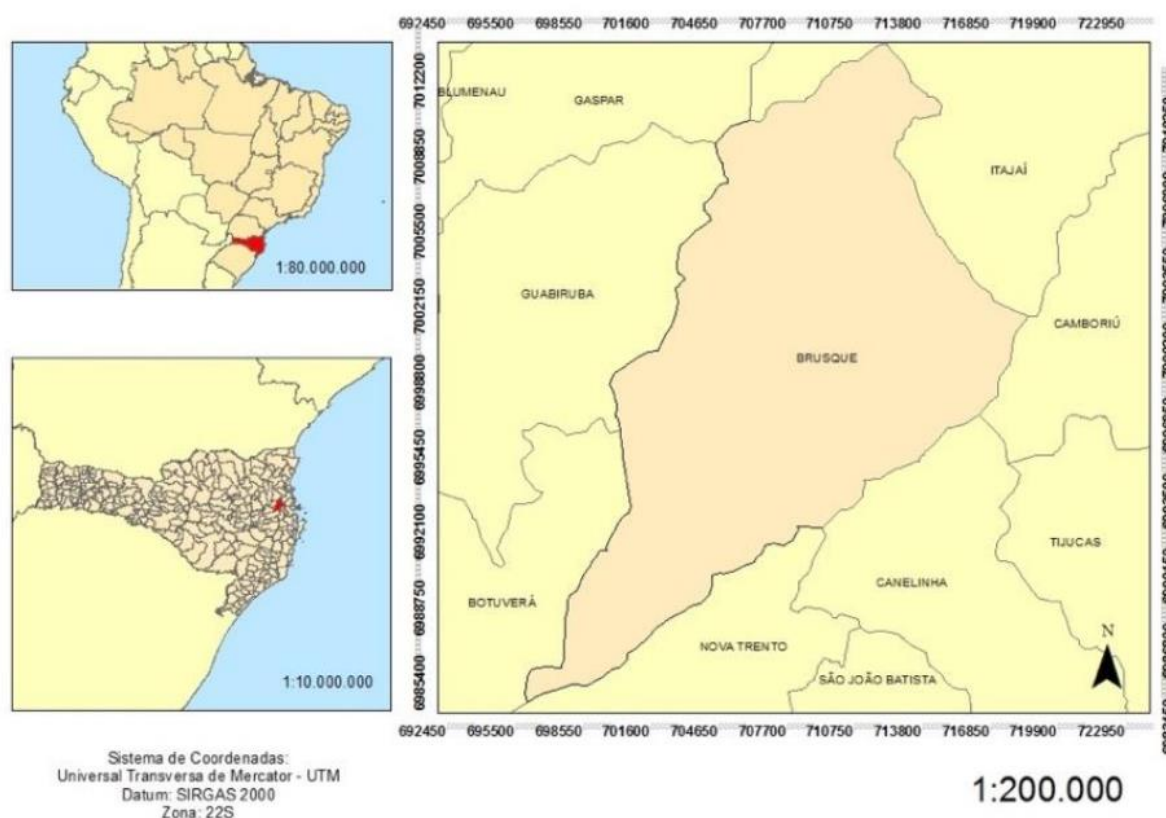
3.1.1 Área de estudo

A área de estudo da presente pesquisa foi o município de Brusque. O município de Brusque localiza-se no estado de Santa Catarina, na latitude 27°05'53" sul e longitude 48°55'03" oeste e pertence à região do Vale do Itajaí, tendo como municípios limítrofes: Guabiruba, Gaspar, Botuverá, Nova Trento, Canelinha, Camboriú e Itajaí. O município pertence à bacia hidrográfica do rio Itajaí-Mirim, a qual encontra-se inserida na Região Hidrográfica RH-7. Sua área territorial é de 283 km² e sua população de acordo com a estimativa populacional realizada pelo IBGE no ano de 2021 é de 140.597 habitantes, sendo considerado o 12º município mais populoso do estado de Santa Catarina (SEBRAE, 2019). A sua densidade demográfica é de aproximadamente 372,51 habitantes por km² e 96,7% da população reside em área urbana.

De acordo com SEBRAE (2019), o Índice de Desenvolvimento Humano - IDHM da cidade é de 0,795 (14º colocado catarinense), classificado pelo PNUD como sendo um IDHM alto. O PIB no ano de 2019 foi de R\$ 6,93 bilhões (9º posição em Santa Catarina), sendo que 0,1% do PIB brusquense está relacionado à agropecuária, 32,9% à indústria, 9,8% ao comércio, 30,2% ao segmento de prestação de serviços, 10,5% à administração pública e 16,5% aos impostos. O PIB per capita no ano de 2019 foi de R\$ 51.452,46.

A Figura 18 apresenta a localização do município de Brusque, inserido no estado de Santa Catarina.

Figura 18 - Localização do município de Brusque/SC.



Fonte: Bozio e Reginato (2021).

A altitude do município varia entre 20 metros acima do mar a 940 metros (Figura 19), sendo que o relevo do município é caracterizado como sendo em formato de vale, acarretando em uma bacia de drenagem tipicamente dendrítica, cujas água dos afluentes vertem para o principal rio da cidade, sendo este o Rio Itajaí-Mirim, que possui o curso d'água no sentido sudoeste-nordeste. Próximo a este rio existem áreas de relevo plano, local no qual está inserido o centro do município, porém, a ocupação com finalidade residencial com o passar dos anos passou a ter uma tendência de ocupar bairros com áreas mais elevadas, com o objetivo de evitar áreas de inundações nos períodos de maior intensidade de pluviosidade (JÚNIOR, 2007).

no PMU do município de Brusque/SC o qual apresenta metas para diferentes tipos de meio de transportes analisados. Além disso, as metas são estabelecidas em diferentes intervalos de tempo, incluindo dados de potencial de redução de GEE, sendo estes utilizados para o presente estudo.

O estabelecimento dos cenários foi construído propondo a associação dos principais tipos de transportes utilizados na cidade e analisados pelo PMU, sendo eles: transporte coletivo (Ônibus e Microônibus); motorizado individual (Automóveis, Camionetes, caminhonetes e utilitários, Motocicletas e motonetas); bicicletas e caminhadas, bem como, metas para os anos 2020 (ano base do estudo), 2022, 2024, 2026, 2028 e 2030, como forma de estender a análise para dez anos após sua elaboração, visto que a Lei nº 12.587/2012 determina que a sistemática de avaliação, revisão e atualização periódica do Plano de Mobilidade Urbana em prazo não superior a 10 (dez) anos.

O PMU apresenta para cada um dos meios de transporte estudados, metas a curto, médio e longo prazo. Deste modo, foi realizada uma triagem das metas propostas no PMU e espelhadas para os anos estudados nos cenários propostos.

Em relação ao transporte coletivo, o PMU apresentou que a meta seria ampliar os deslocamentos pelo transporte coletivo por ônibus até 2030, dos atuais 10% para 30%, ou seja, realizar um incremento de 20%. Sendo assim, a Tabela 2 apresenta a distribuição desta meta.

Tabela 2 - Distribuição das metas para a categoria de transporte coletivo para os cenários propostos no estudo.

Cenários	Ano	Observação (incrementos)	Meta
Base	2020	+4% acrescentado para o cenário 1	10% dos deslocamento
1	2022	+4% acrescentado para o cenário 2	14% dos deslocamento
2	2024	+4% acrescentado para o cenário 3	18% dos deslocamento
3	2026	+4% acrescentado para o cenário 4	22% dos deslocamento
4	2028	+4% acrescentado para o cenário 5	26% dos deslocamento
5	2030	Total de incremento: 20%	30% dos deslocamento

Fonte: PMU Brusque (2020).

Para os veículos motorizados o PMU incluiu como meta redução dos atuais 70% para 55% dos deslocamentos realizados por veículo motorizado individual até o ano de 2030, ou seja, um decréscimo de 15% em 10 anos. Desta forma, foi realizada a seguinte distribuição nos cenários estudados (Tabela 3). Não foi considerado neste estudo a utilização de veículos híbridos elétricos, visto que o PMU não contemplou metas quantificáveis, para a categoria dos veículos motorizados individuais, relacionadas com esse uso. Porém, o uso de veículos híbridos, de acordo com Machado e Correa (2013), contribui efetivamente para elevar a eficiência energética no setor de transporte, reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE e o ruído nas cidades, deste modo, considerado um fator de relevância.

Tabela 3 - Distribuição das metas para a categoria veículo motorizado individual para os cenários propostos no estudo.

Cenários	Ano	Observação (incrementos)	Meta
Base	2020	-3% acrescentado ao cenário 1	70% dos deslocamentos
1	2022	-3% acrescentado ao cenário 2	67% dos deslocamentos
2	2024	-3% acrescentado ao cenário 3	64% dos deslocamentos
3	2026	-3% acrescentado ao cenário 4	61% dos deslocamentos
4	2028	-3% acrescentado ao cenário 5	58% dos deslocamentos
5	2030	Total do decréscimo: 15%	55% dos deslocamentos

Fonte: PMU Brusque (2020).

Em relação às bicicletas as metas foram divididas em duas etapas, sendo a finalização da execução da primeira etapa planejada para o ano de 2025 e acrescentando 26,70 km de ciclovias/ciclofaixas/ciclorotas nos 22,13 km já existentes. A segunda etapa foi planejada para finalizar no ano de 2030 e terá um acréscimo de

58,70 km. A Tabela 4 abaixo apresenta o detalhamento do conteúdo exposto.

Tabela 4 - Distribuição das metas para a categoria de bicicleta para os cenários propostos no estudo.

Cenários	Ano	Quilometragem (km)	Observação (incrementos)	Meta
Base	2020	22,13	+8,9 km acrescentado ao cenário 1	Etapa 1: até 2025 Incremento final de 26,70 km
1	2022	31,03	+8,9 km acrescentado ao cenário 2	
2	2024	39,93	+8,9 km acrescentado ao cenário 3	
3	2026	48,83	+29,35 km acrescentado ao cenário 4	Etapa 2: até 2030 Incremento final de 58,70 km
4	2028	78,18	+29,35 km acrescentado ao cenário 5	
5	2030	107,53	-	Total de incremento: 85,40 km

Fonte: PMU Brusque (2020).

Para a categoria 'caminhadas' não houve uma determinação quantitativa para análise. Deste modo, as metas inseridas foram determinadas por meio de análise do cotidiano dos munícipes de Brusque e de demais informações incluídas no PMU. Após essas determinações, os cenários foram estabelecidos conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Determinação dos cenários para estudo.

Tipo de transporte	Cenários					
	Base (2020)	1 (2022)	2 (2024)	3 (2026)	4 (2028)	5 (2030)
Coletivo	10%	14%	18%	22%	26%	30%
Motorizado individual	70%	67%	64%	61%	58%	55%
Bicicletas	12%	12%	13%	14%	14%	14%

Caminhada	8%	7%	5%	3%	2%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Adaptado de PMU Brusque.

O PMU do município de Brusque contemplou a utilização do transporte público coletivo hidroviário e o sistema de transporte público coletivo operado por Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), porém, visto que as metas relacionadas com estes meios de transporte foram estipuladas para longo prazo (superior a dez anos), ultrapassou o período de análise do presente estudo, sendo assim, não foram considerados.

Em relação ao transporte hidroviário, de acordo com o PMU, Brusque possui topografia e geografia capaz de proporcionar a utilização do rio Itajaí-Mirim como via para o transporte, visto que ele corta longitudinalmente a região central do município, além de haver uma constante integração entre os habitantes e o rio. A meta estipulada no Plano de Mobilidade Urbana é que sua implantação ocorra após o ano de 2030.

O VLT consiste em um pequeno trem urbano também chamado de *light rail* e em geral movido à eletricidade. Em função do seu tamanho, permite que sua estrutura de trilhos seja implantada no meio urbano. Considerado como uma espécie de “bonde” moderno. O VLT é considerado uma boa alternativa de transportes em cidades de médio porte (UNIFEBE, 2020). A meta estipulada no PMU é que sua implantação ocorra em 2040.

3.2 AVALIAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA - GEE DOS CENÁRIOS POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL

O Programa Brasileiro GHG *Protocol* realiza a mensuração da emissão por meio e três diferentes escopos, sendo eles:

- Escopo 1: neste escopo são analisadas as emissões liberadas para a atmosfera e que estão diretamente relacionadas com a operação do objeto em estudo e que deste modo, a entidade possui responsabilidade e gerência sobre as emissões de GEE;
- Escopo 2: este escopo está relacionado com as emissões indiretas de GEE provenientes da energia elétrica adquirida para uso da própria companhia, para o uso em consumo de eletricidade, calor, vapor e refrigeração;

- Escopo 3: neste escopo são incluídas as demais emissões indiretas que não estão relacionadas com o objetivo do escopo 2. Sendo assim, são emissões de GEE oriundas da operação da entidade, porém, que a mesma não possui gerência, como por exemplo: matéria-prima adquirida, viagens de negócios e deslocamento dos colaboradores, descartes de resíduos, transporte e distribuição por terceiros.

Visto que o presente estudo se trata de uma análise de emissões de GEE em veículos utilizados no município de Brusque, foram utilizadas as planilhas de cálculo para combustão móvel inseridas no escopo 1 do programa. Para a ferramenta a combustão móvel é oriunda de emissões de GEE provenientes da queima de combustível, em que ocorre sua oxidação. A energia gerada pela combustão é utilizada para produzir movimento e percorrer um trajeto.

Os dados resultantes das análises são os seguintes: consumo mensal de combustível; consumo mensal de combustível fóssil e de biocombustível; emissões de CO₂ (t) fóssil; emissões de CH₄ (t); emissões de N₂O (t); emissões totais (t CO₂e) e emissões de CO₂ biogênico (t).

Para o cálculo do consumo mensal de combustível foi utilizada a Equação 1:

$$\text{Consumo mensal de combustível} = \frac{NV \times Vm \times Td \times 30}{cmc \times \% \text{ total veículos sendo utilizados}}$$

(Equação 1)

Onde:

NV = número de veículos (unidade);

Vm = velocidade média (km/h);

Td = tempo de deslocamento (hora/dia);

A multiplicação pelo valor de 30 ocorre, pois o tempo de deslocamento é diário e o resultado do cálculo é para o mês;

cmc = consumo médio de combustível (km/l);

% total de veículos sendo utilizados = porcentagem.

Em relação ao número de veículos, esta informação foi obtida por meio dos dados disponíveis no site do Departamento Estadual de Trânsito - DETRAN. Visto que o ano base da pesquisa e da elaboração do PMU é o ano de 2020, a Tabela 6

apresenta o quantitativo dos veículos estudados.

Foi determinado que do total do quantitativo da categoria 'Camionetes, caminhonetas e utilitários' 80% utiliza diesel (13.135,2) como combustível e os demais 20% são motores flex (3.283,8).

Para cada um dos veículos estudados foi determinado também o consumo médio de combustível. Para as categorias automóveis, camionetes, caminhonetas e utilitários (gasolina/álcool), camionetes, caminhonetas e utilitários (diesel) e para motocicletas e motonetas a média de consumo de combustível (km/l) foi obtida por meio do cálculo da média dos dez veículos mais econômicos e dos dez menos econômicos para cada categoria estudada, resultando nas médias inseridas na Tabela 6. Já para a categoria ônibus e microônibus a média foi obtida diante da análise do tipo de veículo utilizado em Brusque.

A Tabela 6 apresenta também a informação da quantidade de passageiros em deslocamentos para cada um dos tipos de veículos, a partir da ocupação média veicular de passageiros.

Tabela 6 - Quantificação de veículos no município de Brusque no ano de 2020, considerado o ano base do estudo, consumo médio (km/l) e quantificação de passageiros em deslocamento

Tipo de veículo	Quantitativo	Porcentagem de representatividade (%)	Consumo médio (km/l)	Ocupação média veicular de passageiros	Quantidade de passageiros em deslocamento
Automóveis	63.189	60,02	11,17	1,1	69.507,9
Camionetes, caminhonetas e utilitários (gasolina/álcool)	3.283,8	3,12	8,17	1,1	3.612,18
Camionetes, caminhonetas e utilitários (diesel)	13.135,2	12,48	9,74	1,1	14.448,72
Motocicletas e motonetas	25.303	24,03	50,39	1	2.5303
Ônibus e Microônibus	366	0,35	2,55	35	12.810
Total	105.277	100	-		125.681,8

Fonte: Detran (2020); Autoesporte (2022); Garagem360 (2022).

Além do mais, foi considerada para a categoria de automóveis, caminhonetes/caminhonetas e utilitários e motocicletas/motonetas a velocidade média de 50 km/h. Já para a categoria ônibus/microônibus a velocidade estimada foi de 30 km/h. O tempo de deslocamento, de acordo com dados obtidos no PMU, é de 12 minutos por habitante e a estimativa de porcentagem total dos veículos sendo utilizados foi de 80%.

A Equação 1 foi utilizada para o cálculo de emissões do cenário base. Para os demais cenários, levou-se em consideração o percentual representativo da meta estipulada para a categoria em cada um dos cenários, em razão do cenário base. Assim sendo, para o cenário 1 a equação foi multiplicada pela razão 67/70, para o cenário 2 foi multiplicado por 64/70, para o cenário 3 foi utilizada a razão 61/70, cenário 4 foi multiplicado por 58/70 e para o cenário 5 foi multiplicado por 55/70.

Para a categoria 'ônibus e microônibus', visto que o PMU apresentou a quilometragem total rodada por mês por este tipo de veículo, a equação 2 foi utilizada para o cálculo do consumo mensal de combustível.

$$\text{Consumo mensal de combustível} = \frac{\text{Km} \times \% \text{acrécimo}}{\text{cmc}}$$

(Equação 2)

Onde:

Km = quilometragem;

% acréscimo = % de acréscimo nos cenários (acrécimo de 4% em cada cenário);

cmc = consumo médio de combustível (km/l).

Para a determinação do percentual de combustível fóssil e de biocombustíveis foi utilizado o valor referência estipulado pela Resolução do CONAMA n° 415, de 24 de setembro de 2009, que dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências. De acordo com o Art. 9°, parágrafo 1°:

A mistura gasolina e álcool etílico anidro combustível deverá ser preparada a partir dos respectivos combustíveis de referência, contendo 22%, com variação de um ponto percentual para mais ou para menos em volume de álcool etílico anidro combustível, conforme estabelecido no art. 9º da Lei no 8.723, de 1993.

Diante dos princípios estabelecidos na Política Energética Nacional, especialmente ao determinado no item III do artigo 1º da Lei nº 9.478/1997 - proteger os interesses do consumidor quanto ao preço, qualidade e oferta dos produtos, o CNPE - Conselho Nacional de Política Energética em assessoria a Presidência da República, manteve para o ano de 2022 o teor de 10% de biodiesel no diesel (BRASIL, 2022). Sendo assim, a partir destes dados obtidos e das estimativas realizadas, foi possível determinar a emissão de GEE em cada um dos cenários estudados.

Em relação ao cálculo de emissão de CO₂ (t) fóssil; emissões de CH₄ (t); emissões de N₂O (t); emissões totais (t CO₂e) e emissões de CO₂ biogênico (t) os valores são obtidos por meio da formulação padronizada da ferramenta utilizada. O dióxido de carbono equivalente (CO₂e) é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de gases de efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento global. Por determinação do Programa GHG *Protocol* Brasil, os inventários de emissões de GEE desenvolvidos a partir do ano de 2021 devem utilizar o potencial de aquecimento global de cada GEE, divulgados pelo IPCC *Fifth Assessment Report: Climate Change* 2013 (AR5). Deste modo, foi considerado 1 o potencial de aquecimento global do dióxido de carbono, o do metano foi considerado 25 e do óxido nitroso foi de 298.

3.3 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS GASES DE EFEITO ESTUFA NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE E EM ESFERA GLOBAL, ATÉ O ANO DE 2121

Diante dos resultados das emissões de GEE nos cenários estudados, optou-se por utilizar as metodologias de Ellis (2008) e de UCAR (2022) para determinar o impacto da redução da emissão de GEE dos cenários propostos sobre a temperatura até o ano de 2121.

Foi necessário considerar a evolução de concentração de CO₂ por meio dos dados históricos do IPCC existentes entre os anos de 1960 a 2020, considerando que a partir do último ano analisado (2020) o aumento da concentração seguiria a

tendência calculada para o período analisado, passando a possuir apenas a influência das reduções obtidas nos cenários estudados.

Visto o fato de o modelo utilizar a escala global, realizou-se a extrapolação das emissões reduzidas a partir dos cenários verificados para a escala municipal de Brusque/SC para uma escala à população mundial. Sendo assim, foi possível determinar qual a influência da aplicação dos cenários analisados no presente estudo em um nível mundial.

Ellis (2008) apresenta que uma duplicação instantânea da concentração de CO₂ possui a capacidade de aumentar a opacidade da atmosfera à radiação de calor, havendo desta forma, a redução de sua reflexão para o espaço em valor de aproximadamente 4 Watts/m². Ou seja, a duplicação instantânea significa que não há *feedback* de uma alteração na opacidade do vapor de água devido a uma mudança na temperatura. Diante desta informação, para que haja um aumento de temperatura em decorrência do aumento da concentração de CO₂, se faz necessário obter a temperatura que representa o aquecimento da Terra para que haja a irradiação de uma energia extra, assumindo o equilíbrio termodinâmico local. Isto significa que, num volume atmosférico localizado abaixo dos 40 kms, considera-se que é isotrópico (a emissão não é direcional) com uma temperatura uniforme.

Desta forma, ao aplicar a duplicação de concentração de CO₂ ($C = 2C_0$), verifica-se que ao fato de dobrar a concentração de gás carbônico, há em consequência, um aumento de 1,2°C na temperatura. Esta equação representa a variação de temperatura (ΔT) quando a concentração de CO₂ parte de C_0 para C , em partes por milhão (ppm).

A Equação 3, nominada como equação de Ellis (2008) é definida por:

$$\Delta T = 1,66 \times \ln\left(\frac{C}{C_0}\right)$$

(Equação 3)

Onde:

ΔT = Variação de temperatura;

C = Concentração final de CO₂;

C_0 = Concentração inicial de CO₂.

Já os pesquisadores da *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) desenvolveram o *Very Simple Climate Model*. Por meio do modelo desenvolvido é possível explorar como a taxa de emissões de dióxido de carbono afeta a quantidade de CO₂ na atmosfera e a temperatura da Terra. Este modelo também permite que sejam analisados cenários para o clima futuro usando o modelo com instruções mais detalhadas.

Para o modelo a temperatura global média é determinada inteiramente pela concentração de dióxido de carbono atmosférico por meio do aquecimento da atmosfera com efeito de estufa e da absorção de dióxido de carbono pelo oceano e pela biosfera, que são mantidos constantes ao longo do tempo. Este modelo desconsidera alguns fatores, tais como: impactos das mudanças na biosfera; mudanças nas nuvens e no clima e outros GEE. O modelo utiliza a Equação 4 apresentada a seguir:

$$T = T_0 + S\left(\frac{C}{C_0}\right)$$

(Equação 4)

Onde:

T= Temperatura a ser calculada diante do acréscimo de concentração de dióxido de carbono;

T_0 =, Temperatura anterior à avaliada, ou seja, temperatura de referência;

S = Sensibilidade climática (resultado do aumento de temperatura como resultado do aumento em dobro de CO₂);

C = Nova concentração de CO₂ que será utilizada para estimar o aumento da temperatura;

C_0 = Concentração de CO₂ inicial – no mesmo período da temperatura inicial (T_0).

De acordo com o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas), o valor de sensibilidade climática (S) é "susceptível de se situar na gama de 2 a 4,5°C com uma melhor estimativa de cerca de 3°C, sendo muito improvável que seja inferior a 1,5°C. Valores substancialmente superiores a 4,5° C não podem ser excluídos, mas a concordância de modelos com observações não é tão boa para

esses valores". No *Very Simple Climate Model* é utilizado 3°C para a sensibilidade climática.

Além do mais, nestes modelos considerou-se que cerca de 45% das emissões de GEE são direcionadas para a atmosfera e, conseqüentemente, aumentando a sua concentração, visto que é considerado que aproximadamente 55% das emissões são absorvidas pela biosfera e pelos oceanos. Considera-se também que a cada 7,8 gigatoneladas de dióxido de carbono direcionadas para a atmosfera, há o aumento de 1 ppm da concentração de dióxido de carbono atmosférico, levando em consideração as estimativas da quantidade total de CO₂ na atmosfera (em gigatoneladas - GtC) e da concentração de CO₂.

3.4 FORNECIMENTO DE INFORMAÇÕES RELACIONADAS A EMISSÃO DE GEE ORIUNDAS DO TRANSPORTE DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE E DO PMU AO PÚBLICO EM GERAL

A partir dos resultados obtidos das emissões dos Gases de Efeito Estufa - GEE com a utilização do Programa Brasileiro GHG *Protocol*, foi possível elaborar uma ferramenta de cálculo de GEE para a categoria transporte (a seguir referida como "Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade").

A calculadora tem como objetivo contribuir para a tomada de decisões para o setor de mobilidade de Brusque e para que os munícipes, de forma geral, possam analisar a sua contribuição para emissões GEE para a cidade, para uma de suas atividades cotidianas, que é o transporte. A ferramenta é focada para o município de Brusque, porém suas funcionalidades, bem como sua metodologia, podem ser aplicadas em outras cidades que também tenham o objetivo de quantificar a emissão de GEE para o setor estudado.

Além do mais, a ferramenta apresenta o quantitativo de árvores da Mata Atlântica que compensaria a emissão de GEE anual pelo uso do meio de transporte utilizado. Deste modo, a "Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade" possui o objetivo de disponibilizar um panorama aproximado do impacto deste setor e de apresentar aos usuários uma forma de compensar as suas emissões.

A metodologia utilizada foi embasada na de Manfrinato *et al.* (2016), na qual apresenta a emissão total de dióxido de carbono equivalente para os veículos que utilizam a gasolina e o diesel como combustível.

A Equação 5 apresenta o cálculo inserido na elaboração da ferramenta.

$$Emissão\ total = \frac{km\ (dia)}{taxa\ de\ consumo} \times \%combustível\ fóssil \times densidade \times fator\ transf.\ CO_2$$

(Equação 5)

Onde:

Emissão total: kg CO₂ eq

Taxa de consumo: km/litro

% combustível fóssil: %

Densidade: kg/litro

Fator de transformação do combustível em CO₂: C/CO₂

A ferramenta possibilita a seleção do tipo de combustível, sendo as alternativas gasolina ou diesel. Na Tabela 7 são apresentados os valores utilizados no cálculo.

Tabela 7 – Dados utilizados para os cálculos, considerando o tipo de combustível (gasolina ou diesel).

Dados	Gasolina	Diesel
% combustível fóssil	0,78 (78%)	0,90 (90%)
Densidade	0,75 kg/litro	0,85 kg/litro
Fator de transformação	3,7 C/CO ₂	3,7 C/CO ₂

Fonte: Manfrinato *et al.* (2016).

A ferramenta automaticamente transforma a emissão total diária em emissão total anual. Com este valor é possível realizar o cálculo de quantas árvores novas são necessárias serem plantadas para compensar essa emissão anual, levando em consideração a quantidade de usuários do veículo analisado, uma vez que a compensação é dada por habitante.

Para a etapa de compensação foi considerado que normalmente são necessárias 200 árvores para 1 hectare a ser recuperado, que em 30 anos a vegetação na Mata Atlântica alcança cerca de 70% de sua estrutura madura e que

nesse período o estoque médio de carbono é de aproximadamente 70 tC/ha. Além do mais, para conciliar a unidade de estoque de carbono e a unidade do CO₂ foi convencionado a unidade equivalente de CO₂.

Sendo assim, 1 tonelada de carbono (C) estocada na floresta equivale a 3,7 toneladas de CO_{2 eq} sequestrados da atmosfera. Portanto, o total sequestrado na Mata Atlântica, de 70 tC/hectare representa 260 t CO_{2 eq}/ha. Após esta etapa houve a divisão dos estoques por 2.000 árvores plantadas para então obter o total de que uma árvore sequestra no período de 30 anos o valor de 130 kg de CO_{2 eq}, ou seja, durante o período considerado cada ano uma árvore sequestra 4,3 kg. Os resultados na ferramenta são disponibilizados imediatamente após a inserção dos dados necessários.

A elaboração da “Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade” teve auxílio do Analista de Tecnologia da Informação Ricardo Kuchenbecker. Após a finalização do presente estudo e desenvolvimento da ferramenta que foi considerado o produto desta dissertação, a mesma foi oferecida para a Prefeitura Municipal de Brusque que pretende disponibilizá-la no site da Fundação Municipal do Meio Ambiente - FUNDEMA. A descrição detalhada da calculadora se encontra no capítulo 6.

4 RESULTADOS

Por meio da determinação dos cenários e da organização dos dados obtidos foi possível mensurar as emissões de gases de efeito estufa com a utilização da ferramenta do Programa Brasileiro GHG *Protocol*. Foram inseridos no programa as variáveis obtidas a partir da análise e manipulação dos dados do diagnóstico do PMU e de variáveis bibliográficas, conforme apresentado na metodologia.

As variáveis necessárias para mensurar os GEE por meio da ferramenta selecionada foram: quantificação dos meios de transportes; velocidade média; tempo médio de deslocamento; o consumo médio de combustível e estimativa de porcentagem total dos veículos sendo utilizados ao mesmo tempo. Nesta etapa não houve a análise dos meios de transporte 'caminhada' e 'bicicletas', uma vez que ambos não emitem GEE e esta etapa da pesquisa é de cálculo de emissões de GEE. Sendo assim, o consumo mensal de combustível fóssil, o consumo mensal de biocombustível e o consumo total de combustível (somatório do combustível fóssil e do biocombustível), em cada um dos cenários propostos, são apresentados nas tabelas 8 a 10, respectivamente.

É possível observar que para as categorias 'automóveis', 'caminhonetes e utilitários' (gasolina e diesel) e 'motocicletas', houve a redução do consumo mensal de combustível fóssil, biocombustível e do consumo total de combustível entre o cenário base e os cenários propostos. No entanto, esta tendência não é verificada para a categoria 'ônibus e microônibus', uma vez que nos cenários propostos há um incremento percentual desta categoria, mas não há uma redução do uso. A categoria de maior consumo de combustível foi a categoria 'automóveis', representando aproximadamente 70% do consumo total de combustível nos seis cenários analisados. A categoria 'ônibus/microônibus' foi a frota de menor consumo total de combustível, totalizando 3,45% do montante de combustível total consumido (Tabela 10).

Tabela 8 - Consumo mensal de combustível fóssil para os cenários propostos.

Descrição da frota	Tipo de combustível	Quantidade de combustível fóssil (litros)					
		Cenário base (2020)	Cenário 2022	Cenário 2024	Cenário 2026	Cenário 2028	Cenário 2030
Automóveis	Gasolina Automotiva (comercial)	1.058.995,60	1.013.610,07	968.224,54	922.839,02	877.453,49	832.067,97
Caminhonetes e Utilitários	Gasolina Automotiva (comercial)	75.242,03	72.017,37	68.792,71	65.568,05	62.343,39	59.118,74
Caminhonetes e Utilitários	Óleo Diesel (comercial)	291.293,96	278.809,94	266.325,91	253.841,88	241.357,86	228.873,83
Motocicletas	Gasolina Automotiva (comercial)	94.001,22	89.972,60	85.943,97	81.915,35	77.886,73	73.858,10
Ônibus coletivo	Óleo Diesel (comercial)	49.132,09	51.097,37	53.141,23	55.377,49	57.477,52	59.776,58

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 9 - Consumo mensal de biocombustível para os cenários propostos.

Descrição da frota	Tipo de combustível	Quantidade de biocombustível (litros)					
		Cenário base (2020)	Cenário 2022	Cenário 2024	Cenário 2026	Cenário 2028	Cenário 2030
Automóveis	Gasolina Automotiva (comercial)	298.691,07	285.890,02	273.088,97	260.287,93	247.486,88	234.685,84
Caminhonetes e Utilitários	Gasolina Automotiva (comercial)	21.222,11	20.312,59	19.403,07	18.493,55	17.584,03	16.674,52
Caminhonetes e Utilitários	Óleo Diesel (comercial)	32.366,00	30.978,88	29.591,77	28.204,65	26.817,54	25.430,43
Motocicletas	Gasolina Automotiva (comercial)	26.513,17	25.376,89	24.240,61	23.104,33	21.968,05	20.831,77
Ônibus coletivo	Óleo Diesel (comercial)	5.459,12	5.677,49	5.904,58	6.153,05	6.386,39	6.641,84

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 10 - Consumo total mensal de combustível para os cenários propostos.

Descrição da frota	Tipo de combustível	Consumo total médio mensal de combustível (litros)					
		Cenário base (2020)	Cenário 2022	Cenário 2024	Cenário 2026	Cenário 2028	Cenário 2030
Automóveis	Gasolina Automotiva (comercial)	1.357.686,66	1.299.500,09	1.241.313,52	1.183.126,95	1.124.940,38	1.066.753,80
Caminhonetes e Utilitários	Gasolina Automotiva (comercial)	96.464,14	92.329,96	88.195,78	84.061,61	79.927,43	75.793,25
Caminhonetes e Utilitários	Óleo Diesel (comercial)	323.659,96	309.788,82	295.917,68	282.046,54	268.175,39	254.304,25
Motocicletas	Gasolina Automotiva (comercial)	120.514,39	115.349,49	110.184,58	105.019,68	99.854,78	94.689,88
Ônibus coletivo	Óleo Diesel (comercial)	54.591,21	56.774,86	59.045,81	61.530,55	63.863,92	66.418,42

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir da mensuração dos consumos de combustíveis, foi possível calcular as emissões de dióxido de carbono fóssil (CO_2 fóssil), de metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), as emissões totais de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) e de dióxido de carbono biogênico (CO_2 biogênico), para os cenários em estudo, bem como para cada um dos meios de transporte analisados (Tabelas 11 a 16).

Os resultados demonstram que em todas as emissões totais mensuradas há uma redução de seu quantitativo com o passar dos cenários propostos. As emissões de dióxido de CO_2 fóssil e emissões totais (dióxido de carbono equivalente) possuem as maiores representatividades em todos os cenários, contemplando cerca de 45% e 47% respectivamente da emissão, sendo que a categoria 'automóveis' possui o maior quantitativo de emissão. Quando analisada a emissão total de óxido nitroso, é possível verificar que esta emissão possui a menor representatividade, com cerca de 0,005% em cada cenário. A emissão de metano representa 0,14% e as emissões de dióxido de carbono biogênico representam 7,80% da emissão total dos gases nos cenários analisados.

Tabela 11 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário base (Ano 2020).

Descrição da frota	Emissões				
	Emissões de CO ₂ (t) fóssil	Emissões de CH ₄ (t)	Emissões de N ₂ O (t)	Emissões totais (t CO ₂ e)	Emissões de CO ₂ biogênico (t)
Automóveis	28.109,98	11,07	3,33	29.302,98	5.469,63
Caminhonetes e Utilitários	1.997,22	0,79	0,24	2.081,99	388,62
Caminhonetes e Utilitários	9.098,86	0,61	0,49	9.246,39	944,18
Motocicletas	2.495,17	0,98	0,30	2.601,06	485,51
Ônibus coletivo	1.534,69	0,10	0,08	1.559,57	159,25
Total	43.235,92	13,55	4,44	44.791,95	7.447,19

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 12 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2022.

Descrição da frota	Emissões				
	Emissões de CO ₂ (t) fóssil	Emissões de CH ₄ (t)	Emissões de N ₂ O (t)	Emissões totais (t CO ₂ e)	Emissões de CO ₂ biogênico (t)
Automóveis	26.905,27	10,59	3,19	28.047,14	5.235,22
Caminhonetes e Utilitários	1.911,63	0,75	0,23	1.992,76	371,96
Caminhonetes e Utilitários	8.708,91	0,59	0,47	8.850,12	903,72
Motocicletas	2.388,23	0,94	0,28	2.489,59	464,70
Ônibus coletivo	1.596,08	0,11	0,09	1.621,96	165,62
Total	41.510,11	12,98	4,26	43.001,60	7.141,22

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 13 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2024.

Descrição da frota	Emissões				
	Emissões de CO ₂ (t) fóssil	Emissões de CH ₄ (t)	Emissões de N ₂ O (t)	Emissões totais (t CO ₂ e)	Emissões de CO ₂ biogênico (t)
Automóveis	25.700,55	10,12	3,05	26.791,30	5.000,81
Caminhonetes e Utilitários	1.826,03	0,72	0,22	1.903,53	355,31
Caminhonetes e Utilitários	8.318,96	0,56	0,45	8.453,85	863,25
Motocicletas	2.281,30	0,90	0,27	2.378,12	443,89
Ônibus coletivo	1.659,92	0,11	0,09	1.686,83	172,25
Total	39.786,76	12,41	4,07	41.213,74	6.835,51

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 14 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2026.

Descrição da frota	Emissões				
	Emissões de CO ₂ (t) fóssil	Emissões de CH ₄ (t)	Emissões de N ₂ O (t)	Emissões totais (t CO ₂ e)	Emissões de CO ₂ biogênico (t)
Automóveis	24.495,84	9,64	2,90	25.535,46	4.766,39
Caminhonetes e Utilitários	1.740,44	0,69	0,21	1.814,30	338,65
Caminhonetes e Utilitários	7.929,01	0,53	0,43	8.057,57	822,79
Motocicletas	2.174,36	0,86	0,26	2.266,64	423,09
Ônibus coletivo	1.729,77	0,12	0,09	1.757,82	179,50
Total	38.069,42	11,84	3,89	39.431,91	6.530,42

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 15 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2028.

Descrição da frota	Emissões				
	Emissões de CO ₂ (t) fóssil	Emissões de CH ₄ (t)	Emissões de N ₂ O (t)	Emissões totais (t CO ₂ e)	Emissões de CO ₂ biogênico (t)
Automóveis	23.291,13	9,17	2,76	24.279,61	4.531,98
Caminhonetes e Utilitários	1.654,84	0,65	0,20	1.725,08	322,00
Caminhonetes e Utilitários	7.539,05	0,51	0,41	7.661,30	782,32
Motocicletas	2.067,43	0,81	0,25	2.155,17	402,28
Ônibus coletivo	1.795,37	0,12	0,10	1.824,48	186,30
Total	36.347,82	11,26	3,71	37.645,54	6.224,88

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 16 - Emissões (toneladas) de GEE para o cenário 2030.

Descrição da frota	Emissões				
	Emissões de CO ₂ (t) fóssil	Emissões de CH ₄ (t)	Emissões de N ₂ O (t)	Emissões totais (t CO ₂ e)	Emissões de CO ₂ biogênico (t)
Automóveis	22.086,41	8,69	2,62	23.023,77	4.297,57
Caminhonetes e Utilitários	1.569,25	0,62	0,19	1.635,85	305,34
Caminhonetes e Utilitários	7.149,10	0,48	0,39	7.265,02	741,86
Motocicletas	1.960,49	0,77	0,23	2.043,69	381,47
Ônibus coletivo	1.867,18	0,13	0,10	1.897,46	193,76
Total	34.632,43	10,69	3,53	35.865,91	5.919,99

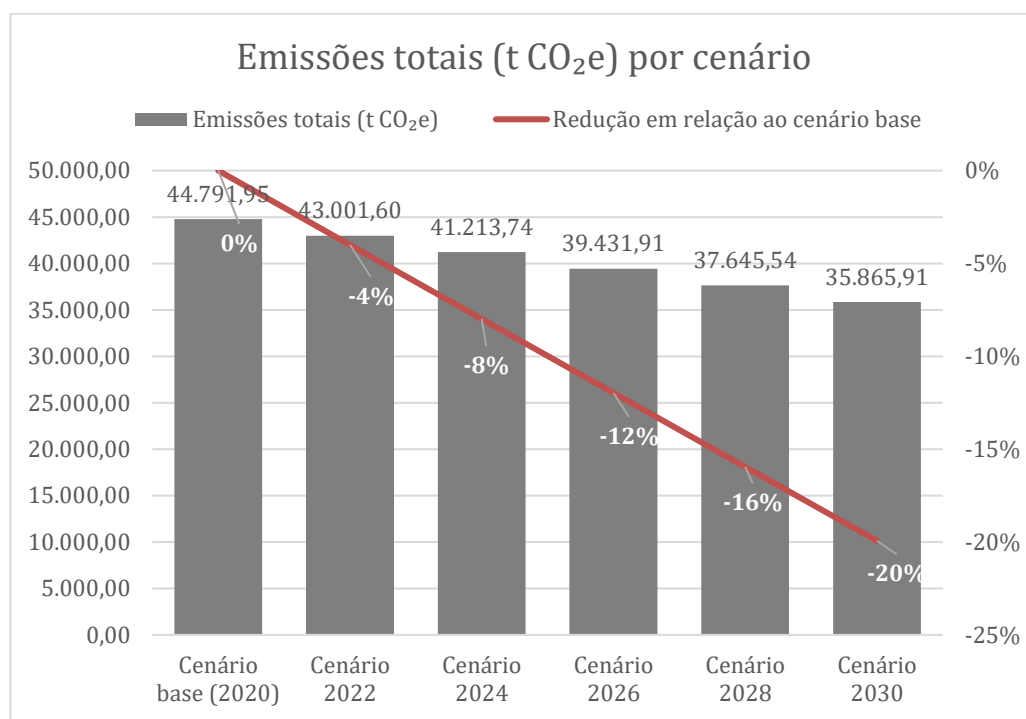
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Observando os valores obtidos no último cenário estudado (cenário 2030) é possível identificar que a categoria ‘automóveis’, mesmo diante das implantações das metas estipuladas no PMU, representam 65% das emissões totais de dióxido de carbono equivalente. Ou seja, mais da metade das emissões de CO₂e são contemplados em apenas um meio de transporte, sendo esse, o veículo individual motorizado. Deste modo, observa-se a importância de ações e metas mais restritivas para esse meio de transporte amplamente utilizado.

4.1 Comparativo entre os cenários

A Figura 20 apresenta o comparativo das emissões totais de toneladas de CO₂e entre os cenários estudados. Os resultados demonstram uma redução gradativa na emissão de GEE à medida em que são inseridas as ações estipuladas no PMU, totalizando ao fim uma redução de 20% em comparação ao cenário base.

Figura 20 - Emissões totais, em toneladas, de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.



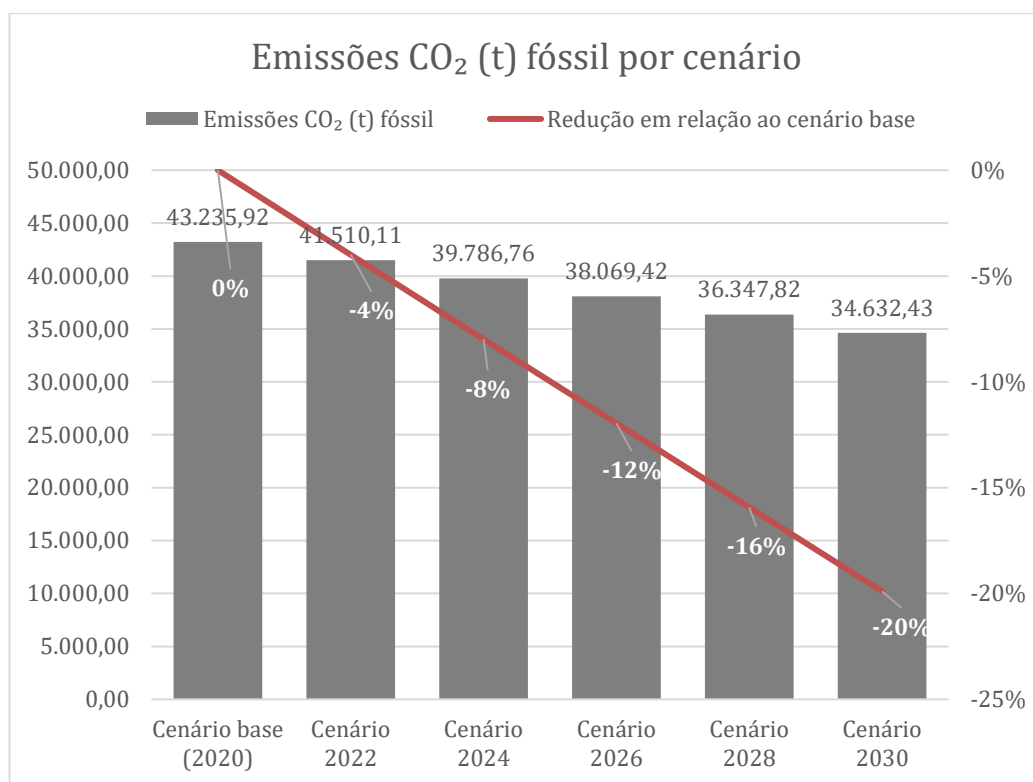
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Em análise exclusiva quanto ao GEE dióxido de carbono fóssil (CO₂) tem-se os resultados, conforme apresentado na Figura 21. Conforme mostra as tabelas 12 a 17 o gás de maior contribuição para o efeito estufa foi o dióxido de carbono fóssil (CO₂),

que representou cerca de 97% da emissão de CO₂ e nos resultados obtidos. A redução do dióxido de carbono fóssil em relação aos resultados obtidos para o CO₂ e manteve o mesmo padrão, totalizando uma redução de 20%.

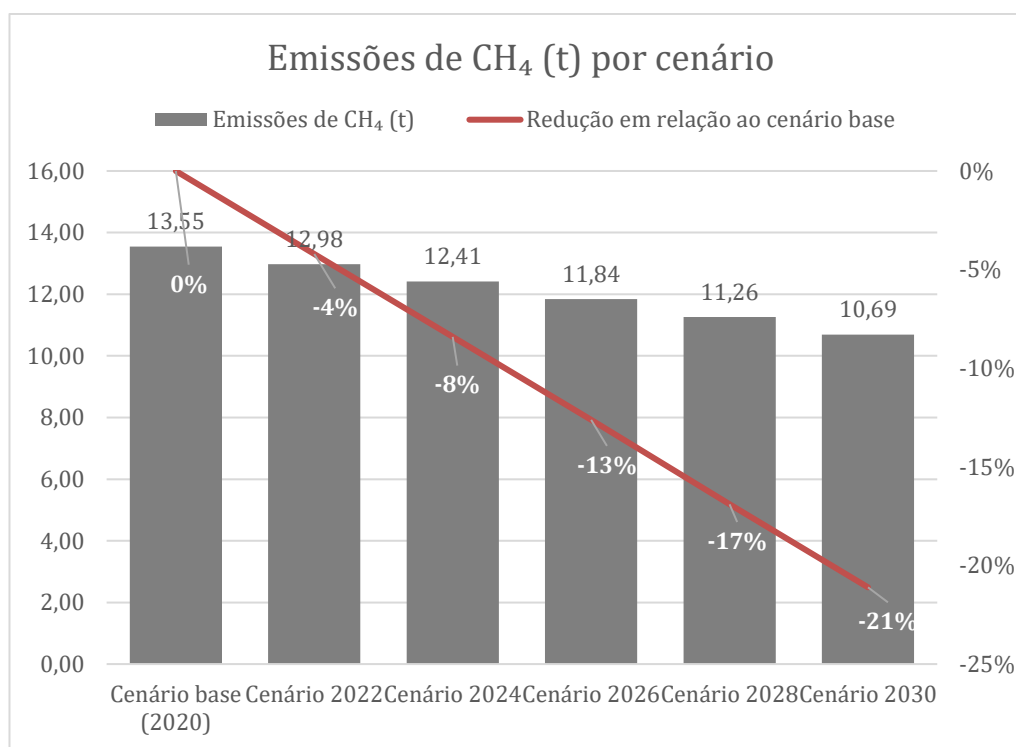
O gás metano possuiu uma redução total de 21% em relação ao cenário base do estudo. A Figura 22 apresenta os resultados obtidos para cada um dos cenários analisados e é possível analisar também a tendência de redução. O óxido nitroso também obteve uma redução final de 21% quando comparado ao cenário base do estudo, conforme apresentado Figura 23.

Figura 21 - Emissões, em toneladas, de dióxido de carbono fóssil (CO₂) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.



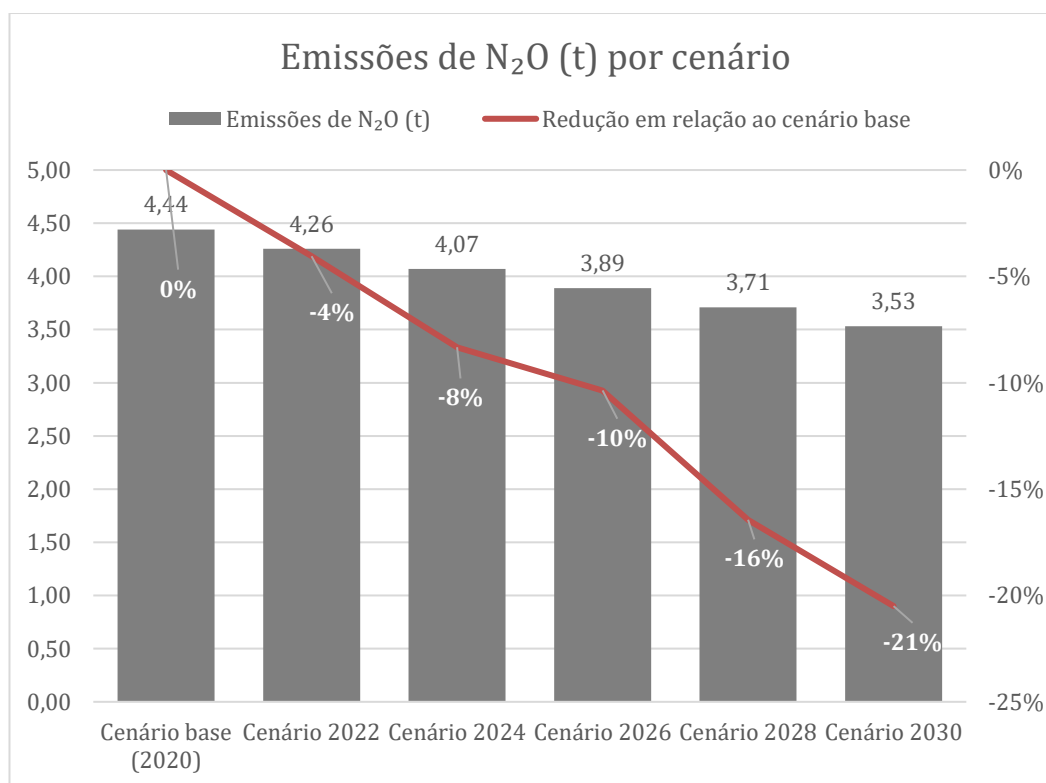
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Figura 22 - Emissões, em toneladas, de gás metano (CH_4) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Figura 23 - Emissões, em toneladas, de óxido nitroso (N_2O) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.

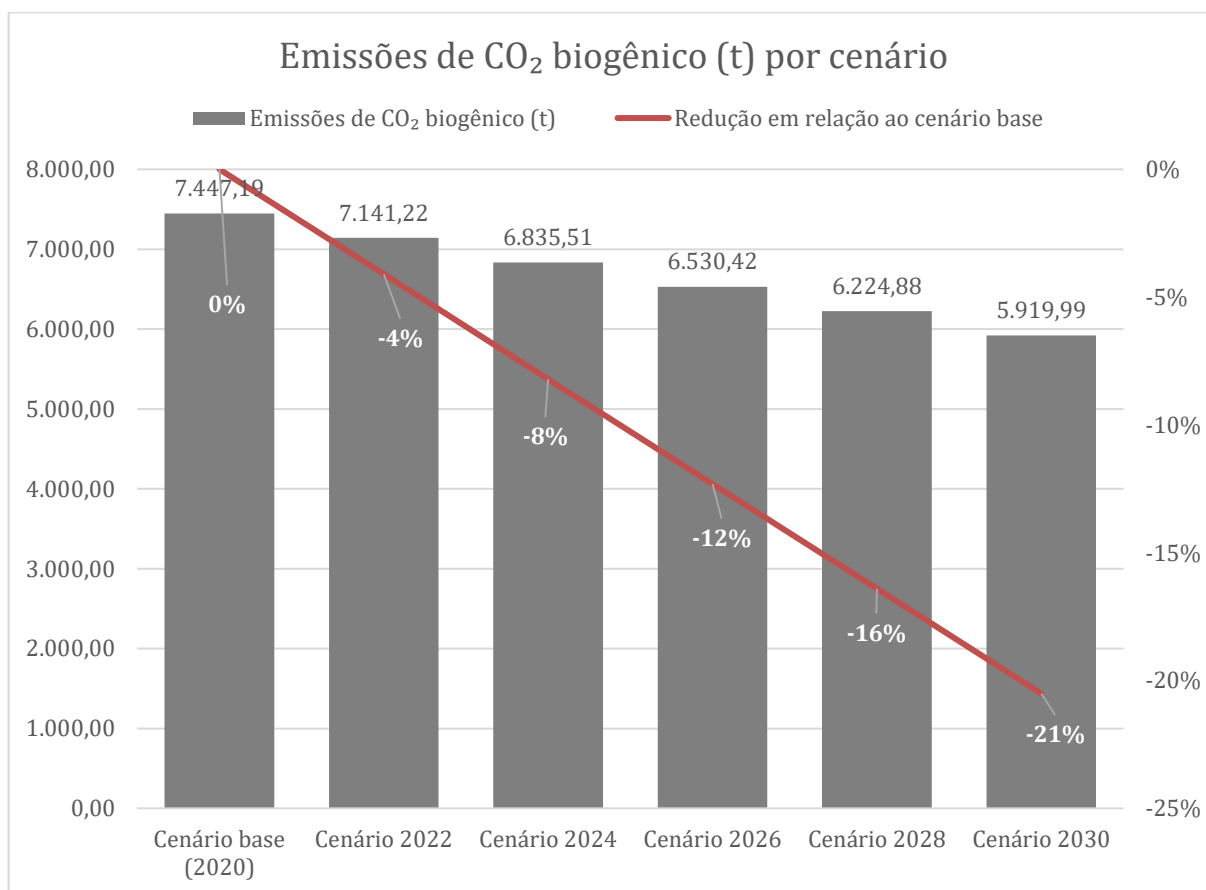


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Algumas atividades antrópicas emitem dióxido de carbono por conta da

transformação de estoques biológicos de carbono (por exemplo: vegetais, animais e algas). Deste modo, o carbono presente nestes estoques biológicos foi removido da atmosfera através da fotossíntese, sendo assim, estas emissões não possuem impacto adicional na concentração deste GEE na atmosfera. Visto esta definição, as emissões de CO₂ biogênico (Figura 24) são contabilizadas separadamente das demais emissões. A ferramenta GHG *Protocol* Brasil também efetua o cálculo desta emissão para o escopo 1, categoria 'combustão móvel'.

Figura 24 - Emissões, em toneladas, de dióxido de carbono biogênico (CO₂ biogênico) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

4.2 INFLUÊNCIA DOS GASES DE EFEITO ESTUFA NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE E EM ESFERA GLOBAL, ATÉ O ANO DE 2121

Apartir dos resultados dos cenários obtidos por meio da utilização do Programa Brasileiro GHG *Protocol*, foram aplicados os cálculos apresentados na Metodologia - métodos Ellis e UCAR a fim de estimar a mudança de temperatura nos cenários propostos e para uma progressão até o ano de 2121.

Visto que as equações utilizadas são direcionadas para a variação em cenário mundial de temperatura, e que o presente estudo foi focado para as emissões em nível do município de Brusque, foi necessário realizar a extrapolação dos resultados para a população global, com o objetivo de determinar a influência das emissões obtidas. Deste modo, considerou-se o pressuposto de que as sucessivas e graduais reduções de GEE obtidas nos cinco cenários elaborados (cenário 1 ao 5) fossem aplicadas e obtidas de forma constante em nível global e não apenas no município estudado e para isso foi determinado um fator de multiplicação para ser aplicado (Tabela 17).

Tabela 17 - População do Município de Brusque e mundial, e fator de multiplicação em função da população.

População/Localização	População	Fonte
População Município de Brusque (2020)	140.597	IBGE, 2021
População mundial (2020)	7.800.000.000	ONU, 2021
Fator de multiplicação	55.477	-

Fonte: IBGE (2021); ONU (2021).

Diante da obtenção do fator de multiplicação em razão da população mundial com a população do município de Brusque, foi possível obter dados constantes, sendo que estes representam a redução global (ppm) para os cenários, considerando também a parcela efetivamente aerotransportada para a atmosfera, conforme são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Redução global de GEE e de temperatura para cada cenário estudado.

Variável	Cenário 2022	Cenário 2024	Cenário 2026	Cenário 2028	Cenário 2030
Redução emissão Mundo por cenário (T _{CO₂eq})	-99.305.106	-198.499.257	-297.360.541	-396.443.736	-495.194.065
Redução % estimativa	-0,27%	-0,54%	-0,81%	-1,08%	-1,35%
Redução em gigatoneladas por ano (G _{T_{CO₂eq}})	-0,0993	-0,1985	-0,2974	-0,3964	-0,4952
Variação da concentração em ppm por ano	-0,0127	-0,0254	-0,0381	-0,0508	-0,0635
Redução de emissão efetivamente aerotransportada para atmosfera (45% do total) em ppm	-0,0057	-0,0115	-0,0172	-0,0229	-0,0286
ΔT (°C)	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0003

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Diante dos valores obtidos, a etapa posterior foi a de determinar a influência das emissões dos cenários determinados na temperatura do Planeta Terra. Para isso, foi utilizado, como já apresentado, as equações do método de Ellis (2008) e de UCAR (2022), para determinar a diferença de temperatura entre o período do ano de 2020 a 2121, conforme apresentado na Tabela 21 (Apêndice).

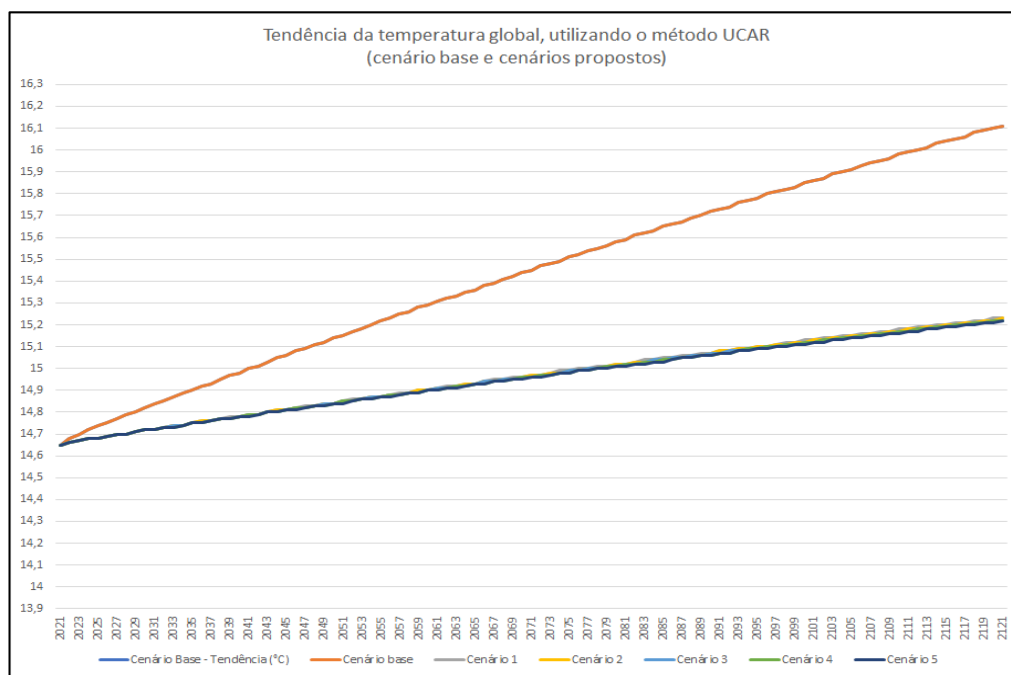
Por meio da análise dos resultados obtidos, é possível verificar que se obtêm resultados menores de temperatura no decorrer dos anos estudados, ou seja, há uma

tendência de diminuição da temperatura, a partir da aplicação dos cenários propostos. Em ambas as metodologias aplicadas o cenário 5 foi o que obteve a maior diferença de temperatura, sendo uma diminuição de 0,90°C para o método UCAR (2022) e de 0,92°C para o método Ellis (2008).

A temperatura global considerada para o ano base foi 14,65°C, conforme determinado por IPCC (2021), sendo que com a aplicação dos métodos obteve-se que a temperatura tendencial para o ano base é de 16,11°C. Neste caso foi utilizado as emissões emitidas pelo transporte e considerou-se nulas as demais emissões, visando analisar a influência da mobilidade para a emissão geral de GEE. Analisando o último cenário estimado, obteve-se a temperatura de 15,22°C para o ano 2121, utilizando o método UCAR (2022) e 15,19°C utilizando o método Ellis (2008).

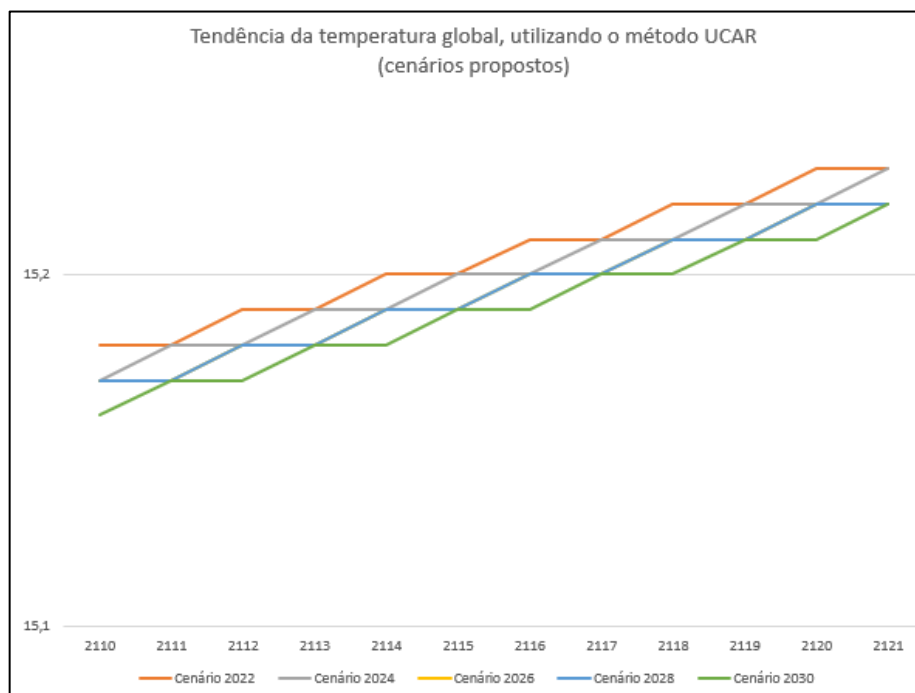
A Figura 25 representa graficamente a evolução da tendência da temperatura global por meio da aplicação dos cenários determinados e utilizando a metodologia proposta por UCAR (2022). É possível verificar que os resultados para os cenários propostos possuem uma pequena diferença de resultados, destacando no gráfico a diferença entre os resultados obtidos no cenário base. A Figura 26 apresenta a análise excluindo o cenário base e concentrando no período de análise dos anos 2110 a 2121, como forma de facilitar a identificação dos resultados para cada cenário proposto.

Figura 25 - Tendência da temperatura global (para o cenário base e para os cenários propostos) utilizando o método de UCAR.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

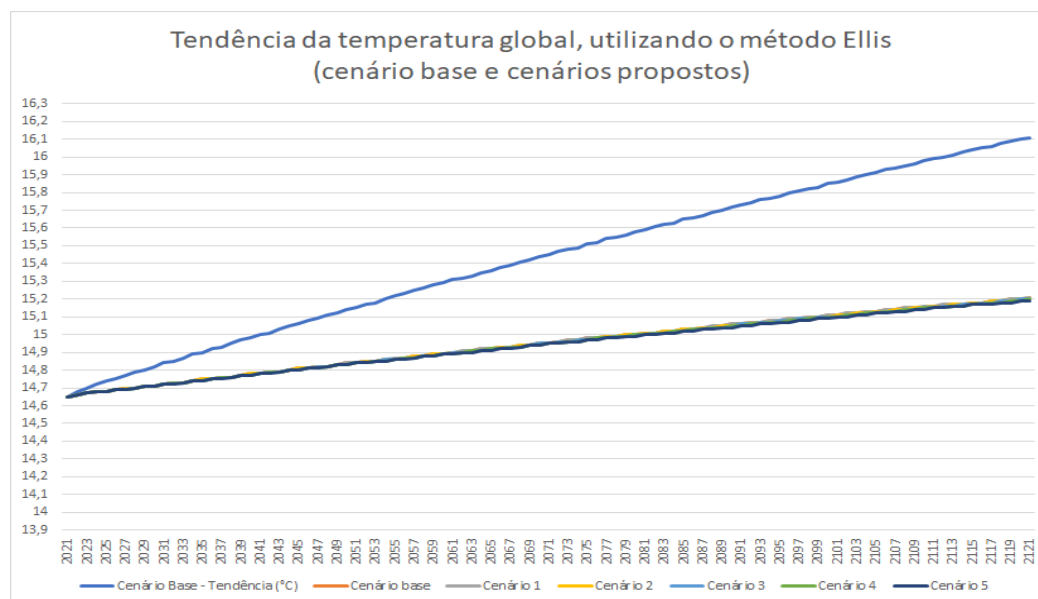
Figura 26 - Tendência da temperatura global para os cenários propostos utilizando o método de UCAR – análise dos anos 2110 a 2121.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

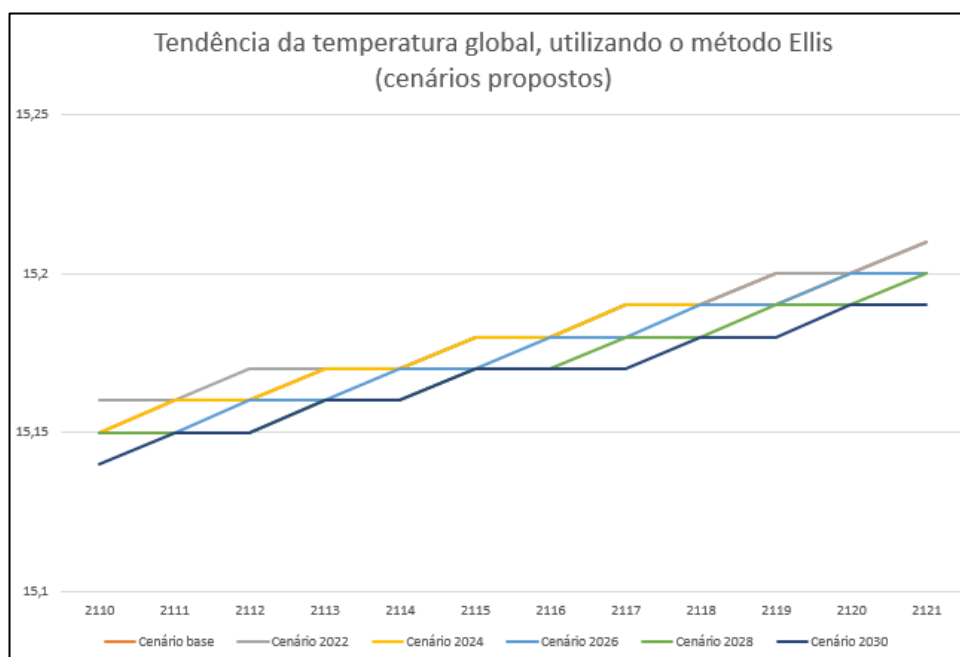
Uma tendência similar é possível ser identificada quando aplicado o método de Ellis (2008), conforme apresentado no Figura 27, sendo que a mesma análise concentrada nos anos finais do estudo, foi realizada para esse método (Figura 28).

Figura 27 - Tendência da temperatura global (para o cenário base e para os cenários propostos) utilizando o método de Ellis.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Figura 28 - Tendência da temperatura global para os cenários propostos utilizando o método de Ellis – análise dos anos 2110 a 2121.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Em suma, a Tabela 19 apresenta a temperatura obtida para o ano de 2121 e a redução de temperatura (em relação ao cenário base) para os dois métodos estudados. Observação: diante do arredondamento dos resultados para duas casas decimais, a diferença de temperatura se difere do valor real da temperatura apresentada na tabela.

Tabela 19 - Temperatura obtida para o ano de 2121 e a redução de temperatura (em relação ao cenário base) utilizando o método UCAR e Ellis.

Método		Cenário base 2020 (°C)	Cenário 2022 (°C)	Cenário 2024 (°C)	Cenário 2026 (°C)	Cenário 2028 (°C)	Cenário 2030 (°C)
UCAR, (2022)	T (°C)	16,11	15,23	15,23	15,22	15,22	15,22
	ΔT (°C)	0	-0,88	0,89	-0,89	-0,89	-0,90
Ellis, (2008)	T (°C)	16,11	15,21	15,20	15,20	15,20	15,19

	ΔT (°C)	0	-0,91	-0,91	-0,91	-0,92	-0,92
--	-----------------	---	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O presente estudo também obteve a diferença de concentração de dióxido de carbono atmosférico comparando o cenário base (2020) e o cenário 2030 proposto, que é o cenário com a aplicação de todas as metas estipuladas pelo PMU, com relação aos modelos CMIP6. Esta etapa teve o objetivo de analisar a tendência dos cenários do PMU em relação aos modelos apresentados. Os resultados são apresentados na Tabela 20.

Esta etapa do estudo permite verificar como os modelos desenvolvidos se mantêm ao longo do passar dos anos estudados, sendo que cada modelo possui circunstâncias de aumento e redução de emissões de GEE globais. No entanto, o presente estudo considera uma variável de emissão, que é o transporte, já os modelos consideram uma série de variáveis associadas aos processos industriais, agropecuária, mudança de uso da terra e floresta, energia, alterações na camada de ozônio, entre outras. Deste modo, é considerado que os modelos CMIP6 possuem uma análise mais complexa, porém, mesmo diante desta diferença, ambos possuem lógicas homólogas.

Tabela 20 - Concentrações de CO₂ atmosférico nos modelos CMIP6, aplicado ao cenário base do estudo e ao Cenário 2030 proposto.

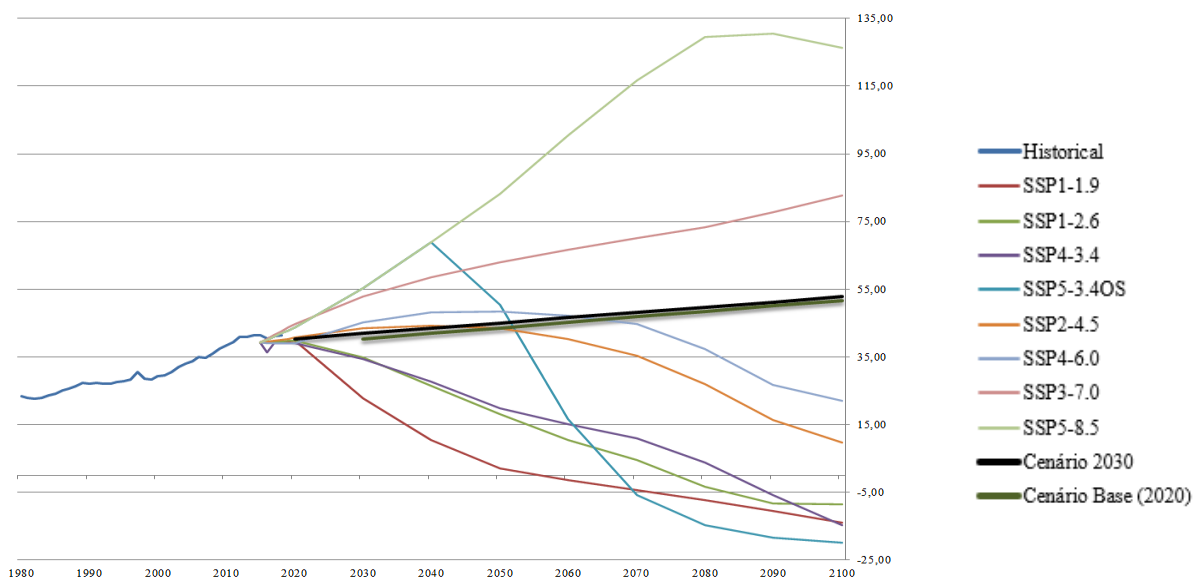
Modelo/ Cenário	Concentrações de CO ₂ em ppm por ano													
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Histórico	41,40	40,40	41,20	41,30										
SSP1-1.9	39,15	39,26	39,48	39,59	39,59	39,69	22,85	10,48	2,05	-1,53	-4,48	-7,31	-10,57	-13,89
SSP1-2.6	39,15	39,28	39,41	39,54	39,67	38,80	34,73	26,51	17,96	10,53	4,48	-3,29	-8,39	-8,62
SSP4-3.4	39,15	36,40	39,12	39,11	39,09	39,08	34,46	27,74	19,84	15,06	10,86	3,71	-5,96	-14,82

SSP5-3.4OS	39,15	40,06	40,96	41,89	42,80	43,71	55,30	68,77	50,32	16,58	-5,77	-14,86	-18,56	-20,00
SSP2-4.5	39,15	39,45	39,75	40,05	40,35	40,65	43,48	44,25	43,46	40,20	35,24	26,84	16,32	9,68
SSP4-6.0	39,15	39,14	39,12	39,11	39,09	39,08	45,17	48,14	48,38	47,26	44,67	37,40	26,63	21,93
SSP3-7.0	39,15	40,28	41,41	42,54	43,68	44,81	52,85	58,50	62,90	66,57	70,04	73,41	77,80	82,73
SSP5-8.5	39,15	40,06	40,98	41,89	42,80	43,71	55,30	68,78	83,30	100,34	116,81	129,65	130,58	126,29
Cenário base (2020)						40,37	41,98	43,58	45,19	46,80	48,41	50,02	51,63	53,24
Cenário 2030						40,37	39,14	37,90	36,68	35,45	34,22	32,99	31,76	30,54

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Visto que no cenário base (2020) e o cenário 2030 foram consideradas emissões constantes ao longo dos anos, comportamento apresentado é linear, se diferenciando das demais análises do modelo CMIP6, conforme é possível verificar na Figura 27.

Figura 29 - Concentração de CO₂ atmosférico nos modelos CMIP6, cenário base e cenário 5.



Fonte: Elaborada pela autora (2022), utilizando como base os dados históricos IPCC, 2020.

5 DISCUSSÕES

O presente estudo realizou a quantificação da emissão de Gases do Efeito Estufa - GEE para o ano de 2020 (sendo este o cenário base da pesquisa) e para demais cinco cenários, elaborados de acordo com as metas determinadas pelo Plano de Mobilidade Urbana - PMU do município de Brusque. Os resultados permitiram verificar os efeitos em relação às emissões de GEE para o setor de transporte de pessoas, bem como verificar a tendência de emissão a partir da implantação e execução das metas determinadas no PMU.

Os resultados obtidos vão ao encontro com os princípios determinados pela Lei de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012), no que se refere às questões de cunho ambiental e sustentável, focando no desenvolvimento sustentável, nas dimensões socioeconômicas e ambientais, bem como com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas.

De acordo com Nocera, Tonin e Carallaro (2015), diante do cenário de aumento constante das emissões de GEE no transporte nos últimos anos e a consequente piora no panorama do aquecimento global, considera-se a sua redução como um dos objetivos mais importantes no planejamento da mobilidade. Contudo, os PMUs nem sempre visam a redução das emissões de gases poluentes por razões políticas e por falta de metodologias adequadas.

Apesar do desejo de elaborar soluções universais passíveis de serem replicadas em diferentes localidades, até mesmo em âmbito mundial, é cada vez mais perceptível a importância de diagnósticos e estudos locais para que haja alternativas mais eficientes, fundamentadas na proposição de alternativas para mobilidade urbana. Nos itens a seguir serão apresentadas as discussões dos resultados inseridos no item 4 do estudo.

5.1 COMPARATIVO ENTRE OS CENÁRIOS

Diante do fato dos cenários analisados serem oriundos das metas do PMU municipal e este possuir um caráter voltado para mobilidade com a tendência mais

sustentável, conforme exigido em lei, os resultados obtidos caracterizaram esta propensão, uma vez verificada a diminuição das emissões de GEE no decorrer da concretização das metas. O decaimento da emissão de GEE foi caracterizada como gradual e constante e a maior taxa de diminuição foi encontrada no cenário 2030, sendo este mais ambicioso com a junção e aplicação da totalidade das metas determinadas para o PMU, ou seja, à medida que foram aplicados os cenários propostos na presente pesquisa, associados ao estímulo da utilização de veículos individuais motorizados, foi verificada a redução da emissão de GEE. Afirma-se, portanto, que as medidas propostas nos cenários vão ao encontro de soluções mais sustentáveis para o setor de mobilidade.

Os resultados obtidos no presente estudo estão alinhados com os resultados alcançados por Toledo (2019), uma vez que após o autor propor cenários de mitigação visando alternativas de transporte mais sustentáveis e principalmente, ações com o objetivo de desestimular o uso de veículos motorizados de uso individual para a cidade de Natal/RN, obteve redução da emissão de GEE e de material particulado para os cenários futuros projetados. O resultado com maior redução de emissão é encontrado no cenário 2 do estudo do autor, o qual é considerado mais promissor, por possuir maiores metas, convergindo com os dados do presente estudo, que obteve maiores reduções no cenário 2030, sendo este o cenário com as maiores metas de mitigação de emissão.

No entanto, de acordo com o autor, os cenários do Plano de Mobilidade Urbana da cidade de Natal são tímidos em suas soluções para o transporte urbano, e mostra um agravamento do tráfego em todos os cenários para 2020 e 2025. Ao analisar a comparação com os cenários de mitigação elaborados pelo autor, observou-se que o resultado final de mitigação de emissões também foi bastante tímido, cerca de 5% no cenário, ou seja, houve diminuição com a aplicação das metas e ações, porém, em um percentual menor.

Toledo (2019) afirma que o planejamento de mobilidade urbana do governo municipal de Natal (PlanMob) não vai ao encontro da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), aumentando substancialmente as emissões de GEE nos cenários considerados para 2020 e 2025. Cenários de mitigação integrando transporte público eletrificado e soluções de transporte não-motorizadas apresentam redução das emissões de GEE de cerca de 5% e redução de 7,5% de Material Particulado (PM)

em 2025, em relação ao cenário de referência do estudo.

Segundo outros autores (LERMAN, 2020; SUKMANA RS *et al.*, 2019; HIDALGO *et al.*, 2013) ao ser incorporado no cotidiano de uma cidade o uso de meios de transporte motorizados, migrando de combustíveis fósseis para alternativas mais limpas ou então, meios de transporte não motorizados, a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE diminuem e consequentemente a qualidade ambiental dos centros urbanos e da população residente.

Vale destacar que os cenários propostos tanto no presente estudo como nos estudos analisados não possuem apenas o objetivo de reduzir as emissões de GEE, mas também o de melhorar a mobilidade da cidade, tendo como consequência a redução da poluição atmosférica. Ademais, o planejamento integrado dos sistemas de mobilidade e das diretrizes de uso e ocupação do solo é um aspecto essencial para promover cidades sustentáveis (FRAGOMENI, 2012).

Além do tipo de meio de transporte utilizado, quesito este que foi analisado para a elaboração dos cenários, o tipo de combustível também possui grande relevância nas emissões de GEE. Entretanto, os municípios possuem limitações para realizar incentivos a um combustível, visto que os tributos são em sua maioria estaduais e/ou nacionais e, fica sob responsabilidade do município as ações de restringir os horários ou zonas de tráfego de certos veículos.

De acordo com Yigitcanlar & Teriman (2015), os ambientes urbanos têm promovido impactos substanciais sobre os estilos de vida, comportamentos e padrões de consumo das pessoas. Portanto, um desenvolvimento sustentável é crucial não só para facilitar a forma de viver nas cidades, mas também para manter a existência de ecossistemas urbanos.

5.2 COMPARATIVO ENTRE OS MEIOS DE TRANSPORTE ANALISADOS

Diante dos resultados obtidos, verificou-se que o principal meio de transporte de emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE é o transporte individual motorizado, sendo o principal gás emitido o dióxido de carbono. Após essa categoria encontra-se o transporte público, sendo que as demais categorias não são consideradas emissoras de GEE, sendo elas a bicicleta e a caminhada.

5.2.1 Transporte individual motorizado

Redman *et al.* (2013) mencionam que um dos principais problemas de desenvolvimento sustentável ao nível do setor dos transportes está, principalmente, associado ao uso do transporte privado individual em áreas urbanas. Toledo (2019) menciona que as ações de mitigação das políticas públicas devem priorizar o desestímulo do uso do meio de transporte individual e motorizado. Para isso é necessário que haja o aumento da atratividade dos transportes públicos, atualmente considerados, em muitas cidades do Brasil, insuficientes e de baixa qualidade, fato que ocorre frequentemente também em demais países em desenvolvimento.

De acordo com Cepeliauskaite *et al.* (2021), no caso de Barcelona, a redução de dióxido de carbono para a transferência do uso excessivo do transporte individual motorizado para outros meios de transporte (como por exemplo: bicicleta e transportes públicos) foi estimada em 203.251 t/CO₂ emissões por ano. Xia *et al.* (2015) citam que ao transferir 40% dos quilômetros percorridos por veículos de passageiros para transportes alternativos, a média anual de poluição atmosférica urbana diminuiria em cerca de 0,4 µg/m³ em comparação com a situação atual em 2030. No caso de Lisboa e Helsínquia, a plena utilização da mobilidade partilhada poderia levar a uma redução de CO₂ em 62% causado por automóveis particulares (ITF, 2017).

O presente estudo obteve a maior taxa de emissão de GEE para a categoria de transporte individual motorizado, assim como Toledo (2019) também obteve a maior taxa de emissão de dióxido de carbono equivalente para esta categoria, sendo de aproximadamente 70% da emissão total. De acordo com dados do Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA (2017), do Inventário de Emissões Atmosféricas do Transporte Rodoviário de Passageiros no Município de São Paulo, a emissão gerada no município pelo transporte individual motorizado é muito além quando comparada aos demais meios de transporte, uma vez que também são responsáveis por 70% de Gases de Efeito Estufa emitidos na cidade, considerando apenas o transporte de passageiros.

A partir da elaboração da presente pesquisa e da análise de demais estudos (TOLEDO, 2019; IEMA, 2017; SALDIVA, 2018), foi possível identificar que a tendência brasileira é marcada pela maior presença e uso de veículos motorizados individuais, quando comparado aos demais meios de transporte existentes nos centros urbanos.

É importante destacar que o uso excessivo deste tipo de veículo acarreta em maiores congestionamentos e piora no trânsito, uma vez que um automóvel possui aproximadamente 4,00 metros de comprimento por 1,80 metros de largura. Adicionado a estas dimensões tem-se um espaçamento médio de 1 metros na parte frontal e traseira do veículo e 0,5 metros em ambas as laterais, deste modo, pode-se dizer que apenas um veículo ocupa no trânsito uma área média de 16,8 metros quadrados. Conforme o presente estudo, a lotação aproximada por veículo é de 1,1 passageiros, sendo assim, cada pessoa no trânsito, ao se locomover com um veículo motorizado individual ocupa 15,27 metros quadrados.

Quando comparada esta área de ocupação com a área ocupada por um passageiro de transporte coletivo, por exemplo, tem-se que: visto que um ônibus possui dimensões de aproximadamente 14 metros por 2,5 metros e adicionando os mesmos espaçamentos utilizados para o cálculo do uso do veículo individual motorizado, tem-se que um ônibus ocupa 56 metros quadrados. Conforme dados utilizados no presente estudo, um ônibus transporta aproximadamente 35 passageiros e, deste modo, cada um deles ocupa em média 1,6 metros quadrados, ou seja, um passageiro de transporte coletivo ocupa uma área 9,5 vezes menor, quando comparado ao usuário de transporte individual motorizado.

A Figura 21 apresenta o espaço ocupado pelo mesmo número de passageiros quando utilizam o carro, o ônibus e a bicicleta.

Figura 30 - Representação do espaço necessário para transportar 40 passageiros, comparando a utilização do veículo motorizado individual, ônibus e bicicleta.



Fonte - Des Moines (2022).

5.2.2 Ônibus coletivo

Foi possível verificar que a emissão de dióxido de carbono equivalente quando quantificado para a categoria 'ônibus e microônibus' teve um aumento da emissão e não a sua redução, como verificado para as demais categorias estudadas. Estes resultados ocorreram visto que, atualmente, o uso das linhas de ônibus coletivos não comporta a demanda e necessidade da grande maioria dos munícipes, como evidenciado pelo diagnóstico elaborado no PMU, sendo considerado ineficiente, ou seja, mesmo sendo o ônibus o meio de transporte, entre os analisados, que mais consome combustível, sua emissão foi a menor diante do baixo uso na cidade.

Toledo (2019) identificou essa mesma carência de veículos destinados a transporte público na cidade de Natal/RN, uma vez que a frota de ônibus e microônibus da cidade representou 0,23% do total de veículos registrados na cidade. No entanto, com o incremento da frota houve um aumento da emissão de GEE. O autor menciona que, mesmo sendo baixa a representatividade da frota diante do quantitativo geral de veículos na cidade, esta pequena quantidade de veículos realiza alta quilometragem anual, utiliza o diesel como combustível e normalmente são veículos de meia-idade, sendo estes alguns dos fatores para o aumento da contribuição de GEE diante da introdução de novos ônibus destinados ao transporte coletivo. No entanto, a diferença entre o presente estudo e o de Toledo (2019) é que o estudo de Toledo não obteve aumento de emissão de GEE para a categoria "ônibus e microônibus" uma vez que nos cenários adicionais de mitigação o autor inseriu em seu estudo o uso de transporte público eletrificado. A substituição de ônibus movidos a combustível fóssil por ônibus elétricos no transporte público, é uma alternativa para que haja a contribuição de redução de GEE se associada a uma mudança da rede existente, passando de rede tipo ponto-a-ponto para rede tronco-alimentadora.

Conforme mencionado por Tiwari e Jain (2016), é importante ressaltar que mesmo com estas características o transporte público, por meio da utilização de ônibus, apresenta uma taxa de emissão de GEE por passageiro de 2,7 vezes menor do que a taxa de emissão por passageiro do transporte motorizado individual. Quando comparado ao presente trabalho, observa-se que a taxa de emissão por passageiro do veículo motorizado individual foi de 3,8 vezes maior, quando comparado ao transporte coletivo.

Diante desta realidade, para aumentar a qualidade dos serviços prestados e atender a demanda atual e dos próximos anos, os cenários futuros necessitam possuir um incremento de qualidade da frota e extensão das linhas existentes. O foco no transporte público é considerado fator decisivo quando analisado as literaturas relacionadas à descarbonização do transporte urbano (REDMAN *et al.*, 2013; RIBEIRO & MENDES, 2017).

De acordo com Gouvello *et al.* (2010), o desenvolvimento de sistemas de ônibus de alta capacidade em áreas de tráfego intenso associado ao gerenciamento de mobilidade urbana para reduzir os congestionamentos e, conseqüentemente, aumentar a velocidade, aumentando por exemplo a velocidade de 20 km/h para 25 km/h, pode gerar uma redução de aproximadamente 5% das emissões de GEE.

Conforme exposto por Dalkmann & Brannigan (2007), a diminuição das emissões está diretamente relacionada com a redução de deslocamentos, ou seja, direcionar a população ao uso de terminais e corredores de transporte coletivo, acarreta na redução de emissão de GEE por este tipo de transporte.

Além do mais, Fragomeni (2012) menciona que a utilização de sistemas de transporte público por demanda permite que seja adaptado o tamanho do veículo a ser utilizado com a necessidade dos usuários de uma localidade. Este cenário tem como consequência a redução de emissão de gases poluentes pela utilização de combustíveis e proporciona que haja a divisão de despesas de um único veículo com um número maior de passageiros. Por meio da utilização de uma frota diversificada é possível otimizar a circulação deste tipo de meio de transporte, uma vez que será utilizada conforme as necessidades dos usuários e as características do meio, sendo esta uma possível solução para equiparar as emissões de GEE com o aumento do uso do transporte coletivo.

Porém, Lerman *et al.* (2020) mencionam que o desempenho do ônibus não é bom em muitos aspectos, pois representa um alto tempo de viagem (em 75% das viagens estudadas) quando comparado a outros modais de transporte e, dependendo da distância, pode não representar uma vantagem para seus usuários. Além do mais, de acordo com Browne e Ryan, (2011), embora o transporte público proporcione múltiplos benefícios aos sistemas urbanos, ele também apresenta impactos ambientais, econômicos e sociais significativos. De fato, o setor dos transportes tem

um grave impacto no ambiente devido à emissão de GEE, sendo que além disso, o consumo de energia nos transportes desenvolve um problema de dependência energética, uma vez que grande maioria dos meios de transporte público e coletivo ainda são utilizadores de combustíveis fósseis.

5.2.3 Bicicleta

Lerman *et al.* (2020) verificaram que a bicicleta é um meio de transporte muito conveniente em termos de custo e o mais interessante do ponto de vista ambiental, porém, os tempos de deslocamento costumam ser maiores, fazendo com que, em alguns casos, o uso do transporte individual prevaleça em trajetos mais longos. Sendo assim, a escolha do uso da bicicleta depende da compatibilidade do trânsito ou do trajeto em relação ao uso desse meio, além do estilo de vida do usuário.

De acordo com os dados obtidos no Plano de Mobilidade Urbana do município de Ribeirão Preto, quando analisados os motivos para a escolha da utilização do uso de bicicleta como meio de transporte, o fator 'curta distância' representou 66% das respostas do público analisado, seguido por 19% que justificou o uso da bicicleta diante da tarifa do ônibus. Como forma de incrementar o uso deste meio de transporte na cidade, o PMU do município apresentou como proposta que todo o sistema viário estrutural contaria com infraestrutura para bicicletas, tanto o existente como o projetado.

No entanto, verificou-se alguns quesitos que necessitam de maior atenção para o sucesso da proposta, tais como: a questão cultural, uma vez que o transporte cicloviário no Brasil ainda é pouco utilizado em áreas urbanas como Ribeirão Preto, sobretudo por classes sociais mais privilegiadas; a questão climática uma vez que Ribeirão Preto possui altas temperaturas no decorrer do ano e uma solução seria a arborização das vias; e a questão de infraestrutura, pois este quesito não se restringe somente às vias, mas também a reserva de locais seguros para estacionamento, como paraciclos e bicicletários, além, muitas vezes, da adequação dos locais de destino, com a previsão de vestiários para que os usuários possam tomar banho e trocar de roupas (TRANSERP, 2012). Verifica-se que estes fatores elencados pelo PMU analisado se estendem para grande parte do Brasil, em especial para o município de Brusque, área de estudo selecionada para a presente pesquisa.

A carência de infraestrutura para o uso da bicicleta foi elencada no PMU de Brusque, sendo que, segundo Sukmana RS *et al.* (2019), as vias quando projetadas apenas para carros, com opções de transporte limitadas, fazem com que pedestres, ciclistas e outros usuários de transporte se sintam desconfortáveis e inseguros. A bicicleta como meio de transporte mais ecologicamente correto é uma grande alternativa que pode substituir os veículos automotores e, conseqüentemente, reduzir o impacto do aquecimento global. Sendo assim, instalações para usuários de bicicletas proporcionam sensação de segurança e conforto aos usuários. Além do mais, Sukmana Rs *et al.* (2019) citam que em uma comunidade na qual 100.000 habitantes substituem seus carros por bicicletas, há o potencial de redução de 3.764 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) por ano.

De acordo com Gouvello *et al.* (2010), analisando o cenário brasileiro para o ano de 2030 e com a implantação adequada da rede de ciclovias, é possível identificar que o estímulo ciclovitário permitiria a redução de até 1,6% nas emissões de transporte urbano, o que corrobora com a ampliação de ciclovias prevista no PMU de Brusque. Além do mais, o aluguel de bicicletas mostrou-se um meio de transporte vantajoso, mas sua utilização depende da cobertura e disponibilidade do serviço.

Uma vantagem também destacada por Lerman *et al.* (2020) foi o custo global para o uso de bicicletas, sendo que em seu estudo apresentou um valor médio de R\$ 0,38 para o trajeto analisado e, que para o mesmo trajeto o custo para uso de carro particular foi de R\$ 50,28, para táxi foi de R\$ 62,15 e o uso de veículo de aplicativo obteve uma média de R\$ 53,50. Os valores levaram em consideração a aquisição, a depreciação e manutenção.

5.2.4 Caminhada

O ato de caminhar para algum destino não contribui com emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE e é uma forte ação aliada ao combate às mudanças climáticas de origem antrópica. No entanto, nem sempre esta alternativa é uma possibilidade válida a ser considerada, principalmente pelo distanciamento dos percursos.

Além do mais, segundo Braga (2012), no que se refere à mitigação das mudanças climáticas, mais especificamente na redução de emissão de GEE, o

planejamento urbano possui um importante papel para futuras tomadas de decisão do uso do meio de transporte que será utilizado pela população de uma comunidade.

O planejamento urbano está diretamente relacionado com o fato de as pessoas escolherem caminhar para seu destino, quando esta é uma alternativa viável, levando em consideração principalmente a distância a ser percorrida. De acordo com o Plano de Mobilidade do Município de Blumenau, um elemento-chave de uma estratégia de mobilidade sustentável é o planejamento e oferecimento de espaços públicos. Sem espaços públicos seguros e de boa qualidade, dificilmente mais pessoas caminharão ou utilizarão a bicicleta no município.

Analisando o PMU da cidade de Blumenau foi possível identificar problemáticas semelhantes elencadas no PMU de Brusque, no que se refere a alternativa de locomoção por meio de caminhadas. Em diversas regiões dos municípios é possível identificar a ausência de calçadas seguras, de qualidade e com larguras adequadas. Além do mais, muitas delas apresentam irregularidades no piso, tais como: buracos, tampas de inspeção de serviço elevadas, declividades acentuadas, ausência de guias rebaixadas, degraus, muretas para contenção da água, falta de concordância de nível, postes e placas mal alocados, árvores de porte inadequado e outras não conformidades que dificultam a caminhabilidade (PREFEITURA DE BLUMENAU, 2018).

O plano de melhorias e incentivos aos pedestres elaborado no PMU de Brusque vem com o intuito de estimular as caminhadas para lazer, porém as grandes distâncias entre as residências e os ambientes de trabalho não favorecem as caminhadas com destino aos locais de trabalho.

Além de ser um hábito saudável que, sendo constante, tem impactos positivos na redução de custos dos cuidados médicos, também demanda menos gastos em investimentos de transporte e manutenção de vias. Verificou-se também que caminhar favorece a sociabilidade entre as pessoas e melhora o percentual de vendas em áreas comerciais. Os principais objetivos no plano são: qualificar as calçadas; incentivar o desenvolvimento de bairros com maior complexidade de usos, considerando moradia, trabalho e lazer; incentivar os deslocamentos a pé nas centralidades; garantir a segurança dos pedestres nos cruzamentos e de garantir a segurança dos pedestres através de informação e sinalização. Estas ações possuem o propósito de aumentar a escolha da caminhada e conseqüentemente, contribuir para a redução da emissão

de GEE.

5.3 INFLUÊNCIA DOS RESULTADOS NOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

A partir da aplicação da metodologia proposta e da realização da presente pesquisa, obteve-se na simulação de análise do comportamento da temperatura a partir da aplicação dos cenários propostos, uma redução média global de 0,89°C, quando utilizado o método UCAR (2022) e de 0,91°C, quando utilizado o método de Ellis (2008). Sendo assim, é possível afirmar que as premissas consideradas no estudo são compatíveis com a redução da emissão de GEE e, consequentemente, com a atenuação da temperatura local. Além do mais, foi possível observar a alteração da linha de tendência da concentração de dióxido de carbono atmosférico, obtendo um valor de 53,24 ppm para o cenário base e de 30,54 ppm para o cenário 2030, considerando o ano de 2121 (Tabela 22).

De acordo com Dantas *et al.* (2008), o processo de degradação ambiental ocorre de diferentes maneiras e em níveis temporais e espaciais distintos, sendo assim, a temperatura do ar associada aos demais fenômenos como, por exemplo, a poluição atmosférica, estão relacionadas e devem ser compreendidos por meio de análise das variabilidades e mudanças de comportamento das variáveis climáticas.

No processo de urbanização de uma cidade a transferência de radiação é afetada pela poluição do ar, acrescida pela emissão de GEE pelos meios de transporte movidos a combustível fóssil, aumentando deste modo, o número de núcleos de condensação no ar, o que acarreta em um acréscimo da precipitação local e na criação de ilhas de calor (OKE, 1987; ARYA, 1988). Lombardo (1985) menciona que a associação da poluição atmosférica em adição com as ilhas de calor são exemplos relevantes de alterações que o processo de urbanização impõe às condições climáticas locais.

Salvida (2018) afirma que a grande maioria das cidades brasileiras têm os veículos como principal fonte de emissão de gases poluentes à atmosfera e também como causador de imobilidade, quando seu uso ocorre em excesso pela grande maioria dos habitantes de uma localidade, fato que dificulta o tráfego e ocasiona congestionamentos e maior inalação de poluentes.

Dantas *et al.*, (2008) e Salvida (2018) mencionam que as cidades,

principalmente os seus centros urbanos, estão cada vez mais aquecidos (originando as ilhas de calor), quando comparado com demais localidades mais distantes das aglomerações urbanas. Lombardo (1985), menciona que os habitantes dessas áreas se tornam pessoas mais vulneráveis às enfermidades cardiovasculares, por exemplo, o que se torna uma situação ainda mais preocupante com a população de idade mais elevada. A junção de diferentes áreas aquecidas espalhadas por diferentes cidades, países e continentes, oriundas em muitos casos pela emissão de dióxido de carbono e de demais gases poluentes, podem acarretar em uma prospectiva mudança climática no planeta.

Muito se fala sobre a influência do aumento de temperatura em relação aos elementos meteorológicos e, baseado nisto, o presente estudo abordou e propôs metas direcionadas ao trânsito da cidade de Brusque/SC com o intuito de gerar o decréscimo da temperatura. Sendo assim, em uma visão antagônica sobre o que muito se disserta, o decréscimo da temperatura global, diante de medidas de redução de emissão de GEE, contribuirá para que os países que se comprometeram no Acordo de Paris a manterem o aumento da temperatura média global para abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais e a fazer esforços para limitar esse aumento da temperatura média a 1,5°C, proporcionando o alcance do objetivo acordado (UNITED NATIONS, 2015).

O município de Brusque sofre, constantemente, com alagamentos em função do Rio Itajaí mirim cortar a região central da cidade e de suas margens possuírem pouca vegetação, o que ocasiona assoreamento que intensifica os alagamentos. A redução da emissão de gases de efeito estufa prevista em função da implantação do PMU de Brusque possibilitará uma pequena redução da temperatura no município, que, conseqüentemente, possibilitará a alteração do regime de chuvas no município e região, reduzindo os constantes alagamentos.

6 PRODUTOS DESENVOLVIDOS

6.1 PRODUTO TECNOLÓGICO

O produto tecnológico desenvolvido no presente estudo foi a “Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade” (Figura 29 e 30), sendo esta uma ferramenta de uso fácil e interativa. O objetivo deste produto é proporcionar ao cidadão um ambiente onde se possa verificar a quantidade de gases de efeito estufa gerada durante um determinado deslocamento e, por consequência, estimular a redução das emissões.

Esta calculadora está inserida no site: <https://calculomobilidade.com.br/>, sendo que posteriormente será inserida no website da Fundação Municipal de Meio Ambiente de Brusque (Fundema), onde o usuário necessitará informar a quilometragem diária realizada para se locomover para suas atividades, além de selecionar o tipo de combustível (alternativas: gasolina ou diesel), inserir a taxa de consumo (km/l) do veículo que é utilizado e por fim, o número de pessoas que compartilha com o usuário o meio de transporte utilizado. Para a apresentação dos resultados é necessário clicar no botão “Calcular”.

Os resultados obtidos são: emissões totais (kg CO₂ eq/ano) e a informação do número de árvores que o usuário necessitará plantar na Mata Atlântica com o objetivo de compensar as suas emissões anuais oriundas do meio de transporte utilizado.

Figura 31 – Informações iniciais do site da Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade.



Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade

Calcule a sua emissão de CO₂eq no transporte do dia-a-dia e saiba como compensá-las

Diversas práticas cotidianas do dia-a-dia de uma pessoa são responsáveis por emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE, sendo uma delas o deslocamento por meio de veículos movidos a combustíveis fósseis. Baseado na elaboração do Plano de Mobilidade Urbana – PMU de uma cidade é possível estimar a redução de emissão de GEE do transporte utilizado pela população, principalmente devido a implantação de novas infraestruturas e mudanças de hábitos. A substituição do uso do meio de transporte individual pelo coletivo ou então, o uso de meios de transporte que não são movidos a combustíveis fósseis geram grandes mudanças.

A Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade tem o objetivo de quantificar as emissões de dióxido de carbono equivalente a partir do meio de transporte utilizado no dia-a-dia e apresenta a compensação necessária para a emissão anual (Bioma Mata Atlântica).

Calculadora

Figura 32 - Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade.



CO₂eq

Calculadora de CO₂eq

Preencha todos campos abaixo para calcular as emissões de dióxido de carbono.

Preencha somente com números.

Km dia [Km] Km dia [Km]	Tipo de combustível Tipo de combustível
Taxa de consumo [Km/l] Taxa consumo [Km/l]	Número pessoas Número pessoas

Calcular consumo

A Figura 31 apresenta um exemplo do uso da calculadora, sendo que neste caso foi inserida a informação do uso diário de 30 km de um veículo movido a gasolina e com taxa de consumo de 10 km/l. Neste exemplo o usuário não compartilha seu veículo durante este percurso analisado. Neste caso o usuário emite 1.688,31 kg CO₂ equivalente por ano e para compensar essa emissão necessita plantar 13 árvores no bioma Mata Atlântica.

Figura 33 - Exemplo de utilização da Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade.



CO₂eq

Calculadora de CO₂eq

Preencha todos campos abaixo para calcular as emissões de dióxido de carbono.
Preencha somente com números.

Km dia [Km] 30	Tipo de combustível Gasolina ▼
Taxa de consumo [Km/l] 10	Número pessoas 1

Calcular consumo

Emissões Totais:
1688.31 (Kg CO₂eq / ano)

Número de árvores a plantar na Mata Atlântica:
13 (ano)

Visto que os dados utilizados para os referidos cálculos não são exclusivos do município de Brusque e sim do bioma no qual o município está inserido, a ferramenta é aplicável para todas as cidades e regiões inseridas no bioma Mata Atlântica.

6.2 PUBLICAÇÃO DE ARTIGO

Além da Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade o presente estudo obteve como um dos produtos a submissão do artigo “Efeito da implantação do plano de mobilidade urbana do município de Brusque/SC na emissão de gases de efeito estufa”, na revista *online* Geociências do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP)/Campus de Rio Claro (ISSN 1980-900X). O resumo do artigo submetido é apresentado na sequência.

RESUMO: Este artigo teve como objetivo analisar o potencial de redução da emissão de GEE a partir da implantação do PMU do município de Brusque/SC. A metodologia se baseou-se na aplicação da ferramenta do Programa Brasileiro GHG *Protocol* para quantificação da emissão de gases de efeito estufa, assim como na determinação da influência dos GEE na variação da temperatura do município e em esfera global, por meio dos métodos de Ellis e UCAR. Os cenários propostos envolveram os meios de transporte: coletivo público, motorizado individual, bicicletas e caminhadas. Como resultado obteve-se que o transporte individual corresponde ao maior quantitativo das emissões totais do setor e que a aplicação dos cenários correspondeu a uma redução de até 20% da emissão do dióxido de carbono. Observou-se uma tendência de redução da temperatura, a partir da aplicação dos cenários propostos, sendo que o método UCAR obteve uma redução de 0,90°C e o método Ellis obteve o decréscimo de 0,92°C, o que possibilita confirmar que ações voltadas para mobilidade urbana coletiva e mais sustentável, resulta em menores emissões de gases poluentes na atmosfera e, com consequências positivas para o meio ambiente e população.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo estão alinhados com estudos similares, indicando que a adoção de práticas mais sustentáveis relacionadas às questões de mobilidade, são eficazes para a redução de emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE. Os resultados obtidos deixam claro que a permanência da execução das ações atuais de mobilidade, sem a introdução de ações voltadas para mobilidade urbana coletiva e mais sustentável, acarretará em maiores emissões de gases poluentes à atmosfera.

A pesquisa utilizou a metodologia do GHG *Protocol*, sendo esta uma ferramenta reconhecida e utilizada internacionalmente para a contabilização das emissões de GEE e aplicável a temática estudada. Esta metodologia é compatível com o exigido em lei e segue os princípios da ISO 14064. Além do mais, pode-se dizer que o estudo é uma contribuição original, uma vez que a cidade de Brusque/SC não possui este tipo de quantificação.

Os objetivos delimitados foram alcançados uma vez que foi possível analisar o cenário base de transporte do município de Brusque (ano de 2020) e propor cenários baseados na implantação do PMU. Diante destes cenários foi possível avaliar a emissão de GEE por meio de ferramenta reconhecida, determinar a influência dos gases na variação de temperatura estendendo a análise até o ano de 2121 e por fim, foi possível elaborar um produto para fornecimento de informações relacionadas a emissão de GEE oriundas do transporte do município de Brusque. Sendo assim, a partir da presente pesquisa foi possível analisar o potencial de redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), a partir da implantação do Plano de Mobilidade Urbana (PMU) do município de Brusque/SC.

Foi possível observar que as emissões oriundas do trânsito acarretam no acréscimo da concentração de GEE da cidade e possui como uma das consequências a adição de temperatura local. Quando dilatado o horizonte temporal e territorial de análise, observou-se que a introdução das metas do PMU impactou positivamente na mitigação do aquecimento global, uma vez que houve o resultado de redução média global de 0,89°C, quando utilizado o método UCAR (2022) e de 0,91°C, quando utilizado o método de Ellis (2008), ou seja, redução de aproximadamente 1°C.

A problemática ambiental e social associada com a emissão de GEE, bem como as mudanças climáticas, são consideradas ações negativas em escala global e

que não respeitam fronteiras geográficas. Associando este fato ao caráter intergeracional da situação, observa-se a importância e necessidade de realizações de soluções e ações que resultam em decisões de ordem interestatal. Ressalta-se também a importância de uma estratégia a longo prazo na obtenção de uma redução consistente das emissões de GEE.

Os cenários estudados visaram promover a redução de emissões de GEE, inserindo em maiores proporções os modais de transporte público, desestimulando o uso de veículos individuais motorizados, incentivando ao aumento do uso de transporte não-motorizado, principalmente o sistema de transporte coletivo.

Espera-se que este trabalho se torne um conteúdo extra a ser introduzido na análise do Plano de Mobilidade Urbana do município de Brusque/SC e que seja sustentada a importância da análise e aprovação do PMU pela Câmara dos Vereadores da cidade, tornando-a assim uma lei, resultando na aplicação e execução do conteúdo explanado no plano.

O conteúdo apresentado na pesquisa pode servir também como contribuição para os tomadores de decisão da cidade, no que diz respeito à gestão de mobilidade e de infraestrutura pública, para que seja avaliada, propiciando a relação deste tema à impactos ambientais e sociais associados à emissão de GEE e a qualidade de vida dos munícipes. Além do mais, espera-se não apenas impactar as decisões no município estudado, mas sim, de ocasionar o interesse de demais cidades da região e até mesmo em escala federal, que elaboraram seus PMUs a realizarem o estudo da emissão de GEE das suas metas propostas, visando uma tomada de decisão mais sustentável. Sendo assim, o trabalho possui também o cunho de conscientização, para que fique claro a relação das decisões públicas no que diz respeito à emissão de GEE e, consequentemente, à poluição atmosférica.

O produto gerado da presente dissertação foi voltado para que a população, de forma geral, consiga identificar a sua contribuição de emissão de GEE diante do meio de transporte utilizado. Elaborou-se a “Calculadora de Emissões de GEE para Mobilidade” para que esta possa, de uma forma simples, objetiva e didática, informar e conscientizar a população, servindo como incentivo à mudanças de hábitos.

Por fim, espera-se que a presente pesquisa sirva como incentivo a novos estudos e sirva de base para a ampliação de análises da temática mobilidade urbana na cidade de Brusque e região, como forma de implantação de estruturas públicas e

privadas que propiciem a operação de uma mobilidade mais sustentável ambientalmente e socialmente. Os trabalhos futuros poderão ser desenvolvidos e direcionados para a melhoria da mobilidade urbana, mitigando impactos ambientais provocados pelas emissões de GEE e de demais poluentes atmosféricos. Além do mais, é possível regionalizar a análise de emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE mediante análise dos Planos de Mobilidade Urbana já elaborados e os que estão em andamento, como forma de verificar se as metas propostas acarretam na melhoria da qualidade do ar e como consequência, diminuição da poluição atmosférica.

Outra possibilidade de trabalhos futuros é o de analisar as emissões de GEE incluindo as ações e metas estipuladas a longo prazo pelo PMU, ou seja, além do período de dez anos estudados na presente pesquisa. Nesse caso serão inseridos o uso do VLT e o transporte hidroviário e será possível identificar com maior precisão os efeitos de sua utilização tanto para a mobilidade da cidade como para os efeitos climáticos da região.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. 7.

ALVAREZ, Cristina Engel de; BRAGANÇA, Luis. Medidas para o Enfrentamento dos Impactos das Mudanças Climáticas no Ambiente Construído. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE URBANA, 1., 2018, Vila Vela. **Proceedings [...]**. Vila Velha: Editores, 2018. p. 3-12.

ALVES, Eliana Boaventura Bernardes Moura. **Inventário e neutralização de emissões de Gases de Efeito Estufa**: avaliação e desenvolvimento de software de cálculo. 2018. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

ARYA, Satya Prakash. **Introduction to Micrometeorology**. USA: Academic Press Inc, 1988.

ASSAD, Eduardo Delgado *et al.* **Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 11.

ASSIS, Luiz Fernando F. G. *et al.* TerraBrasilis: a spatial data analytics infrastructure for large-scale thematic mapping. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, [S.L.], v. 8, n. 11, p. 513, 12 nov. 2019. MDPI AG.

AUTOESPORTE. **Lista**: os 10 carros mais econômicos do Brasil, segundo o Inmetro. Disponível em: < <https://autoesporte.globo.com/seu-bolso/noticia/2021/10/lista-os-10-carros-mais-economicos-do-brasil-segundo-o-inmetro.ghtml> >. Acesso em: abril. 2022.

BARBIERI, Mariana Delgado; FERREIRA, Leila da Costa; BARBI, Fabiana. Governando as mudanças climáticas. **Ideias**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 71-98, 14 dez. 2018. Universidade Estadual de Campinas.

BARBOSA, Hugo de Oliveira *et al.* A RELAÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL COM A MUDANÇA DO CLIMA: uma avaliação cienciométrica. **Revista de Estudos Ambientais**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 21, 19 dez. 2018. Fundação Universidade Regional de Blumenau.

BECK, Ulrich. **Sociedade de Risco**. São Paulo: Editora 34, 2010. 384 p.

BERTOLDI, Márcia Rodrigues; SEOANE, Yasmin Lange. As mudanças climáticas e o comprometimento da existência da vida na terra: a baixa eficácia dos acordos internacionais para a estabilização das temperaturas. : A baixa eficácia dos acordos internacionais para a estabilização das temperaturas. **Revista Brasileira de Direito Internacional**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 207-229, jul. 2016. Semestral.

BOZIO, André Felipe; REGINATO, Vivian da Silva Celestino. Instabilidade de taludes frente aos deslizamentos de terra através da aplicação do modelo shalstab: estudo de caso no bairro azambuja em brusque/sc. In: ° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 17., 2021, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Cbge, 2021. p. 1-9.

BRAGA, Roberto. Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do estatuto da cidade. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2012, Belém. **Anais [...]**. Belém., 2012. p. 1-15.

BRASIL. **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília-DF, 2012.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília-DF, 2001.

BRASIL - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **MME reafirma o acerto da decisão do CNPE de manter o teor de biodiesel no diesel em 10% ao longo de 2022**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-reafirma-o-acerto-da-decisao-do-cnpe-de-manter-o-teor-de-biodiesel-no-diesel-em-10-ao-longo-de-2022>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BRAUN, Samara; AUMOND, Juarês José. Simulação de elevação do nível do mar na cidade de Joinville (SC). In: ENCONTROS NACIONAIS DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL - ENANPUR, Não use números Romanos ou letras, use somente números Árabicos., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Enanpur, 2017. p. 1-17.

BROWNE, David; RYAN, Lisa. Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 226-233, abr. 2011.

BRUKER. **Open path air monitoring system**. Disponível em: <<https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/infrared-and-raman/remote-sensing/em27-sun-solar-absorption-spectrometer.html>>. Acesso em 12 ago. 2022.

CEPELIAUSKAITE, Gabriele *et al.* Smart-Mobility Services for Climate Mitigation in Urban Areas: case studies of baltic countries and germany. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 4127, 7 abr. 2021. MDPI AG.

CERRI, Carlos Clemente *et al.* Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 66, n. 6, p. 831-843, dez. 2009. FapUNIFESP (SciELO).

<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/INVEMI_P11B.pdf>: Acesso em: 28 set. 2019.

COSTA, Falberni de Souza *et al.* Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 693-700, abr. 2006. FapUNIFESP (SciELO).

DALKMANN, H; BRANNIGAN, C. **Transport and climate change**: sustainable transport: sourcebook for policy-makers in developing cities. Module 5e. Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ, 2007. Disponível em: Acesso em 30 jun. 2022.

DANTAS, Renilson Targino *et al.* Avaliação das alterações de elementos meteorológicos em Recife-PE no período de 1961 a 2000. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 20, p. 67-74, jun. 2008.

DES MOINES. **Amount of space required to transport the same number of passengers by car, bus or bicycle.** Disponível em: <<https://dmampo.org/shoot-your-commute/>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

<<https://ecotecco.com.br/produtos/gazomat/gazoscan/>>. Acesso em 13 ago. 2022.

ELLIS, Tood D. STEPHENS, Grame L. **Controls of global-mean precipitation increases in global warming GCM experiments**. *Journal of Climate*, p. 6141–6155, 2008.

FEARNSIDE, Philip M.. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 16, n. 44, p. 99-123, abr. 2002. FapUNIFESP (SciELO).

FINNEGAN, Stephen *et al.* The carbon impact of a UK safari park – Application of the GHG protocol using measured energy data. **Energy**, [S.L.], v. 153, p. 256-264, jun. 2018. Elsevier BV.

FRAGOMENI, Guilherme. Planejamento e mobilidade urbana: uma breve análise da produção científica internacional. **Revista dos Transportes Públicos**, [s. l.], v. 2, n. 34, p. 57-76, maio 2012. Quadrimestral.

FRY, Jacob *et al.* Assessing carbon footprints of cities under limited information. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 176, p. 1254-1270, mar. 2018. Elsevier BV.

GARAGEM360. **O consumo dos carros mais vendidos e lançados em 2022**. Disponível em: <<https://garagem360.com.br/divulgado-o-consumo-dos-carros-lancados-em-2022-veja-lista-completa/>>. Acesso em: abril, 2022.

GOLLIN, Douglas; JEDWAB, Remi; VOLLRATH, Dietrich. Urbanization with and without industrialization. **Journal Of Economic Growth**, [s.l.], v. 21, n. 1, p. 35-70, 13 nov. 2015. Springer Science and Business Media LLC.

GOMES, Danielle Alves de Novas. **Quantificação e análise das emissões de Gases de Efeito Estufa na indústria Siderúrgica**. 2020. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2020.

GONÇALVES, J. M. F.; MARTINS, G. **Consumo de energia e emissão de gases do efeito estufa no transporte de cargas no Brasil. 2008.** Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao586/Art.Transporte_1.pdf>.

GONÇALVES, Reinaldo. **Globalização e Desnacionalização.** São Paulo: Paz e Terra, 1999. P. 24-140.

GOUVELLO, Christophe de. **Brazil Low-carbon Country Case Study.** Washington, D.C. USA: The World Bank, 2010.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. **About us - GHG Protocol.** Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/about-us>>. Acesso em 21 ago. 2022.

GHG PROTOCOL. **Programa Brasileiro GHG Protocol.** Disponível em: <<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>>. Acesso em: 20 maio 2022.

HIDALGO, Dario et al. Implementation of sustainable urban transport in Latin America. **Research In Transportation Economics**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 66-77, abr. 2013. Elsevier BV.

HUANG, Yuhua. *et al.* Tackling nitric oxide emissions from dominant diesel vehicle models using on-road remote sensing technology. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 243, p. 1177-1185, dez. 2018. Elsevier BV.

IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Inventário de Emissões Atmosféricas do Transporte Rodoviário de Passageiros no Município de São Paulo.** São Paulo, 2017.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Mudança do Clima**

2021: A Base Científica. 2021.

INTERNATION TRANSPORT FORUM - ITF. **Transition to Shared Mobility**; ITF: Paris, France, 2017.

IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **Explaining Ocean Warming**: Causes, scale, effects and consequences. Disponível em: https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-046_0.pdf. Acesso em 15 ago. 2022.

LAMB, William F. *et al.* A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 16, n. 7, p. 073005, 29 jun. 2021. IOP Publishing.

LA SCALA JR, N. *et al.* Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 99, n. 1, p. 108-118, abr. 2008. Elsevier BV.

LERMAN, Laura Visintainer *et al.* Comparative analysis between transportation modes for sustainability perspective in one metropolitan region of southern Brazil. **Thematic Section - Sustainability In Transportation And Logistics**, S.L, v. 1, n. 30, p. 1-13, 18 set. 2020.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles**: O exemplo de São Paulo, São Paulo-SP: Editora Hucitec, 1985. 244p.

LUIZ, Bruno Vieira. **Análise de emissões de gases de efeito estufa dos resíduos sólidos urbanos do município de Florianópolis a partir da proposição de cenários de valorização de resíduos**. 2022. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Clima e Ambiente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

MACHADO, Pedro Gerber; CORREA, Bruna de Barros. Inserção de veículos híbridos plug-in no setor de transportes brasileiro: uma oportunidade para a redução das

emissões de gases de efeito estufa. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 19, n. 2, p. 225-236, 2013.

MAFRA JÚNIOR, Celso da Silva. **Elaboração do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas do Município de Brusque Associado a um Banco de Dados Geotécnico em Ambiente de SIG**. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MANFRINATO, Warwick *et al.* **Como compensar suas emissões no transporte do dia a dia**. LASTROP – Laboratório de Silvicultura Tropical. 2016.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Desmatamento 2021** - São Paulo, Brasil, 2022 - 126 páginas.

MELLO, A.; PORTUGAL, L. Um procedimento baseado na acessibilidade para a concepção de Planos Estratégicos de Mobilidade Urbana: o caso do Brasil. **Eure**, Santiago, v. 43, n. 128, p.1-27, jan. 2017.

MOORE, Stephanie K *et al.* Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. **Environmental Health**, [s.l.], v. 1, n. 7, p. 1-12, nov. 2008.

MOVIMENTO ODS SC. (27 de maio de 2020). *1 Vídeo (1h09min)*. **O impacto das mudanças climáticas na estiagem em SC**. Acesso em 27 de maio de 2020, disponível em Youtube: <<https://www.youtube.com/watch?v=sC3xWLELxzk>>

NELLES, David; SERRER, Christian. **With Small Gases, Big Effect**: this is climate change. Londres: Penguin, 2021. 128 p.

NEPSTAD, Daniel *et al.* Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, [S.L.], v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 6 jun. 2014. American Association for the Advancement of Science (AAAS).

NOBRE, Carlos A *et al.* **Fundamentos científicos das mudanças climáticas** – São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

NOCERA, Silvio; TONIN, Stefania; CAVALLARO, Federico. Carbon estimation and urban mobility plans: opportunities in a context of austerity. **Research In Transportation Economics**, [S.L.], v. 51, p. 71-82, set. 2015. Elsevier BV.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. **Mapa de motorização individual no Brasil: Relatório de 2019**. Rio de Janeiro: UFRJ/IPPUR, 2019.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris: Período 1970 a 2016**. SEEG, 2018. 51 p.

OKE, T. Routledge. **Boundary Layer Climates**. 2. ed., London; New York: Routledge, 1987. 435p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - IPCC. **Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas**, 2007.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - IPCC. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems** [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press. 2019.

PREFEITURA DE BLUMENAU. **Plano de Mobilidade Urbana de Blumenau: Relatório Final**. Consórcio Mobilidade Sustentável. Março, 2018.

REDMAN, Lauren. *et al.* Quality attributes of public transport that attract car users: a research review. **Transport Policy**, Brusque, v. 25, p. 119-127, jan. 2013.

RIBEIRO, Paulo; MENDES, José, F.G. Planejamento de uma mobilidade sustentável

e eficiente - metodologia para auxiliar a descarbonização do setor. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE REABILITAÇÃO URBANA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: DO EDIFÍCIO PARA A ESCALA URBANA, 2., 2017, Lisboa. **Atas...** Lisboa: iiSBE Portugal & Universidade do Minho, 2017. p. 279-288.

SUKMANA RS, C *et al.* An application of the bicycle lane on the complete street concept in efforts reducing global warming impact. **Iop Conference Series**: Earth and Environmental Science, [S.L.], v. 235, p. 012091, 20 fev. 2019. IOP Publishing.

SALDIVA, Paulo. **Vida Urbana e Saúde**: os desafios dos habitantes das metrópoles. São Paulo: Contexto, 2018. 128 p.

SANTOYO-CASTELAZO, Edgar *et al.* Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 80, p. 119-138, out. 2014. Elsevier BV.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SANTA CATARINA - SEBRAE. **Brusque**: Município em números. Florianópolis: SEBRAE/SC, 2019.

SIEBERT, Claudia. Mudanças Climáticas e Desastres Naturais em Santa Catarina: Impactos Socioterritoriais e Avaliação das Políticas Públicas. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, XVII, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Editores, 2017. p. 1-22.

SILVA, Eliton de F. *et al.* Emissão de CO₂ do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 885-898, out. 2014.

SILVA, Flávia Aparecida da *et al.* Contabilidade Ambiental: um estudo bibliográfico. **Revista dos Discentes da Faculdade Eça de Queirós**, Jandira, v. 6, n. 9, p. 1-10, maio 2017.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO

ESTUFA - SEEG. **Análise das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil: 1970 a 2018.** Relatório Síntese, novembro, 2019.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - SEEG. **Análise das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970 a 2020.** 2021.

TESSADEM. **Mapa topográfico de Brusque/SC.** Disponível em: < <https://pt-br.topographic-map.com/map-s1kz4/Brusque/?center=-27.08114%2C-48.92744&base=4&zoom=13>>. Acessado em: set. 2022.

TIWARI, Geetam; JAIN, Deepty; RAO, Kalaga Ramachandra. Impact of public transport and non-motorized transport infrastructure on travel mode shares, energy, emissions and safety: case of indian cities. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.L.], v. 44, p. 277-291, maio 2016. Elsevier BV.

TOLEDO, André Luiz Lopes. **Emissões de Gases de Efeito Estufa da Mobilidade Urbana: o caso de Natal.** 2019. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

TOLEDO, André Luiz Lopes.; LAROVERE, Emílio Lébre. Urban Mobility and Greenhouse Gas Emissions: Status, Public Policies, and Scenarios in a Developing Economy City, Natal, Brazil. **Sustainability**, Basileia, v. 3995, n. 10, p.1-24, nov. 2018.

TRANSERP - EMPRESA DE TRÂNSITO E TRANSPORTE URBANO DE RIBEIRÃO PRETO. **Plano de Mobilidade Urbana:** Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto/Relatório Final. Dez. 2012.

UCAR - UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. **Very Simple Climate Model.** Disponível em <https://scied.ucar.edu/interactive/simple-climate-model>. Acessado em: 10 maio 2022.

UDOP. Energia que Inova. Satélites detectam emissões maciças de metano pela indústria de petróleo e gás. Disponível em: <

<https://udop.com.br/noticia/2022/02/08/satelites-detectam-emissoes-macicas-de-metano-pela-industria-de-petroleo-e-gas.html#:~:text=Emiss%C3%B5es%20de%20metano%20na%20atmosfera&text=A%20an%C3%A1lise%20de%20milhares%20de,%C3%A0%20extra%C3%A7%C3%A3o%20de%20combust%C3%ADveis%20f%C3%B3sseis>>. Acesso em 08 fev. 2022.

UNIFEBE. **Plano de Mobilidade Urbana de Brusque**. Centro Universitário de Brusque. Novembro, 2020.

UNITED NATIONS. **Adoption of the Paris Agreement**. 2015. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf>>. Acesso em: jul. 2022.

VON SCHUCKMANN, K. *et al.* An imperative to monitor Earth's energy imbalance. **Nature Climate Change**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 138-144, 27 jan. 2016. Springer Science and Business Media LLC.

WANG, Guoyin *et al.* Observation analysis of land-atmosphere interactions over the Loess Plateau of northwest China. **Journal Of Geophysical Research**, [S.L.], v. 115, n. 1, p. 1-15, 26 ago. 2010. American Geophysical Union (AGU).

WENNERSTEN, Ronald *et al.* The future potential for Carbon Capture and Storage in climate change mitigation – an overview from perspectives of technology, economy and risk. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 103, p. 724-736, set. 2015. Elsevier BV.

Yigitcanlar, T., & Teriman, S. Rethinking sustainable urban development: towards an integrated planning and development process. **International Journal of Environmental Science and Technology**. S.L, v. 1, n. 12, p. 341-352, jan. 2015.

XIA, Ting *et al.* Traffic-related air pollution and health co-benefits of alternative transport in Adelaide, South Australia. **Environment International**, [S.L.], v. 74, p. 281-290, jan. 2015. Elsevier BV.

APÊNDICE

Tabela 21 - Comparativo da alteração de temperatura até o ano de 2121 nos cenários determinados pelos métodos UCAR e de Ellis.

Ano	Temperatura Estimada - Método UCAR (°C)							Temperatura Estimada - Método ELLIS, Robert (°C)						
Ano	Cenário Base - Tendência (°C)	Cenário base (2020)	Cenário 2022	Cenário 2024	Cenário 2026	Cenário 2028	Cenário 2030	Cenário Base - Tendência (°C)	Cenário base (2020)	Cenário 2022	Cenário 2024	Cenário 2026	Cenário 2028	Cenário 2030
2021	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65	14,65
2022	14,68	14,68	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,68	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66
2023	14,70	14,70	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,70	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67
2024	14,72	14,72	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68	14,72	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68
2025	14,74	14,74	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68	14,74	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68
2026	14,75	14,75	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,75	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69
2027	14,77	14,77	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,77	14,70	14,70	14,70	14,69	14,69	14,69
2028	14,79	14,79	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,79	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70	14,70
2029	14,80	14,80	14,71	14,71	14,71	14,71	14,71	14,80	14,71	14,71	14,71	14,71	14,71	14,71
2030	14,82	14,82	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,82	14,71	14,71	14,71	14,71	14,71	14,71
2031	14,84	14,84	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,84	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72
2032	14,85	14,85	14,73	14,73	14,73	14,73	14,73	14,85	14,73	14,73	14,73	14,73	14,73	14,72
2033	14,87	14,87	14,74	14,74	14,74	14,73	14,73	14,87	14,73	14,73	14,73	14,73	14,73	14,73
2034	14,89	14,89	14,74	14,74	14,74	14,74	14,74	14,89	14,74	14,74	14,74	14,74	14,74	14,74
2035	14,90	14,90	14,75	14,75	14,75	14,75	14,75	14,90	14,75	14,75	14,75	14,74	14,74	14,74
2036	14,92	14,92	14,76	14,76	14,75	14,75	14,75	14,92	14,75	14,75	14,75	14,75	14,75	14,75
2037	14,93	14,93	14,76	14,76	14,76	14,76	14,76	14,93	14,76	14,76	14,76	14,76	14,76	14,75
2038	14,95	14,95	14,77	14,77	14,77	14,77	14,77	14,95	14,76	14,76	14,76	14,76	14,76	14,76

Tabela 21 - Comparativo da alteração de temperatura até o ano de 2121 nos cenários determinados pelos métodos UCAR e de Ellis (continuação)														
2039	14,97	14,97	14,78	14,77	14,77	14,77	14,77	14,97	14,77	14,77	14,77	14,77	14,77	14,77
2040	14,98	14,98	14,78	14,78	14,78	14,78	14,78	14,98	14,78	14,78	14,78	14,77	14,77	14,77
2041	15,00	15,00	14,79	14,79	14,79	14,79	14,78	15,00	14,78	14,78	14,78	14,78	14,78	14,78
2042	15,01	15,01	14,79	14,79	14,79	14,79	14,79	15,01	14,79	14,79	14,79	14,79	14,79	14,78
2043	15,03	15,03	14,80	14,80	14,80	14,80	14,80	15,03	14,79	14,79	14,79	14,79	14,79	14,79
2044	15,05	15,05	14,81	14,81	14,80	14,80	14,80	15,05	14,80	14,80	14,80	14,80	14,80	14,80
2045	15,06	15,06	14,81	14,81	14,81	14,81	14,81	15,06	14,81	14,81	14,81	14,80	14,80	14,80
2046	15,08	15,08	14,82	14,82	14,82	14,82	14,81	15,08	14,81	14,81	14,81	14,81	14,81	14,81
2047	15,09	15,09	14,83	14,82	14,82	14,82	14,82	15,09	14,82	14,82	14,82	14,82	14,81	14,81
2048	15,11	15,11	14,83	14,83	14,83	14,83	14,83	15,11	14,82	14,82	14,82	14,82	14,82	14,82
2049	15,12	15,12	14,84	14,84	14,84	14,83	14,83	15,12	14,83	14,83	14,83	14,83	14,83	14,83
2050	15,14	15,14	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	15,14	14,84	14,84	14,83	14,83	14,83	14,83
2051	15,15	15,15	14,85	14,85	14,85	14,85	14,84	15,15	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84
2052	15,17	15,17	14,86	14,85	14,85	14,85	14,85	15,17	14,85	14,85	14,85	14,84	14,84	14,84
2053	15,18	15,18	14,86	14,86	14,86	14,86	14,86	15,18	14,85	14,85	14,85	14,85	14,85	14,85
2054	15,20	15,20	14,87	14,87	14,87	14,86	14,86	15,20	14,86	14,86	14,86	14,86	14,85	14,85
2055	15,22	15,22	14,87	14,87	14,87	14,87	14,87	15,22	14,86	14,87	14,86	14,86	14,86	14,86
2056	15,23	15,23	14,88	14,88	14,88	14,88	14,87	15,23	14,87	14,87	14,87	14,87	14,87	14,86
2057	15,25	15,25	14,89	14,88	14,88	14,88	14,88	15,25	14,88	14,88	14,88	14,87	14,87	14,87
2058	15,26	15,26	14,89	14,89	14,89	14,89	14,89	15,26	14,88	14,88	14,88	14,88	14,88	14,88
2059	15,28	15,28	14,90	14,90	14,89	14,89	14,89	15,28	14,89	14,89	14,89	14,88	14,88	14,88
2060	15,29	15,29	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	15,29	14,89	14,89	14,89	14,89	14,89	14,89
2061	15,31	15,31	14,91	14,91	14,91	14,90	14,90	15,31	14,90	14,90	14,90	14,90	14,89	14,89
2062	15,32	15,32	14,92	14,91	14,91	14,91	14,91	15,32	14,90	14,91	14,90	14,90	14,90	14,90

Tabela 21 - Comparativo da alteração de temperatura até o ano de 2121 nos cenários determinados pelos métodos UCAR e de Ellis (continuação).														
2063	15,33	15,33	14,92	14,92	14,92	14,92	14,91	15,33	14,91	14,91	14,91	14,91	14,91	14,90
2064	15,35	15,35	14,93	14,93	14,92	14,92	14,92	15,35	14,92	14,92	14,91	14,91	14,91	14,91
2065	15,36	15,36	14,93	14,93	14,93	14,93	14,93	15,36	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,91
2066	15,38	15,38	14,94	14,94	14,94	14,93	14,93	15,38	14,93	14,93	14,93	14,92	14,92	14,92
2067	15,39	15,39	14,95	14,94	14,94	14,94	14,94	15,39	14,93	14,93	14,93	14,93	14,93	14,92
2068	15,41	15,41	14,95	14,95	14,95	14,94	14,94	15,41	14,94	14,94	14,94	14,93	14,93	14,93
2069	15,42	15,42	14,96	14,95	14,95	14,95	14,95	15,42	14,94	14,94	14,94	14,94	14,94	14,94
2070	15,44	15,44	14,96	14,96	14,96	14,96	14,95	15,44	14,95	14,95	14,95	14,95	14,94	14,94
2071	15,45	15,45	14,97	14,97	14,96	14,96	14,96	15,45	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95
2072	15,47	15,47	14,97	14,97	14,97	14,97	14,96	15,47	14,96	14,96	14,96	14,96	14,95	14,95
2073	15,48	15,48	14,98	14,98	14,97	14,97	14,97	15,48	14,97	14,97	14,96	14,96	14,96	14,96
2074	15,49	15,49	14,99	14,98	14,98	14,98	14,98	15,49	14,97	14,97	14,97	14,97	14,96	14,96
2075	15,51	15,51	14,99	14,99	14,99	14,98	14,98	15,51	14,98	14,98	14,97	14,97	14,97	14,97
2076	15,52	15,52	15,00	14,99	14,99	14,99	14,99	15,52	14,98	14,98	14,98	14,98	14,98	14,97
2077	15,54	15,54	15,00	15,00	15,00	14,99	14,99	15,54	14,99	14,99	14,99	14,98	14,98	14,98
2078	15,55	15,55	15,01	15,00	15,00	15,00	15,00	15,55	14,99	14,99	14,99	14,99	14,99	14,98
2079	15,56	15,56	15,01	15,01	15,01	15,01	15,00	15,56	15,00	15,00	15,00	14,99	14,99	14,99
2080	15,58	15,58	15,02	15,02	15,01	15,01	15,01	15,58	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	14,99
2081	15,59	15,59	15,02	15,02	15,02	15,02	15,01	15,59	15,01	15,01	15,01	15,00	15,00	15,00
2082	15,61	15,61	15,03	15,03	15,02	15,02	15,02	15,61	15,01	15,01	15,01	15,01	15,01	15,00
2083	15,62	15,62	15,04	15,03	15,03	15,03	15,02	15,62	15,02	15,02	15,02	15,01	15,01	15,01
2084	15,63	15,63	15,04	15,04	15,04	15,03	15,03	15,63	15,02	15,02	15,02	15,02	15,02	15,01
2085	15,65	15,65	15,05	15,04	15,04	15,04	15,03	15,65	15,03	15,03	15,03	15,02	15,02	15,02
2086	15,66	15,66	15,05	15,05	15,05	15,04	15,04	15,66	15,03	15,03	15,03	15,03	15,03	15,02

Tabela 21 - Comparativo da alteração de temperatura até o ano de 2121 nos cenários determinados pelos métodos UCAR e de Ellis (continuação)														
2087	15,67	15,67	15,06	15,05	15,05	15,05	15,05	15,67	15,04	15,04	15,04	15,03	15,03	15,03
2088	15,69	15,69	15,06	15,06	15,06	15,05	15,05	15,69	15,04	15,05	15,04	15,04	15,04	15,03
2089	15,70	15,70	15,07	15,06	15,06	15,06	15,06	15,70	15,05	15,05	15,05	15,04	15,04	15,04
2090	15,72	15,72	15,07	15,07	15,07	15,06	15,06	15,72	15,06	15,06	15,05	15,05	15,05	15,04
2091	15,73	15,73	15,08	15,08	15,07	15,07	15,07	15,73	15,06	15,06	15,06	15,06	15,05	15,05
2092	15,74	15,74	15,08	15,08	15,08	15,07	15,07	15,74	15,07	15,07	15,06	15,06	15,06	15,05
2093	15,76	15,76	15,09	15,09	15,08	15,08	15,08	15,76	15,07	15,07	15,07	15,07	15,06	15,06
2094	15,77	15,77	15,09	15,09	15,09	15,09	15,08	15,77	15,08	15,08	15,07	15,07	15,07	15,06
2095	15,78	15,78	15,10	15,10	15,09	15,09	15,09	15,78	15,08	15,08	15,08	15,08	15,07	15,07
2096	15,80	15,80	15,10	15,10	15,10	15,10	15,09	15,80	15,09	15,09	15,08	15,08	15,08	15,07
2097	15,81	15,81	15,11	15,11	15,10	15,10	15,10	15,81	15,09	15,09	15,09	15,09	15,08	15,08
2098	15,82	15,82	15,12	15,11	15,11	15,11	15,10	15,82	15,10	15,10	15,09	15,09	15,09	15,08
2099	15,83	15,83	15,12	15,12	15,11	15,11	15,11	15,83	15,10	15,10	15,10	15,10	15,09	15,09
2100	15,85	15,85	15,13	15,12	15,12	15,12	15,11	15,85	15,11	15,11	15,10	15,10	15,10	15,09
2101	15,86	15,86	15,13	15,13	15,12	15,12	15,12	15,86	15,11	15,11	15,11	15,10	15,10	15,10
2102	15,87	15,87	15,14	15,13	15,13	15,13	15,12	15,87	15,12	15,12	15,11	15,11	15,11	15,10
2103	15,89	15,89	15,14	15,14	15,13	15,13	15,13	15,89	15,12	15,12	15,12	15,11	15,11	15,11
2104	15,90	15,90	15,15	15,14	15,14	15,14	15,13	15,90	15,13	15,13	15,12	15,12	15,12	15,11
2105	15,91	15,91	15,15	15,15	15,14	15,14	15,14	15,91	15,13	15,13	15,13	15,12	15,12	15,12
2106	15,93	15,93	15,16	15,15	15,15	15,15	15,14	15,93	15,14	15,14	15,13	15,13	15,13	15,12
2107	15,94	15,94	15,16	15,16	15,15	15,15	15,15	15,94	15,14	15,14	15,14	15,13	15,13	15,13
2108	15,95	15,95	15,17	15,16	15,16	15,16	15,15	15,95	15,15	15,15	15,14	15,14	15,14	15,13
2109	15,96	15,96	15,17	15,17	15,16	15,16	15,16	15,96	15,15	15,15	15,15	15,14	15,14	15,14

Tabela 21 - Comparativo da alteração de temperatura até o ano de 2121 nos cenários determinados pelos métodos UCAR e de Ellis (continuação).														
2110	15,98	15,98	15,18	15,17	15,17	15,17	15,16	15,98	15,15	15,16	15,15	15,15	15,15	15,14
2111	15,99	15,99	15,18	15,18	15,17	15,17	15,17	15,99	15,16	15,16	15,16	15,15	15,15	15,15
2112	16,00	16,00	15,19	15,18	15,18	15,18	15,17	16,00	15,16	15,17	15,16	15,16	15,15	15,15
2113	16,01	16,01	15,19	15,19	15,18	15,18	15,18	16,01	15,17	15,17	15,17	15,16	15,16	15,16
2114	16,03	16,03	15,20	15,19	15,19	15,19	15,18	16,03	15,17	15,17	15,17	15,17	15,16	15,16
2115	16,04	16,04	15,20	15,20	15,19	15,19	15,19	16,04	15,18	15,18	15,18	15,17	15,17	15,17
2116	16,05	16,05	15,21	15,20	15,20	15,20	15,19	16,05	15,18	15,18	15,18	15,18	15,17	15,17
2117	16,06	16,06	15,21	15,21	15,20	15,20	15,20	16,06	15,19	15,19	15,19	15,18	15,18	15,17
2118	16,08	16,08	15,22	15,21	15,21	15,21	15,20	16,08	15,19	15,19	15,19	15,19	15,18	15,18
2119	16,09	16,09	15,22	15,22	15,21	15,21	15,21	16,09	15,20	15,20	15,19	15,19	15,19	15,18
2120	16,10	16,10	15,23	15,22	15,22	15,22	15,21	16,10	15,20	15,20	15,20	15,20	15,19	15,19
2121	16,11	16,11	15,23	15,23	15,22	15,22	15,22	16,11	15,21	15,21	15,20	15,20	15,20	15,19
Diferença em relação ao Cenário Base		0,00	-0,88	-0,89	-0,89	-0,89	-0,90		-0,91	-0,91	-0,91	-0,91	-0,92	-0,92

Fonte: Elaborada pela autora (2022).