



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

**MENSURAÇÕES DAS EMISSÕES DE CO₂ PROVENIENTES
DA MOBILIDADE PENDULAR: PROPOSTA DE UM MODELO
TEÓRICO EM UM ESTUDO DE CASO**

NATÁLIA ARAÚJO DE LIMA LUNA

RECIFE, AGOSTO/2024

NATÁLIA ARAÚJO DE LIMA LUNA

**MENSURAÇÕES DAS EMISSÕES DE CO₂ PROVENIENTES
DA MOBILIDADE PENDULAR: PROPOSTA DE UM MODELO
TEÓRICO EM UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração e Desenvolvimento da Universidade Federal Rural de Pernambuco (PPAD/UFRPE), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Linha de pesquisa: *Políticas, desenvolvimento e sustentabilidade*
Orientador: *Professora Ana Regina Bezerra Ribeiro, doutora.*
Coorientador: *Professor Marcio Sampaio Pimentel, doutor.*

RECIFE, AGOSTO/2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecária: Suely Manzi CRB4/809

L732m Luna, Natália Araújo de Lima
Mensurações das emissões de CO2 provenientes da mobilidade
pendular: proposta de um modelo teórico em um estudo de caso /
Natália Araújo de Lima Luna. – 2024.
150 f. : il.

Orientadora: Ana Regina Bezerra Ribeiro.
Coorientador: Márcio Sampaio Pimentel.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Administração e
Desenvolvimento, Recife, BR-PE, 2024.
Inclui bibliografia e apêndice(s).

1. Administração – Estudo e ensino 2. Universidade e
Faculdades 3. Dióxido de carbono atmosférico
4. Framework (Arquivo de computador) 5. População 6. Migração
interna I. Ribeiro, Ana Regina Bezerra, orient. II. Pimentel, Márcio
Sampaio, coorient. III. Título

CDD 658

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO

NATÁLIA ARAÚJO DE LIMA LUNA

***MENSURAÇÕES DAS EMISSÕES DE CO₂ PROVENIENTES DA MOBILIDADE
PENDULAR: PROPOSTA DE UM MODELO TEÓRICO EM UM ESTUDO DE CASO***

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata **NATÁLIA ARAÚJO DE LIMA LUNA** APROVADA em 26/08/2024

Orientador: Ana Regina Bezerra Ribeiro

Coorientador: Márcio Sampaio Pimentel

Prof. Dra. Ana Regina Bezerra Ribeiro
Programa de Pós-Graduação em Administração e Desenvolvimento
(Presidente)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcos Felipe Falcão Sobral
Programa de Pós-Graduação em Administração e Desenvolvimento
(Membro Interno)

Prof. Dr. José de Lima Albuquerque
Departamento de Administração
(Membro Externo)

Dedico tudo a Ti, meu Pai.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus pela força, sabedoria, inspiração e por nunca ter soltado a minha mão ao longo desta jornada acadêmica. Acredito que tudo ocorre por um propósito, e, ao trilhar esse caminho, que por vezes pensei não conseguir, pude sentir seu agir para que eu chegasse até o fim. Ele, junto com outras pessoas importantes e fundamentais na minha vida, foram os grandes motivadores durante todo o processo.

Falando dessas pessoas, meus pais, Neilson Luna e Marlene Lima, em especial minha mãe, foram um elo forte e inabalável para mim. Seu amor incondicional, lições, ensinamentos, apoio, cuidado com minha saúde mental, emocional e física, além do seu incentivo constante, com frases incentivadoras como “Tá acabando” ou “vá estudar” me mantiveram em curso, mesmo cansada ou perdida. Ela foi um grande farol do início ao fim de todos os meus objetivos, foi meu pulso cardíaco desde sempre e especialmente durante este curso.

Sou grata também ao meu esposo, Michael Silva, cuja paciência e compreensão foram pilares importantes durante este período. Sua resiliência e apoio, incentivando-me a acreditar em minha capacidade, foram fundamentais para que eu acreditasse que conseguiria, especialmente nos momentos em que o cansaço me fazia duvidar. Sua capacidade para lidar com minhas ausências e momentos de estresse foi essencial durante esse percurso. E não apenas eles, mas muitas pessoas que também sentiram a minha ausência; a elas, presto minha gratidão por toda paciência e compreensão.

Sou grata à minha filha, Lorena Luna, minha luz, meu anjo, meu tudo. Mesmo pequenina, sua compreensão as minhas ausências, paciência com a mãe estressada e amor incondicional durante este período de intensos estudos e pesquisa foram um calor e, muitas vezes, um colo para curar minhas feridas. Seu sorriso me fez reerguer a cada queda, e sua confiança em mim me fez acreditar que poderia chegar até o fim. Sou grata por todo o amor e carinho; mesmo nos meus dias de tensão e cansaço, sempre pude contar com seu abraço quentinho para acalmar minha ansiedade.

Minha sincera gratidão vai para minha orientadora, Ana Regina, por sua orientação incansável e apoio incondicional ao longo de todo o processo de pesquisa e escrita. Sua dedicação, orientação e incentivo constante foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua persistência e fé me fizeram continuar mesmo quando não achava ser possível, e isso aconteceu muitas vezes.

E a professora em especial, sou muito obrigada por nunca ter desistido de mim e por sempre acreditar no meu potencial e no potencial deste projeto, mesmo quando eu lhe dei motivos para não acreditar e um enorme trabalho para terminar.

Agradeço também ao meu coorientador, Márcio Pimentel, por suas valiosas contribuições, perspectivas e sugestões que contribuíram para o enriquecimento desta pesquisa. Suas orientações, pesquisas conjuntas e seu comprometimento foram importantes para o aprimoramento deste trabalho.

Agradeço aos professores Ana Regina Ribeiro, Marcos Sobral, Marcelo Carneiro e Renata Oliveira – projeto que me deu a oportunidade de conhecer a esfera das questões climáticas no contexto do ensino, que me possibilitou desenvolver novas análises e contribuir para essa questão na presente pesquisa. Seus papéis como facilitadores e parceria com a instituição estudada foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Também agradeço à unidade participante do estudo pelo apoio oferecido ao longo do processo de pesquisa. À Cecília, Solange, Regivan, Micheline e a todas as pessoas acolhedoras e inspiradoras que tornaram essa pesquisa possível, dedico meu sincero agradecimento por toda a parceria. Além disso, Larissa Vieira e Jéssica Oliveira que foram do Prints-Carb junto comigo e permanecem até hoje como “abelhinhas”, também agradeço imensamente pelo aprendizado, pelos sorrisos de felicidade e desespero, pela cumplicidade e até mesmo coragem. Vocês são únicas.

Agradeço também aos meus colegas mestres pelo apoio. Pessoas como Ladice Almeida, Rafaela Ângela Souto Maior, Humberto Xavier e Iasmim Taísle foram figuras importantes ao longo desse caminho. Ladice e Rafaela, desde antes do mestrado, foram minhas apoiadoras, cada uma com sua particularidade, mas sempre ao meu lado. As conversas e o companheirismo de todos vocês foram fundamentais para manter minha caminhada ao longo deste processo. O apoio emocional e saber de suas trajetórias também foram uma fonte de esperança para acreditar que eu conseguiria.

Humberto Xavier, meu amigo, matemático estatístico e orientador, foi um pilar estratégico, fundamental e ultra inteligente que tornou muitas coisas possíveis, lidando com todas as minhas "loucuras", inseguranças metodológicas e dúvidas na construção do estudo. Também me orientou e tentou me ajudar de todas as formas possíveis, virou noites e aceitou esse desafio ao meu lado, não há nada que lhe recompense por todo seu esforço para me ajudar. A você ofereço humildemente meu muito obrigada e que o Sr. Deus lhe recompense da maneira que você merece. Muito obrigada por todas as discussões enriquecedoras e toda disponibilidade em ajudar. Sem você, este trabalho teria sido estatisticamente insignificante. Ilustre pesquisador, referência para futuros estudantes.

Minha gratidão também vai para os membros da banca examinadora. Desde a qualificação, suas sugestões de melhorias e fundamentos foram enriquecedoras e fundamentais para a melhoria do projeto que resultou na presente dissertação. O professor Marcos Sobral, oferecendo *insights* e possíveis caminhos para direcionar a pesquisa, contribuiu bastante para a construção do trabalho. Ao professor José de Lima, que também apresentou abordagens muito interessantes e enriquecedoras, abordando cuidadosamente cada melhoria para o trabalho e aceitou participar dessa finalização em meio a todas as demandas, reforço minha profunda gratidão, pois sei que suas sugestões construtivas na avaliação deste trabalho contribuirão para meu crescimento profissional.

Agradeço à instituição, Ruralinda, base para a construção de grandes relações. Aqui conheci pessoas que me abriram portas e seguraram minha mão para conhecer este universo de construção de conhecimento. Pessoas que me guiaram, incentivaram e compartilharam comigo os momentos mais difíceis, sendo luz durante a trajetória. Aos amigos que me apoiaram desde a graduação, como Luana, André, Aline, Jadson, Jonas, Clibson, Geovanne, Erica, Beatriz e Tiago, vocês nunca duvidaram de mim, e sou profundamente grata.

Gostaria de expressar meu profundo agradecimento à CAPES pelo generoso apoio financeiro concedido ao longo do desenvolvimento desta dissertação. O suporte da CAPES foi fundamental para a realização deste trabalho.

Também agradeço aos meus amigos e parentes além do campus universitário. Sua amizade, apoio e paciência foram inestimáveis. Nos momentos de estresse e desafios, suas palavras de encorajamento e compreensão ajudaram a

manter minha motivação e a superar os obstáculos. Pessoas como Jessikelle, Rosimary, Josias, Micheline, Ladjane, Mariinha, Sueli, Elizalma, Naelson, Nadege e outros nomes, dedico meu muito obrigada. Vocês são demais.

Muito obrigada a todos que estiveram ao meu lado, oferecendo conselhos, ouvindo minhas preocupações, celebrando as pequenas vitórias ao longo do caminho e compartilhando essa jornada comigo, tornando-a uma experiência memorável.

“Os que confiam no Senhor são como o monte de Sião, que não se abala, mas
permanece para sempre.”

— Salmos 125:1

“O Senhor é a minha luz e a minha salvação; a quem temerei? O Senhor é a força da
minha vida; de quem me recearei?”

— Salmos 27:1

RESUMO

As mudanças climáticas têm sido alvo de debates nacionais e internacionais na busca por estratégias que possam refrear os atuais índices de poluição. Como um dos eixos desse problema, a questão energética relacionada a queima de combustíveis fósseis torna-se um dos grandes propulsores do atual cenário. Com isso, inúmeras instituições mundiais, incluindo as instituições de ensino superior, têm buscado contribuir com soluções para esse desafio. Como uma das alternativas, o conhecimento e o gerenciamento dos impactos das atividades educacionais têm estado em pauta através da elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para a realização dos inventários ao qual se propõe esta pesquisa, fez-se uso do *GHG Protocol* que consiste em um conjunto de diretrizes que estabelece métodos padronizados mundialmente de contabilização de emissões de GEE por empresas e organizações. O *GHG Protocol* é uma importante ferramenta diretiva para as estimações da pegada através de três escopos: escopo 1) emissões indiretas provenientes de fontes que são propriedades da empresa; escopo 2) emissões indiretas associadas à geração de eletricidade; escopo 3) emissões indiretas que ocorrem na cadeia de valor. No escopo 3 do *GHG Protocol*, a categoria 7, que trata do deslocamento de funcionários, representa a principal fonte de emissões no setor educacional. Este aspecto, além de ser o mais significativo, também apresenta grandes desafios em termos de mensuração. Visto isso, o objetivo principal do trabalho foi propor um modelo para melhorar as estimativas e relatórios sobre a pegada de carbono da mobilidade de estudantes e funcionários de uma instituição de ensino superior. Metodologicamente o desenvolvimento se deu por três fases: na primeira, pesquisa bibliográfica em artigos para identificar e fundamentar as categorias do modelo teórico; na segunda fase elaborou-se o modelo e na terceira fase aplicou-se o modelo em um estudo de caso para avaliação prática e comparativa dos seus resultados. A referência mais precisa dos dados se dá pelo método do *Tier 2* que busca calcular a pegada com fatores específicos nacionais considerando a variabilidade das características dos transportes. E o modelo proposto se utiliza de dados genéricos nacionais tabulado no *Microsoft Excel* para calcular a pegada. Então comparando os resultados entre os métodos, o modelo apresentou uma variação de 11,04% no valor final da final em

relação aos resultados do método *Tier 2*, justificado pela qualidade das informações mencionadas pela amostra estudada. Todavia, o modelo apresentou-se como funcional, aplicável e ajustável para a realidade da instituição. Assim, a contribuição prática desse trabalho permite aos tomadores de decisões, adotar um modelo que ajude a melhorar a qualidade de disposição de informações e análise dos dados da emissão de CO₂ para o contexto de ensino, através da apresentação de uma nova abordagem prática para mensurar a pegada de carbono.

Palavras-chave: Instituições de ensino, deslocamento pendular, mobilidade, framework/modelo, dióxido de carbono/CO₂.

ABSTRACT

Climate change has been the subject of national and international debates in the search for strategies to curb current pollution levels. As one of the core issues, energy consumption related to the burning of fossil fuels has become a major driver of the current scenario. In response, numerous global institutions, including higher education institutions, have sought to contribute solutions to this challenge. One such approach is the knowledge and management of the impacts of educational activities, which have been addressed through the development of greenhouse gas (GHG) emission inventories. For the creation of the inventories proposed in this research, the GHG Protocol was used, which consists of a set of guidelines that establishes globally standardized methods for accounting GHG emissions by companies and organizations. The GHG Protocol is an important guiding tool for estimating the carbon footprint through three scopes: Scope 1) direct emissions from sources owned by the company; Scope 2) indirect emissions associated with electricity generation; Scope 3) indirect emissions occurring in the value chain. In Scope 3 of the GHG Protocol, Category 7, which deals with employee commuting, represents the main source of emissions in the education sector. This aspect, in addition to being the most significant, also presents major challenges in terms of measurement. Given this, the main objective of the study was to propose a model to improve estimates and reports on the carbon footprint related to the mobility of students and staff at a higher education institution. Methodologically, the development took place in three phases: first, a literature review of articles to identify and substantiate the categories of the theoretical model; in the second phase, the model was developed; and in the third phase, the model was applied in a case study for practical and comparative evaluation of its results. The most accurate data reference is provided by the Tier 2 method, which seeks to calculate the footprint using national-specific factors considering the variability of transportation characteristics. The proposed model uses generic national data tabulated in Microsoft Excel to calculate the footprint. When comparing the results between the methods, the model showed a variation of 11.04% in the final value compared to the Tier 2 method, justified by the quality of the information provided by the sample studied. Nevertheless, the model proved functional, applicable, and adaptable to the institution's reality. Thus, the practical contribution of this work allows decision-makers to adopt a model that helps

improve the quality of information provision and data analysis on CO₂ emissions in the educational context, by presenting a new practical approach to measuring the carbon footprint.

Keywords: educational institutions, commuting, mobility, framework/model, carbon dioxide/CO₂

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 -	Categorias do <i>GHG – Protocol</i>	45
Figura 2 -	Seção cadastro.....	70
Figura 3 -	Seção curso – Tipo de curso.....	71
Figura 4 -	Seção curso – Nome do curso.....	71
Figura 5 -	Seção curso – Carga horária.....	72
Figura 6 -	Lista de cursos.....	72
Figura 7 -	Frequência.....	73
Figura 8 -	Seção Modal.....	73
Figura 9 -	Distância e resultado.....	74
Figura 10 -	Pegada da Mobilidade.....	74

QUADROS

Quadro 1 -	Instituições de ensino brasileiras signatárias.....	37
Quadro 2 -	Instituições de ensino brasileiras do <i>QS World Sustainability Rankings (2024)</i>	38
Quadro 3 -	Instituições de ensino brasileiras <i>UI Green Metric</i>	39
Quadro 4 -	Estudos sobre Mensuração da Pegada de Carbono.....	51
Quadro 5 -	Modelo de matrícula proposto com novos questionamentos sobre mobilidade.....	69
Quadro 6 -	Modelo de relatório de dados.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Veículos adquiridos no estado de Pernambuco em 2018 e 2022.	41
Tabela 2 -	Distribuição dos estudantes por tipo de locomoção.....	79
Tabela 3 -	Distribuição dos estudantes por gênero.....	79
Tabela 4 -	Distribuição dos estudantes por renda familiar per capita.....	80
Tabela 5 -	Distribuição dos estudantes por idade.....	80
Tabela 6 -	Distribuição dos estudantes por curso.....	81
Tabela 7 -	Distribuição dos estudantes por meio de transporte.....	81
Tabela 8 -	Distribuição dos estudantes por distância.....	82
Tabela 9 -	Características dos transportes dos estudantes da amostra.....	83
Tabela 10 -	Distribuição dos combustíveis dos transportes particulares.....	84
Tabela 11 -	Distribuição dos funcionários por tipo de locomoção.....	84
Tabela 12 -	Distribuição dos funcionários por gênero.....	85
Tabela 13 -	Distribuição dos funcionários por renda familiar per capita.....	85
Tabela 14 -	Distribuição dos funcionários por faixa etária.....	86
Tabela 15 -	Distribuição dos estudantes por função.....	86
Tabela 16 -	Distribuição dos funcionários por modais.....	86
Tabela 17 -	Distribuição dos funcionários por distância.....	87
Tabela 18 -	Características dos veículos da amostra funcionários.....	87
Tabela 19 -	Distribuição dos combustíveis dos transportes particulares.....	88
Tabela 20 -	Características dos veículos da amostra.....	90
Tabela 21 -	Cálculo da pegada dos estudantes e funcionários.....	92
Tabela 22 -	Média das variáveis dos estudantes.....	96
Tabela 23 -	Média das variáveis dos Funcionários.....	96
Tabela 24 -	Estatística descritiva.....	98
Tabela 25 -	Frequência para atividade.....	100
Tabela 26 -	Frequência para gênero.....	101
Tabela 27 -	Frequência para faixa etária.....	102
Tabela 28 -	Frequência para faixa de remuneração.....	103
Tabela 29 -	Frequências para Frequência semanal.....	104
Tabela 30 -	Rho de Spearman Correlações.....	106
Tabela 31 -	Rho de Spearman Correlações.....	108

Tabela 32 - Fatores para calcular a pegada genérica nacionais.....	110
Tabela 33 - Cálculos do modelo – Aluno.....	112
Tabela 34 - Cálculos do modelo – funcionário.....	114
Tabela 35 - Fatores para calcular a pegada genérica.....	116
Tabela 36 - Duração dos cursos.....	118
Tabela 37 - Parâmetros adotados para o cálculo da pegada estudantil 2023.	119
Tabela 38 - Parâmetros adotados para o cálculo da pegada funcionários 2023.....	119

LISTA DE ABREVIATURAS

IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₃	Ozônio
HFCs	Hidrofluorcarbonos
PFCs	Perfluorcarbonos
CFCs	Clorofluorcarbonos
HCFCs	Hidrofluorclorocarbonos
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
GEE	Gases de Efeito Estufa
iNDC	Contribuição Nacionalmente Determinada pretendida
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NAMAs	Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas
IES	Instituições de Ensino Superior
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
CO _{2eq}	Dióxido de Carbono Equivalente
AEVs	Veículos Elétricos Autônomos
COP	Conferência das Partes
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
FNDIT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Industrial e Tecnológico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	25
1.2	APRESENTAÇÃO DA PROBLEMÁTICA.....	29
1.3	OBJETIVOS.....	30
1.3.1	Objetivo geral	30
1.3.2	Objetivos específicos	29
1.4	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	31
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	34
2.1	UNIVERSIDADE SUSTENTÁVEL.....	34
2.2	GASES POLUENTES NO TRANSPORTE.....	38
2.3	PEGADA DE CARBONO.....	41
2.3.1	Escopo 1	42
2.3.2	Escopo 2	43
2.3.3	Escopo 3	43
2.4	ESTUDOS SOBRE MENSURAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO.....	45
2.4.1	Avaliação das metodologias para quantificar o carbono na mobilidade	51
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	55
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	55
3.2	CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	56
3.2.1	Método de coleta de dados para elaboração do modelo	57
3.2.1.1	Coleta de informações.....	61
3.2.2	Método de coleta de dados para teste do modelo	61
3.2.2.1	Limites organizacionais e operacionais.....	64
3.2.2.2	Delimitação do universo (descrição da população).....	64
3.2.2.3	Amostragem.....	64
3.2.3	Método de análise de dados	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
4.1	APRESENTAÇÃO DO MODELO.....	68
4.1.1	Inputs e manipulação de dados	69
4.1.2	Relatórios	74
4.2	DADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO.....	77
4.2.2	Características da amostra	77
4.2.2.1	Alunos.....	77
4.2.2.2	Funcionários.....	83
4.3	PEGADA DE CARBONO DA MOBILIDADE.....	88
4.3.1	Pegada da mobilidade pelos parâmetros nacionais - Tier 2	88
4.3.1.1	Análise estatística e discussão da amostra total.....	96
4.3.1.2	Estatísticas Descritivas.....	97
4.3.1.3	Análise e discussão das frequências.....	98
4.3.1.3.1	Atividade Desenvolvida	99
4.3.1.3.2	Gênero	100
4.3.1.3.3	Faixa Etária	101
4.3.1.3.4	Faixa de Remuneração	102
4.3.1.3.5	Frequência de idas à instituição por Semana	103
4.3.1.4	Análise da correlação de <i>Spearman</i>	104
4.3.1.4.1	Correlações Identificadas	105

4.3.2	Pegada da mobilidade - Parâmetros nacionais genéricos calculados no Modelo.....	109
4.3.3	Pegada da mobilidade – Simulação de distância no Modelo.....	111
4.3.4	Pegada da mobilidade - Parâmetros internacionais GHG <i>Protocol</i> ..	115
4.3.5	Pegada da mobilidade - Estimativa da pegada da população de 2023.....	116
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	120
	REFERÊNCIAS.....	123
	APÊNDICE A – Questionário aplicado para levantamento de dados	136
	APÊNDICE B – <i>Survey</i> para levantamento de dados na matrícula....	147
	APÊNDICE C – Interface do modelo estruturado no <i>Microsoft Excel</i>	149

1 INTRODUÇÃO

Assumindo que o clima seja uma representação da natureza ecossistêmica, as alterações climáticas “podem ser entendidas como fenômenos climáticos alterados por uma complexa cadeia de ações sociais e naturais iniciadas a partir da revolução industrial e intensificadas no bojo da sociedade capitalista fossilista” (Zangalli Júnior, 2020, p.10) que são impulsionadas por mudanças locais que se interligam no globo.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, denominado pela sigla IPCC, o clima terrestre é regulado por um fluxo constante de energia solar que chega à superfície terrestre sob a forma de luz e raios ultravioletas, sendo devolvidas, em partes, como uma radiação infravermelha (IPCC, 2018).

A regulação do efeito estufa é influenciada por gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3), que ocorrem naturalmente na atmosfera e desempenham um papel essencial na manutenção da vida na Terra, ao bloquear parte da radiação solar. No entanto, o excesso desses gases, decorrente das atividades humanas, junto com outros gases como hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6), tem gerado grande preocupação. O dióxido de carbono, em particular, devido à sua alta concentração na atmosfera, é um dos principais responsáveis pelo agravamento do efeito estufa (Artaxo; Rodrigues, 2019).

Sob a ótica mundial retratada pelo IPCC, as variações na temperatura global, ocasionadas pelas altas concentrações dos gases de efeito estufa (GEE), estão tendendo a aumentar desde o período pré-industrial, no qual foi registrada uma elevação de $0,75^\circ$ a $0,99^\circ\text{C}$ no intervalo de 2006-2015, com expectativa de atingir um intervalo de $1,5$ a 2°C até 2100, implicando em diversos riscos e danos irreversíveis (IPCC, 2018).

Essas elevações são intensificadas pelas ações antrópicas associadas a processos industriais, desflorestamento, produção de cimento, desenvolvimento da agricultura e pecuária, e uso de combustíveis fósseis (Artaxo; Rodrigues, 2019). Essas atividades resultam em consequências devastadoras para o ecossistema, como secas, inundações, redução da produção de alimentos, e diminuição da

biodiversidade terrestre e aquática (Artaxo, 2020; Lucon, 2022). Além disso, elas contribuem para surtos de doenças transmitidas por vetores, como malária e dengue (Senra, 2023).

Neste cenário, inúmeras discussões foram desenvolvidas para que todas as nações se mobilizassem em prol de mudanças que freassem a degradação ambiental, sendo algumas delas:

a) A **Conferência de Estocolmo**, realizada em 1972, marcou a integração de direitos humanos e questões ambientais na agenda global, com o objetivo de equilibrar desenvolvimento econômico e preservação ambiental. O evento levou à publicação do Relatório *Brundtland* em 1987 (Gurski; Gonzaga; Tendolini, 2012).

b) A **Convenção de Viena** de 1986 estabeleceu princípios globais para proteger a camada de ozônio, como colaboração em pesquisa, monitoramento e controle da emissão de clorofluorocarbonetos (CFCs) (Sarro, 2016).

c) O **Protocolo de Montreal**, adotado em 1989 e ratificado por 197 países, incluindo o Brasil, estabelece metas para reduzir substâncias que destroem a camada de ozônio, com o Brasil comprometido a reduzir 80% de suas emissões até 2045 (Pinheiro; De Souza; Ferreira, 2021).

d) A **Conferência das Partes** (COP) é a reunião anual dos signatários da UNFCCC para discutir a redução de emissões de gases de efeito estufa, sendo o Brasil o país-sede da COP 30 em 2025 (Senado Notícias, 2024).

f) A **Convenção sobre Diversidade Biológica**, instituída na Eco/92, visa conservar a biodiversidade, garantir seu uso sustentável e repartir benefícios de forma justa (Pinheiro; De Souza; Ferreira, 2021).

g) O **Protocolo de Kyoto**, de 1997, definiu metas de redução de emissões para os países desenvolvidos (Neves, 2022).

Esses debates sobre mudanças climáticas fortaleceram a adoção de medidas voluntárias pelos Estados, com metas ambiciosas para conter o aumento da temperatura global, adaptar-se aos impactos climáticos, manter a resiliência e alinhar fluxos financeiros com o desenvolvimento de baixas emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Scovazzi; Lima, 2021). No entanto, apesar de acordos climáticos, as emissões continuam a crescer, especialmente em países

desenvolvidos (Gills; Morgan, 2020; Climate Action Tracker, 2023), como a Noruega, que ainda investe na extração de petróleo (Angelo, 2023).

Percebe-se nesse cenário, um grande agente influenciador de GEE: a queima de combustíveis fósseis, que no panorama energético mundial, representa 84% da matriz energética sendo 33% de petróleo, 27% de carvão e 24% de gás (FGV Energia, 2024).

No Brasil, os valores são diferentes, com 29% da matriz energética provenientes de hidrelétricas, 10% do gás e 38% ainda advindo do petróleo (FGV Energia, 2024). Esse cenário é agravado pelo setor de transportes, que representa 36% do consumo energético e tem potencial previsto de crescimento futuro, devido ao fato de as atividades produtivas do país estarem fortemente ligadas ao deslocamento (Observatório do Clima, 2021).

Diante disso, as pautas internacionais evoluíram para questões governamentais, com objetivo de aprimorar legislações e mecanismos que garantam a proteção do meio ambiente (Souto, 2020). O Acordo de Paris¹ exemplifica essa evolução, com 188 países se comprometendo voluntariamente a reduzir suas emissões de GEE por meio de Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC) apresentadas à UNFCCC (Peixer, 2019).

O Brasil, em sua iNDC (Contribuição Nacionalmente Determinada pretendida) propôs compromissos em ciclos de 5 anos iniciados após 2025 (Peixer, 2019). A meta é reduzir as emissões em 37% até 2025 e 43% até 2030, tendo-se como referência ao ano de 2005 (Perpétuo, 2017).

Essas metas buscam consolidar uma economia de baixo carbono em setores como energia, transporte, indústria e agropecuária, em conformidade com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo² (MDL) e as Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMAs) (Brasil, 2009).

¹ Acordo de Paris: conjunto de disposições assinado por mais de 190 países com o intuito de fortalecer as ações contra as mudanças climáticas em resposta as mudanças climáticas globais, limitando o aquecimento global abaixo de 2°C tendo como base os índices pré-industriais. Seu objetivo, estabelecido em 2016, é de descarbonizar a economia através de um esqueça em que todos os países apresentem e revisem metas de redução de emissão até o final do século (Perpétuo, 2017)

² Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos mecanismos criados pelo Protocolo de Kyoto, com objetivo de permitir que países desenvolvidos (com compromissos obrigatórios de redução de emissões) financiem projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa em países em desenvolvimento. Em troca, esses países podem ganhar créditos de carbono, chamados

Para o Brasil, é crucial uma coordenação eficaz entre os níveis federal, estadual e municipal para implementar as estratégias de redução de emissões (Perpétuo, 2017), especialmente considerando seus altos níveis de emissões e vulnerabilidade ambiental (Artaxo, 2020). Além disso, é essencial que outros países com alta representatividade em emissões adotem metas compatíveis ou mais ambiciosas. Caso contrário, é provável que a temperatura global aumente em 3 °C até 2100 em relação aos níveis pré-industriais (IPCC, 2018).

Como mencionado, é necessário um esforço conjunto entre governo, empresas e sociedade. Sendo assim, as Instituições de Ensino Superior (IES) desempenham um papel estratégico e fundamental no enfrentamento dessa questão, devido à sua influência social e ao avanço tecno-científico, conforme apontado por vários autores (Borghetti *et al.*, 2021; Samara *et al.*, 2022; Jaglan *et al.*, 2022; Kabit; Siong; Yassin, 2022).

As Instituições de Ensino Superior (IES) têm um papel importante como promotoras de mudanças sociais, influenciando a cultura de consumo e a relação com o meio ambiente, além de moldar padrões de comportamento. Esse impacto se estende para além das instituições, fomentando um envolvimento social, cultural e ambiental na sociedade e na governança regional (Borghetti *et al.*, 2021; Samara *et al.*, 2022; Jaglan *et al.*, 2022; Kabit; Siong; Yassin, 2022).

As universidades não apenas educam, mas também geram conhecimento que contribui para uma sociedade civil próspera (Mustafa, 2022). Elas desempenham um papel crucial na formação de jovens com uma mentalidade voltada para a sustentabilidade e as causas ambientais, que se reflete em suas atividades diárias (Zeitoune *et al.*, 2019; Foltz, 2022; Ferreira, 2020; Chierrito-Arruda *et al.*, 2018; Favara; Moreno, 2020).

Além disso, as características geoespaciais das universidades, como seu tamanho, permitem compará-las a uma minicidade ou a um pequeno laboratório para a experimentação de novas práticas. Nesses espaços, é possível testar soluções sustentáveis que podem ser aplicadas em contextos maiores (Gu *et al.*, 2019; Valls-Val; Bovea, 2022). Essa capacidade de experimentação demonstra a

de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), que podem ser usados para ajudar a cumprir suas metas de redução de emissões (Marchezi; Amaral, 2008).

relevância das universidades na formulação de estratégias de enfrentamento e em sua atuação como agentes poluidores (Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A neutralidade de carbono vem ganhando destaque nas universidades ao redor do mundo, à medida que essas instituições reconhecem os impactos ambientais de suas atividades (Grossi *et al.*, 2022; Sundram, 2021; Kabit; Siong; Yassin, 2022; Aniegbunem; Kraj, 2019; Norhisham *et al.*, 2019; Gamba *et al.*, 2021). Comprometidas com a sustentabilidade, as universidades têm buscado minimizar os impactos econômicos, sociais e ambientais de suas ações e mensurar sua pegada de carbono por meio do *Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)*, uma ferramenta que se tornou um marco regulatório nesse contexto (Valls-Val; Bovea, 2021).

Essa ferramenta quantifica as emissões indiretas e diretas de gases de efeito estufa, separando-as em escopos com o intuito de melhorar a transparência e o gerenciamento contábil dos GEE (Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019).

O escopo 1 refere-se às emissões diretas, que são geradas e controladas pela fonte (FGVCEs, 2018a). Já os escopos 2 e 3 incluem as emissões indiretas, que são geradas indiretamente em função das atividades da unidade emissora (FGVCEs, 2018b; FGVCEs, 2018c). É notável que, nas tentativas internacionais de mensuração dessas emissões, haja uma variação significativa nos resultados entre os diferentes escopos.

No estudo realizado por Mendoza-Flores, Quintero-Ramírez e Ortiz (2019), a distribuição da pegada de carbono foi definida da seguinte maneira: 4% correspondem ao Escopo 1, 24% ao Escopo 2 e 72% ao Escopo 3. Dentro do Escopo 3, 35,1% das emissões estavam relacionadas ao deslocamento, enquanto 14% referiam-se a viagens de funcionários. De forma semelhante, Battistini *et al.* (2022) identificaram que 74% das emissões totais também estavam associadas ao deslocamento (Escopo 3). Resultados congruentes foram apresentados por Filimonau *et al.* (2021), que apontaram o Escopo 3 como o principal responsável pelas emissões.

Em outra pesquisa, Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón (2021) revelaram que o Escopo 3 representou impressionantes 97% da pegada de carbono das Instituições de Ensino Superior (IES). Por sua vez, Helmers, Chang e Dauwels (2021) centraram-se na quantificação e padronização da pegada de carbono de 18 universidades ao redor do mundo, classificando a mobilidade (Escopo 3) como o segundo maior fator de impacto. Além disso, os autores destacaram que quatro das 18 instituições não quantificaram essa pegada, sendo necessário fazer pressupostos baseados na análise do trânsito ao redor dos campi para alcançar os objetivos do estudo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Guerrero-Lucendo *et al.* (2022), que analisaram a pegada de carbono de 14 IES e observaram que as estimativas para o Escopo 3 eram quase inexistentes, com apenas uma instituição tendo quantificado as emissões desse escopo.

Da mesma forma, Samara *et al.* (2022), Rodríguez-Andara, Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones (2020), Kulkarni (2019) e Haseeb *et al.* (2022) identificaram o deslocamento como o segundo item de maior representação na pegada de carbono, com percentuais de 36,54%, 30,3%, 35% e 36% do total, respectivamente. No estudo de Yañez, Sinha e Vásquez (2019), os resultados indicam que a maior contribuição de CO₂ por pessoa está associada ao escopo 3, com o transporte de alunos e professores sendo os principais responsáveis.

Várias iniciativas específicas estão sendo desenvolvidas no contexto universitário para mensurar e promover a sustentabilidade. No estudo de Valls-Val e Bovea (2022), foi criada uma ferramenta para calcular a pegada de carbono nas universidades, uma vez que não existia uma ferramenta nacional que abarcasse os três escopos do GHG Protocol, demonstrando eficiência para as universidades espanholas. Ribeiro e Fonseca (2022) e Cattaneo *et al.* (2018) focaram em compreender os hábitos de deslocamento dos estudantes, visando a implementação de políticas que tornem a mobilidade mais sustentável.

Além disso, Di Dio *et al.* (2020) testaram um sistema de recompensas por meio de um jogo mobile, incentivando viagens sustentáveis entre os estudantes, enquanto Rybarczyk e Gallagher (2014) mediram o potencial de uso de bicicletas e caminhadas como alternativas de transporte. Em outra abordagem, Saha e Fatmi

(2021) propuseram a promoção de um campus sustentável através da criação de um campus virtual e veículos elétricos autônomos, buscando economizar CO₂. Outros estudos (Arsenault *et al.*, 2019; Cirrincione *et al.*, 2022; Bumbiere *et al.*, 2022) também analisaram os hábitos de mobilidade de estudantes e funcionários, enfatizando a importância desse indicador na pegada de carbono das instituições.

Outros achados focam mais em estudos de influência e comportamento, como nos estudos de Whalen, Páez e Carrasco (2013), Zhou (2014), Danaf, Abou-Zeid e Kaysi (2014), Ribeiro, Fonseca e Meireles (2020), Nguyen-Phuoc *et al.* (2018), Mohammadzadeh (2020), Rybarczyk (2018), Zhan *et al.* (2016), Zhou (2016), Kaplan (2015), Vich *et al.* (2021), Sultan, Katar e Al-Atroush (2021), Cirrincione *et al.* (2022) e Hasnine *et al.* (2018), Miralles-Guasch e Domene (2010). No último estudo (Hasnine *et al.*, 2018), os autores encontraram uma variação significativa entre grupos de estudantes do sexo feminino em instituições localizadas na cidade e nas periferias.

O estudo de Yañez, Sinha e Vásquez (2019) destaca que, apesar de o escopo 3 ser opcional, ele pode ser ignorado se seu cálculo for inviável. Vários autores, como Nguyen-Phuoc *et al.* (2018) e Guerrero-Lucendo *et al.* (2022), apontam a complexidade na estimativa das emissões desse escopo, sendo que Battistini *et al.* (2022) enfatizam que, em atividades educacionais, as emissões do escopo 3 são mais representativas. No Brasil, há uma escassez de estudos sobre inventários de gases de efeito estufa (GEE) relacionados à mobilidade nas instituições de ensino superior (IES). Senra (2023) reuniu dados de seis universidades que quantificaram suas emissões, mas desconsideraram as do escopo 3, que representam as emissões indiretas.

Carvalho *et al.* (2017) ressaltaram a necessidade de políticas regulatórias mais rigorosas ao comparar a mobilidade estudantil em diferentes parâmetros. A tese de Cruz (2020) propôs uma metodologia para mensurar GEE nas IES, concluindo que as maiores emissões provêm do escopo 3. Preuss (2017) e Brianézi (2012) também notaram a falta de contabilização do deslocamento devido à complexidade de mensuração e à escassez de dados. Entre os estudos focados na mobilidade, Dzematyi e Rammos (2019) estimaram a pegada de carbono do deslocamento casa-trabalho, enquanto De Abreu e Santos (2020) e Silva (2023b) utilizaram métodos adicionais para estimar GEE no transporte.

Embora alguns estudos, como o de Mendoza-Flores et al. (2019), indiquem a relevância das emissões de mobilidade, poucos elucidam o impacto ou as iniciativas das IES nesse contexto. Isso se deve à complexidade da estimativa e à falta de obrigatoriedade para contabilizar essas emissões apontado por autores como Nguyen-Phuoc *et al.* (2018), Guerrero-Lucendo *et al.* (2022), Balali, Fathi e Aliasgari (2020), Biørn-Hansen *et al.* (2021), Battistini *et al.* (2022) e O'Flynn *et al.* (2021). Portanto, discussões sobre mudanças climáticas são essenciais para aprimorar mecanismos, como legislações e ferramentas, que assegurem a proteção ambiental nas IES (Souto, 2020).

1.2 APRESENTAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

As universidades exercem um papel fundamental como influenciadoras do tráfego nas comunidades onde estão inseridas (Kaplan, 2015), formadoras de opinião (Mustafa, 2022) e responsáveis por contribuir com soluções para os problemas atuais (Souto, 2020; Li *et al.*, 2021). Diariamente, movimentam milhares de pessoas entre seus pontos de origem, como residências ou locais de trabalho, e suas instalações, conforme observado em diversos estudos.

Embora o impacto desse movimento não seja reconhecido como obrigatório pelos parâmetros atuais, ele influencia significativamente as emissões de gases de efeito estufa, especialmente nas redondezas das instalações das IES. Por isso, faz-se necessário aprimorar a clareza e a estimativa do impacto dessa categoria nos inventários, para que os formuladores de políticas possam avaliar e implementar medidas específicas mais adequadas à realidade local.

Medir a pegada de carbono relacionada a esse movimento é um desafio complexo (Genta *et al.*, 2022), principalmente porque, nos estudos analisados, o método para as estimativas frequentemente envolve a obtenção de dados por meio de inquéritos voluntários. Esses dados são convertidos em múltiplos cálculos, como os de conversão energética, o que torna a ampliação de metas energéticas no setor educacional ainda mais desafiadora. Além disso, desenvolver estratégias institucionais para criar sistemas que gerem informações sobre as fontes de emissão também é um desafio significativo (Del Borghi *et al.*, 2021). Adicionalmente, há incertezas devido à falta de especificação dos fatores de emissão de acordo com as particularidades de cada país (Mendoza-Flores, Quintero-Ramírez e Ortiz, 2019).

Reforçando isso, os estudos de Helmers, Chang e Dauwels (2021) e Guerrero-Lucendo *et al.* (2022) revelam que as ferramentas existentes apresentam limitações, especialmente no contexto da mobilidade. Alguns estudos, como os de Haseeb *et al.* (2022) e Guerrero-Lucendo *et al.* (2022), não consideram o deslocamento como uma fonte significativa de emissão, pois ele ainda é frequentemente considerado como uma variável opcional. Além disso, a ferramenta para realizar essa estimativa é limitada pelo uso de questionários, que normalmente alcançam apenas uma parte da população estudantil, a qual muda anualmente. Assim, a obtenção de dados quantitativos e confiáveis sobre as emissões relacionadas à mobilidade é desafiadora (Gamba *et al.*, 2021; Kabit, Siong e Yassin, 2022)

Diante dos impactos da mobilidade, das dificuldades para realizar as estimativas e da ausência de iniciativas ou inovações para aprimorar ferramentas voltadas ao contexto da mobilidade, como evidenciado nas limitações citadas pelos estudos brasileiros e internacionais anteriores, torna-se evidente a necessidade de desenvolver novas soluções específicas e aplicáveis para a mensuração de CO₂ na mobilidade pendular ³das instituições de ensino superior no Brasil.

Dessa forma, formula-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como desenvolver um modelo estruturado para quantificar as emissões de CO₂ provenientes do deslocamento pendular de funcionários e alunos em instituições de ensino de maneira mais eficiente e prático, considerando variáveis como modos de transporte, distâncias percorridas e frequência de deslocamento estabelecidas pelas diretrizes internacionais?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Propor um modelo estruturado para mensuração das emissões de dióxido de carbono (CO₂) no deslocamento de funcionários e alunos no contexto das instituições de ensino.

³ Mobilidade pendular: A mobilidade pendular, em termos conceituais, refere-se aos deslocamentos frequentes que as pessoas fazem, geralmente de forma diária, entre suas residências e locais de trabalho ou estudo. LOBO, Carlos; CUNHA, José Marcos Pinto da. MIGRATION AND COMMUTING IN THE AREAS OF INFLUENCE OF THE BRAZILIAN METROPOLISES. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, sep. 2019. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e18017>>. Date accessed: 20 sep. 2024. doi: <https://doi.org/10.4215/rm2019.e18017>..

1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Desenvolver uma base teórica sobre a pegada de carbono da mobilidade nas instituições de ensino superior.
- 2) Compreender e aplicar as fases de elaboração de um modelo de mensuração da pegada de mobilidade baseado no *GHG Protocol*.
- 3) Calcular a pegada de carbono de uma amostra de alunos e funcionários da instituição de ensino utilizando tanto as diretrizes do *GHG Protocol* quanto o modelo proposto, e comparar os resultados obtidos.

1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Dado o que foi apresentado, ressalta-se que as atividades educacionais também contribuem para o agravamento das mudanças climáticas. “No contexto do desenvolvimento sustentável e da mitigação das mudanças climáticas, é essencial estimar as emissões de gases de efeito estufa (GEE)” (Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019, p. 2). Por isso, reconhecer e monitorar essas emissões é essencial para garantir a segurança ambiental e humana agora e no futuro mesmo que o impacto das ações educacionais nas emissões globais não seja de grande expressividade.

É vital incentivar a avaliação da pegada de carbono das IES para traçar metas e formular estratégias que reduzam as emissões, baseando-se em conhecimento quali-quantitativo (Genta, *et. al.* 2022) uma vez que o setor educacional, corresponde a um dos maiores setores públicos ao redor do mundo (Alghamdi, 2020). Li, Tan e Rakes, (2015) corroboram com essa informação ao relatar que, na China, o setor de ensino, em todos os níveis, é o maior dentre os setores públicos do país e consome cerca de 40% da energia distribuída para a esfera pública.

Além disso, as instituições de ensino superior desempenham um papel fundamental para o futuro das próprias instituições e do meio ambiente ao serem promotoras de ações e formuladoras de soluções (Mustafa, 2022; Samara *et al.*, 2022; Jaglan *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2021). Ser uma propulsora do *status* “carbono neutro” destaca a instituição frente ao seu papel de preceptor de educação e mudança social (Mustafa, *et. al.*, 2019). Assim, estimar a pegada de carbono nas IES, não é apenas uma pauta política importante, mas também uma engrenagem

que pode alavancar as práticas sustentáveis na sociedade, devido à sua entrega e formação profissional.

Nesse contexto, é essencial que as Instituições de Ensino Superior (IES) brasileiras reconheçam seu papel na sociedade e se comprometam com práticas sustentáveis (Abdul-Azeez et al., 2015; Adeniran, Nubi e Adelopo, 2017; Jain, 2017; Jaglan et al., 2022). Isso inclui o aprimoramento do conhecimento sobre o impacto de suas atividades nas mudanças climáticas, com especial atenção à mobilidade, que deve ser reduzida em uma faixa de 4 a 14% até 2030. Essa categoria é uma das mais representativas entre os escopos apresentados em estudos anteriores. No entanto, muitos desses estudos desconsideram essa variável ao realizar inventários de gases de efeito estufa (GEE) (Mendoza-Flores, Quintero-Ramírez e Ortiz, 2019).

Além disso, o setor de transporte ocupa a terceira posição entre os maiores emissores de GEE no mundo e é descrito como “um setor onde é particularmente desafiador obter cortes profundos nas emissões” (Schwanen, 2020, p. 1), reforçando a necessidade de desenvolver novas abordagens específicas.

Colocando essas dificuldades em um panorama global estudantil, existem 13.000 centros de educação em expansão no mundo, principalmente nos países desenvolvidos (Gu, *et. al.* 2019), funcionando e consumindo recursos naturais. No Brasil, existem 2.608 instituições de educação superior, sendo 2.306 privadas e 302 públicas (BRASIL, 2022) com apenas 11 (0,42%) dessas instituições brasileiras compromissadas com a pauta de tornar-se Carbono Zero até 2050.

Essas instituições “têm papéis críticos na implementação dos ODS⁴ e suas abordagens orientadas por missão para reduzir seus impactos diretos e provocar uma mudança na escala urbana” (Genta, *et. al.* 2022, p. 2). Assim, desenvolver universidades sustentáveis que integrem aspectos educacionais e operacionais de pesquisa avaliando seus impactos das IES realça a visão de “praticar o que pregamos” (Genta *et al.*, 2022; Sonetti, Barioglio e Campobenedetto, 2020).

Por isso, elaborar formas para mensurar, calcular e quantificar os impactos das atividades, vem sendo amplamente estudadas e aperfeiçoadas, na busca por aplicar

⁴ ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável criado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), para dar cunho ao comprimento da agenda 2030 do desenvolvimento sustentável.

GOMES, Magno Federici; FERREIRA, Leandro José. Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Direito e Desenvolvimento**, v. 9, n. 2, p. 155-178, 2018.

métodos no contexto universitário de modo eficiente para redução ou neutralização das emissões, visto que ainda não há um modelo específico, universal e aceito para o segmento educacional (Gu, *et. al.* 2019; Helmers; Chang; Dauwels, 2021).

É essencial aprimorar os sistemas de gestão ambiental, bem como a documentação e a divulgação das informações (Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón, 2021; Plata Rangel, 2020). Isso se deve ao fato de que, entre os setores atuais, o educacional apresenta um dos desempenhos mais baixos em relação ao monitoramento e à implementação de ações voltadas para a pegada ecológica, mobilidade e outras áreas correlatas (Helmers, Chang e Dauwels, 2021; Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón, 2021).

São inúmeras as possibilidades prováveis que podem contribuir para amenizar essa problemática e estabelecer metas de neutralidade de carbono para os próximos anos traçando diferentes estratégias, pode contribuir para uma média de redução de aproximadamente 4.000 toneladas de CO_{2eq}/ano (Ozawa-Meida, *et. al.*, 2013; Del Borghi, *et. al.*, 2021).

Além disso, neste estudo de caso, considera-se pertinente citar que a instituição estudada almeja tornar-se neutra em carbono e tem realizado iniciativas para mensurar os impactos ambientais de suas atividades. A instituição também oferece particularidades enriquecedoras para o atual contexto em relação ao ensino, por agrupar diferentes níveis de formação como ensino médio, técnico, profissional e superior atribuindo mais um contexto com suas dificuldades a serem consideradas no desenvolvimento de novas soluções.

Dessa forma, espera-se que este estudo faça uma contribuição significativa para a esfera ambiental ao propor novas abordagens para o inventário das estimativas das emissões relacionadas à mobilidade pendular. Além disso, a pesquisa pode servir como um ponto de partida para futuras investigações que visem aprimorar o modelo, potencialmente desenvolvendo uma aplicação computacional *online* ou *mobile*. O objetivo é criar uma ferramenta nacional, gratuita e acessível para *download*, que atenda a todas as instituições de ensino superior e outras organizações, promovendo maior adesão e eficácia na gestão das emissões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão explorados os conceitos-chave que sustentam a pesquisa, abordando tanto os fundamentos teóricos quanto as contribuições acadêmicas relevantes e será subdividida em 3 subcapítulos que exploram com mais detalhes os subtemas: universidades sustentáveis; pegada de carbono e elaboração de modelo.

2.1 UNIVERSIDADE SUSTENTÁVEL

O engajamento das IES no enfrentamento dos desafios impostos pelas mudanças climáticas emergiu como um diferencial significativo, que transcende suas funções tradicionais de ensino, pesquisa e extensão. Ao assumir esse compromisso, as IES se posicionam como protagonistas na busca por soluções eficazes para as questões climáticas, como destacado por Osorio *et al.* (2022). Este envolvimento está profundamente alinhado com o ODS 13 (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) e ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), que visa mitigar os impactos das mudanças climáticas e desenvolver cidades mais seguras, sustentáveis e resilientes a desastres. Dessa forma, os campi universitários têm o potencial de se tornar modelos de cidades sustentáveis, influenciando positivamente setores produtivos e demonstrando como práticas de baixo impacto ambiental podem ser aplicadas em larga escala.

As IES, em seu contexto, podem criar estruturas, projetos, programas e plataformas que adotam o conceito de ações locais com impactos globais, conforme apontado por Aniegbunem e Kraj (2023). Para as IES que alcançam a neutralidade de carbono, a visibilidade de seu compromisso ambiental para os *stakeholders* assegura a responsabilidade ambiental no desenvolvimento de suas atividades educacionais e para atingir esse objetivo, é crucial primeiro identificar os impactos diretos e indiretos das atividades da instituição, estimando a pegada de carbono da IES.

Quanto a isso, a literatura aborda um número crescente de instituições que buscam tornar-se carbono neutro, e muitas universidades já estão implementando ações como iniciativas “verdes”, publicação de relatórios, inventários ou registro de emissões (Helmerts; Chang; Dauwels, 2021, Clabeaux, *et al.* 2020; Kourgiouzou, *et al.*, 2021).

Mustafa *et al.* (2019) estimam que mais de 400 instituições estão trabalhando no Presidents' Climate Leadership Commitment (Compromisso de Liderança Climática dos Presidentes), buscando meios para estimar sua pegada de carbono e superar os desafios relacionados à tentativa de rastrear, quantificar e neutralizar as emissões. Esses desafios foram discutidos por diversos autores ao redor do mundo, incluindo Ward, Ogbonna e Altan (2008), Li, Tan e Rackes (2015), Larsen *et al.* (2013), Khoshbakht, Gou e Dupre (2018), Alghamdi (2018, 2019), Chihib, Salmerón-Manzano e Manzano-Agugliaro (2020), Helmers, Chang e Dauwels (2021), Ridhosari e Rahman (2020), Fuchs *et al.* (2023), Filimonau *et al.* (2021), e Clabeaux *et al.* (2020), entre outros.

Tjandra *et al.* (2016, p. 1) avaliou um escritório em Singapura, dividindo as fontes de emissão em categorias como “dispositivos principais, recursos compartilhados, despensa e transporte”, e concluiu que a maior contribuição de emissões provinha dos ares-condicionados e de veículos particulares. Já o estudo de Saha e Fatmi (2021) contribuiu para a possibilidade de reduzir a pegada de carbono ao promover campus virtuais e veículos elétricos autônomos (AEVs).

Whalen, Páez e Carrasco (2013), Helmers, Chang e Dauwels (2021), Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón (2021) e Alshuwaikhat *et al.* (2017) indentificaram que as maiores emissões nas instituições provêm do transporte de estudantes, do transporte de cargas e das viagens de funcionários ou pesquisadores.

Além disso, há outras iniciativas, como a *Race to Zero*, criada a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas em 2021 (COP26), que busca reunir uma comunidade de diversas áreas em ações e campanhas mundiais para comprometer-se com causas como a promoção de um futuro saudável, resiliência e zero emissão de carbono.

Do total de instituições que aderiram a essa iniciativa global, foram reunidas 1.087 instituições de ensino de todo o mundo. No Brasil, 11 instituições são signatárias⁵ desse compromisso, incluindo a Universidade Federal de Mato Grosso do

⁵ "**signatária**": “Que ou aquele que assina um documento, carta, recibo, etc” (Dicionário *Priberam* da Língua Portuguesa). Ou seja, Instituições signatárias são instituições que assinaram o acordo *Race to Zero* que como citado, é uma campanha global que busca reduzir as emissões líquidas de GEE a zero até 2050, limitando o aumento da temperatura do planeta a 1,5 °C (Medeiros, *et. al.* 2021) <https://dicionario.priberam.org/signat%C3%A1ria>.

Sul (UFMS), que se comprometeu a neutralizar suas emissões até 2050, conforme o Programa UFMS Carbono Zero 2022 – 2024 (Medeiros *et. al.* 2021).

Abaixo está citada a lista de instituições brasileiras que se comprometeram com essa iniciativa (Quadro 1), sendo descrito na primeira coluna, o nome da instituição, na segunda coluna o ano da meta Net Zero que é a neutralidade de emissões e ao lado o link do plano de ação para o alcance dessa meta:

Quadro 1 – Instituições de ensino brasileiras signatárias

<i>Instituição</i>	<i>Meta Net Zero</i>	<i>Meta Provisória</i>	<i>Plano de Ação</i>
1. Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE	2030	-	-
2. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS	2050	-	https://acesse.dev/dpDvU
3. Universidade Federal do Pará	2030	-	-
4. Grupo Ser Educacional	-	-	-
5. Universidade Nove de Julho – UNINOVE	2040	-	https://www.uninove.br/
6. Universidade Estadual de Campinas - Unicamp Brasil	2030	-	https://encr.pw/iY0JW
7. A Universidade para a Sustentabilidade	2025	-	-
8. Universidade Estadual do Ceará	2045	2030	https://acesse.dev/F7XBj
9. Universidade Federal da Integração Latino-Americana	2050	-	-
10. Universidade Federal do Rio Grande – FURG	2030	2030	https://acesse.dev/tdvnA
11. Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul	-	-	-

Fonte: *Current Signatories for Race to Zero for Universities and Colleges (2024)*⁶

Considerando que, no Brasil, há um total de 2.608 instituições de ensino superior (BRASIL, 2022), as 11 instituições apresentadas no Quadro 1 representam

⁶ Os signatários da campanha "Not Zero Net Zero", promovida pelo TERRE Policy Centre através de seu projeto inovador Smart Campus Cloud Network (SCCN), são motivados pela forte mensagem do IPCC sobre a necessidade de alcançar a Neutralidade de Carbono global. A campanha foca suas ações em que elas têm maior impacto, ou seja, dentro dos campi universitários. O SCCN promove a transformação dos campi em laboratórios vivos para experimentação climática e implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os estudantes, que serão os futuros líderes e formuladores de políticas, recebem orientações do TERRE/SCCN para que suas universidades desenvolvam, de maneira independente, um plano para atingir a Neutralidade de Carbono, conforme os prazos definidos pelo IPCC.

Site da campanha: <https://www.educationracetozero.org/current-signatories>

apenas 0,42% do total de IES no país que estão envolvidas com essa causa. Dessas 11, apenas 5 demonstram estarem comprometidas.

Existem também iniciativas como os rankings de sustentabilidade universitária, que avaliam as ações das universidades em resposta aos desafios ambientais. Entre eles, destacam-se o *QS World Sustainability Rankings* e o *UI GreenMetric World University Ranking*. O *QS World Sustainability Rankings* classifica 700 instituições globais de acordo com seu desempenho em iniciativas sustentáveis, com o objetivo de destacar como as universidades estão enfrentando os desafios da sustentabilidade.

Já o *UI GreenMetric World University Ranking* avalia as universidades com base nas melhores práticas e programas sustentáveis implementados em seus campi.

O Quadro 2 apresenta as universidades brasileiras classificadas no *QS World Sustainability Rankings de 2024*, enquanto o Quadro 3 lista as 10 primeiras universidades brasileiras classificadas no *UI Green Metric*:

Quadro 2 – Instituições de ensino brasileiras do *QS World Sustainability Rankings* (2024)

<i>Instituição</i>	<i>Classificação</i>
Universidade de São Paulo	67º
Universidade Estadual de Campinas	237º
Universidade Federal do Rio de Janeiro	270º
Universidade Federal de Santa Catarina	306º
Universidade de Brasília	405º
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	437º
Universidade de São Paulo	445º
UNESP	613º
Universidade Federal Fluminense	627º
Universidade Federal de Santa Maria	647º

Fonte: *QS World Sustainability Rankings* (2024)

Quadro 3 – Instituições de ensino brasileiras *UI Green Metric*

<i>Instituição</i>	<i>Classificação</i>
Universidade de São Paulo	8º
Universidade Federal de Lavras – UFLA	40º
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais	64º
Universidade de Campinas	73º
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	74º
Universidade Federal de Viçosa – UFV	184º
Universidade Federal de Itajuba	194º
Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES	204º
Centro Universitário Facens	213º
Centro Universitário do Rio Grande do Norte UNI-RN	239º

Fonte: *UI Green Metric* (2024)

A seguir, será realizada uma análise aprofundada de como as mudanças climáticas estão sendo tratadas no ambiente educacional, com foco na emissão de gases poluentes provenientes do setor de transporte brasileiro e no contexto das universidades.

2.2 GASES POLUENTES NO TRANSPORTE

O clima terrestre é regulado por um fluxo constante de energia solar que chega à superfície em forma de luz e raios ultravioletas, sendo parcialmente devolvida como radiação infravermelha (IPCC, 2018).

Segundo o relatório do IPCC, há cerca de 18 gases de efeito estufa com diferentes potenciais de aquecimento global (Shea; Kissock; Selvacanabady, 2019; Shea *et al.*, 2020). No entanto, considera-se apenas 6 gases para a contabilização nos inventários de gases poluentes, sendo eles: o dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) e Hexafluoreto de Enxofre (SF₆).

Tratando-se do Dióxido de Carbono (CO₂), este gás é natural e inofensivo quando produzido em pequenas quantidades. Suas origens naturais incluem a liberação de gases vulcânicos, a queima de matéria orgânica e os processos respiratórios de organismos aeróbicos (Artaxo; Rodrigues, 2019).

No entanto, as emissões artificiais de CO₂ provêm principalmente da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia e transporte (Calheiros, 2020) onde, em média, “um carro a gasolina emite entre 10 kg e 25 kg de carbono a cada 100 km rodados”, (Mobilize Brasil, 2022) variando os níveis pela potência do motor, a forma de condução do veículo e as condições da estrada. A emissão por quilômetro dos carros populares está estimada em 150 gCO₂, enquanto um trem emite 12 gCO₂ (Garcia, 2010; De Carvalho 2011) e um ônibus 16 gCO₂ (De Carvalho, 2011).

Em termos globais, as emissões de gases de efeito estufa atingiram níveis mais elevados do que qualquer outro momento registrado. Dados recentes revelam que, em 2022, as emissões de CO₂ eram 182 vezes maiores do que em 1850, durante a Revolução Industrial. Esse aumento é atribuído a fatores como crescimento populacional, consumo energético e desenvolvimento econômico (WRI Brasil, 2024).

Em uma análise micro desse índice, diversos fatores corroboram para esse aumento como: “PIB *per capita*, a disponibilidade e a ampliação de infraestrutura logísticas, políticas ambientais, comportamento e preferências das pessoas” além do avanço tecnológico, que colabora para o aumento do transporte rodoviário (BRASIL, EPE, 2020, p. 31).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 (2020), que realiza análises a partir de variáveis qualitativas como renda, idade e mudanças nos hábitos alimentares para projetar cenários futuros, o setor de transportes no Brasil lidera o consumo de energia, representando 33% da demanda energética total, com predominância do transporte rodoviário. Além disso, o plano prevê um aumento futuro na demanda do setor agrícola, o que deverá impulsionar o transporte de cargas, assim como ocorre com o transporte de passageiros, que está em expansão, com um crescimento anual médio de 2,4%.

Segundo dados do IBGE, a frota de veículos em Pernambuco tem apresentado aumentos consideráveis nos últimos quatro anos. Esses dados são apresentados numericamente na Tabela 1, que mostra a evolução da frota em um único estado entre os 26 que compõem o país:

Tabela 1 - Veículos adquiridos no estado de Pernambuco em 2018 e 2022

<i>Tipo de veículos</i>	<i>Quantidade (2018)</i>	<i>Quantidade (2022)</i>
Automóvel	1.319.704	1.453.963
Caminhão	93.595	97.362
Motocicleta	1.039.988	1.210.681
Ônibus	20.015	22.305
Total do IBGE	3.010.638	3.439.164

Fonte: Elaborado a partir do Ministério da Infraestrutura (2022).

Além dos dados apresentados na Tabela 1, que mostram o aumento na aquisição de novos meios de locomoção entre 2018 e 2022, a FENABRAVE (Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores) também relatou um crescimento significativo. Em termos percentuais, houve um aumento de 18,24% no número de novos emplacamentos de automóveis, 11,52% para motocicletas e 11,45% nas compras de ônibus, incluindo licitações governamentais (FENABRAVE, 2024).

No primeiro bimestre de 2024, o mercado de veículos a combustão no Brasil observou um aumento de 14,6% nas vendas diárias, refletindo um crescimento significativo na aquisição desses veículos em todos os segmentos. Em contrapartida, as vendas de automóveis comerciais leves elétricos puros tiveram uma queda de 16,46%, com 7.995 unidades vendidas, embora esse número represente um aumento acumulado de 473,53% em relação ao ano anterior. As motocicletas eletrificadas também mostraram desempenho negativo, com uma redução de 17,06% no primeiro bimestre e de 14,79% no acumulado de 2023/2024 (FENABRAVE, 2024).

Esse crescimento nas vendas de veículos a combustão e a estagnação nas vendas de veículos elétricos coincidem com uma população estudantil no Brasil, que conta com aproximadamente 23.973.674 estudantes matriculados em instituições de ensino superior, conforme o Censo da Educação Superior realizado pelo Ministério da Educação (BRASIL, 2022). Essa quantidade representa cerca de 18% da população brasileira, que contribui diariamente, por meio de seus deslocamentos, para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes das atividades educacionais.

Diante desse cenário, tanto em nível estadual quanto nacional, têm sido desenvolvidas estratégias para mitigar as emissões de carbono. No estado de Pernambuco, por exemplo, há um compromisso de zerar as emissões de carbono

das atividades econômicas até 2050. O plano estadual prevê uma redução de 15% nas emissões até 2025 e de 32% até 2035, utilizando tecnologias de baixo carbono que podem evitar até 75% das emissões. No setor de transporte, a prioridade é promover uma mobilidade urbana, portuária e rodoviária de baixo carbono, com foco na transição para biocombustíveis nos transportes pesados (Governo do Estado de Pernambuco, 2022).

Em nível nacional, existe o programa “Mover”, criado para apoiar a meta de redução das emissões de carbono, com a assinatura de uma Medida Provisória pelo presidente Lula. O objetivo é reduzir as emissões em 50% até 2030, por meio da introdução de requisitos mais rigorosos para veículos e oferecimento de incentivos fiscais, como o IPI Verde (Governo Federal, 2023). Complementando essas iniciativas, o Fundo Nacional de Desenvolvimento Industrial e Tecnológico (FNDIT), gerido pelo BNDES, foi estabelecido para atrair investimentos e apoiar a pesquisa e inovação em sustentabilidade.

Frente a esse contexto de aumento nas emissões de carbono, impulsionado pelo setor de transporte de cargas e passageiros movidos a combustíveis fósseis, e considerando o número significativo de pessoas vinculadas a instituições de ensino superior que contribuem diariamente para o agravamento das questões climáticas devido aos seus deslocamentos, é essencial quantificar a pegada de carbono associada a essas variáveis. Compreender a magnitude dessa pegada é o primeiro passo para desenvolver estratégias eficazes de redução. Portanto, o próximo tópico, 2.3, abordará a ferramenta de quantificação da pegada de carbono.

2.3 PEGADA DE CARBONO

A pegada de carbono é definida pelo *Carbon Trust* como a representação total das emissões causadas direta ou indiretamente pelas atividades individuais, coletivas e produtivas ligadas à instituição (Battistini, *et. al.* 2019). Nesse contexto, são quantificadas e gerenciadas as emissões de GEE, predominantemente, através de dois modelos voltados para corporações diversas, sendo eles a *UNI EM ISO 14060:2019* e o *GHG Protocol*.

O *GHG Protocol* foi desenvolvido pelo *World Resources Institute* e estabelecido pela norma UNI ENI SO 14060-1:2006 e 14064:2019 (Gamba *et al.*, 2021). Essa ferramenta de gestão ambiental desempenha um papel importante na redução dos

impactos ambientais das atividades institucionais, oferecendo requisitos para quantificar os gases de efeito estufa (GEE) sob o Protocolo de Kyoto (Shea *et al.*, 2020; Felts; Bailey, 2000). Além disso, sua construção é compatível com as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018) e com a Norma ISO 14064 sobre gases de efeito estufa. Ao detalhar o GHG Protocol, tem-se que ele é estruturado em três escopos, descritos a seguir:

2.3.1 Escopo 1

Segundo as diretrizes do Programa Brasileiro *GHG Protocol* da FGVces (2018a), essa categoria compreende as emissões diretas de GEE oriundas ou controladas pela instituição geradora, sendo dividida em:

- a) **Fontes estacionárias** (fixas): provenientes da queima de combustíveis fósseis em dispositivos como fornos, caldeiras, turbinas e outros;
- b) **Fontes móveis**: gases resultantes da queima por combustão em objetos que produzem movimento como ônibus, carros, barcos e outros;
- c) **Processos industriais**: Gases originados da transformação química ou física de materiais em processos industriais, distintos da combustão, incluindo produtos minerais (como cimento, cal, vidro, barrilha e outros), a indústria química (como produção de amônia, ácidos, entre outros) e a indústria metalúrgica (como produção de minérios, alumínio, entre outros).
- d) **Resíduos sólidos e efluentes líquidos**: são emissões resultantes do tratamento de resíduos durante os processos de decomposição, compostagem, incineração e outros.
- e) **Emissões Fugitivas**: são escapes durante o processo da produção, processamento, transmissão, armazenamento ou uso de gás, como em extintores de incêndio e vazamento de equipamentos de refrigeração, entre outros.
- f) **Emissões Agrícolas**: trata-se de gases não mecânicos originados do processo de agricultura ou pecuária, como a fermentação entérica, cultivo de arroz e outros.

- g) **Mudanças no uso do solo:** são mudanças no uso do solo realizadas por meio de atividades não mecânicas como recuperação de pastagens em áreas de florestas e outros.

2.3.2 Escopo 2

São as emissões indiretas que estão relacionadas à geração, consumo ou compra de eletricidade pela instituição (EPA, 2020). Durante a queima de combustíveis para produzir energia, são gerados GEE; por isso a compra de energia para uso na instituição é considerada como emissão indireta (FGVCEs, 2018b).

2.3.3 Escopo 3

Representa as demais emissões indiretas, considerando vários tipos de emissões resultantes do funcionamento ou derivadas das atividades institucionais, mas cuja produção não é controlada pela instituição, tais como viagens de trabalho e consumo de papel (FGVCEs, 2018c). Neste escopo, consideram-se emissões relacionadas a bens e serviços comprados como emissões *Upstream* representadas pelas categorias 1 e 4; e para bens e serviços que não foram comprados, as emissões se caracterizam como *Downstream*, representadas pela categoria 9, expresso na Figura 1.

Além disso, observou-se que, para fontes de emissões com baixa representatividade em comparação com outras que têm maior índice de geração, ou quando o cálculo é tecnicamente ou economicamente inviável, essas fontes podem ser desconsideradas. Algumas diretrizes estabelecem que podem ser excluídas do cálculo aquelas fontes de emissão que contribuem com menos de 1% do total de emissões (Yañez; Sinha; Vásquez, 2019).

Para sintetizar os achados referentes às formas de emissão foi estruturada a categoria das fontes de emissão segundo o GHG *Protocol* (2018) expressa na Figura 1.

Figura 1- Categorias do GHG - Protocol



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024) a partir do GHG *Protocol* (FGVCS, 2018a; FGVCS, 2018b; FGVCS, 2018c)

Além disso, o cálculo da pegada de carbono do GHG *Protocol* também é parametrizado pelo IPCC através de diretrizes baseadas em 3 níveis - *Tier*, iniciando no *Tier 1*, que é o mais simples, até o *Tier 3*, que é o mais avançado e detalhado.

Segundo Calheiros (2020, p. 29) o *Tier 1* “aplica uma relação linear simples entre os dados e fatores de emissão”, podendo-se obter facilmente informações sobre fatores de emissão padrão e eficiência energética. Em outras palavras, esse modelo foi projetado para ser o mais simples de usar, utilizando equações e valores de parâmetros padrão (como fatores de emissão e coeficientes de alteração de estoque). Frequentemente, essas estimativas são baseadas em dados de atividades disponíveis globalmente, tais como taxas de veículos em circulação, estatísticas de

consumo de combustível, mapas de infraestrutura de transporte e dados sobre a frota de veículos. No entanto, esses dados frequentemente têm uma resolução espacial limitada e podem ser bastante gerais (Rosa, 2023)

No *Tier 2*, os dados são semelhantes, e pode-se utilizar a mesma abordagem metodológica do *Tier 1*, mas aplicando fatores de emissão específicos do país, considerando as características dos combustíveis, tecnologia e o cálculo baseando-se na distância (Calheiros, 2020; Rosa, 2023).

No *Tier 3*, tem-se modelos e sistemas de medição de inventário adaptados às circunstâncias nacionais, com o desenvolvimento de modelos mais complexos que abarcam todas as variáveis que interferem nas emissões, como: o tipo de estrada, combustível, distância da viagem, frota e velocidade média (Calheiros, 2020; Rosa, 2023).

2.4 ESTUDOS SOBRE MENSURAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO

Estudos anteriores sobre a mensuração da pegada de carbono, seguindo as diretrizes do *GHG Protocol*, revelaram impactos significativos da locomoção pendular nas emissões de carbono. Carvalho *et al.* (2017) constataram que quase 93% dos entrevistados utilizavam transporte motorizado para se deslocar. Desse total, 44% usavam transporte público (metrô e ônibus), 39% dirigiam seus próprios carros e 9% compartilhavam caronas. Além disso, 96% dos usuários de transporte motorizado utilizavam gasolina, 3% álcool e 1% diesel, com as maiores emissões diretamente relacionadas à distância percorrida, devido ao maior consumo de combustível.

A média de emissão de CO₂ por pessoa na IES foi de 185 g/km, demonstrando estar acima dos limites consultados *no International Council on Clean Transportation*. Isso indica que não há efeitos significativos das ações de redução das emissões nacionais, justificadas pelo uso frequente de veículos por pessoas que residem próximas à IES, mas que os utilizam em horários de pico. A densidade do tráfego, a "inexistência de legislação brasileira que estabeleça limites para as emissões veiculares de CO₂ e a falta de incentivos à indústria automotiva para melhorar as tecnologias existentes" (Carvalho *et al.*, 2017, p. 8) contribuem para essa situação.

Battistini *et al.* (2022), em sua mensuração, obtiveram os seguintes resultados: 817,29 tCO₂ para carros, 241,57 tCO₂ para ônibus e 645,98 tCO₂ para trens. Os dados foram coletados por meio de inquéritos online, abrangendo uma população de 85.000 estudantes e 6.000 trabalhadores, com respostas de 900 estudantes e 270 trabalhadores. Os resultados médios da amostra foram então extrapolados para estimar a pegada total da população.

No estudo de Yañez, Sinha e Vásquez (2019), foi comparada a pegada de carbono do deslocamento com outros escopos, evidenciando que ela representa até 75,7% do total. A emissão foi calculada com base no deslocamento, considerando as variáveis de distância e meios de transporte entre estudantes de graduação e pós-graduação. A emissão *per capita* foi de 0,25 tCO₂ para graduandos e 0,61 tCO₂ para pós-graduandos justificado em parte por grandes discrepâncias nos hábitos de vida dos estudantes: em países desenvolvidos, a maioria vive no campus e se desloca a pé, enquanto em países em desenvolvimento, os estudantes residem fora do campus e utilizam carros ou ônibus.

Rodríguez-Andara, Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones (2020) estimaram uma pegada por tipo de modal, alcançando 72.981 tCO_{2eq} para carro a diesel, 52.770 tCO_{2eq} para carro a gasolina, 1.519 tCO₂ para carro elétrico, 0,931 tCO_{2eq} para motocicleta, 40.468 tCO_{2eq} ônibus e 3.554 tCO_{2eq} para comboio. Além disso, os autores estimaram uma média de 0,1708 tCO_{2eq} e sugerem o uso de cadastro como uma possibilidade para melhorar as estimativas. Sobre os hábitos de deslocamento, eles verificaram que os empregados e residentes de fora da cidade vêm diretamente de casa, estando inclinados a utilizar mais o sistema de transporte extra-urbano e carros próprios. Já aqueles que residem na cidade estão mais inclinados ao uso de meios de transporte menos poluentes, como o transporte público.

No estudo de Samara, *et. al.*, 2022, os autores investigam o deslocamento questionando sobre a economia de combustível dos veículos do indivíduo, uma vez que saber detalhes individuais não era viável devido ao esforço e tempo a ser gasto. Então através do nível de eficiência dos veículos, entrevistas com membros da instituição e extrapolação de dados obtidos de inquéritos online com 406 participantes, os autores calcularam a pegada pela distância e consumo, estimando uma valor de 34.546,71 tCO_{2e} para a IES cuja população é de 6,041 pessoas. Adicionalmente, o estudo menciona a dificuldade de comparar os resultados da

pegada com os de outras instituições, devido ao uso de metodologias diferentes, o que não permite comparações precisas

Mendoza-Flores, Quintero-Ramírez e Ortiz (2019) estimaram uma pegada de 2 toneladas de CO₂eq *per capita*, que é 2,3 vezes maior do que a do transporte público, o qual emitiu 0,436 toneladas de CO₂eq *per capita*. Separando as emissões por grupo de transporte, o primeiro grupo (transporte público) apresentou uma emissão total de 525,45 tCO₂eq, enquanto o segundo grupo (transporte privado) emitiu 972,18 tCO₂eq. Utilizando dados de um levantamento interno com 270 alunos e 142 funcionários, os autores calcularam a pegada com base na distância média anual percorrida de acordo com o ponto de origem. Assumiram que todos os estudantes que utilizavam carro usavam gasolina e que os veículos tinham ano de fabricação de 2005, com uma média de 1,2 pessoas por veículo.

Por outro lado, no estudo de Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón (2021), as estimativas foram um pouco diferentes. Os autores consideraram dados como o consumo médio em áreas urbanas para cada veículo, levando em conta marca, linha, ano, cilindrada e capacidade. A partir desses dados, estimaram a eficiência em km/MJ para calcular as emissões com base no conteúdo energético do diesel e da gasolina. Com isso, estimaram uma pegada de 6.681,30 tCO₂eq para os alunos e 611,1 tCO₂eq para os funcionários.

No estudo comparativo de Schutze e Pinto (2013), os autores encontraram uma média de emissão por semestre de 0,1557 tCO₂eq, calculada a partir de uma amostra de 173 alunos da IES. De forma semelhante, o estudo de Pérez-López, Orro e Novales (2021) comparou a pegada alcançada com a de outras instituições utilizando dados obtidos por meio de inquéritos online com 492 participantes. Os resultados mostraram maiores emissões associadas ao uso de carro, representando 92% em um campus e 80% no outro, com 15% das viagens sendo realizadas por meios não emissores e 38% utilizando transporte público.

Outros estudos que quantificaram as emissões analisam os grupos de participantes com maiores detalhes. No estudo de Sobrino e Arce (2021), os hábitos de transporte dos grupos de funcionários e estudantes são comparados, e observa-se que 88% dos estudantes utilizam transporte público, enquanto 39,2% dos funcionários utilizam o mesmo tipo de transporte. Nesse estudo, nota-se que, em relação ao uso de metrô e ônibus, a representação é maior entre as mulheres do

que entre os homens. Por outro lado, no que diz respeito à caminhada, a maior representação é para pessoas que não declararam seu gênero..

Tratando-se de outros aspectos que podem influenciar a pegada, observa-se que a renda é uma variável que influencia as escolhas de transporte de maneiras variadas. Estudantes de famílias de alta renda tendem a preferir modos de transporte mais caros, como automóveis, enquanto aqueles com renda mais baixa optam por alternativas mais acessíveis, como transporte público ou modos ativos (caminhada e ciclismo) (Danaf; Abou-Zeid, 2014). A pesquisa de Mohammadzadeh (2020) destaca que a limitação financeira dos estudantes os leva a depender mais de modos sustentáveis, como o transporte público, enquanto Danaf e Abou-Zeid (2014) reforçam que estudantes com maior renda familiar tendem a utilizar mais o automóvel privado, especialmente em contextos em que o transporte público é de baixa qualidade.

O gênero também desempenha um papel significativo na escolha do modo de transporte. Vários estudos indicam que mulheres são menos propensas a utilizar bicicletas e mais propensas a utilizar automóveis, principalmente devido a questões de segurança. Zhou e Wang (2018) sugerem que essa diferença de gênero persiste mesmo em ambientes considerados seguros, indicando que fatores além da segurança física, como normas culturais e percepções, também podem influenciar essas escolhas.

A idade dos estudantes e o estágio em que se encontram em seus estudos influenciam significativamente suas escolhas de transporte. Nguyen-Phuoc *et al.* (2018) mostram que estudantes mais jovens, especialmente os de primeiro ano, são mais propensos a utilizar modos ativos de transporte, como caminhada e bicicleta. No entanto, à medida que avançam em seus cursos, há uma tendência crescente de preferirem motocicletas. Esse padrão pode estar relacionado ao aumento de responsabilidades e mudanças nas condições de vida ao longo do curso.

A distância entre a residência do estudante e a universidade é outra variável crítica. Em geral, quanto maior a distância, menor a probabilidade de o estudante optar por modos ativos de transporte. No entanto, a pesquisa de Zhou e Wang (2018) observa que a distância tem um impacto limitado no uso de bicicletas, sugerindo que outros fatores, como a infraestrutura disponível e a cultura local, também desempenham papéis importantes.

Os modos de transporte escolhidos pelos estudantes variam conforme as condições específicas de cada contexto. Nos países em desenvolvimento, como o Vietnã, a motocicleta é amplamente utilizada, mesmo para distâncias curtas, devido ao seu baixo custo operacional. Em contrapartida, em ambientes onde o transporte público é acessível e de boa qualidade, como em alguns países desenvolvidos, há uma maior tendência para o uso de modos sustentáveis (Nguyen-Phuoc *et al.*, 2018).

Outras iniciativas também são observadas na literatura. Muitos estudos voltam-se para compreender o comportamento da mobilidade a fim de elaborar estratégias para mitigação. Um exemplo é o estudo de Di Dio *et al.* (2020), que investigaram o potencial de um jogo para smartphones que envolvia os usuários a obter recompensas para promover viagens mais sustentáveis, através de um teste da ferramenta com uma população universitária. Os resultados mostraram que a emissão média de CO₂ por veículo foi de 161,71 g para os estudantes e 170,94 g para os funcionários, com um potencial significativo para reduzir as emissões através da iniciativa.

Percebe-se que as variáveis demográficas estão interligadas e influenciam-se mutuamente na escolha do modo de transporte dos estudantes universitários. Por exemplo, a renda afeta não apenas a escolha direta do modo de transporte, mas também a distância que os estudantes estão dispostos a percorrer, a posse de veículos e até mesmo a percepção de segurança, que pode influenciar o gênero na escolha do modo de transporte. Da mesma forma, a idade e o estágio do curso interagem com a distância e a renda, moldando as preferências ao longo do tempo.

Esses artigos exploram diversas formas de mensurar as emissões de CO₂ na mobilidade do contexto educacional, analisando também diferentes perspectivas sobre o comportamento da mobilidade dos estudantes. Esse comportamento, que é ao mesmo tempo complexo e essencial, desempenha um papel crucial na formulação de políticas para promover meios de transporte mais sustentáveis. Dessa forma, o próximo índice estabelece a linha analítica necessária para alcançar os objetivos deste estudo. O Quadro 4, resume as principais características dos estudos de forma estruturada:

Quadro 4 – Estudos sobre Mensuração da Pegada de Carbono

Estudo	Principais Resultados	Metodologia	Comentários adicionais
Carvalho <i>et al.</i> (2017)	<ul style="list-style-type: none"> - 93% dos entrevistados usam transporte motorizado. - 44% transporte público, 39% carro próprio, 9% caronas. - 96% usavam gasolina, 3% álcool, 1% diesel. - Emissão média de 185g CO₂/km. 	Inquéritos com usuários de transporte e análise das distâncias percorridas para calcular as emissões.	Tráfego denso e falta de legislação brasileira específica aumentam as emissões.
Battistini <i>et al.</i> (2022)	<ul style="list-style-type: none"> - Carros: 817,29 tCO₂. - Ônibus: 241,57 tCO₂. - Trens: 645,98 tCO₂. 	Coleta de dados via inquéritos online com 900 estudantes e 270 trabalhadores.	Extrapolção dos dados para estimar a pegada total da população.
Yañez, Sinha e Vásquez (2019)	<ul style="list-style-type: none"> - 75,7% das emissões totais são de deslocamento. - Emissão per capita: 0,25 tCO₂ (graduandos), 0,61 tCO₂ (pós-graduandos). 	Comparação de pegada de carbono entre estudantes de graduação e pós-graduação, considerando variáveis como distância e meio de transporte.	Estudantes de países desenvolvidos tendem a viver no campus e usar modos de transporte mais sustentáveis.
Rodríguez-Andara <i>et al.</i> (2020)	<ul style="list-style-type: none"> - Carro a diesel: -72.981 tCO₂eq. - Carro a gasolina: 52.770 tCO₂eq. - Moto: 0,931 tCO₂eq. - Ônibus: 40.468 tCO₂eq. 	Inquéritos e estimativa de pegada por tipo de transporte com base nos hábitos de deslocamento dos participantes.	Empregados e residentes fora da cidade utilizam mais transporte extra-urbano e carros próprios.
Samara <i>et al.</i> (2022)	<ul style="list-style-type: none"> - Pegada de 34.546,71 tCO₂eq para 6.041 pessoas na IES. - Dificuldades para comparar com outros estudos devido à metodologia distinta. 	Dados extrapolados de entrevistas com 406 participantes e inquéritos sobre a eficiência dos veículos.	Foco na eficiência dos veículos e na extrapolção dos dados para a população total da IES.
Mendoza-Flores <i>et al.</i> (2019)	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte público: 0,436 tCO₂eq per capita. - Transporte privado: 2 toneladas de CO₂eq per capita. - Estudantes com carro emitem mais que os usuários de transporte público. 	Dados de um levantamento interno com 270 alunos e 142 funcionários, calculando a pegada com base na distância média anual percorrida.	Consideração de que todos os carros utilizavam gasolina e eram modelos de 2005.
Varón-Hoyos <i>et al.</i> (2021)	<ul style="list-style-type: none"> -Alunos: 6.681,30 tCO₂eq. -Funcionários: 611,1 tCO₂eq. 	Dados de consumo médio de veículos (km/MJ) e cálculo de emissões com base no conteúdo energético de diesel e gasolina	Foco em eficiência energética e estimativa de emissões para alunos e funcionários.
Schutze e Pinto (2013)	-Emissão média por semestre de 0,1557 tCO ₂ eq por aluno.	Inquéritos online com 173 alunos da IES.	Comparação da pegada com a de outras instituições para

			identificar padrões de emissões
Sobrinho e Arce (2021)	-88% dos estudantes usam transporte público. -39,2% dos funcionários utilizam o mesmo. Mulheres usam mais transporte público do que homens.	Comparação dos hábitos de transporte entre estudantes e funcionários, com foco em gênero e tipo de transporte.	Observações sobre diferenças de uso de transporte entre gêneros e impacto da renda familiar nas escolhas de transporte.
Danaf e Abou-Zeid (2014)	Estudantes de alta renda tendem a usar carros; baixa renda prefere transporte público ou modos ativos.	Estudo das influências de renda familiar nas escolhas de transporte.	Foco nas disparidades socioeconômicas que afetam as escolhas de transporte.
Di Dio <i>et al.</i> (2020)	-Emissão média de 161,71 g CO ₂ por veículo para estudantes e 170,94 g CO ₂ para funcionários.	Jogo de smartphone para promover viagens mais sustentáveis, com recompensas baseadas no comportamento de mobilidade.	Demonstra potencial de gamificação para reduzir emissões em contextos universitários
Zhou e Wang (2018)	-Gênero e segurança afetam a escolha de transporte, com mulheres preferindo menos o uso de bicicletas.	Análise de como fatores culturais e percepções de segurança influenciam a escolha de transporte.	Diferenças de gênero permanecem mesmo em ambientes seguros, sugerindo outros fatores culturais em jogo.
Nguyen-Phuoc <i>et al.</i> (2018)	-Estudantes mais jovens e de primeiro ano tendem a usar modos ativos de transporte, enquanto os mais velhos preferem motocicletas.	Estudo longitudinal das mudanças nas escolhas de transporte ao longo do tempo.	Impacto da idade e responsabilidades crescentes nas preferências por modos de transporte.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Então, este quadro resume de forma organizada os principais achados e metodologias dos estudos, facilitando a comparação e análise das emissões de carbono relacionadas ao transporte no contexto educacional.

2.4.1 Avaliação das metodologias para quantificar o carbono na mobilidade

No que se refere à metodologia dos estudos para a quantificação da pegada de carbono pelo método do *GHG Protocol*, foram observados, durante as leituras, diversos desdobramentos analíticos em relação à mensuração da pegada, dependendo dos objetivos de cada estudo e das dificuldades de obtenção de dados para a quantificação por essa metodologia.

Nos estudos analisados que citavam o uso do protocolo, observou-se a aplicação de diferentes cálculos para a quantificação, de acordo com os dados disponíveis e os propósitos das pesquisas. Foi constatado, por exemplo, que, no estudo de Carvalho *et al.* (2017), os autores analisaram as emissões a partir do fator de emissão, que dependia das características do modal (modelo, ano e autonomia) e do nível de consumo de combustíveis, utilizando o software Excel. As informações foram obtidas por meio de inquéritos online, com a participação de 343 pessoas de uma população de aproximadamente 44 mil estudantes, além de 4 mil professores e funcionários.

No estudo de Battistini *et al.* (2022), as emissões foram calculadas considerando apenas usuários de carros, ônibus e trens, uma vez que a mobilidade por motocicleta foi considerada insignificante na análise. O cálculo envolveu a multiplicação da quantidade de combustível consumido pelo fator de emissão em kgCO₂. Além disso, o estudo propôs uma nova metodologia para calcular a pegada de carbono, alinhada com padrões internacionais, permitindo avaliar os impactos ambientais gerados por diferentes campi universitários, devido à complexidade organizacional envolvida.

O estudo de Yañez, Sinha e Vásquez (2019) calculou as emissões com base no deslocamento, através da multiplicação da distância percorrida por tipo de modal, número de pessoas e fator de emissão por tipo de combustível. O resultado médio do deslocamento dos estudantes de graduação foi de 0,25 tCO₂ per capita, enquanto, para os pós-graduandos, foi de 0,61 tCO₂.

Já no estudo de Rodríguez-Andara, Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones (2020), o cálculo da pegada foi obtido de maneira genérica, semelhante ao estudo anterior, considerando variáveis como distância, meios de transporte, combustível e fator de emissão. Os autores ainda sugerem o cadastro dos alunos e funcionários como um ponto de partida para obter informações essenciais para calcular a pegada. A população estudada variou de 1.327 a 1.010 mil pessoas ao longo dos semestres, e o inquérito online obteve respostas de 160 estudantes e 150 funcionários.

No estudo Samara *et al.*, (2022, p. 8), os autores mencionam que: “A obtenção de detalhes de veículos individuais não era viável, pois exigiria muito esforço e consumiria muito tempo. Assim, a pesquisa questionou sobre a economia

de combustível do veículo do indivíduo, bem como a distância percorrida de casa até a universidade”.

Dessa forma eles calcularam com dados obtidos de inquéritos, questionando sobre o meio de transporte, eficiência do veículo (estimativa do total de litros consumidos no trajeto de ida e volta até a universidade), a distância e o fator de emissão local. Os resultados inferidos encontraram maior emissão para veículos a gasolina.

O estudo de Mendoza-Flores, Quintero-Ramírez e Ortiz (2019) realizou uma pesquisa interna com 270 alunos, 62 professores e 60 funcionários para coletar dados sobre tempo, distância média e origem das viagens. As emissões foram calculadas com base na distância média percorrida anualmente por docentes e funcionários em dias úteis, e por estudantes em dias de aula, além da quilometragem anual dos ônibus escolares. A distância foi classificada em quatro tipos de transporte: metrô, ônibus urbano, ônibus interurbano e van urbana. A proporção de uso de cada tipo de transporte foi estimada simulando os trajetos conforme a origem da população. Com essas informações, a distância percorrida por cada tipo de transporte foi calculada, levando em conta a quantidade de usuários de cada modalidade. As emissões associadas ao transporte privado foram calculadas seguindo o protocolo GHG, assumindo que todas as viagens foram realizadas em veículos a gasolina fabricados em 2005 ou antes, com uma ocupação média de 1,2 pessoas por carro. Os resultados mostraram 525,45 tCO₂eq para o transporte privado e 972,18 tCO₂eq para o transporte público.

De forma semelhante, o estudo de Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón (2021) calcula a pegada através dos indicadores de consumo médio (km/L) para cada tipo de veículo (marca, modelo, ano e cilindrada), multiplicados pela eficiência em MJ com base na conversão energética do combustível. A pegada da mobilidade dos estudantes foi de 6.685,41 tCO₂eq.

Assim como no estudo de Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón (2021), Schutze e Pinto (2013) também consideraram a lotação dos veículos particulares. Eles estimaram a pegada da mobilidade com base na distância percorrida, utilizando dados de inquéritos online. No estudo de Schutze e Pinto (2013), os pesquisadores também consideraram um período letivo de 16 semanas e calcularam as emissões pela distância e modal utilizado.

O estudo de Pérez-López, Orro e Novales (2021) calcula a mobilidade e considera se o participante está sozinho ou acompanhado no modal particular. Dessa forma, o estudo adota fatores de emissão genéricos para os modais carros, motos, ônibus e trens, multiplicando pela distância e pela frequência anual, determinada em 8,5 meses para estudantes e 11 meses para funcionários. Os resultados totalizaram 10.188 toneladas de CO₂.

Essas variações metodológicas evidenciam a complexidade e a necessidade de adaptar os cálculos da pegada de carbono conforme o contexto específico e a qualidade dos dados disponíveis. Considerando essa diversidade, o estudo em questão desenvolveu um modelo para a avaliação da pegada de carbono, que incorpora elementos básicos das metodologias analisadas, com o intuito de facilitar a quantificação da pegada. Assim, os próximos tópicos apresentarão detalhadamente o modelo de quantificação da pegada de carbono proposto pelo estudo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção, será apresentada a estrutura metodológica para alcançar os objetivos propostos. Serão apresentados a caracterização da pesquisa, a abordagem utilizada e a estrutura do estudo em relação aos objetivos e aos métodos para coleta a análise de dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Para fins metodológicos, este estudo caracteriza-se como um estudo de caso aplicado, uma vez que busca solucionar um problema específico utilizando uma abordagem quali-quantitativa. Essa metodologia combina diferentes abordagens, aplicadas simultaneamente ao problema de pesquisa.

Segundo Gil (2021), a pesquisa qualitativa permite uma compreensão aprofundada do fenômeno, buscando conhecer sua essência, conceitos e relações entre os dados, com o intuito de interpretar o fenômeno em seu contexto natural. Neste caso, procurou-se aprofundar o conhecimento acerca da quantificação da emissão de carbono na mobilidade no contexto das instituições de ensino superior, tanto no Brasil quanto no exterior. O objetivo é compreender os parâmetros de medição necessários para a construção de um modelo que visa melhorar a qualidade das informações sobre as emissões de carbono da mobilidade pendular dos estudantes de uma instituição de ensino em Caruaru – PE, à luz do *GHG Protocol*. Para isso, foram analisados nove artigos relacionados à temática, que embasaram a análise e a construção do modelo, além de permitir a comparação dos resultados do estudo de caso.

Na esfera quantitativa, cujo objetivo é examinar variáveis, testar teorias e quantificar a análise (Creswell; Creswell, 2021), este estudo buscou aprofundar-se na análise das emissões da mobilidade de uma amostra de estudantes e funcionários em seu contexto natural, de maneira isolada em uma única instituição. Para isso, foi utilizada uma ferramenta quantitativa, o *survey*, aplicada para o levantamento de dados primários, visando testar o modelo proposto e comparar os resultados com outras abordagens metodológicas, identificando possíveis dificuldades e melhorias.

Esse instrumento, normalmente construído na forma de um questionário, busca informações sobre características e ações de um determinado grupo da população-alvo, permitindo descrever quantitativamente essa população. O *survey* busca responder a perguntas sobre “o que, por quê, como e quanto”, considerando que não é possível controlar as variáveis dependentes e independentes observadas (Freitas *et al.*, 2000).

Quanto aos objetivos da pesquisa, ela foi desenvolvida com um propósito exploratório, visando familiarizar-se com o tópico ou identificar conceitos iniciais sobre o tema, determinar quais conceitos devem ser medidos e como, além de descobrir novas possibilidades e dimensões da população de interesse (Freitas *et al.*, 2000). Este enfoque também buscou identificar o que já existe na literatura sobre o tema, suas evidências empíricas e os métodos de pesquisa relacionados. Além disso, a pesquisa adotou um caráter descritivo, com o objetivo de identificar situações e eventos evidentes na população, descrevendo a distribuição do fenômeno em grupos ou subgrupos. Assim, procurou-se verificar os fatos em relação à realidade observada, sem se limitar à investigação das causas associadas às hipóteses (Gil, 2023).

3.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Um modelo, ou *framework* é uma estrutura fundamental que serve como uma base para o desenvolvimento e resolução de problemas em áreas específicas. Sua principal função é proporcionar rigor e relevância aos resultados de uma pesquisa, facilitar o desenvolvimento de teorias e garantir a generalização dos achados. Existem diferentes tipos de *frameworks*, incluindo conceitual, teórico, prático e híbrido (Macedo; De Souza, 2022).

Uma teoria existente pode não fornecer explicações específicas para os dados de uma pesquisa, pois teorias são abstrações gerais e não se aplicam a tópicos específicos. Em contraste, um *framework* teórico é uma estrutura analítica desenvolvida para abordar uma pergunta de pesquisa específica e resolver um problema declarado. Para criar um *framework* teórico, é essencial realizar uma revisão da literatura para que a estrutura emergente se baseie nas teorias e visões dos principais autores no campo de estudo (Scott; Usher, 2004).

O *framework* teórico atua como um guia para a pesquisa, fundamentado em teorias existentes, e orienta o pesquisador a não se desviar dos limites teóricos relevantes. Sem um *framework* teórico, a pesquisa pode carecer de direcionamento, levando a erros metodológicos. O *framework* ajuda a definir uma abordagem de pesquisa adequada, ferramentas analíticas e procedimentos, tornando os resultados mais significativos e generalizáveis (Simon; Goes, 2011).

A seleção de um contexto teórico deve alinhar-se aos princípios do estudo, questões de pesquisa e objetivos. O *framework* teórico deve cobrir todos os aspectos da literatura, metodologia, e apresentação dos achados. Após a pesquisa, os resultados devem confirmar, ampliar ou modificar a teoria usada. O *framework* teórico em uma tese ou dissertação é uma síntese das ideias de autores relevantes, aplicadas à pesquisa e usadas para interpretar dados e desenvolver conclusões (Grant; Osanloo, 2014).

3.2.1 Método de coleta de dados para elaboração do modelo

A coleta de dados inicial foi realizada por meio da análise de estudos relacionados à elaboração de inventários ou à quantificação das emissões de carbono da mobilidade diária ou pendular de estudantes e funcionários em instituições de ensino superior, utilizando os parâmetros do *GHG Protocol*. O objetivo foi compreender as estimativas das pegadas de carbono e as dificuldades encontradas, com base em textos publicados nos portais da Capes e *Google Acadêmico* que mencionavam o uso do *GHG Protocol* para quantificar a pegada da mobilidade pendular.

Com esse critério, foram selecionados nove artigos, os quais foram submetidos a uma análise detalhada dos conceitos e variáveis de mensuração dentro da metodologia requerida. Para aprofundar os estudos, foi utilizado o *software Atlas.ti*, versão 9.1.3.0, em todo o *corpus* textual, buscando identificar informações pertinentes e comuns entre os estudos para a elaboração do modelo.

Para fundamentar a busca nos estudos, foi necessário coletar informações tanto em termos conceituais quanto metodológicos para a construção do modelo. Apresentar as informações sem detalhamentos específicos seria insuficiente para atender ao objetivo proposto. Portanto, a investigação se concentrou em determinar se os estudos mensuravam a quantidade de emissão de CO₂ da mobilidade de

estudantes e/ou funcionários através do *GHG Protocol*, descrevendo as variáveis utilizadas no cálculo da pegada, o instrumento de coleta de informações e detalhes sobre a manipulação dos dados para o cálculo.

Assim, foi criada a base com as variáveis necessárias para quantificar as emissões de CO₂:

Quadro 2 - Variáveis necessárias para calcular as emissões de CO₂

Variáveis	Conceito	Estudos
Distância	O cálculo das emissões de CO ₂ baseia-se no total de passageiros-quilômetros (p.km) para modos de transporte motorizados.	Battistini, <i>et al.</i> , 2022; Yañez; Sinha; Vásquez, 2019; Carvalho, <i>et al.</i> , 2017; Rodríguez-Andara; Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones, 2020; Samara, <i>et. al.</i> , 2022; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019; Perez-Lopez; Orro; Novales, 2021; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Schutze; Pinto, 2013.
Modal	Os meios de transporte refletem a quantidade emitida por pessoa e varia de acordo com os padrões de cada país.	Carvalho, <i>et al.</i> , 2017; Yañez; Sinha; Vásquez, 2019; Rodríguez-Andara; Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones, 2020; Samara, <i>et. al.</i> , 2022; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021 Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019; Perez-Lopez; Orro; Novales, 2021; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Schutze; Pinto, 2013.
Características dos veículos	Os estudos variam pelo nível de detalhamento. Alguns estudos consideram os modelos dos veículos para analisar o consumo de combustível e nível de eficiência. Outros, consideram o ano do veículo e utilizam fatores nacionais genéricos.	Carvalho, <i>et al.</i> , 2017; Samara, <i>et. al.</i> , 2022; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Perez-Lopez; Orro; Novales, 2021; Schutze; Pinto, 2013.

Frequência	A frequência estabelecida segue um padrão anual considerando os dias úteis.	Battistini, <i>et al.</i> , 2022; Yañez; Sinha; Vásquez, 2019; Bertolin, <i>et al.</i> , 2019; Carvalho, <i>et al.</i> , 2017; Yañez; Sinha; Vásquez, 2019; Rodríguez-Andara; Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones, 2020; Samara, <i>et al.</i> , 2022; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019; Perez-Lopez; Orro; Novales, 2021; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Schutze; Pinto, 2013;
Fator de conversão	Consumo, distância e modais são variáveis requeridas para aplicação de um fator de conversão que estima a quantidade de GEE emitido pelos valores consumidos ou percorridos por tipo de transporte.	Battistini, <i>et al.</i> , 2022; Carvalho, <i>et al.</i> , 2017; Yañez; Sinha; Vásquez, 2019; Rodríguez-Andara; Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones, 2020; Samara, <i>et al.</i> , 2022; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Mendoza-Flores; Quintero-Ramírez; Ortiz, 2019; Perez-Lopez; Orro; Novales, 2021; Varón-Hoyos; Osorio-Tejada; Morales-Pinzón, 2021; Schutze; Pinto, 2013.

Fonte: Autores (2024)

Com o conhecimento das variáveis necessárias para a construção do modelo e das dificuldades relacionadas à aplicação da metodologia de cálculo, foram estabelecidos critérios para aprimorar a obtenção, operacionalização e disponibilização de dados nas instituições de ensino superior. Esses critérios visam facilitar a avaliação da pegada de carbono dos estudantes de forma semiautomática e incluem:

- a) Ser de fácil utilização, permitindo o uso em programas comuns como o *Excel*, com funções preestabelecidas;
- b) Permitir a inserção, configuração e ajuste de informações sobre as variáveis a serem calculadas;

- c) Incorporar fatores de emissão padrão de bancos de dados nacionais, com possibilidade de atualização;
- d) Ser capaz de calcular a pegada de carbono com base no CEP coletado durante o cadastro do aluno.

Com essa premissa, o modelo desenvolveu-se nas seguintes etapas:

a) Definição do Propósito e Objetivos:

- Propósito: Mensurar a pegada de carbono associada à mobilidade de funcionários e estudantes de maneira semiautomática.
- Objetivo: Analisar os métodos existentes para quantificação e divulgação da pegada identificando as variáveis e pontos de melhoria.

b) Pesquisa e Revisão de Literatura:

- Revisão de artigos: Estudar artigos que quantificaram a pegada de carbono para compreender a mensuração, as variáveis e as dificuldades enfrentadas.
- Coleta de Dados: Elaborar um quadro com as informações sobre a metodologia dos cálculos para inventariar as emissões do transporte.

c) Definição dos Componentes da estrutura:

- Componentes: Tipos de transporte, fatores de emissão, dados de locomoção e informações do curso.
- Estrutura: Organizar os componentes em categorias de análise dentro do *framework*.

d) Desenvolvimento de Processos:

- Métodos: Estruturar uma forma computacional para calcular as emissões com base em distâncias, tipos de transporte e frequência anual.
- Ferramentas: *Microsoft Excel* para coletar e calcular a emissão de CO₂.

e) Adequação às normas:

- Normas: Padronização conforme orientações do *GHG Protocol (2013)*.

f) Testes e validação:

- Testes: Realizar um teste operacional do *framework* com uma amostra de dados para verificar a precisão.
- Validação: Comparar os resultados com outros parâmetros de cálculo para avaliar a precisão.

Com base nisso, seguiu-se a construção do modelo para melhor obtenção dos resultados.

3.2.1.1 Coleta de informações

Considerando as lacunas identificadas durante a elaboração deste estudo, percebeu-se uma oportunidade de aprimorar a quantificação da pegada de carbono, começando pela melhoria na coleta de informações. Para iniciar qualquer modalidade de ensino, é sabido que é necessário passar por um processo burocrático de matrícula, que, em alguns casos, inclui a comprovação de informações para ingresso por meio de cotas. Assim, a ficha de matrícula torna-se um documento padrão que formaliza o vínculo entre o estudante e a instituição.

Com isso em mente, o modelo elaborado propõe incluir, no momento da matrícula, questionamentos sobre a mobilidade pretendida, visando uma melhor quantificação e disponibilidade de informações. Atualmente, já se possui, por exemplo, o CEP dos estudantes; portanto, obter detalhes sobre o principal meio de locomoção para a instituição poderia resolver uma das principais dificuldades na quantificação da pegada: a baixa participação na aplicação de questionários virtuais. Dessa forma, os resultados das emissões de carbono serão calculados à luz da equação (1), estabelecida pelo *GHG Protocol*, conforme mencionado no tópico "Método de Análise de Dados" e utilizada por outros autores

3.2.2 Método de coleta de dados para teste do modelo

A partir dos estudos analisados, foram elaborados dois instrumentos de *survey* estruturados, com alternativas que buscavam padronizar as respostas dos participantes (funcionários e estudantes), visando obter dados que refletissem mais

fielmente a realidade *in loco*. Para essa investigação, era essencial a coleta de dados primários, possibilitando o teste do modelo proposto em comparação com outros métodos já utilizados.

O instrumento de coleta de dados foi inicialmente testado entre cinco pessoas, incluindo professores e estudantes, para avaliar sua funcionalidade e aperfeiçoar o questionário, garantindo uma melhor compreensão por parte dos participantes. A coleta de dados ocorreu entre 19 de junho e 11 de julho de 2024, utilizando a plataforma *Google Forms* para distribuir o questionário de maneira virtual. O inquérito foi enviado por meio dos principais canais de comunicação da instituição, como WhatsApp, para todos os funcionários e estudantes. É importante ressaltar que o questionário foi repassado a um representante da instituição, que o encaminhou aos funcionários, que, por sua vez, o enviaram aos estudantes.

O questionário pode ser encontrado no Apêndice 1, e o Quadro 4 a seguir reúne os blocos de questões elaboradas para mensurar as variáveis necessárias, aplicando-se o método descrito na categoria 7 – Deslocamento do funcionário do *Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (Version 1.0)* do Greenhouse Gas Protocol (2013), disponível no site do *GHG Protocol*:

Quadro 4 - Distribuição das questões pelas variáveis analisadas

Variáveis	Questões
Características	Você é estudante de? (Tipo de curso) Qual nome do curso? Qual a duração do curso? Você se identifica como? (gênero) Qual sua faixa etária? Qual a renda per capita familiar?
Frequência	Quantas vezes na semana você se desloca do seu ponto de origem até a <u>instituição</u> ? *considerando 5 dias na semana
Distância	Qual bairro você mora?
Modais	Considerando o trajeto por dia e que a sua residência é o ponto de origem, qual o tipo de transporte você mais utiliza para chegar à <u>instituição</u> ? Se você utiliza veículo particular, indique as características do seu veículo seguindo a configuração de Ano, Marca, Motor e Modelo.
Combustíveis	Qual tipo de combustível é utilizado no veículo? Especifique qual o percentual utiliza com frequência para cada tipo de

	combustível?
--	--------------

Fonte: Autores (2024)

Nota: o termo “à instituição” foi adotado na descrição para ocultar o nome da instituição”.

O questionário foi elaborado de modo que todas as alternativas precisassem ser respondidas, restringindo os participantes apenas a estudantes e profissionais da instituição. Com isso, foram obtidos a participação de 100 estudantes e 53 funcionários da instituição

A pesquisa seguiu o protocolo anexado no Apêndice A, e a participação foi inteiramente voluntária, sem a oferta de recompensas. Antes de preencher o formulário, os participantes aceitaram digitalmente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), apresentado na abertura do questionário. O TCLE forneceu informações sobre o propósito do estudo, as orientações para o preenchimento do formulário, os métodos de coleta de dados, bem como garantias de confidencialidade e anonimato. Além disso, foi esclarecido que os participantes poderiam desistir da pesquisa a qualquer momento e foram informados sobre as medidas de prevenção e resolução de possíveis problemas. Apenas os pesquisadores responsáveis tiveram acesso aos dados coletados.

A instituição participante busca se tornar a primeira unidade educacional do Nordeste a ser carbono neutro. A instituição ocupa uma área de 3.656 m², contendo 29 ambientes educacionais, incluindo 11 salas de aula, 15 laboratórios, 2 cozinhas didáticas, um salão de beleza-escola e uma biblioteca.

Os cursos oferecidos incluem Imagem Pessoal, Moda, Hospitalidade, Produção Alimentícia, Informática, Gestão e Saúde, além de 9 cursos técnicos presenciais e 3 cursos à distância (informações disponíveis no site da instituição). A unidade atende mais de 3 mil alunos anualmente em níveis como ensino médio, educação profissional, ensino superior e pós-graduação.

3.2.2.1 Limites organizacionais e operacionais

Com base no padrão contábil dos relatórios *GHG Protocol* (2013), foram definidos os seguintes limites:

- Organizacionais: Unidade de ensino situada em Caruaru.

- Operacionais: Emissões indiretas do escopo 3, na categoria de "deslocamento de funcionários - *upstream*", considerando o meio de transporte e a distância percorrida de ida e volta entre a instituição e a residência.

3.2.2.2 Delimitação do universo (descrição da população)

No primeiro semestre de 2024, a instituição contava com 949 alunos ativos nos cursos de graduação, pós-graduação, ensino médio e profissionalizante, além de 101 funcionários. Com base nesse quantitativo, estimou-se alcançar, no mínimo, 48 alunos e 6 funcionários, o que corresponde a 5% da população ativa.

No entanto, é importante observar que a instituição oferece uma ampla variedade de cursos com diferentes durações ao longo do ano. Em 2023, por exemplo, a instituição realizou mais de 300 cursos, dos quais aproximadamente 150 tinham uma duração de 4 a 8 horas.

Diante dessa realidade, buscou-se superar a incerteza gerada pela escassez de informações, coletando dados amostrais diretamente das respostas dos estudantes sobre sua mobilidade até a instituição. O objetivo foi obter estimativas mais precisas, aplicando fatores de emissões compatíveis tanto com a realidade brasileira quanto com padrões internacionais.

3.2.2.3 Amostragem

O processo de amostragem, segundo Freitas *et. al.*, (2000) é composto por:

- Definição do público-alvo: estudantes e funcionários da instituição.
- Unidade de amostragem: por pessoa.
- Método de amostragem: Não probabilística.
- Tamanho da amostra: 5% da população ativa.

Dentro desse escopo, o processo de amostragem foi não probabilístico, pois nem todos os elementos da amostra tiveram a mesma chance de serem selecionados. Isso ocorreu porque a disseminação do instrumento de pesquisa foi realizada por meio do WhatsApp, enviado pelos professores diretamente para suas

turmas, o que não garantiu o mesmo nível de acesso a todos os participantes. Além disso, a visita à instituição não abrangeu todas as turmas ativas, limitando ainda mais a representatividade.

Vale ressaltar que, como esta pesquisa é também um estudo de caso, não há intenção de generalizar os resultados para outras instituições ou contextos.

3.2.3 Método de análise de dados

A análise dos dados coletados nos inquéritos foi realizada através do *Microsoft Excel 2016*, versão 2407. Ela baseou-se no escopo teórico para o cálculo das emissões, utilizando o *Tier 2* apresentado na primeira parte do estudo para o modelo proposto. O objetivo dessa análise foi validar o modelo proposto por meio da comparação dos resultados obtidos com os padrões nacionais e internacionais de emissões de GEE.

Ao comparar a pegada de carbono entre os parâmetros nacionais e internacionais, é possível observar as diferenças contextuais, já que, no caso do Brasil, os fatores de emissão são influenciados pela modificação no combustível instituída pelo Decreto-Lei Nº 737, de 23 de setembro de 1938, que tornou obrigatória a adição de álcool anidro à gasolina produzida no país (Brasil, 1938). E comparando os resultados do modelo com outros possíveis resultados, pode-se observar a funcionalidade da ferramenta e suas variações em relação a outras pegadas.

A mensuração da pegada de carbono, de modo geral, considera as viagens realizadas por automóvel, motocicleta e ônibus, levando em conta a distância percorrida e aplicando o fator de emissão correspondente para calcular o valor da pegada. Esse processo é representado numericamente pela seguinte equação (GHG Protocol, 2013):

$$E \text{ (kgCO}_2\text{)} = \sum D \times Fe_{\text{(modal)}} \times Fq_{\text{(dia)}} \times 2 \quad \text{Eq (1)}$$

A variável E, indica o resultado do cálculo da emissão que considera as variáveis:

D: distância percorrida por viagem em (Km);

$Fe_{\text{(modal)}}$: fator de emissão por modal (Kg);

Fq: frequência anual, expressa em dias.

2: representa o ir e vir da instituição.

Nesta equação, pressupõe-se que o modo de deslocamento dos participantes seja o mesmo tanto na ida quanto na volta, ou que eventuais variações não sejam suficientemente representativas, de modo que as mudanças relevantes estejam nos fatores de emissão, que variam de acordo com outros parâmetros, como o modelo do veículo e o tipo de combustível utilizado.

Esse mesmo pressuposto é adotado no modelo proposto, que utiliza a mesma abordagem metodológica do *GHG Protocol* (2013), mas aprimora o processo ao introduzir melhorias nas ferramentas de manipulação de dados e na coleta de informações.

O *GHG Protocol* (2013) recomenda o uso de fatores de emissão nacionais, ou o mais próximos possível da região de análise. Com base nisso, foi considerado necessário consultar quatro relatórios para obter os fatores de emissão adequados ao método *Tier 2*, visando a comparação entre os resultados nacionais e internacionais nos modelos existentes e no modelo proposto.

Dos fatores nacionais, foram considerados fatores de emissões para os modelos ou ano dos veículos conforme o tipo de combustíveis, através dos relatórios:

- a) CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, divulga periodicamente as Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, detalhando informações sobre a frota veicular, consumo de combustível e outras variáveis, oferecendo uma visão detalhada da situação atual e futura (CETESB, 2021).
- b) INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia também publica periodicamente uma planilha com dados sobre veículos leves aprovados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), contendo informações sobre eficiência energética e emissão de GEE (INMETRO, 2024).
- c) IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada desenvolveu um estudo que apresenta a metodologia de cálculo das emissões de GEE no transporte motorizado de passageiros em grandes centros urbanos brasileiros (De Carvalho, 2011).

E dos fatores internacionais, foram considerados os dados disponíveis no *Calculation tools and guidance* (2024). Os cálculos e seus resultados serão apresentados a diante.

Visto isso, as próximas sessões abordam a aplicação do modelo e suas análises em relação aos dados da literatura levantados até agora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo desenvolvido para mensurar a pegada de carbono nas universidades, com ênfase na avaliação do modelo proposto e na comparação de seus resultados com outras metodologias de mensuração.

4.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO

O modelo partiu da premissa da dificuldade de obtenção de dados pelas instituições de ensino para quantificar a pegada descrita pelos autores ao longo desse estudo e como proposta ao que foi sugerido por Rodríguez-Andara, Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones (2020). Dessa forma o objetivo do *framework* é aprimorar a coleta, operacionalização e disponibilização de dados para as instituições de ensino superior, permitindo uma estimativa mais eficiente e semiautomática da pegada de carbono estudantil.

Com isso em mente, o Quadro 5 a seguir modela as informações que atualmente são solicitadas no ato da matrícula, ampliando-as para incluir questionamentos que permitam um melhor entendimento da mobilidade dos estudantes, visando facilitar a coleta de dados sobre locomoção:

Quadro 5 - Modelo de matrícula proposto com novos questionamentos sobre mobilidade

<p style="text-align: center;"><i>Instituição de Ensino (2024)</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Formulário de matrícula - Online</i></p> <p><i>Dados padrões requeridos pela instituição para matrícula:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Identificação:</i>• <i>Contato:</i>• <i>Estado social:</i>• <i>Ocupação:</i>• <i>Residência:</i>• <i>(outros)</i> <p><i>Dados sobre o curso:</i></p>

- *Nome do curso*
- *Duração*
- *(outros)*

- *Locomoção (principal meio de transporte para a instituição)*

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Esse formulário introduz uma nova variável – Locomoção – no processo de matrícula, permitindo que a instituição faça estimativas sobre a pegada de mobilidade. A forma de obter esses dados pode variar conforme a escolha da instituição.

Uma opção é perguntar diretamente ao novo estudante sobre o meio de locomoção pretendido, atendendo aos requisitos do modelo de cálculo da pegada de carbono. Alternativamente, a instituição pode optar por realizar um *survey* antecipado, como descrito no Apêndice 2, no qual os participantes forneceriam informações detalhadas sobre sua locomoção. Esse método permitiria uma verificação mais precisa, caso a instituição deseje adotar cálculos mais detalhados, como o *Tier 3*, criando assim um banco de dados para consultas futuras.

Independentemente do método escolhido, o funcionamento eficaz do modelo requer a inclusão de mais uma pergunta sobre locomoção durante o processo de matrícula, para garantir que os dados necessários sejam coletados de forma consistente e que a pegada de carbono seja mensurada de maneira adequada.

4.1.1 *Inputs e manipulação de dados*

Os dados extraídos durante a matrícula poderão ser inseridos diretamente no *Microsoft Excel*, que já estará configurado para realizar cálculos automáticos à medida que as informações sobre a residência, curso e meio de transporte forem preenchidas. A seguir, apresenta-se uma simulação da construção e uso do modelo:

Figura 2 - Seção cadastro

MATRÍCULA	CEP	ENDEREÇO	BAIRRO	CIDADE
Aluno	55044-014	1ª Travessa Presidente Café Filho	Jardim Panorama	Caruaru/PE

Fonte: Autores (2024)

Através do número do CEP inserido na segunda coluna, as demais células automaticamente preenchem o endereço, o bairro e a cidade.

A próxima seção, ilustrada na Figura 3, foi ajustada para agrupar as informações dos cursos, que já estão pré-configuradas com a duração:

Figura 3 - Seção curso – Tipo de curso

TURMA	CURSO	
	TIPO	NOME
2024.1	Graduação	Administração

Fonte: Autores (2024)

A lista apresentada (graduação, pós-graduação e outros) é configurada e pode ser atualizada à medida que a instituição lançar novos cursos. O preenchimento do tipo e do nome do curso é predefinido na célula, permitindo que, no momento da matrícula, a escolha seja feita com apenas um clique.

Figura 4 - Seção curso – Nome do curso

TIPO	NOME	HORAS
Graduação	Administração	1600h
Profissional	Elementary English	48H
Profissional	Aromaterapia	86H
Graduação	Gastronomia	1600h
Profissional	Vestuário: Modelagem Avançada	120H

Fonte: Autores (2024)

Ao escolher o curso, surge automaticamente a quantidade de horas e os dias letivos, conforme exemplificado na imagem a abaixo (Figura 5):

Figura 5 - Seção curso – carga horária

CURSO		CARGA HORÁRIA		FREQUÊNCIA SEMANAL (Dias)
TIPO	NOME	HORAS	DIAS LETIVOS	
Graduação	Administração	1600h	1600h	1 dia na semana
Profissional	Elementary English	48H	48H	2 dias na semana
Profissional	Aromaterapia	86H	86H	3 dias na semana
Graduação	Gastronomia	1600h	1600h	4 dias na semana
Profissional	Vestuário: Modelagem Avançada	120H	120H	5 dias na semana

Fonte: Autores (2024)

Essas informações foram preconfiguradas em outras planilhas no próprio modelo. Nelas, foram estabelecidos alguns dos cursos mencionados na fase de montagem do protótipo e inseridos na célula. A Figura 6 mostra parte da lista de cursos criada com base nos dados da instituição.

Figura 6 - Lista de cursos

CÓDIGO	NOME	HORAS	FREQUENCIA	DIAS
2024.1.299	Administração	1600	1 dia na semana	3 dias
2024.1.124	Elementary English	48	2 dias na semana	600 dias
2024.1.456	Aromaterapia	86	3 dias na semana	5 dias
2024.1.123	Gastronomia	1600	4 dias na semana	600 dias
2024.1.578	Vestuário: Modelagem Avançada	120	5 dias na semana	6 dias

Fonte: Autores (2024)

Após isso, distribui-se os dias letivos por mês nas colunas subsequentes, que representarão os números referentes à frequência para o cálculo da pegada. Essas informações são inseridas manualmente na planilha:

Figura 7- Frequência

DIAS LETIVOS DOS MESES DE 2024											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ

Fonte: Autores (2024)

Com a mesma configuração da lista e do tipo de curso, foi criada uma lista para inserir o principal modal utilizado e a frequência de uso semanal, conforme ilustrado na Figura 8:

Figura 8 - Seção modal

MODAL PRINCIPAL MODELO/ANO	FREQUENCIA DE USO
Ônibus	Sempre
Van	Uma vez na semana
Automóvel	Duas vezes na semana
Motocicleta	Três vezes na semana
Bicicleta	Quatro vezes na semana

Fonte: Autores (2024)

Como o modelo funciona com dados genéricos, ao escolher o modal, a célula busca em outra planilha pré-configurada os fatores de emissão correspondentes. A frequência determina o número que irá multiplicar o fator de emissão.

O resultado do modelo se limita aos dados de frequência, distância e modal, conforme previsto nos critérios de construção. Os resultados do cálculo serão apresentados na seção 4.4.

Após isso, há uma última coluna que estipula, automaticamente, a distância em quilômetros do CEP do aluno até o endereço da instituição, caso o aluno resida

no município de Caruaru. Essa distância é estabelecida por bairro, mas pode ser adicionada manualmente entre o endereço do estudante e o endereço da instituição.

Após determinar a distância, a coluna de emissões já exhibe o resultado do cálculo com as informações inseridas.

Figura 9 - Distância e resultado

DISTÂNCIA MÉDIA	EMIÇÃO DE CO2
6	336,24
4,8	426,25
10,4	627,55
1,6	234,44
11,2	554,45

Fonte: Autores (2024)

Para fins de demonstração, a imagem abaixo (Figura 10) ilustra os inputs necessários para a realização do cálculo da pegada, utilizando fatores genéricos inseridos para testar a funcionalidade do modelo.

Figura 10 - Pegada da Mobilidade

CADASTRO					TURMA	CURSO		CARGA HORÁRIA		FREQUÊNCIA SEMANAL
MATRÍCULA	CEP	ENDEREÇO	BAIRRO	CIDADE		TIPO	NOME	HORAS	DIAS LETIVOS	
jan/24	55044-014	1ª Travessa Presidente	Jardim Panorâmico	Caruaru	2024.1	Aprendizagem	Programação em Java	36	12	3 dias na semana
jan/24	55019-340	Avenida Rosa Cruz	São João da Esquerda	Caruaru	2024.2	Aprendizagem	Chef Teens	15	5	5 dias na semana
jan/24	55040-375	Rua Laércio Florêncio	Alto do Moura	Caruaru	2024.3	Aperfeiçoamento	Técnico em Enfermagem	1700	719	5 dias na semana

DIAS LETIVOS DO MÊS 2024												MODAL PRINCIPAL MODELO/ANO	FREQUENCIA DE USO	DISTANCIA	EMIÇÃO DE CO2 (kg/CO2 ano)
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ				
							20	20	20	18		Automóvel	Sempre	6	1428,336
								5	4	5	4	Ônibus	Uma vez na semana	4,6	12,93182374
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Bicicleta	Duas vezes na semana	10,4	2496

Fonte: Autores (2024)

Com essa operacionalidade, a configuração do modelo estruturado foi finalizada, atendendo aos critérios estabelecidos.

4.1.2 Relatórios

Com o objetivo de parametrizar um modelo de apresentação de resultados para fins de comparação ao longo do tempo e em estudos futuros, o modelo proposto visa sistematizar todas as informações relevantes relacionadas às estimativas de CO₂ da mobilidade. Assim, o modelo a seguir foi elaborado:

Quadro 6 - Modelo de relatório de dados

Relatório sobre o Inventário de Emissões de CO₂ da Mobilidade dos Estudantes

1. Introdução

Este relatório detalha o inventário de emissões de CO₂ associadas à mobilidade dos estudantes da Instituição _____ de Ensino Superior. O objetivo é fornecer uma avaliação minuciosa das emissões geradas pelos deslocamentos dos alunos e colaboradores, considerando variáveis como distância percorrida, frequência das viagens, carga horária, código postal (CEP) e modais de transporte utilizados. Esta análise é crucial para o desenvolvimento de estratégias direcionadas para a redução das emissões de carbono, alinhadas aos objetivos de sustentabilidade da instituição.

2. Metodologia

2.1 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada ao longo do ano, agrupando informações de locomoção no momento da matrícula:

- **Distância Percorrida:** Informada pelos estudantes com base na jornada diária de ida e volta para a instituição.
- **Frequência das Viagens:** Frequência com que os estudantes e colaboradores realizam deslocamentos (semanal, mensal, anual).

- **Curso:** Curso acadêmico ao qual o estudante está matriculado.
- **Código Postal (CEP):** Localização de residência dos estudantes.
- **Modalidades de Transporte:** Tipos de transporte utilizados (carro, ônibus, motocicleta, etc.).

2.2 Cálculo das Emissões

As emissões foram calculadas da seguinte forma:

1. **Determinação da Distância Total:** A distância total percorrida diariamente foi calculada multiplicando a distância de ida e volta pela frequência das viagens ao longo da carga horária do curso.
2. **Fatores de Emissão por Modalidade:** Utilizou-se fatores de emissão específicos para cada tipo de modal para calcular as emissões de CO₂.
3. **Classificação por modais/cursos:** As emissões foram segmentadas por meios de transporte/cursos para identificar padrões e para fins de comparação.

3. Análise dos Resultados

3.1 Distância Percorrida

- **Média de Distância:** A média de distância percorrida pelos grupos (estudante e colaboradores) foi de [X] km por dia e [X] km por ano
- **Média de emissão de CO₂ por estudante:** A média de emissão por grupo foi de [X] kgCO₂.

3.3 Análise por Curso

- **Cursos com Maior Deslocamento:** Os cursos de [Curso A] e [Curso B] possuem uma maior média de distância percorrida e, conseqüentemente, maiores emissões de CO₂.
- **Distribuição das Emissões:** A análise revela que cursos com atividades

práticas e externas exigem deslocamentos mais frequentes e longos.

3.4 Modalidades de Transporte

- **Modais Predominantes:** Os modais de transporte mais utilizados incluem [Modal A], [Modal B] e [Modal C].
- **Emissões por Modal:** O [Modal A], predominantemente movido a [Tipo de Combustível], gera uma emissão média de [X] g CO₂/km, comparado ao [Modal B], que gera [Y] g CO₂/km.

3.5 Tipos de modais

- **Análise dos Modais:** A maior parte dos estudantes utiliza [Tipo de modal A], com um fator de emissão de [X] g CO₂/km.

4. Discussão

Os dados evidenciam uma significativa emissão de CO₂ associada à mobilidade dos estudantes, com variáveis como distância percorrida, frequência de deslocamentos e tipo de transporte exercendo impactos variados. A análise indica que o tipo de modal e a frequência de viagens são os principais determinantes das emissões totais.

6. Conclusão

A análise das emissões de CO₂ associadas à mobilidade dos estudantes fornece uma base para a formulação de estratégias que visem a redução da pegada de carbono da instituição visando promover dados para formulação de soluções práticas mais sustentáveis e contribuir para os objetivos ambientais da instituição.

Este relatório serve como um ponto de partida para ações direcionadas e para o desenvolvimento contínuo de políticas ambientais eficazes.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Este modelo de relatório reúne a descrição dos dados conforme calculados pelo modelo, limitando a análise por tipo de transporte. Caso a instituição opte por um resultado mais detalhado, o modelo permite expansão, pois é uma planilha em

Excel. No entanto, dados específicos sobre fatores de emissão por tipo de modal e combustível precisariam ser inseridos manualmente, o que representa uma limitação operacional da ferramenta, que calcula automaticamente apenas com fatores genéricos, seguindo o padrão do estudo de De Carvalho (2011). Diante disso, as próximas seções apresentam os resultados coletados em campo dentro do modelo proposto, além de comparações com outros resultados existentes.

4.2 DADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO

Para uma melhor compreensão dos dados gerados pelo modelo e pelos cálculos realizados com outros métodos de quantificação da pegada de carbono, esta seção iniciará com a apresentação dos resultados da amostra, diferenciando os dados entre alunos e funcionários. Em seguida, serão apresentados os resultados das quantificações utilizando os métodos *Tier 2*, o modelo desenvolvido e o *GHG Protocol*, acompanhados de uma discussão específica em cada subseção.

4.2.2 Características da amostra

Nesta primeira seção, as características observadas na amostra serão descritas separadamente para alunos e funcionários, proporcionando uma compreensão clara da distribuição da população em relação às variáveis. Em seguida, na seção 4.2.3, será realizada uma análise estatística mais aprofundada do comportamento da amostra, reunindo alunos e funcionários, com foco na pegada de carbono.

4.2.2.1 Alunos

A participação dos alunos envolveu 100 pessoas, das quais 1 não era estudante da instituição, 6 não concordaram em participar da pesquisa, 18 eram menores de 18 anos e 2 não informaram o tipo de transporte utilizado. Esses casos foram excluídos, resultando em 73 respostas viáveis para a categorização da amostra. Assim, observou-se que 84% da amostra estudantil utilizava transporte motorizado, conforme expressa a Tabela 2:

Tabela 2 - Distribuição dos estudantes por tipo de locomoção

<i>Estudantes</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Utiliza transporte motorizado	62	84,93%
Não utiliza transporte motorizado	10	13,70%
Utiliza bicicleta	1	1,37%
<i>Total</i>	<i>73</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Como o objetivo era calcular as emissões de carbono dos participantes que utilizavam veículos motorizados, foram excluídos da amostra 10 participantes que costumavam ir a pé e 1 que utilizava bicicleta. As análises subsequentes focaram exclusivamente na parte da amostra que usava veículos motorizados. Assim, foram realizadas análises segmentadas por gênero, renda, idade e tipos de transporte. Ao distribuir os resultados dos alunos que utilizam transporte motorizado por gênero, observou-se uma maior participação do gênero feminino:

Tabela 3 - Distribuição dos estudantes por gênero

<i>Gênero</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Feminino	50	80%
Masculino	11	17,75%
Prefiro não informar	1	2,25%
<i>Total</i>	<i>62</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

A amostra é predominantemente feminina, refletindo predominância também em outras variáveis como no uso de diferentes modais de transporte, com a maioria utilizando ônibus ou motocicletas, sendo que o uso de carros próprios é mais comum entre homens e mulheres com maior renda.

Entre gênero e curso, a maioria dos alunos dos cursos de "Qualificação em Serviços Administrativos" e "Técnico de Enfermagem" é feminina, enquanto há uma quantidade menor de homens nesses cursos. Em "Gastronomia", a proporção entre gêneros é mais equilibrada, lembrando-se que a distribuição da amostra do curso é bastante variável.

Quanto a renda, houve maior concentração para a faixa salarial entre 1 e 2 salários-mínimos (Tabela 4):

Tabela 4 - Distribuição dos estudantes por renda familiar *per capita*

<i>Faixa de renda</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
1 a 2 salários	40	64,51%
3 a 4 salários	3	4,58%
Mais de 5 Salários	1	1,61%
Renda variável	18	29,3%
<i>Total</i>	<i>62</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Sobre a idade, percebe-se que grande parte dos estudantes é composta por jovens de até 25 anos (Tabela 5).

A análise da renda per capita mostra que a maioria dos alunos tem uma renda entre 1 e 2 salários-mínimos. Essa faixa de renda está associada ao uso predominante de transporte público, como ônibus, e motocicletas, que são opções mais econômicas para distâncias menores. Alunos com rendas mais altas, acima de 3 salários-mínimos, tendem a utilizar carros próprios, especialmente entre os homens.

Tabela 5 - Distribuição dos estudantes por idade

<i>Idade</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
De 18 a 25 anos	27	43,54%
De 26 a 35 anos	14	22,58%
De 36 a 45 anos	15	24,21%
Mais de 46 anos	6	9,67%
<i>Total</i>	<i>62</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Considerando também a distribuição por curso, foi possível observar que a maioria dos participantes era do curso técnico de enfermagem (80,65%) e da qualificação em serviços administrativos (11,29%), conforme mostra a Tabela 6:

Tabela 6 - Distribuição dos estudantes por curso

<i>Modais</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Qualificação (sem especificar)	3	4,84%
Qualificação em Serviços Administrativos	7	11,29%
Gastronomia	2	3,23%
Técnico de Enfermagem	50	80,65%
<i>Total</i>	<i>62</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Separando agora os meios de transporte motorizado citados como mais utilizados, obteve-se uma maior concentração no uso de ônibus, seguido de motocicleta e carro próprio:

Tabela 7 - Distribuição dos estudantes por meio de transporte

<i>Modais</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Carro (compartilhado)	1	1,61%
Carro (próprio)	10	16,12%
Motocicleta (compartilhada)	5	8,09%
Motocicleta (própria)	13	20,96%
Micro-ônibus	4	6,45%
Ônibus	29	46,77%
<i>Total</i>	<i>62</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Observa-se que alunos mais jovens (18 a 25 anos) preferem motocicletas e ônibus, enquanto os mais velhos (36 a 45 anos) utilizam mais frequentemente carros ou ônibus. Alunos com renda variável frequentemente optam por motocicletas ou carros, enquanto aqueles com renda fixa geralmente utilizam ônibus.

Analisando as distâncias com base nos bairros informados, os valores estipulados foram consultados no *Google Maps*. A distribuição dessas distâncias está apresentada na Tabela 7, que mostra que a maioria dos estudantes da amostra (43,55%) reside a mais de 5 km da instituição, enquanto outra parcela (27,42%) reside a menos de 5 km:

Tabela 8 - Distribuição dos estudantes por distância

<i>Distância (Km)</i>	<i>Estudantes</i>	<i>Distribuição percentual</i>
1 - 5	17	27,42%
5,1 - 10	27	43,55%
10,1 - 15	2	3,23%
15,1 - 20	0	-
20,1 - 25	4	6,45%
25,1 - 30	1	1,61%
30,1 - 35	5	8,06%
35,1 - 40	1	1,61%
40,1 - 45	0	-
45,1 - 50	1	1,61%
50,1 - 55	1	1,61%
55,1 - 60	1	1,61%
60,1 - 65	1	1,61%
65,1 - 70	1	1,61%
<i>Total</i>	<i>62</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

A distância percorrida pelos alunos varia bastante, desde 1,3 km até 66,6 km. Os alunos que utilizam ônibus e micro-ônibus tendem a percorrer distâncias maiores, enquanto aqueles que utilizam motocicletas ou carros (próprios ou compartilhados) costumam percorrer distâncias menores. A maioria dos alunos utiliza ônibus (55% dos casos), e a maioria deles é feminina (75% dos casos), especialmente para distâncias mais longas e maiores salários.

Para calcular a pegada de carbono pelo método *Tier 2*, é essencial utilizar dados que estejam mais próximos da realidade, considerando fatores de emissão específicos. Assim, foram analisados os modelos informados pelos participantes, divididos em duas categorias: automóvel e motocicleta. Vale lembrar que, embora tenha sido solicitado explicitamente informações precisas sobre as características dos modelos, muitos estudantes não informaram todos os dados necessários, resultando em dados ausentes. O resultado dessa análise está expresso na Tabela 9:

Tabela 9 - Características dos transportes dos estudantes da amostra

Autos	Fabricante	Modelo	Motor	Ano	Combustível
1	Fiat	Toro	-	2018	Gasolina
2	Citroën	-	-	2012	Gasolina
3	Chevrolet	Celta	-	-	Gasolina
4	Volkswagen	Fox	-	2010	Gasolina
5	Volkswagen	Fox	-	2010	Gasolina
6	Volkswagen	Saveiro	1.6	2017	Gasolina
7	Ford	Fiesta Sedan	1.6	2014	Gasolina
8	Fiat	Uno	-	2008	70% Gasolina 30% Álcool
9	-	-	-	-	Gasolina
10	-	-	-	-	Gasolina
Motos	Fabricante	Modelo	Motor	Ano	Combustível
1	Yamaha	-	-	2005	Gasolina
2	Honda	Fan	160cc	2022	Gasolina
3	Honda	Biz	125cc	2021	Gasolina
4	Honda	Pop	110cc	2018	Gasolina
5	Yamaha	Crosser	150cc	2021	70% Gasolina 30% Álcool
6	Honda	Bros	-	-	Gasolina
7	Yamaha	N Max	160cc	2024	Gasolina
8	Honda	-	-	2016	Gasolina
9	Honda	DT	-	1994	Gasolina
10	-	-	150cc	-	Gasolina
11	Honda	Biz	-	-	Gasolina
12	-	-	-	-	Gasolina
13	Dafra	-	-	-	Gasolina

Fonte: Autores (2024)

Nota: os espaços marcados com - foram decorres da ausência de informações específicas.

Analisando o tipo de combustível utilizado nos veículos particulares, observa-se uma predominância do uso de gasolina, que é utilizada por 91,3% da população:

Tabela 10 - Distribuição dos combustíveis dos transportes particulares

<i>Modais</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Gasolina	20	91,3%
<i>Flex</i>	2	8,7%
<i>Total</i>	23	100%

Fonte: Autores (2024)

Por fim, também foi possível observar um uso mais frequente de gasolina nos carros e motocicletas entre o público das faixas de 18 a 25 anos e 36 a 45 anos. O uso de álcool foi inferior em relação ao total da amostra.

Após a apresentação de todas as categorias da amostra, é possível ter uma visão geral da distribuição dos estudantes conforme o gênero, faixa de renda, curso e hábitos de transporte.

Essas observações ajudam a compreender como diferentes fatores influenciam a escolha dos modais e o impacto das variáveis socioeconômicas e demográficas nessa decisão.

4.2.2.2 Funcionários

Esse questionário contou com a participação de 54 pessoas. No entanto, uma pessoa optou por não participar da pesquisa, duas não eram funcionários e outras duas não informaram o tipo de transporte que utilizavam. Após essas exclusões, restaram 48 respostas válidas. Dessa forma, a amostra de professores foi distribuída da seguinte maneira:

Tabela 11 - Distribuição dos funcionários por tipo de locomoção

<i>Funcionários</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Utiliza transporte motorizado	41	85,41%
Não utiliza transporte motorizado	6	12,50%
Utiliza bicicleta	1	2,09%
<i>Total</i>	48	100%

Fonte: Autores (2024)

Para atingir os objetivos propostos, a análise focou-se nas características dos participantes que utilizavam veículos motorizados. Dessa forma, seis participantes que iam a pé e um que utilizava bicicleta foram excluídos da amostra. Com base na amostra restante, realizaram-se análises separadas por gênero, curso, renda, idade, tipo de modal e pegada de carbono, da mesma forma que foi realizado para os estudantes.

Assim, ao distribuir os resultados dos participantes que utilizam transporte motorizado por gênero, observou-se uma maior participação do gênero feminino (73,17%):

Tabela 12 - Distribuição dos funcionários por gênero

Gênero	Qtd	Representação percentual
Feminino	30	73,17%
Masculino	11	26,83%
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Segmentando a amostra por renda, observa-se uma maior concentração (43,90%) entre pessoas que recebem de 3 a 4 salários:

Tabela 13 - Distribuição dos funcionários por renda familiar *per capita*

Faixa de renda	Qtd	Representação percentual
1 a 2 salários	13	31,71%
3 a 4 salários	18	43,90%
Mais de 5 Salários	7	17,07%
Renda variável	3	7,32%
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Sobre a idade, a distribuição se mostra mais equilibrada se comparada a outras variáveis citadas concentrando a maior parte (39,02%) na faixa etária de 36 a 45 anos (Tabela 14):

Tabela 14 - Distribuição dos funcionários por faixa etária

<i>Idade</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
De 26 a 35 anos	13	31,71%
De 36 a 45 anos	16	39,02%
Mais de 46 anos	12	29,27%
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Considerando também a distribuição por função, a Tabela 15 demonstra essa distribuição:

Tabela 15 - Distribuição dos estudantes por função

<i>Modais</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Analista ou assistente	6	14,63%
Auxiliares	8	19,51%
Gerentes ou Coordenadores	6	14,63%
Instrutor efetivo ou temporário	21	51,22%
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Ao separar os meios de transporte motorizado mais utilizados, observa-se um uso predominante de carro próprio, que concentra 63,41% da amostra:

Tabela 16 - Distribuição dos funcionários por modais

<i>Modais</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Carro (próprio)	26	63,41%
Carro (compartilhado)	3	7,32%
Motocicleta (compartilhada)	2	4,88%
Motocicleta (própria)	3	7,32%
Ônibus	7	17,07%
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Em relação à distribuição dos funcionários por distância, observa-se que a maioria reside a até 5 km da instituição como mostra a Tabela 17:

Tabela 17 - Distribuição dos funcionários por distância

<i>Distância (Km)</i>	<i>Funcionários</i>	<i>Distribuição percentual</i>
1 – 5	26	63,41%
5,1 - 10	7	17,07%
10,1 - 15	6	16,63%
15,1 - 20	0	14,63%
20,1 - 25	1	2,44%
50,1 – 55	1	2,44%
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>100%</i>

Fonte: Autores (2024)

Ao relatar os modais utilizados pelos funcionários, separados em duas categorias principais (automóvel e motocicleta), observamos os seguintes modelos e a distribuição do combustível mencionada pelos participantes:

Tabela 18 - Características dos veículos da amostra funcionários

<i>Automóveis</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Motor</i>	<i>Ano</i>	<i>Combustível</i>
1	Chevrolet	Corsa Classic	1.0	2004	Gasolina
2	Fiat	Siena ELX	1.4	2010	Gasolina
3	Ford	Fiesta	1.0	2010	70% gasolina 30% álcool
4	Fiat	Siena	1.0	2011	Gasolina
5	Toyota	Rav4	2.4	2011	Gasolina
6	Chevrolet	Celta	1.0	2012	Gasolina
7	Chevrolet	Celta LT	1.0	2012	Gasolina
8	Fiat	Palio	1.0	2012	Gasolina
9	Fiat	Palio Attractive	1.0	2012	Gasolina
10	Chevrolet	Onix	1.0	2014	70% gasolina 30% álcool
11	Hyundai	HB20S	1.0	2014	Gasolina
12	Hyundai	HB20	1.6	2014	Gasolina
13	Ford	Ka	1.0	2015	Gasolina
14	Honda	Civic	-	2015	Flex
15	Hyundai	HB20	1.0	2015	Gasolina
16	Hyundai	HB20	1.0	2015	Gasolina
17	Hyundai	HB20 1.5	1.5	2015	Gasolina
18	Volkswagen	Fox	1.6	2015	Gasolina
19	Fiat	Estrada	-	2017	Gasolina
20	Hyundai	HB20	-	2018	50% gasolina 50% álcool
21	Renault	Logan	1.6	2018	Gasolina
22	Renault	Kwid	1.0	2018	Gasolina
23	Chevrolet	Onix LT	1.0	2019	50% gasolina 50% álcool

Fonte: Autores (2024)

Tabela 18 - Características dos veículos da amostra funcionários

(Continua)

24	Chevrolet	Prisma	1.6	2019	Gasolina
25	Chevrolet	Onix Plus	1.0	2023	Gasolina
26	Volkswagen	-	-	2023	50% gasolina 50% álcool
<i>Motocicletas</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Motor</i>	<i>Ano</i>	<i>Combustível</i>
1	Honda	Moto Fan	160cc	2019	Gasolina
2	Honda	Biz	125	2009	Gasolina
3	Yamaha	Fazer	160cc	2023	Gasolina

Fonte: Autores (2024)

Segmentando também pelo uso de combustíveis observa-se que 82,76% da amostra utiliza gasolina:

Tabela 19 - Distribuição dos combustíveis dos transportes particulares

<i>Modais</i>	<i>Qtd</i>	<i>Representação percentual</i>
Gasolina	24	82,76%
<i>Flex</i>	5	17,24%
<i>Total</i>	29	100%

Fonte: Autores (2024)

Alguns achados da pesquisa indicam que funcionários com renda mais alta (acima de 3 salários-mínimos) costumam utilizar carros próprios com maior frequência. Por outro lado, aqueles com rendas mais baixas (entre 1 e 2 salários-mínimos) tendem a optar por ônibus ou motocicletas. Esse padrão sugere uma possível relação entre a renda e a preferência por veículos particulares.

Observa-se uma tendência de que tanto homens quanto mulheres usem carros próprios, mas as mulheres também fazem uso significativo de ônibus e motocicletas. Particularmente, as mulheres, especialmente nas categorias de auxiliares e instrutores, frequentemente optam por transporte coletivo ou motocicletas, refletindo possíveis restrições financeiras ou preferências pessoais.

Funções mais elevadas, como gerentes e coordenadores, mostram maior relação com carros próprios. Em contraste, auxiliares e instrutores, que geralmente possuem rendas mais baixas, utilizam com mais frequência ônibus e motocicletas.

De maneira geral, essa análise revela como diferentes fatores influenciam a escolha de transporte e o impacto ambiental dos funcionários.

4.3 PEGADA DE CARBONO DA MOBILIDADE

Esse capítulo irá explorar os resultados da pegada de carbono através dos métodos mais precisos e genéricos nacionais e internacionais para fins de comparação dos resultados com os resultados do modelo proposto.

4.3.1 Pegada da mobilidade pelos parâmetros nacionais - *Tier 2*

Para fins de cálculo da pegada, foram utilizados fatores de emissão das bases de dados nacionais e internacionais, visando obter uma comparação em relação à validação da ferramenta, tal como realizado por Vall-Vals e Bovea (2021). Inicialmente, foram efetuados cálculos com fatores de emissão nacionais para empregar o método *Tier 2*. Os fatores de emissão utilizados foram os disponibilizados por De Carvalho (2011), pelo Centro Tecnológico de Saneamento Básico (2021) e pelo INMETRO (2024).

Na montagem das planilhas no Excel, com os fatores de emissão e os dados nacionais tratados, foram considerados, a priori, modelos e tipos de combustíveis catalogados no INMETRO (2024) para localização do fator de emissão. Na ausência do modelo catalogado, considerava-se as características de ano (para automóveis) e cilindrada (para motocicletas) para encontrar o fator de emissão correspondente na CETESB. Por fim, quando não havia informações suficientes para encontrar os fatores de emissão nas bases do INMETRO ou da CETESB, considerava-se, então, o fator genérico disponibilizado por De Carvalho (2011).

Algumas informações foram pressupostas em virtude da ausência de dados específicos. Quanto ao fator de emissão do micro-ônibus, considerou-se uma emissão de 790 gramas de CO₂ por quilômetro (ANTP [S.d.]), dividido pela lotação de 30 pessoas, conforme foi visualizado em uma notícia sobre a quantidade de pessoas por transporte nos micro-ônibus adquiridos no município (Diário do Transporte, 2022). Para as motocicletas fabricadas após 2021, usou-se o último fator de emissão aproximado do ano de 2021 da CETESB (2022), uma vez que não se dispunha de fatores de emissão de 2022, 2023 e 2024.

Em relação aos modelos dos modais informados, mesmo sendo solicitado explicitamente o modelo do modal, a marca, a potência do motor e o ano de fabricação, algumas descrições não foram específicas, como, por exemplo, “uma moto Honda”, conforme mostrado nas seções 3.3.1 e 3.3.2. Nesse caso, foram utilizados fatores genéricos.

Para os usuários que mencionaram utilizar dois tipos de combustível simultaneamente, foi calculado um fator de emissão baseado na distribuição do combustível. Por exemplo, o automóvel Volkswagen, 2023, utiliza 50% de cada tipo de combustível (gasolina e álcool). Pela tabela da CETESB, o fator de emissão é 141 gCO₂/km para álcool e 147 gCO₂/km para gasolina. Realizando o cálculo: (50% x 141) + (50% x 147), obteve-se um fator de 144 gCO₂/km. Esse mesmo cálculo foi aplicado aos outros casos que utilizavam os dois tipos de combustível.

Visto isso, a Tabela 20 a seguir mostra a montagem dos fatores de emissão aplicados para cada modelo que foi citado pelos estudantes e funcionários, considerando o combustível, modelo, motor ou potência, ano e a fonte consultada:

Tabela 20 - Características dos veículos da amostra

<i>Combustível</i>	<i>Modelo</i>	<i>Motor/ Potência</i>	<i>Ano</i>	<i>Fe.</i>	<i>Fonte</i>
Gasolina	Civic	-	2015	140	INMETRO
Gasolina	DT	-	1994	71,1	IPEA
Gasolina	Corsa Classic	1.0	2004	276	CETESB
Gasolina	-	-	2005	71,1	IPEA
Gasolina	Biz 125	-	2009	61	CETESB
70% gasolina e 30% álcool	Fiesta	1.0	2010	175,9	CETESB
Gasolina	Fox	-	2010	206	CETESB
Gasolina	Fox	-	2010	206	CETESB
Gasolina	Rav4	2.4	2011	197	CETESB
Gasolina	Celta LT	1.0	2012	199	CETESB
Gasolina	Palio Attractive	1.0	2012	199	CETESB

Fonte: Autores (2024)

Tabela 20 - Características dos veículos da amostra

(continua)

<i>Combustível</i>	<i>Modelo</i>	<i>Motor/ Potência</i>	<i>Ano</i>	<i>Fe.</i>	<i>Fonte</i>
Gasolina	HB20	1.6	2014	197	CETESB
70% gasolina e 30% álcool	Uno	1.4	2014	170,6	CETESB
Gasolina	Ka	1.0	2015	186	CETESB
Gasolina	HB20	-	2015	186	CETESB
Gasolina	HB20	1.5	2015	186	CETESB
Gasolina	Saveiro	1.6	2017	112	INMETRO
Gasolina	Estrada	-	2017	175	CETESB
Gasolina	Kwid	1.0	2018	84	INMETRO
Gasolina	Toro	2.2	2018	177	INMETRO
Gasolina	Logan	1.6	2018	119	INMETRO
Gasolina	Prisma	1.6	2019	184	CETESB
30% álcool e 70% gasolina	Onix LT2	1.0	2019	150,2	CETESB
Gasolina	Fan	160cc	2022	54	CETESB
Gasolina	Onix Plus LTZ	1.0	2023	98	INMETRO
50% álcool e 50% gasolina	-	-	2023	144	CETESB
Gasolina	Biz	-	-	71,1	IPEA
Gasolina	Biz	125cc	-	71,1	IPEA
Gasolina	Biz	125cc	2021	41	CETESB
Gasolina	Celta	-		126,8	IPEA
Gasolina	Celta	-		199	CETESB
50% álcool e 50% gasolina	Onix	-	2014	169	CETESB
Gasolina	-	-	2012	199	CETESB
Gasolina	-	-	-	71,1	IPEA
Gasolina	Fazer	160cc	2023	54	CETESB
Gasolina	Palio	-	2012	199	CETESB
Gasolina	Fiesta Sedan	1.6	2008	201	CETESB
Gasolina	Fox	1.6	2015	186	CETESB
Gasolina	HB20	1.0	2015	186	CETESB
50% álcool e 50% gasolina	HB20	-	2018	150,5	CETESB
Gasolina	HB20S	1.0	2014	197	CETESB
Gasolina	-	-	-	71,1	IPEA
Gasolina	-	-	2016	71,1	IPEA
Gasolina	Bros	-	-	71,1	IPEA
Gasolina	Pop	110cc	2018	37	CETESB

Fonte: Autores (2024)

Tabela 20 - Características dos veículos da amostra

(Continua)

Combustível	Modelo	Motor/ Potência	Ano	Fe.	Fonte
Gasolina	Moto	-	-	71,1	IPEA
Gasolina	Moto	150	-	71,1	IPEA
Gasolina	Fan	160cc	2020	53	CETESB
Gasolina	-	160cc	2021	54	CETESB
Gasolina	Siena ELX	1.4	2010	206	CETESB
Gasolina	Siena	1.0	2011	197	CETESB
70% gasolina e 30% álcool	Crosser	150cc	2021	39,7	CETESB
Gasolina	N Max	160cc	2024	54	CETESB

Fonte: Autores (2024)

Para os demais usuários que se utilizavam de ônibus e micro-ônibus como meio principal de locomoção, foi considerado o fator de emissão de 16 g/km.passageiro para os ônibus e 23,66 g/km.passageiro para micro-ônibus.

Sobre à frequência do curso, destaca-se que a instituição dispõe de cursos com durações variáveis, que vão desde 1 dia até 2 anos e meio. A distância percorrida, foi calculada usando o *Google Maps*, conforme descrito anteriormente. Com base nas informações fornecidas pela instituição, o número de dias foi contabilizado de acordo com a duração do curso. Para cursos com mais de um ano de duração, foi adotado um limite de 230 dias úteis no cálculo, conforme as diretrizes estabelecidas pelo *GHG Protocol* (2013)

Considerando todos os detalhes para o cálculo, obteve-se a seguinte tabela (21) para calcular a emissão de CO₂:

Tabela 21 - Cálculo da pegada dos estudantes e funcionários

Estudantes					
Bairro	Distância (Km)	Modal	Dias	Fator Emissão g/km	kgCO₂
Agrestina	22,3	Ônibus	230	16	164,128
Agrestina	22,3	Ônibus	230	16	164,128

Fonte: Autores (2024)

Tabela 21 - Cálculo da pegada dos estudantes e funcionários

(Continua)

Estudantes					
Bairro	Distância (Km)	Modal	Dias	Fator Emissão g/km	kgCO₂
Agrestina	22,3	Micro-ônibus	230	26,33	270127,33
Agrestina	22,3	Ônibus	230	16	164,128
Altinho	34,1	Ônibus	230	16	250,976
Alto do Moura	10,4	Motocicleta	230	71,1	340,1424
Ameixas/ Cumaru	34,9	Motocicleta	230	54	866,916
Andorinha	7,3	Ônibus	230	16	53,728
Belo jardim	59,4	Ônibus	230	16	437,184
Boa vista	8,2	Automóvel	230	126,8	478,2896
Cachoeira Seca	34,4	Ônibus	230	16	253,184
Caiucá	11	Ônibus	230	16	80,96
Camocim de São Felix	31,7	Ônibus	230	16	233,312
Camocim de São Félix, Nova República	31,7	Ônibus	230	16	233,312
Cedro	4,7	Motocicleta	230	71,1	153,7182
Centro	3,2	Automóvel	230	199	292,928
Cidade Alta	5,2	Automóvel	230	177	423,384
Cidade Alta	5,2	Automóvel	230	126,8	303,3056
Cidade Alta	5,2	Ônibus	230	16	38,272
Cidade Jardim	5,7	Ônibus	230	16	41,952
Cidade Jardim	5,7	Ônibus	230	16	41,952
Indianópolis	1,3	Automóvel	230	201	120,198
Indianópolis	1,3	Motocicleta	230	54	32,292
Indianópolis	1,3	Motocicleta	230	41	24,518
Indianópolis	1,3	Ônibus	230	16	9,568
Jardim Panorama	6	Ônibus	76	16	14,592
João Mota	5,1	Automóvel	230	206	483,276
João Mota	5,1	Automóvel	230	206	483,276
João Mota	5,1	Ônibus	230	16	37,536
José Carlos da oliveira	7,9	Ônibus	230	16	58,144
José Carlos de Oliveira	7,9	Automóvel	230	112	407,008
Kennedy	9,2	Motocicleta	230	39,7	168,0104
Nossa Senhora das Dores	3,4	Ônibus	76	16	8,2688
Nossa Senhora das Dores	3,4	Ônibus	76	16	8,2688
Nossa Senhora das Graças	3,4	Ônibus	230	16	25,024
Nova Caruaru	7,2	Motocicleta	230	71,1	235,4832

Fonte: Autores (2024)

Tabela 21 - Cálculo da pegada dos estudantes e funcionários
(Continua)

Petrópolis	4,2	Motocicleta	230	71,1	137,3652
Petrópolis	4,2	Motocicleta	230	71,1	137,3652
Rendeiras	3,2	Motocicleta	230	71,1	104,6592
Rendeiras	3,2	Motocicleta	230	71,1	104,6592
Rendeiras	3,2	Ônibus	76	16	7,7824
Residencial Xique Xique	9,6	Motocicleta	230	37	163,392
Sairé PE: bairro Centro	37,6	Ônibus	230	16	276,736
Salgado	3,1	Motocicleta	230	71,1	101,3886
Salgado	3,1	Ônibus	76	16	7,5392
Salgado	3,1	Ônibus	76	16	7,5392
Santa Cruz do Capibaribe	66,6	Micro-ônibus	230	26,33	8275620,98
Santa Rosa	2,7	Motocicleta	230	71,1	88,3062
São Caetano	26,3	Ônibus	76	16	63,9616
São Francisco	4,2	Ônibus	76	16	10,2144
São João da Escócia	4,6	Ônibus	76	16	11,1872
São Joaquim do Monte-Centro	42,1	Micro-ônibus	230	49,375	509906,78
Toritama	46,4	Ônibus	230	16	341,504
Vassoural	3,5	Automóvel	230	126,8	204,148
Vassoural	3,5	Automóvel	230	126,8	204,148
Vassoural	3,5	Motocicleta	230	71,1	114,471
Vassoural	3,5	Motocicleta	230	71,1	114,471
Vassoural	3,5	Motocicleta	230	71,1	114,471
Vassoural	3,5	Motocicleta	230	71,1	114,471
Vassoural	3,5	Ônibus	230	16	25,76
Vertentes	61,6	Ônibus	230	16	453,376
Vila Andorinha	7,9	Automóvel	230	170,6	619,9604
Funcionários					
Bairro	Distância (Km)	Modal	Dias	Fator Emissão g/km	kgCO2
Boa vista	12,9	Ônibus	230	16	94,944
Boa vista	12,9	Ônibus	230	16	94,944
Boa vista	12,9	Ônibus	46	16	18,989
Cedro	4,7	Automóvel	230	206	445,37
Cidade Alta	5,2	Automóvel	230	197	471,22
Cidade Alta	5,2	Automóvel	138	199	285,6
Cidade Jardim	5,7	Automóvel	230	197	516,53
Contendas	22,9	Motocicleta	46	61	128,51
Gravatá/PE, Bairro: Cohab 01	50,3	Automóvel	230	126,8	2933,9

Fonte: Autores (2024)

Tabela 21 - Cálculo da pegada dos estudantes e funcionários

(Continua)

Funcionários					
Bairro	Distância (Km)	Modal	Dias	Fator Emissão g/km	kgCO2
Indianópolis	1,5	Automóvel	230	186	128,34
Indianópolis	1,5	Automóvel	230	197	135,93
Indianópolis	1,5	Automóvel	46	140	19,32
Indianópolis	1,5	Automóvel	230	126,8	87,492
Indianópolis	1,5	Automóvel	230	186	128,34
Indianópolis	1,5	Automóvel	46	150,2	20,728
Kennedy	9,2	Automóvel	46	150,2	127,13
Maurício de Nassau	4,3	Automóvel	230	98	193,84
Maurício de Nassau	4,3	Automóvel	184	144	227,87
Maurício de Nassau	4,3	Automóvel	184	150,5	238,15
Maurício de Nassau	4,3	Automóvel	230	119	235,38
Maurício de Nassau	4,3	Automóvel	230	175	346,15
Maurício de Nassau	4,3	Automóvel	230	84	166,15
Maurício de Nassau	4,3	Automóvel	230	199	393,62
Nova Caruaru	7,2	Motocicleta	230	54	178,85
Nova Caruaru	7,2	Ônibus	46	16	10,598
Petrópolis	5	Automóvel	230	197	453,1
Rendeiras	4,4	Automóvel	230	199	402,78
Rendeiras	4,4	Automóvel	138	126,8	153,99
Residencial Xique-Xique Caruaru	13,7	Ônibus	230	16	100,83
Salgado	3,3	Ônibus	230	16	24,288
Salgado	3,3	Motocicleta	230	54	81,972
Salgado	3,3	Automóvel	46	197	59,809
Salgado	3,3	Automóvel	230	175,2	265,95
São Francisco	6	Automóvel	230	184	507,84
São João da Escócia	4,6	Motocicleta	230	53	112,15
Universitário	4,8	Automóvel	230	186	410,69
Vassoural	3,6	Automóvel	230	199	329,54
Vassoural	3,6	Motocicleta	200	71,1	102,38
Vila Andorinha	12,6	Automóvel	230	186	1078,1
Xique Xique	13,1	Automóvel	184	276	1330,5
Zona rural	3,7	Ônibus	230	16	27,232

Fonte: Autores (2024)

A partir dos valores expressos na Tabela 21, multiplicando a frequência anual em dias pela distância do trajeto multiplicada por 2 (ida e volta) e pelos fatores de emissão nacionais, conforme recomendado nas diretrizes do *GHG Protocol*, obteve-se uma pegada de 12,41 toneladas de CO₂ para os alunos e 13,06 toneladas de CO₂ para os funcionários. A média por aluno foi de 200 kg CO₂, enquanto para os funcionários foi de 319 kg CO₂.

Para extrapolar os resultados da amostra para os estudantes de 2023, tal como observado em Battistini *et al.* (2022), calcularam-se as médias com base nas características observadas. Dessa forma, obteve-se o seguinte resultado (Tabelas 22 e 23):

Tabela 22 - Média das variáveis dos estudantes

<i>Variável</i>	<i>Fator Médio de Emissão (g)</i>	<i>Unidade</i>
Distância	13,18	km por pessoa
Automóvel	161,71	F.e. km por veículo
Motocicleta	63,88	F.e. km por veículo

Fonte: Autores (2024)

Tabela 23 - Média das variáveis dos Funcionários

<i>Variável</i>	<i>Fator Médio de Emissão (g)</i>	<i>Unidade</i>
Distância	7,02	km por pessoa
Automóvel	170,94	F.e. km por veículo
Motocicleta	191,12	F.e. km por veículo
Frequência	192	F.e. km por veículo

Fonte: Autores (2024)

A planilha oferece uma visão abrangente dos impactos ambientais associados ao deslocamento dos alunos e funcionários. A análise revela uma diversidade de modais e distâncias, refletindo uma pegada de carbono significativa, principalmente para aqueles que utilizam transporte particular.

Para uma análise comparativa entre a pegada de carbono dos estudantes e funcionários, considerando variáveis como renda, gênero e faixa etária, foram observadas algumas tendências gerais.

Em ambos os grupos, indivíduos com maior renda tendem a utilizar veículos que emitem mais CO₂, como carros próprios, em comparação com opções mais sustentáveis como ônibus e motocicletas. Funcionários com maiores rendimentos frequentemente usam carros próprios, aumentando suas pegadas de carbono. Estudantes com menor renda, por outro lado, utilizam mais transporte público, resultando em pegadas de carbono menores.

Não há uma diferença significativa na pegada de carbono entre gêneros. Ambos, homens e mulheres, exibem variações na pegada de carbono com base em suas escolhas de transporte, que parecem ser mais influenciadas pela renda e distância do trajeto do que pelo gênero em si.

A pegada de carbono tende a aumentar com a faixa etária, principalmente porque pessoas mais velhas frequentemente têm veículos próprios e podem percorrer distâncias maiores para o trabalho. Em contraste, jovens tendem a utilizar mais transporte público ou motocicletas, o que geralmente resulta em pegadas de carbono mais baixas.

Essas observações destacam como a renda e a escolha do modal de transporte afetam a pegada de carbono, com impactos variados baseados em idade e gênero, mas com a renda sendo o fator mais predominante.

Para melhor validação em termos estatísticos, a próxima seção explora esses resultados, analisando possíveis correlações entre as variáveis.

4.3.1.1 Análise estatística e discussão da amostra total

Com base nos dados descritos na seção 3.4, obteve-se uma pegada de carbono mais aproximada para os grupos de alunos e funcionários. Com o objetivo de analisar se haveria alguma influência entre as variáveis no resultado da pegada, empregou-se a análise de correlação, visto que ela é fundamental para entender como diferentes fatores interagem e influenciam as percepções e comportamentos dos participantes. Assim, esta seção se dedicará a apresentar uma análise estatística estratificada dos dados coletados na pesquisa sobre a pegada de carbono.

4.3.1.2 Estatísticas Descritivas

A análise abrange as variáveis atividade desenvolvida, gênero, faixa etária, faixa de remuneração e frequência de participação, proporcionando uma avaliação didática dos resultados. Abaixo, segue a análise de cada variável com base nos parâmetros estatísticos descritivos extraídos:

Tabela 24 - Estatísticas descritivas

<i>Variáveis</i>	<i>Mediana</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Intervalo interquartil</i>	<i>Teste de Shapiro-Wilk</i>	<i>P-value do Shapiro-Wilk</i>
Atividade	1,00	2,20	1,65	3,00	0,68	< 0,001
Gênero	1,00	1,23	0,45	0,00	0,53	< 0,001
Faixa etária	2,00	2,39	1,06	2,00	0,87	< 0,001
Faixa de remuneração	2,00	2,34	0,65	1,00	0,67	< 0,001
Frequência semanal	4,00	3,72	0,81	0,00	0,38	< 0,001
Distância Km	4,80	10,75	13,86	6,50	0,64	< 0,001
Pegada em Kg	153,72	247,40	350,75	272,96	0,56	< 0,001

Fonte: Autores (2024)

A amostra total é composta por 103 participantes. A distribuição dos dados não segue a normalidade, conforme indicado pelo teste de *Shapiro-Wilk* ($p < 0,001$), o que sugere uma assimetria nos dados. Isso é reforçado pela observação de que a maioria dos participantes são alunos (60,19%) e também reflete uma concentração significativa de respostas no gênero feminino (77,67%), com poucos homens (21,36%). A faixa etária predominante está entre 19 e 35 anos, o que sugere que a amostra é composta principalmente por jovens adultos e a maioria dos respondentes está na faixa de 1 a 2 salários-mínimos, representando 69,9% da amostra. A ausência de normalidade também é confirmada pelo teste de *Shapiro-Wilk* ($p < 0,001$), com um forte predomínio de participantes que frequentam a instituição quatro vezes por semana (87,37%).

A variável "distância percorrida" revela uma distribuição bastante heterogênea, com uma mediana de 4,8 Km, média de 10,747 Km e um desvio padrão expressivo de 13,864 Km, o que evidencia uma grande dispersão dos dados. O intervalo interquartil é de 6,5 Km e, conforme o teste de *Shapiro-Wilk* ($p < 0,001$), a distribuição não segue a normalidade, sugerindo que há *outliers* significativos no

conjunto de dados, possivelmente relacionados a indivíduos que se deslocam por longas distâncias.

Por fim, a pegada de carbono é a variável com maior dispersão entre os dados. A mediana é de 153,718 Kg, enquanto a média atinge 247,404 Kg, com um desvio padrão de 350,752 Kg. O intervalo interquartil de 272,958 Kg reforça a alta variabilidade nos dados. A não normalidade dos dados (*Shapiro-Wilk*, $p < 0,001$) sugere a presença de grandes outliers, possivelmente associados a uma minoria de indivíduos com pegadas de carbono significativamente maiores.

Com isso, pode-se considerar que as variáveis do estudo revelam que a maioria das distribuições não segue a normalidade, com dados altamente assimétricos e dispersos. Esse padrão é especialmente evidente nas variáveis de pegada de carbono e distância percorrida, onde outliers influenciam fortemente os resultados. Por outro lado, as variáveis relacionadas a características demográficas, como gênero e faixa etária, mostram menor dispersão, com uma predominância clara de certos grupos (mulheres jovens, com faixa salarial de 1 a 2 salários-mínimos).

4.3.1.3 Análise e discussão das frequências

Esta seção busca interpretar as principais distribuições de frequência observadas nas variáveis analisadas. As frequências fornecem uma visão clara sobre a composição dos participantes, suas características sociodemográficas e seus padrões de comportamento, contribuindo para uma melhor compreensão do contexto estudado.

A análise das tabelas de frequência oferece uma compreensão detalhada das características dos participantes do estudo. Esses fatores devem ser levados em conta na elaboração de políticas, campanhas ou intervenções que busquem envolver este público de forma eficaz, respeitando suas características demográficas e socioeconômicas.

Com essa informação, a instituição poderá conhecer mais profundamente o impacto de suas atividades compreendendo sua relação e possíveis efeitos conforme sugerem os autores Mendoza-Flores, Quintero-Ramírez e Ortiz (2019).

Ao mapear suas emissões diretas e indiretas, a instituição poderá desenvolver estratégias específicas para neutralizar ou compensar essas emissões,

com o objetivo de se tornar uma líder em sustentabilidade e alcançar o status de "Net Zero", destacando-se como pioneira no Nordeste brasileiro. Esse posicionamento alinhado às metas brasileiras para consolidar uma economia de baixo carbono (Perpétuo, 2017) e ao plano de descarbonização de Pernambuco (Governo do Estado de Pernambuco, 2022), coloca a instituição à frente (Mustafa et al., 2019), essa ação de seu contexto pela iniciativa de promover soluções inovadoras que incentiva mudanças externas (Genta et al., 2023).

4.3.1.3.1 Atividade Desenvolvida

A variável "atividade desenvolvida" descreve a ocupação dos participantes. A maior parte da amostra é composta por alunos, com um total de n=62, representando 60,19% da amostra. Instrutores compõem o segundo maior grupo, com n=16 (15,53%), seguidos por auxiliares, com n=9 (8,74%). Gerentes e coordenadores representam 7,77% da amostra (n=8), enquanto analistas e assistentes são o menor grupo, com n=7 participantes (6,80%):

Tabela 25 - Frequências para Atividade

<i>Atividade</i>	<i>Frequência</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Porcentagem válida</i>	<i>Porcentagem cumulativa</i>
Aluno	62	60,19%	60,19%	60,19%
Analista/assistente	6	5,83%	5,83%	66,02%
Auxiliares	8	7,77%	7,77%	73,79%
Gerentes/coordenadores	6	5,83%	5,83%	79,61%
Instrutores	21	20,39%	20,39%	100,00%
Total	103	100,00%	-	-

Fonte: Autores (2024)

Essa distribuição reforça a natureza educacional do contexto estudado, sugerindo que as características dos participantes da instituição investigada são, em grande parte, compostas por alunos, com uma proporção relevante de instrutores e outros profissionais de apoio. O predomínio dos alunos (mais de 60%) evidencia um cenário onde as decisões institucionais ou programáticas tendem a impactar majoritariamente esse grupo, como visto ao longo da literatura sobre a atuação fundamental das instituições de ensino como preceptoras de educação e mudança social (Mustafa, *et. al.*, 2019).

4.3.1.3.2 Gênero

A distribuição de gênero revela uma predominância feminina, com 77,67% dos respondentes identificando-se como mulheres (n=80 participantes), enquanto 21,36% são homens (n=22). Apenas n=1 pessoa (0,97%) preferiu não informar o gênero.

Tabela 26 - Frequências para gênero

<i>Gênero</i>	<i>Frequência</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Porcentagem válida</i>	<i>Porcentagem cumulativa</i>
Feminino	80	77,67%	77,67%	77,67%
Masculino	22	21,36%	21,36%	99,03%
Prefiro não responder	1	0,97%	0,97%	100,00%
Total	103	100,00%	-	-

Fonte: Autores (2024)

Essa distribuição sugere que as mulheres foram mais participativas ou engajadas na pesquisa em questão, o que pode refletir uma maior preocupação ou interesse por parte do público feminino em temas relacionados ao estudo, embora não se saiba se haveria predominância desse gênero na população como um todo. Além disso, essa tendência pode ser levada em consideração na formulação de campanhas ou políticas que visem envolver de maneira mais equilibrada todos os gêneros.

A predominância feminina na amostra sugere que as mulheres são o público-alvo majoritário, o que pode influenciar diversos aspectos do estudo, desde a formulação de políticas e intervenções até a interpretação de comportamentos e atitudes que variam por gênero. Um exemplo disso pode ser observado em outro estudo realizado por Zhou (2014), que também encontrou uma predominância feminina de 60% ao avaliar um programa de uso de bicicletas oferecido pela instituição para deslocamento. Nesse estudo, o autor descobriu que a maioria da população estudantil era composta por mulheres e que elas estavam menos inclinadas a participar do programa devido à falta de segurança percebida durante o deslocamento. Esse fato destaca a importância de conhecer as características da população ao desenvolver estratégias mais eficazes.

4.3.1.3.3 Faixa Etária

A faixa etária dos participantes está concentrada em jovens adultos. O maior grupo etário é o de 19 a 25 anos, com 37,86% da amostra (n=27 participantes). A segunda maior faixa etária é de 26 a 35 anos, com 32,04% (n=27), seguida pela faixa de 36 a 45 anos, que representa 15,53% da amostra (n=31). Adicionalmente, 8,74% têm mais de 46 anos (n=18 pesquisados).

Tabela 27 - Frequências para Faixa etária

<i>Faixa etária</i>	<i>Frequência</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Porcentagem válida</i>	<i>Porcentagem cumulativa</i>
19 a 25 anos	27	26,21%	26,21%	26,21%
26 a 35 anos	27	26,21%	26,21%	52,43%
36 a 45 anos	31	30,10%	30,10%	82,52%
Mais de 46 anos	18	17,48%	17,48%	100,00%
Total	103	100,00%	-	-

Fonte: Autores (2024)

Esses dados sugerem que a amostra é predominantemente jovem, o que pode indicar que as questões abordadas no estudo são particularmente relevantes para esse grupo, como visto em outros estudos (Zeitoune *et al.*, 2019; Foltz, 2022; Ferreira, 2020; Chierrito-Arruda *et al.*, 2018; Favara; Moreno, 2020). Essa faixa etária pode ser mais receptiva a iniciativas de redução da pegada de carbono, demonstrando uma maior consciência ambiental e interesse por questões inovadoras que impactam as gerações futuras.

Esse padrão etário revela que a participação no estudo se concentrou principalmente em jovens adultos, um público que, possivelmente, está mais aberto a novas abordagens e inovações, especialmente nas áreas de tecnologia e sustentabilidade, como observado em outros estudos, como o de Di Dio *et al.* (2020). Além disso, a menor presença de participantes mais velhos (acima de 46 anos) sugere que o estudo pode apresentar um viés geracional, o que deve ser considerado na interpretação dos resultados.

4.3.1.3.4 Faixa de Remuneração

A análise da faixa de remuneração revela que 69,90% dos participantes (n=72) recebem entre 1 e 2 salários-mínimos. Para os que informaram "renda variável", considerou-se uma renda mínima, partindo do pressuposto de que seria inviável a sobrevivência sem pelo menos essa faixa salarial. No entanto, essa suposição precisa ser tratada com cautela na interpretação dos resultados, uma vez que "renda variável" pode representar valores diferentes, inclusive superiores a 1 salário-mínimo. Esse aspecto pode ser investigado com maior profundidade em estudos futuros.

Um grupo menor, composto por 18,45% dos participantes (n=19), recebe entre 3 e 4 salários-mínimos, enquanto 5,83% (n=6) têm renda de 5 ou mais salários-mínimos. Apenas 6,80% (n=7) dos participantes relataram renda de até 1 salário-mínimo.

Tabela 28 - Frequências para Faixa de remuneração

<i>Faixa de remuneração</i>	<i>Frequência</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Porcentagem válida</i>	<i>Porcentagem cumulativa</i>
Até 1 salário-mínimo	2	19,40%	19,40%	19,40%
Entre 1 até 2 salários-mínimos	72	69,90%	69,90%	71,85%
Entre 3 até 4 salários-mínimos	21	20,39%	20,39%	92,23%
5 ou mais salários-mínimos	8	7,67%	77,67%	100,00%
Total	103	100,00%	-	-

Fonte: Autores (2024)

Essa distribuição sugere que a maioria dos participantes está inserida em uma faixa de renda média baixa, com quase 70% dos respondentes recebendo entre 1 e 2 salários-mínimos. Isso indica que fatores econômicos podem ter um impacto significativo nas decisões e percepções desse grupo, principalmente em relação a temas que envolvem custo-benefício, como transporte, saúde e consumo de energia. Por exemplo, no estudo de Nguyen-Phuoc *et al.* (2018), foi observada uma correlação entre a preferência por motocicletas entre estudantes de baixa renda, jovens e veteranos de instituições educacionais, demonstrando como a renda pode influenciar escolhas de transporte.

4.3.1.3.5 Frequência de idas à instituição por Semana

Em relação à frequência de visitas à instituição, a grande maioria dos participantes (88,35%, n=91) relatou comparecer ao local cinco vezes por semana. Apenas 4,85% (n=5) frequentam a instituição uma vez por semana, enquanto 1,94% (n=2) visitam o local quatro vezes por semana, e outros 1,94% (n=2) comparecem três vezes por semana.

Tabela 29 - Frequências para Frequência semanal

<i>Frequência</i>	<i>Frequência</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Porcentagem válida</i>	<i>Porcentagem cumulativa</i>
1 vez p/semana	7	6,80	6,80	6,80
2 vezes p/semana	2	1,94	1,94	8,74
3 vezes p/semana	4	3,88	3,88	12,62
4 vezes p/semana	90	87,38	87,38	100,00
Total	103	100,00		

Fonte: Autores (2024)

Esses dados revelam um comprometimento significativo por parte da maioria dos participantes com a instituição, refletido pela alta taxa de comparecimento semanal. Essa assiduidade pode estar relacionada a fatores como a obrigatoriedade de presença, a proximidade geográfica ou o elevado engajamento com as atividades da instituição, e provavelmente tem grande impacto na pegada de carbono associada ao deslocamento.

A predominância de participantes que frequentam a instituição cinco dias por semana destaca a rigidez e a necessidade de presença em ambientes acadêmicos ou corporativos, onde a rotina demanda uma participação constante para atingir objetivos institucionais e de desenvolvimento pessoal ou profissional. Isso sugere que as atividades oferecidas pela instituição são centrais para a rotina dos indivíduos, criando uma forte interdependência entre os participantes e os serviços institucionais.

Esse nível de assiduidade tem importantes implicações para o planejamento de recursos da instituição, como transporte, alimentação, gestão de espaços físicos e consumo de energia. A alta frequência de visitas reflete uma dependência direta da infraestrutura institucional, o que pode elevar a demanda por recursos naturais, aumentando o impacto ambiental. Nesse sentido, estratégias que visem otimizar ou

reduzir a necessidade de presença física — como a implementação de modalidades híbridas ou remotas — poderiam contribuir para a redução do consumo de recursos e da pegada de carbono.

O impacto ambiental associado à frequência de deslocamentos é uma questão central para instituições de ensino superior (IES). O cenário global de mais de 13 mil instituições, e no Brasil, com 2.608 IES em operação (BRASIL, 2022), coloca essas organizações como grandes consumidoras de recursos. Estudos como os de Alghamdi *et al.* (2020) e Li, Tan e Rackes (2015) apontam que as IES são responsáveis por até 40% do consumo de energia do setor público. Essa realidade reforça a necessidade de políticas de sustentabilidade nas IES para minimizar o impacto ambiental, tanto no consumo de energia quanto no gerenciamento das emissões associadas ao deslocamento diário de alunos e funcionários.

4.3.1.4 Análise da correlação de *Spearman*

Face aos dados não paramétricos, a correlação de *Spearman* foi a medida apropriada para avaliar a força e a direção da associação monotônica entre duas variáveis.

Diferentemente da correlação de *Pearson*, que assume que a relação entre as variáveis é linear, a correlação de *Spearman* baseia-se nas classificações (ranks) das variáveis, tornando-a ideal para dados que não seguem uma distribuição normal ou que apresentam relações não lineares.

A seguir, apresenta-se uma interpretação detalhada das correlações, acompanhada de percepções e insights.

Tabela 30 - Rho de Spearman Correlações

Variável		Atividade	Gênero	Faixa etária	Faixa de remuneração	Frequência semanal	Distância Km
Gênero	<i>rho</i> de Spearman	0,056	—				
	<i>p</i> -valor	0,575	—				
Faixa etária	<i>rho</i> de Spearman	0,440***	0,057	—			
	<i>p</i> -valor	< 0,001	0,565	—			
Faixa de remuneração	<i>rho</i> de Spearman	0,597***	0,143	0,311**	—		
	<i>p</i> -valor	< 0,001	0,150	0,001	—		
Frequência semanal	<i>rho</i> de Spearman	0,546***	0,073	-0,161	-0,347***	—	
	<i>p</i> -valor	< 0,001	0,466	0,105	< 0,001	—	
Distância Km	<i>rho</i> de Spearman	-0,107	0,005	-0,004	-0,142	0,018	—
	<i>p</i> -valor	0,284	0,958	0,968	0,153	0,858	—
Pegada em Kg	<i>rho</i> de Spearman	0,093	0,091	0,225*	0,073	0,131	0,501***
	<i>p</i> -valor	0,352	0,358	0,023	0,461	0,186	< 0,001

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Fonte: Autores (2024)

4.3.1.4.1 Correlações Identificadas

Os coeficientes de correlação de *Spearman* revelam as seguintes associações significativas entre as variáveis estudadas:

A primeira correlação significativa observada foi entre as variáveis "Atividade" e "Faixa Etária" com um coeficiente de correlação ($rho = 0,440$) e um valor de $p < 0,001$. Essa correlação positiva moderada indica que, conforme a idade dos indivíduos aumenta, há uma tendência de eles desempenharem atividades de maior responsabilidade ou hierarquia dentro da instituição. Essa relação pode ser explicada pela evolução natural de carreira, onde indivíduos mais velhos, com maior experiência, tendem a assumir funções mais especializadas ou de liderança. Essa descoberta é coerente com o funcionamento organizacional, onde a progressão etária está, muitas vezes, ligada à progressão profissional. Em outros estudos não foi visualizado uma análise entre essas variáveis.

O coeficiente de correlação entre a variável "Atividade Desenvolvida" e "Frequência de Visitas" é moderado e positivo, e foi significativa, com ($rho = 0,546$) e

um valor de $p < 0,001$, indicando uma associação direta. Esse resultado indica que atividades específicas exigem maior presença física ou participação na instituição. Outra possibilidade é de indivíduos em cargos que requerem supervisão constante ou ensino, por exemplo, tendem a frequentar a instituição com maior regularidade. Isso é consistente com a natureza de suas atividades, que exigem maior assiduidade, especialmente em ambientes acadêmicos. Esse achado destaca a importância de alinhar as atividades desempenhadas com a infraestrutura e os recursos disponíveis na instituição, garantindo que aqueles com maior frequência semanal possam realizar suas funções de maneira eficaz e eficiente.

A correlação moderada observada entre "Faixa de Remuneração" e "Atividade Desenvolvida" ($\rho = 0,597$) e valor de $p < 0,001$, sugere que a posição ocupacional tem um impacto relevante, mas não determinante, na faixa salarial, indicando apenas que, conforme as atividades dos participantes mudam (de aluno para cargos de instrutores ou gerentes, por exemplo), a faixa salarial tende a aumentar. Isso é consistente com a estrutura ocupacional e salarial em instituições de ensino ou organizações, onde funções de maior responsabilidade estão associadas a faixas salariais mais altas. Esse tipo de relação é esperado, especialmente em cenários onde fatores externos, como políticas salariais institucionais, anos de experiência e nível educacional, também desempenham papéis importantes.

Tabela 31 - Rho de Spearman Correlações

Correlação		Coefficiente (ρ)	p-valor	Significância
Atividade	- Gênero	0,056	0,575	Não significativo
Atividade	- Faixa etária	0,440***	<0,001	Significativo
Atividade	- Faixa de remuneração	0,597***	<0,001	Significativo
Atividade	- Frequência semanal	0,546***	<0,001	Significativo
Atividade	- Distância Km	-0,107	0,284	Não significativo
Atividade	- Pegada em Kg	0,093	0,352	Não significativo
Gênero	- Faixa etária	0,057	0,565	Não significativo
Gênero	- Faixa de remuneração	0,143	0,150	Não significativo
Gênero	- Frequência semanal	0,073	0,466	Não significativo
Gênero	- Distância Km	0,005	0,958	Não significativo
Gênero	- Pegada em Kg	0,091	0,358	Não significativo
Faixa etária	- Faixa de remuneração	0,311**	0,001	Significativo
Faixa etária	- Frequência semanal	-0,161	0,105	Não significativo
Faixa etária	- Distância Km	-0,004	0,968	Não significativo
Faixa etária	- Pegada em Kg	0,225*	0,023	Significativo
Faixa de remuneração	- Frequência semanal	-0,347***	< 0,001	Significativo
Faixa de remuneração	- Distância Km	-0,142	0,153	Não significativo
Faixa de remuneração	- Pegada em Kg	0,073	0,461	Não significativo
Frequência semanal	- Distância Km	0,018	0,858	Não significativo
Frequência semanal	- Pegada em Kg	0,131	0,186	Não significativo
Distância Km	- Pegada em Kg	0,501***	< 0,001	Significativo

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

Fonte: Autores (2024)

Quanto à correlação entre "Faixa Etária" e "Faixa de Remuneração" ($\rho=0,311$) e valor de $p=0,001$, foi positiva e significativa. Essa correlação sugere que a idade dos indivíduos está moderadamente associada à sua faixa de remuneração. Em muitas instituições, é comum que a remuneração aumente com o tempo, à medida que os indivíduos ganham experiência e assumem maiores responsabilidades. Esta correlação reforça a ideia de que a progressão etária acompanha a progressão salarial, sendo um reflexo natural da evolução profissional e do acúmulo de experiência ao longo dos anos.

Uma correlação positiva também foi observada entre "Faixa Etária" e "Pegada de Carbono", com ($\rho=0,225$) e valor de $p=0,023$. Embora essa correlação seja

mais fraca em relação às anteriores, ela indica que indivíduos mais velhos tendem a ter uma pegada de carbono maior. Isso pode ser explicado pelo fato de que, conforme os indivíduos envelhecem e adquirem mais responsabilidade ou rendimentos, podem também adotar padrões de vida que resultam em maior consumo e, conseqüentemente, em uma maior pegada de carbono. Esse achado, corrobora com Nguyen-Phuoc, *et. al.*, (2018) e Zhou e Wang (2018) quando associa o uso de transporte a variáveis como renda e idade, e com o estudo de Danaf e Abou-Zeid (2014) quando mencionam que estudantes com maior renda familiar tendem a utilizar mais o automóvel privado, especialmente em contextos em que o transporte público é de baixa qualidade.

Esses apontamentos podem motivar políticas de sustentabilidade voltadas para grupos etários específicos, promovendo maior consciência ambiental entre os membros mais velhos da instituição e suscitando investigações futuras específicas sobre o comportamento e o papel do Estado nas estratégias de mitigação conforme reforçado por Perpétuo (2017).

Uma correlação negativa significativa foi encontrada entre "Faixa de Remuneração" e "Frequência Semanal", com ($\rho = -0,347$) e valor de $p < 0,001$. Este resultado sugere que indivíduos com faixas de remuneração mais elevadas tendem a frequentar a instituição com menos regularidade. Isso pode ser explicado pelo fato de que cargos mais altos ou mais bem remunerados geralmente oferecem maior flexibilidade de horários ou menores exigências de presença física. Em contrapartida, indivíduos em cargos menos remunerados podem ter maior necessidade de presença contínua para cumprir suas funções o que de certa forma colabora para uma redução, uma vez que a renda cresce ao longo do tempo junto com as responsabilidades indicando o maior uso de meios de transporte particulares que por sua vez, poluem mais o meio ambiente.

Por fim, a última correlação significativa observada foi entre "Distância Km" e "Pegada de Carbono", com ($\rho = 0,501$) e valor de $p < 0,001$. Esta correlação positiva moderada indica que, quanto maior a distância percorrida pelos indivíduos, maior é sua pegada de carbono. Este achado é esperado, já que deslocamentos mais longos contribuem diretamente para o aumento da pegada de carbono, especialmente se os meios de transporte utilizados forem baseados em combustíveis fósseis, mas a distância não é a única variável atrelada pois os modais utilizados são igualmente decisivos para o impacto da pegada.

Esse resultado reforça a importância de promover práticas de transporte sustentável dentro da instituição, incentivando o uso de meios de transporte com menor impacto ambiental, como o transporte público ou bicicletas.

4.3.2 Pegada da mobilidade - Parâmetros nacionais genéricos calculados no Modelo

Para fins de comparação e teste do modelo, calculou-se a pegada para observar as diferenças entre os resultados precisos do *Tier 2* e genéricos pelo modelo. No item 4.4, a pegada é calculada com maior precisão, considerando as emissões parametrizadas nacionalmente por tipo de combustível e veículo utilizado segundo o *Tier 2*. Neste tópico, embora os fatores de emissão sejam baseados em dados nacionais, eles variam apenas conforme o tipo de modal, distanciando-se mais em termos de precisão por se utilizar fatores genéricos.

Assim, a tabela 32 apresenta os fatores nacionais utilizados nos cálculos do modelo, uma vez que as variáveis distância e frequência mantiveram-se as mesmas:

Tabela 32 - Fatores para calcular a pegada genérica nacionais

Modal mais utilizado	Frequência Anual	Fator Emissão g/km
Ônibus	+/- 230 dias	16
Micro-ônibus	+/- 230 dias	26,33
Automóvel	+/- 230 dias	126,8
Motocicleta	+/- 230 dias	71,1

Fonte: Elaborado a partir do IPEA (2011) e CETESB ([S.d.])

Após a aplicação única desses fatores, obteve-se emissões de 12,25 tCO₂ para os estudantes e 10,41 tCO₂ para os funcionários. Este mesmo resultado foi alcançado com o modelo, uma vez que ele utilizou os mesmos números expressos nos fatores de emissão, distância e frequência. Para simular como esse resultado poderia variar com endereços distintos, considerou-se testar o modelo com CEPs diferentes, mas da mesma região, conforme foi proposto a priori.

Para avaliar a aplicabilidade e validade da ferramenta, foi realizado um estudo de caso que comparou seus resultados com parâmetros nacionais genéricos e específicos, bem como com parâmetros internacionais. De forma semelhante ao estudo de Vall-Vals e Bovea (2021), que desenvolveu uma ferramenta integrando os

três escopos do *GHG Protocol*, levando em conta as fontes de emissão e os fatores de emissão genéricos da Espanha, esta análise buscou uma verificação abrangente da consistência dos resultados obtidos.

Observou-se que, ao utilizar fatores de emissão genéricos, os resultados variaram em torno de 20% em comparação com aqueles obtidos com fatores mais específicos, aplicados no índice 4.4, considerando também as limitações envolvidas no cálculo. Para os estudantes, a aplicação do *Tier 2* exigiu uma extrapolação maior dos fatores genéricos, dado que 46,77% utilizavam transporte público. Em contraste, para os funcionários, que predominantemente utilizavam transporte particular, foi possível alcançar uma precisão maior com o uso de fatores de emissão específicos, que eram maiores que os fatores genéricos. Com isso, a variação nos resultados da pegada de carbono do *Tier 2* em relação ao modelo para os estudantes foi de apenas 1,3%.

Por outro lado, a pegada de carbono dos funcionários, baseada em dados de maior qualidade, apresentou uma variação mais significativa, de 20,3%. Isso ocorre porque os transportes utilizados pelos funcionários têm fatores de emissão superiores aos genéricos aplicados no estudo, gerando uma discrepância maior entre os grupos, o que ressalta a importância de utilizar dados específicos para quantificar a pegada com mais precisão.

No entanto, a complexidade de calcular a pegada de carbono da mobilidade em inventários, especialmente em instituições com grandes populações, pode inviabilizar o uso desses métodos mais específicos, conforme observado por Samara et al. (2022). Isso torna necessário utilizar recortes para estimar a pegada e extrapolar os dados para a população, como evidenciado em estudos anteriores (Preuss, 2017; Guerrero-Lucendo et al., 2022).

Assim, ao considerar uma margem de erro de até 20% para o cálculo da pegada, é possível compreender os hábitos de mobilidade dos estudantes e quantificar suas emissões. Isso permitirá a elaboração de estratégias e projetos para compensar os impactos. Essa abordagem visa simplificar a obtenção e manipulação dos dados, alinhando-se à proposta de Rodríguez-Andara, Peña-Barrenechea e Carrillo-Quñones (2020) sobre a vinculação de cadastro e coleta de dados para o cálculo da pegada, superando a complexidade mencionada por Preuss (2017) e Guerrero-Lucendo et al. (2022).

4.3.3 Pegada da mobilidade – Simulação de distância no Modelo

Um dos objetivos deste trabalho era quantificar a pegada de carbono utilizando o modelo elaborado, a fim de compreender os hábitos de mobilidade, adequar o modelo e testá-lo, comparando seus resultados. Nesta seção, apresentam-se os fatores de emissão genéricos utilizados para cada tipo de modal, tal como foi utilizado também no índice 4.5, e uma nova distância percorrida. Para calcular a distância, foi atribuído um CEP dentro dos limites da região informada por cada participante. Os resultados a seguir seguem o mesmo padrão das tabelas anteriores, com algumas variações na distância:

Tabela 33 - Cálculos do modelo – Aluno

<i>Bairro</i>	<i>Distância (Km)</i>	<i>Modal</i>	<i>Frequência anual</i>	<i>Fe g/km</i>	<i>Pegada gCo2</i>
Agrestina	22,4	Ônibus	230	16	164864
Agrestina	22	Ônibus	230	16	161920
Agrestina	23	Micro-ônibus	230	26,33	278606,67
Agrestina	24	Ônibus	230	16	176640
Altinho	35	Ônibus	230	16	257600
Alto do Moura	11	Motocicleta (próprio)	230	71,1	359766
Ameixas/ Cumaru	33	Motocicleta (próprio)	230	71,1	1079298
Andorinha	7	Ônibus	230	16	51520
Belo jardim	61	Ônibus	230	16	448960
Boa vista	8	Carro (próprio)	230	126,8	466624
Cachoeira seca	33	Ônibus	230	16	242880
Caiucá	10	Ônibus	230	16	73600
Camocim de são Felix	33	Micro-ônibus	230	26,33	399740
Camocim de São Félix, Nova República	35	Ônibus	230	16	257600
Cedro	5	Motocicleta (compartilhado)	230	71,1	163530
Centro	4	Carro (próprio)	230	126,8	233312
Cidade Alta	6	Carro (próprio)	230	126,8	349968
Cidade Alta	4	Ônibus	230	16	29440

Fonte: Autores (2024)

Tabela 33 - Cálculos do modelo – Aluno

(Continua)

Bairro	Distância (Km)	Modal	Frequência anual	Fe g/km	Pegada gCo2
Cidade Alta	3,9	Carro (próprio)	230	126,8	227479,2
Cidade Jardim	5,8	Ônibus	230	16	42688
Cidade Jardim	5,7	Ônibus	230	16	41952
Indianópolis	1,3	Motocicleta (próprio)	230	71,1	42517,8
Indianópolis	1,3	Ônibus	230	16	9568
Indianópolis	1,3	Motocicleta (próprio)	230	71,1	42517,8
Indianópolis	1,3	Carro (próprio)	230	126,8	75826,4
Jardim Panorama	5	Ônibus	76	16	12160
João Mota	5,1	Ônibus	230	16	37536
João Mota	5,1	Carro (próprio)	230	126,8	297472,8
João Mota	5,1	Carro (próprio)	230	126,8	297472,8
José Carlos da oliveira	7,9	Ônibus	230	16	58144
José Carlos de Oliveira	7,9	Carro (próprio)	230	126,8	460791,2
Kennedy	9,2	Motocicleta (próprio)	230	71,1	300895,2
Nossa Senhora das Dores	4,4	Ônibus	76	16	10700,8
Nossa Senhora das Dores	4,1	Ônibus	76	16	9971,2
Nossa Senhora das Graças	3,4	Ônibus	230	16	25024
Nova Caruaru	7,2	Motocicleta (próprio)	230	71,1	235483,2
Petrópolis	4,2	Motocicleta (compartilhado)	230	71,1	137365,2
Petrópolis	4,2	Motocicleta (próprio)	230	71,1	137365,2
Rendeiras	3,5	Ônibus	76	16	8512
Rendeiras	3,2	Motocicleta (compartilhado)	230	71,1	104659,2
Rendeiras	3,2	Motocicleta (próprio)	230	71,1	104659,2
Residencial xique xique	9,6	Motocicleta (próprio)	230	71,1	313977,6
Sairé PE: bairro Centro	37,6	Ônibus	230	16	276736
Salgado	4,1	Ônibus	76	16	9971,2
Salgado	2,9	Ônibus	76	16	7052,8
Salgado	3,1	Motocicleta (próprio)	230	71,1	101388,6
Santa Cruz do Capibaribe	67,5	Micro-Ônibus	230	26,33	817650
Santa Rosa	2,3	Motocicleta (compartilhado)	230	71,1	75223,8

Fonte: Autores (2024)

Tabela 33 - Cálculos do modelo – Aluno

(Continua)

<i>Bairro</i>	<i>Distância (Km)</i>	<i>Modal</i>	<i>Frequência anual</i>	<i>Fe g/km</i>	<i>Pegada gCo2</i>
São Caetano	27,3	Ônibus	76	16	66393,6
São Francisco	4	Ônibus	76	16	9728
São João da Escócia	5,6	Ônibus	76	16	13619,2
São Joaquim do Monte- Centro	4,3	Micro-Ônibus	230	26,33	52087,333
Toritama	5,7	Ônibus	230	16	41952
Vassoural	3,5	Carro (compartilhado)	230	126,8	204148
Vassoural	3,2	Ônibus	230	16	23552
Vassoural	4,1	Motocicleta (próprio)	230	71,1	134094,6
Vassoural	3	Carro (próprio)	230	126,8	174984
Vassoural	2,9	Motocicleta (compartilhado)	230	71,1	94847,4
Vassoural	4,9	Motocicleta (próprio)	230	71,1	160259,4
Vassoural	3,5	Motocicleta (próprio)	230	71,1	114471
Vertentes	62	Ônibus	230	16	456320
Vila Andorinha	7,5	Carro (próprio)	230	126,8	437460

Fonte: Autores (2024)**Tabela 34 - Cálculos do modelo - funcionário**

<i>Bairro</i>	<i>Distância (Km)</i>	<i>Modal</i>	<i>Frequência</i>	<i>Fe g/km</i>	<i>Pegada gCO₂</i>
Boa vista	13	Ônibus	230	16	95680
Boa vista	12,9	Ônibus	230	16	94944
Boa vista	12	Ônibus	46	16	17664
Cedro	5	Carro (próprio)	230	126,8	291640
Cidade Alta	6	Carro (próprio)	230	126,8	349968
Cidade Alta	6	Carro (próprio)	138	126,8	209980,8
Cidade Jardim	5,1	Carro (próprio)	230	126,8	297472,8
Contendas	21,8	Motocicleta (próprio)	46	71,1	142598,16
Gravatá/PE, Bairro: Cohab 01	51	Carro (compartilhado)	230	126,8	2974728
Indianópolis	1	Carro (próprio)	230	126,8	58328
Indianópolis	1,2	Carro (próprio)	230	126,8	69993,6
Indianópolis	1	Carro (próprio)	46	126,8	11665,6
Indianópolis	2	Carro (compartilhado)	230	126,8	116656

Fonte: Autores (2024)

Tabela 34 - Cálculos do modelo - funcionário

(continua)

<i>Bairro</i>	<i>Distância (Km)</i>	<i>Modal</i>	<i>Frequência</i>	<i>Fe g/km</i>	<i>Pegada gCO₂</i>
Indianópolis	1,5	Carro (próprio)	230	126,8	87492
Indianópolis	1,9	Carro (próprio)	46	126,8	22164,64
Kennedy	10	Carro (próprio)	46	126,8	116656
Maurício de Nassau	4	Carro (próprio)	230	126,8	233312
Maurício de Nassau	4,3	Carro (próprio)	184	126,8	200648,32
Maurício de Nassau	5	Carro (próprio)	184	126,8	233312
Maurício de Nassau	4,9	Carro (próprio)	230	126,8	285807,2
Maurício de Nassau	6	Carro (próprio)	230	126,8	349968
Maurício de Nassau	4	Carro (próprio)	230	126,8	233312
Maurício de Nassau	4,3	Carro (próprio)	230	126,8	250810,4
Nova Caruaru	7,2	Motocicleta (próprio)	230	71,1	235483,2
Nova Caruaru	8	Ônibus	46	16	11776
Petrópolis	6	Carro (próprio)	230	126,8	349968
Rendeiras	1	Carro (próprio)	230	126,8	58328
Rendeiras	6	Carro (compartilhado)	138	126,8	209980,8
Residencial Xique-Xique Caruaru	13	Ônibus	230	16	95680
Salgado	3	Ônibus	230	16	22080
Salgado	3,3	Motocicleta (compartilhado)	230	71,1	107929,8
Salgado	4	Carro (próprio)	46	126,8	46662,4
Salgado	3,3	Carro (próprio)	230	126,8	192482,4
São Francisco	6,3	Carro (próprio)	230	126,8	367466,4
São João da Escócia	4,9	Motocicleta (próprio)	230	71,1	160259,4
Universitário	4	Carro (próprio)	230	126,8	233312
Vassoural	4	Carro (próprio)	230	126,8	233312
Vassoural	3,6	Motocicleta (compartilhado)	200	71,1	102384
Vila Andorinha	12,6	Carro (próprio)	230	126,8	734932,8
Xique Xique	14	Carro (próprio)	184	126,8	653273,6
Zona rural	3,7	Ônibus	230	16	27232

Fonte: Autores (2024)

As emissões simuladas pelos CEPs supostos demonstram a funcionalidade do modelo, conforme estabelecido nos parâmetros de construção, que era mensurar a pegada através do CEP. O total de emissões na simulação foi de 11,50 toneladas de CO₂ para os estudantes e 10,58 toneladas de CO₂ para os funcionários. Embora os

resultados apresentados não reflitam a realidade da amostra, uma vez que os endereços considerados não foram provenientes dos dados primários, eles simulam como mudanças na precisão das informações sobre a distância podem impactar os resultados, mesmo com a utilização de fatores de emissão genéricos.

Entretanto, para fins de comparação, utilizou-se os resultados da pegada descritos nos tópicos 4.4, 4.5 e 4.7, porque o cálculo descrito nesta seção é baseado em suposições. Já os cálculos aproximados, que mantêm o padrão do modelo e das pegadas descritas nas demais seções, são os que permitem uma comparação válida.

4.3.4 Pegada da mobilidade - Parâmetros internacionais GHG Protocol

O cálculo da pegada pelos parâmetros internacionais considerou os fatores descritos pelo *Calculation tools and guidance (2024)* estruturado na planilha *Emission Factors for Cross-Sector Tools*. Versão 2.0.0. onde foram convertidas as emissões de kg para grama e de milha para quilometro. Além disso, para os usuários de micro-ônibus foi considerado o mesmo fator dos ônibus por não ter um fator específico para micro-ônibus.

Assim, a tabela 29 apresenta os fatores internacionais e o resultado após a conversão:

Tabela 35 - Fatores para calcular a pegada genérica

<i>País</i>	<i>Modal</i>	<i>F.e. Kg/milha passageiro</i>	<i>F. e. g/km passageiro</i>
US	Ônibus	0,071 kg/mi	44,11 g/km
US	Carro de passeio	0,175 kg/mi	108,73 g/km
US	Motocicleta	0,377 kg/mi	234,25 g/km

Fonte: Autores (2024) a partir do GHG *Protocol* (2024).

Com base nesses fatores, obteve-se emissões de 27,40 tCO₂ para os estudantes e 12,41 tCO₂ para os funcionários. Comparando com os resultados baseados em fatores internacionais, a pegada de carbono foi de 27,40 tCO₂ (+123,6% em relação à pegada do modelo) para os estudantes e de 11,45 tCO₂ (+10% em relação à pegada do modelo) para os funcionários. Esses resultados

apresentam um comportamento distinto em relação aos fatores de emissão genéricos nacionais, especialmente na pegada dos estudantes.

Isso pode ser explicado pela diferença nos fatores de emissão para ônibus e carros. O padrão do *GHG Protocol* estabelece fatores de emissão mais altos para ônibus em comparação com o padrão brasileiro, o que afeta mais significativamente a pegada de carbono dos estudantes, que utilizam predominantemente ônibus. Em contrapartida, o fator de emissão para carros é menor no padrão internacional, o que resulta em uma pegada de carbono reduzida para os funcionários, que predominantemente utilizam veículos particulares.

Além disso, os fatores de emissão do *GHG Protocol* (2024) são baseados em dados dos Estados Unidos e do Reino Unido, onde o combustível contém apenas 10% de álcool (UDOP, 2024) e estão mais atualizados. No Brasil, a adição de álcool na gasolina é de 27%, conforme a legislação vigente (BRASIL, 1938), e há projetos em discussão, como o PL 528/2020, que propõe aumentar essa porcentagem para até 35% (BRASIL, Senado Federal, 2021). No entanto, o fator de emissão nacional utilizado neste estudo é mais antigo, o que reforça a necessidade de atualizar e disponibilizar os fatores de emissão nacionais, conforme enfatizado por Rodríguez-Andara, Peña-Barrenechea e Carrillo-Quiñones (2020).

4.3.5 Pegada da mobilidade - Estimativa da pegada da população de 2023

Com os dados da amostra, extraiu-se a média dos fatores de emissão, distância e frequência e extrapolou-se a distribuição percentual dos modais da amostra para a população, tal como descrito no item 4.4. Em 2023, a instituição efetuou 7.523 matrículas para 393 cursos de diferentes durações e quantidades de alunos. Em média, foram 19,14 alunos por curso ao longo do ano.

A duração dos cursos variou de acordo com a carga horária e a quantidade de dias. Existem cursos de 8 horas de aula oferecidos em um único sábado, enquanto outros, com a mesma carga horária, são divididos em sessões de 2 horas por dia ao longo de 4 dias. A frequência dos cursos foi calculada dividindo a carga horária total pela carga horária diária, determinando assim a quantidade de dias necessários para cada curso. A frequência de cada curso foi, então, multiplicada pela quantidade de alunos para se obter a frequência total. Lembrando que interessava-se saber a

duração em dias, pois o cálculo da emissão de CO₂ considerou a frequência de ida e volta à instituição.

Para melhor entendimento da distribuição dos cursos da instituição, a Tabela 30 apresenta a concentração das turmas ofertadas por duração de dias do curso ao longo do ano de 2023:

Tabela 36 - Duração dos cursos

<i>Dias de duração do curso</i>	<i>Quantidade de turmas ofertadas em 2023</i>
1 dia de duração	120
2 dias de duração	28
3 dias de duração	11
4 dias de duração	35
5 dias de duração	50
6 dias de duração	10
8 dias de duração	62
9 dias de duração	4
10 dias de duração	10
De 10 a 27 dias de duração	29
De 30 a 60 dias de duração	22
De 72 a 145 dias de duração	18
De 425 a 640 dias de duração	4

Fonte: Autores (2024) a partir dos dados disponibilizados da instituição

Nessa tabela, percebe-se que há maior concentração de cursos com duração de um dia e menos cursos com duração de 9 ou 640 dias, que são os cursos técnicos vinculados ao ensino médio ou graduação.

Calculando o número de pessoas matriculadas por turma e a duração do curso em dias, obteve-se uma frequência anual igual a 108.429. A partir desse valor, aplicou-se a distribuição por modal da amostra, multiplicando pelos percentuais: 15,06% para carro, 24,65% para moto, 41,09% para ônibus, 4,1% para micro-ônibus, 13,69% para caminhada e 1,36% para bicicleta. Em seguida, multiplicaram-se esses percentuais pelos fatores e distância média extraídos da amostra para estimar as emissões de carbono da população estudantil em 2023.

O mesmo padrão de cálculo foi aplicado aos funcionários, embora a frequência tenha sido obtida pela média anual de 191,12 dias, multiplicada por 101 funcionários e pela distribuição da amostra dos funcionários. A Tabela 31 a seguir demonstra a distribuição e os resultados alcançados:

Tabela 37 - Parâmetros adotados para o cálculo da pegada estudantil 2023

<i>Modais</i>	<i>Distribuição</i>	<i>Frequência percentual</i>	<i>Fator médio da amostra (g)</i>	<i>Distância média da amostra (km)</i>	<i>Emissão (g/km)</i>
Automóveis	15,06%	1.633.861,64	161,70	13,18	6.967.480.800
Motocicleta	24,65%	2.673.591,78	63,88	13,18	4.504.499.055
Ônibus	41,09%	4.455.986,3	16	13,18	1.880.138.736
Micro.	4,11%	445.598,63	26,33	13,18	309.439.500,3
Andando	13,70%	1.485.328,77	-	-	-
Bicicleta	1,36%	148.532,88	-	-	-

Fonte: Autores (2024)

Tabela 38 - Parâmetros adotados para o cálculo da pegada funcionários 2023

<i>Modais</i>	<i>Distribuição</i>	<i>Frequência percentual</i>	<i>Fator médio da amostra (g)</i>	<i>Distância média da amostra (km)</i>	<i>Emissão (g/km)</i>
Automóveis	60,42%	1.166.242,07	170,95	7,03	14.659.942,15
Motocicleta	10,42%	201.076,22	58,62	7,03	866.733,04
Ônibus	14,58%	281.506,70	16	7,03	331.197,89
Micro.	-	-	-	-	-
Andando	12,50%	241.291,46	-	-	-
Bicicleta	2,08%	40.215,24	-	-	-

Fonte: Autores (2024)

Aplicados os parâmetros apresentados nas tabelas 31 e 32, obteve-se uma pegada de 13.683,28 tCO₂ para a mobilidade dos estudantes e 3.030,78 tCO₂ para os funcionários. Embora os cálculos tenham sido extrapolados para a população total de 2023, o resultado de 13.683,28 tCO₂ para a mobilidade dos estudantes e de 3.030,78 tCO₂ para os funcionários demonstra apenas a quantidade de CO₂ emitido por uma categoria indireta - Escopo 3: Categoria 7.

Embora não seja possível comparar a pegada de carbono com outros escopos e categorias, como discutido por Whalen, Páez e Carrasco (2013), Helmers, Chang e Dauwels (2021), Varón-Hoyos, Osorio-Tejada e Morales-Pinzón (2021), e

Alshuwaikhat *et al.* (2017), a análise atual oferece uma base para o desenvolvimento de um indicador de emissão. Esse indicador pode servir como ponto de partida para elaborar estratégias de redução da pegada de carbono, uma vez que comparar esses resultados com outros estudos é inviável devido às características específicas, como a duração dos cursos ao longo do ano e a inclusão de outros gases poluentes não considerados neste estudo, além da variabilidade metodológica utilizada para calcular a pegada, conforme detalhado no item 2.2.1.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das dificuldades encontradas na mensuração da pegada de carbono no escopo 3 - categoria 7 do *GHG Protocol*, que avalia o impacto indireto do deslocamento pendular dos funcionários, verificou-se que, no contexto educacional, essa quantificação enfrenta grandes obstáculos, principalmente relacionados à coleta e ao tratamento de dados. Tais desafios são intensificados pelas complexidades inerentes ao processo, sobretudo pelas informações necessárias não estarem sob o controle direto da instituição. Esse cenário destaca a importância, já apontada na literatura, de desenvolver ferramentas específicas para calcular as emissões de carbono em atividades educacionais. Toda essa construção e análise teórica, corresponde ao item um dos objetivos específicos elencados na sessão 1.3.

No que diz respeito ao deslocamento, observou-se a necessidade de aprimorar os métodos atuais. Estudos anteriores propuseram soluções como a simplificação da avaliação da pegada de carbono em instituições com grandes populações e o desenvolvimento de ferramentas que integrem os três escopos do *GHG Protocol*, utilizando fatores de emissão específicos da localidade. Além disso, outros autores já sugeriram mudanças nos sistemas de geração de informação para melhorar a qualidade dos dados necessários para o cálculo da pegada de carbono.

Com base nesses pontos, a pesquisa atual desenvolveu uma ferramenta específica para calcular a pegada de deslocamento pendular, seguindo os parâmetros do *GHG Protocol*. O modelo utilizado foi adaptado de um estudo anterior e incorporou também, outras sugestões da literatura para melhorar a coleta de dados com a vinculação dos cadastros institucionais à ferramenta de mensuração. Assim, a ferramenta foi projetada para atender às particularidades da instituição e permitir sua replicação e aprimoramento em outras instituições brasileiras. Com essa construção, atende-se ao ponto dois dos objetivos específicos dessa pesquisa.

Para validar a aplicabilidade da ferramenta, foi realizado um estudo de caso comparando seus resultados com parâmetros nacionais e internacionais. A análise comparativa revelou uma variação de 20% entre os resultados obtidos com o método mais rigoroso (*Tier 2*) e o modelo desenvolvido. Já a diferença em relação à

pegada estimada pelos parâmetros do GHG *Protocol* foi de 123,6%. Esses resultados indicam que o modelo possui uma margem de erro de aproximadamente 20%, o que o torna mais aplicável e próximo a realidade, ainda que com limitações. Essa mensuração e comparação desses resultados atende ao terceiro e último listado nos objetivos específicos do estudo.

Além do desenvolvimento da ferramenta, o estudo também realizou uma análise estatística descritiva e exploratória do comportamento da amostra, trazendo novos dados para a literatura sobre a mobilidade dos estudantes em uma instituição do Nordeste brasileiro. Com isso, os resultados atenderam aos objetivos gerais e específicos do estudo, oferecendo um modelo teórico que aprimora a quantificação das emissões de carbono desde a coleta de dados até a apresentação dos resultados, facilitando comparações entre instituições.

A análise também indicou que a pegada de carbono estimada para 2023 seria de 13.683,28 tCO₂ para os estudantes e 3.030,78 tCO₂ para os funcionários, fornecendo um panorama anual das emissões da instituição. Além disso, a pesquisa identificou diferenças nos hábitos de deslocamento entre os grupos de participantes, oferecendo *insights* importantes para o desenvolvimento de estratégias de conscientização ambiental para a realidade educacional.

No entanto, a variação observada nos resultados destaca a necessidade de atualização dos fatores de emissão. Os fatores genéricos utilizados no estudo são de 2011, enquanto os padrões internacionais mais recentes datam de 2024. A atualização desses fatores é essencial para garantir uma mensuração mais precisa da pegada de carbono, especialmente considerando que os dados aplicados da CETESB e do INMETRO, referentes aos veículos dos funcionários, são mais recentes e apresentam valores superiores aos fatores genéricos usados no estudo.

Entre as limitações do estudo estão a ausência de fatores de emissão nacionais atualizados e a falta de precisão nas estimativas baseadas na lotação dos veículos particulares, uma vez que esse nível de detalhamento não foi considerado na análise. Ainda assim, o estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a mensuração da pegada de carbono e para a promoção de práticas mais sustentáveis no contexto da mobilidade educacional.

Sugere-se, para pesquisas futuras, o desenvolvimento de uma versão computacional *online* do modelo, que possa ser disponibilizada e compartilhada entre instituições de ensino brasileiras. Refinamentos adicionais também poderão ser considerados para melhorar a precisão dos resultados.

REFERÊNCIAS

ABDUL-AZEEZ, Isiaka Adeyemi et al. Realizing low carbon emission in the university campus towards energy sustainability. **Open Journal of Energy Efficiency**, v. 4, n. 02, p. 15, 2015.

ABREU, Emanoele Lima; PERES, Renata Bovo. Articulações entre o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) e o Licenciamento Ambiental Municipal (LAM): um diálogo necessário para a gestão ambiental urbana no Brasil. **Ciência e Natura**, 2021.

ADENIRAN, A. E.; NUBI, A. T.; ADELOPO, A. O. Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management. **Waste management**, v. 67, p. 3-10, 2017.

ALGHAMDI, Naif. Calm Before the Storm: Assessing Climate Change and Sustainability in Saudi Arabian Universities. **Handbook of Climate Change Communication: Vol. 2: Practice of Climate Change Communication**, p. 317-340, 2018.

ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. R.; AINA, Y. A.; ADENLE, Y. A.; UMAIR, M. The development of a GIS-based model for campus environmental sustainability assessment. **Sustainability**, Switzerland, v. 9, n. 3, p. 1-23, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/3/439>. Acesso em: 12 jun 2022.

ANGELO, C. BC aberta cerco ao desmate, ChatGPT desinforma melhor que Olavo de Carvalho - OC | Observatório do Clima. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/bc-aperta-cerco-ao-desmate-chatgpt-desinforma-melhor-que-olavo-de-carvalho/>. Acesso em: 4 jul. 2023.

ANIEGBUNEM, George; KRAJ, Andrea. Economic Analysis of Sustainable Transportation Transitions: Case Study of the University of Saskatchewan Ground Services Fleet. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 5926, 2023.

ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Fatores de emissão de ônibus urbanos utilizados**. Disponível em: <https://www.antp.org.br/simulador-de-emissoes-de-onibus-urbanos/fatores-de-emissao-de-onibus-urbanos-utilizados.html>. Acesso em: 3 julho. 2024.

ARSENAULT, Julien et al. The environmental footprint of academic and student mobility in a large research-oriented university. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 9, p. 095001, 2019.

ARTAXO, Paulo. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 34, p. 53-66, 2020.

ARTAXO, Paulo; RODRIGUES, Délcio. As bases científicas das mudanças climáticas. Litigância Climática: Novas Fronteiras Para O Direito Ambiental No Brasil, 2019.

BALALI, Vahid; FATHI, Soheil; ALIASGARI, Mehrdad. Vector maps mobile application for sustainable eco-driving transportation route selection. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5584, 2020.

BATTISTINI, Roberto et al. How to Assess the Carbon Footprint of a Large University? The Case Study of University of Bologna's Multicampus Organization. **Energies**, v. 16, n. 1, p. 166, 2022.

BERTOLIN, Alberto et al. Assessing the Impact of Changes in Mobility Behaviour to Evaluate Sustainable Transport Policies: Case of University Campuses of Politecnico di Milano. In: Data Analytics: Paving the Way to Sustainable Urban Mobility: Proceedings of 4th Conference on Sustainable Urban Mobility (CSUM2018), 24-25 May, Skiathos Island, Greece. **Springer International Publishing**, 2019. p. 89-97.

BIØRN-HANSEN, Aksel et al. Exploring the problem space of CO2 emission reductions from academic flying. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12206, 2021.

BORGHI, Adriana Del et al. Carbon-Neutral-Campus Building: Design Versus Retrofitting of Two University Zero Energy Buildings in Europe and in the United States. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 1-16, 2021

BRASIL, E. P. E. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029/Ministério de Minas e Energia (EPE). Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Censo da educação superior mostra aumento de matrículas no ensino a distância Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/educacao-e-pesquisa/2020/10/censo-da-educacao-superior-mostra-aumento-de-matriculas-no-ensino-a-distancia#:~:text=Existem%20no%20pa%C3%ADs%202.608%20institui%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 21 jul. 2023

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências vetado parcialmente pelo Projeto de Lei no 18, de 2007 (no 283/09 no Senado Federal). Portal da Legislação. Brasília, dez. 2009. Disponível em:< https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm> Acesso em: 05 jul. 2023.

BRIANÉZI, Daniel. Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do campus-sede da Universidade Federal de Viçosa. 2012

BUMBIERE, Ketija et al. Transition to Climate Neutrality at University Campus. Case Study in Europe, Riga. **Environmental and Climate Technologies**, v. 26, n. 1, p. 941-954, 2022.

CALHEIROS, Henrique. **Caracterização da mobilidade da população da FCUL e avaliação do potencial para redução de emissões**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa (Portugal).

CARVALHO, André Luís et al. Diagnóstico das emissões de CO2 a partir dos deslocamentos dos estudantes da Universidade de Brasília. 2017.

CATTANEO, Mattia et al. Students' mobility attitudes and sustainable transport mode choice. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 19, n. 5, p. 942-962, 2018.

CENTRO TECNOLÓGICO DE SANEAMENTO BÁSICO. *Relatório de Emissões 2021*. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2023/01/Relatorio-Emissoes-2021-completo.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2024.

CHIERRITO-ARRUDA, Eduardo et al. Pro-Environmental Behavior And Recycling: Literature Review And Policy Considerations1. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, 2019

CHIHIB, Mehdi; SALMERÓN-MANZANO, Esther; MANZANO-AGUGLIARO, Francisco. Benchmarking energy use at University of Almeria (Spain). **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1336, 2020.

CIRRINCIONE, Laura et al. A win-win scheme for improving the environmental sustainability of university commuters' mobility and getting environmental credits. **Energies**, v. 15, n. 2, p. 396, 2022.

CLABEAUX, Raeanne et al. Assessing the carbon footprint of a university campus using a life cycle assessment approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 122600, 2020.

CLIMATE ACTION TRACKER. RELEASE: COP28 deve se concentrar na eliminação de petróleo e gás, não em distrações como CCS. 2023. Disponível em: <https://climateactiontracker.org/publications/countdown-to-COP28/> . Acesso em: 30 jun. 2023

COP — Senado Notícias. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/cop>>.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J D. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**: Grupo A, 2021. *E-book*. ISBN 9786581334192. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786581334192/>. Acesso em: 25 jul. 2023.

CRUZ, Ulysses de Brito et al. Inventário de emissão de gases de efeito estufa estratégias de mitigação em instituições de ensino superior: o caso da Universidade Federal de Sergipe. 2020.

Current Signatories for Race to Zero for Universities and Colleges. Disponível em: <<https://www.educationracetozero.org/current-signatories>>.

DANAF, Mazen; ABOU-ZEID, Maya; KAYSI, Isam. Modeling travel choices of students at a private, urban university: Insights and policy implications. **Case studies on transport policy**, v. 2, n. 3, p. 142-152, 2014.

DANAF, Mazen; ABOU-ZEID, Maya; KAYSI, Isam. Modeling travel choices of students at a private, urban university: Insights and policy implications. **Case studies on transport policy**, v. 2, n. 3, p. 142-152, 2014.

DE ABREU, Victor Hugo Souza; SANTOS, Andrea Souza. Estimativa Das Emissões De Gases De Efeito Estufa Do Setor De Transportes Na Cidade Universitária Da Ufrj, 2020. In: 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. Disponível em: < <http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/pt-BR/producao-da-rede/universidades-com-pgvs/1182-estimativa-das-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-do-setor-de-transportes-na-cidade-universitaria-da-ufrj/file>>. Acesso em: 27 jul. 2023

DE CARVALHO, C., H. 606 emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. 2011. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

DEL BORGHI, Adriana et al. Carbon-neutral-campus building: Design versus retrofitting of two university zero energy buildings in Europe and in the United States. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 9023, 2021.

DI DIO, Salvatore et al. Buscando comportamentos de mobilidade urbana mais suaves por meio de aplicativos baseados em jogos. **Heliyon**, v. 6, n. 5, 2020.

DIÁRIO do Transporte. **Caruaru (PE) recebe 14 novos ônibus para o transporte escolar rural.** Diário do Transporte, 31 ago. 2022. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2022/08/31/caruaru-pe-recebe-14-novos-onibus-para-o-transporte-escolar-rural/>. Acesso em: 04 ago. 2024.

DZEMBATYI, Renata Geniplo; RAMOS, Leonardo Luís Vieira. **Análise da pegada de carbono dos alunos de Engenharia de Produção da UTFPR.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FARUKH, Murad Ahmed et al. Carbon Stock Mapping Utilizing Accumulated Volume of Sequestered Carbon at Bangladesh Agricultural University, Bangladesh. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 4300, 2023.

FAVARA, Jéssica Verónica; MORENO, José Eduardo. Preocupación ambiental y conductas proambientales en jóvenes y adultos mayores. **Revista de psicología (Santiago)**, v. 29, n. 1, p. 80-89, 2020.

FERREIRA, Luciana Maria Jardim. **Psicologia Pró-ambiental e Bem-estar na Educação**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade da Madeira (Portugal).

FGVces- Centro de Estudos em Sustentabilidade. Nota Técnica: Definição Das Categorias Emissões De Gases De Efeito Estufa (GEE) De Escopo 3: Versão 2.0. 2018c. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/53ebbde3-aa33-498d-b791-0468bf3b36c4/content>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

FGVces, Centro de Estudos em Sustentabilidade. Nota Técnica: Definição Das Categorias Emissões De Gases De Efeito Estufa (GEE) De Escopo 1: Versão 4.0. 2018a. Disponível em: <https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/FGV_86cfe99079d0a1fb195246c0f7ac74f7>. Acesso em: 27 jul. 2023.

FGVces, Centro de Estudos em Sustentabilidade. Nota Técnica: Definição Das Categorias Emissões De Gases De Efeito Estufa (GEE) De Escopo 2: Versão 1.0. 2018b. Disponível em: <https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/FGV_b613878caf56cb394d75b49c74ff0a8b>. Acesso em: 27 jul. 2023.

FILIMONAU, Viachaslau et al. The carbon footprint of a UK University during the COVID-19 lockdown. **Science of the Total Environment**, v. 756, p. 143964, 2021.

FOLTZ, Bruna Luiza de Souza. Psicologia ambiental: uma revisão sobre a importância do comportamento pró-ambiental. 2022.

FREITAS, Henrique et al. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 35, n. 3, 2000.

FUCHS, Paulo Guilherme et al. The carbon footprint at quality and environmental university consortium–QualEnv. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, 2023.

GAMBA, Angela et al. The effect of the COVID-19 pandemic on mobility-related GHG emissions of the university of Oldenburg and proposals for reductions. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 8103, 2021.

GARCIA, C. Dois dias andando de carro emitem tanto CO2 quanto um mês de metrô. 2010. Disponível em: <<https://akatu.org.br/dois-dias-andando-de-carro-emitem-tanto-co2-quanto-um-mes-de-metro/>>. Acesso em: 23 jul. 2023.

GENTA, C. et al. Quantitative assessment of environmental impacts at the urban scale: the ecological footprint of a university campus. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 4, p. 5826-5845, 2022.

GHG Protocol. *Calculation tools and guidance*. Disponível em: https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance?ap3c=IGXmCH6WDeDPomoEAGXmCH6mlt-Db9NCNH00dmje0ZqebCmgPw#country_specific_tools_id. Acesso em: 04 ago. 2024.

GHG Protocol. *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*. World Resources Institute e World Business Council for Sustainable Development, 2013. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf. Acesso em: 04 ago. 2024.

GHG Protocol. *Emission Factors for Cross-Sector Tools*. Versão 2.0.0. Disponível em: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-05/Emission Factors for Cross Sector Tools V2.0 0.xlsx](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-05/Emission_Factors_for_Cross_Sector_Tools_V2.0_0.xlsx). Acesso em: 4 ago. 2024.

GIL, Antonio C. **Como Fazer Pesquisa Qualitativa**. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2021. *E-book*. ISBN 9786559770496. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559770496/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

GILLS, Barry; MORGAN, Jamie. Global climate emergency: After COP24, climate science, urgency, and the threat to humanity. In: *Economics and Climate Emergency*. Routledge, 2022.

GOVERNO FEDERAL. *MOVER: novo programa amplia ações para mobilidade verde e descarbonização*. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/12/mover-novo-programa-amplia-acoes-para-mobilidade-verde-e-descarbonizacao>. Acesso em: 12 ago. 2024.

GROSSI, Felipe et al. Feasibility of Planting Trees around Buildings as a Nature-Based Solution of Carbon Sequestration—An LCA Approach Using Two Case Studies. **Buildings**, v. 13, n. 1, p. 41, 2022.

GU, Yifan et al. Quantification of interlinked environmental footprints on a sustainable university campus: A nexus analysis perspective. **Applied Energy**, v. 246, p. 65-76, 2019

GUERRERO-LUCENDO, Antonio et al. General Mapping of the Environmental Performance in Climate Change Mitigation of Spanish Universities through a Standardized Carbon Footprint Calculation Tool. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 17, p. 10964, 2022.

GURSKI, Bruno; GONZAGA, Roberto; TENDOLINI, Patricia. Conferência de Estocolmo: um marco na questão ambiental. **Administração de Empresas em Revista**, v. 1, n. 7, p. 65-79, 2012.

HASEEB, Muhammad et al. The carbon footprint of a public sector University before and during the COVID-19 lockdown. **Global NEST Journal**, v. 24, n. 1, p. 29-36, 2022.

HASNINE, Md Sami et al. Determinants of travel mode choices of post-secondary students in a large metropolitan area: The case of the city of Toronto. **Journal of transport geography**, v. 70, p. 161-171, 2018.

HELMERS, Eckard; CHANG, Chia Chien; DAUWELS, Justin. Carbon footprinting of universities worldwide: Part I—objective comparison by standardized metrics. **Environmental Sciences Europe**, v. 33, p. 1-25, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE Veicular: Tabelas de Eficiência Energética – 2024*. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2024-1.pdf/@@download/file>. Acesso em: 4 ago. 2024.

IPCC SR 1.5. Global Warming of 1.5 °C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>

JAGLAN, Amit Kumar et al. Environmental Impact Evaluation of University Integrated Waste Management System in India Using Life Cycle Analysis. **Sustainability**, v. 14, n. 14, p. 8361, 2022.

JAIN, Suresh et al. Assessment of carbon neutrality and sustainability in educational campuses (CaNSEC): A general framework. **Ecological Indicators**, v. 76, p. 131-143, 2017.

KABIT, Mohamad Raduan; SIONG, Jeffery Ting Lee; YASSIN, Abdullah. Towards campus sustainability: estimating on-campus vehicle co2 emissions in unimas. **Journal of Sustainability Science and Management**, v. 17, n. 6, p. 193-206, 2022.

KAPLAN, David H. Transportation sustainability on a university campus. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 16, n. 2, p. 173-186, 2015.

KHOSHBAKHT, Maryam; GOU, Zhonghua; DUPRE, Karine. Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings. **Energy and Buildings**, v. 164, p. 61-76, 2018.

KOURGIOZOU, Vasiliki et al. Scalable pathways to net zero carbon in the UK higher education sector: A systematic review of smart energy systems in university campuses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 147, p. 111234, 2021.

KULKARNI, Sunil D. A bottom up approach to evaluate the carbon footprints of a higher educational institute in India for sustainable existence. *Journal of cleaner production*, v. 231, p. 633-641, 2019.

LARSEN, Hogne N. et al. Investigating the Carbon Footprint of a University-The case of NTNU. **Journal of Cleaner Production**, v. 48, p. 39-47, 2013.

LI, Xiwang; TAN, Hongwei; RACKES, Adams. Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. **Journal of cleaner production**, v. 106, p. 97-108, 2015.

LI, Zihao et al. Arranging university semester date to minimize annual CO2 emission: A UK university case study. **IScience**, v. 24, n. 12, 2021.

LUCON, Oswaldo. Mudanças Climáticas: Roteiro de Estudos. 2022

MACEDO, Marcelo; DE SOUZA, Mariane Ramos. Teoria, modelos e frameworks: conceitos e diferenças. In: Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação–ciki. 2022.

MACHADO, Reobe Ozéias et al. Avaliação da emissão dos gases do efeito estufa na gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Florianópolis, Santa Catarina. 2022.

MARCHEZI, Roberta da Silva Monteiro; AMARAL, Sergio Pinto. O Protocolo de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo–MDL: Conceito e Uso do MDL no Mundo e no Brasil. **Revista Eletrônica de Gestão de Negócios–eGesta**, v. 4, n. 1, p. 94-123, 2008.

MEDEIROS, Henrique et al. Ações relativas ao meio ambiente nas universidades federais no Brasil: uma análise do conteúdo informacional dos relatórios de gestão em 2021.

MENDOZA-FLORES, Rubén; QUINTERO-RAMÍREZ, Rodolfo; ORTIZ, Irmene. The carbon footprint of a public university campus in Mexico City. **Carbon Management**, v. 10, n. 5, p. 501-511, 2019.

Ministério da Educação Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. [s.l.: s.n.]. Disponível em: < <https://i1nk.dev/6jXxt>>. Acesso em: 21 abr. 2024

MIRALLES-GUASCH, Carme; DOMENE, Elena. Sustainable transport challenges in a suburban university: The case of the Autonomous University of Barcelona. **Transport policy**, v. 17, n. 6, p. 454-463, 2010.

MIRALLES-GUASCH, Carme; DOMENE, Elena. Sustainable transport challenges in a suburban university: The case of the Autonomous University of Barcelona. **Transport policy**, v. 17, n. 6, p. 454-463, 2010.

MOBILIZE BRASIL. Saiba: seu carro emite um carro de carbono por ano! 2022. Portal Mobilize, 2022. Disponível em:<

<https://www.mobilize.org.br/noticias/13358/saiba-seu-carro-emite-um-carro-de-carbono-por-ano.html#:~:text=Um%20carro%20a%20gasolina%20emite,tamb%C3%A9m%20da%20regulagem%20do%20ve%C3%ADculo>> Acesso em: 20 jan. 2024.

MOHAMMADZADEH, Mohsen. Exploring tertiary students' travel mode choices in Auckland: Insights and policy implications. **Journal of transport geography**, v. 87, p. 102788, 2020.

MOHAMMADZADEH, Mohsen. Exploring tertiary students' travel mode choices in Auckland: Insights and policy implications. **Journal of transport geography**, v. 87, p. 102788, 2020.

MUSTAFA, Atif et al. Towards a carbon neutral and sustainable campus: case study of NED university of engineering and technology. **Sustainability**, v. 14, n. 2, p. 794, 2022.

NEVES, Rosilva de Souza Santos. A política nacional sobre mudança do clima (pnmc): efetiva implantação e eficaz execução no brasil?. **Revista fatec de tecnologia e ciências**, v. 7, n. 1, 2022.

NGUYEN-PHUOC, Duy Quy et al. Mode choice among university students to school in Danang, Vietnam. **Travel behaviour and society**, v. 13, p. 1-10, 2018.

NORHISHAM, Shuhairy et al. Evaluating the travel demand using E-bike on campus. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, v. 9, n. 1, p. 2083-2088, 2019.

O'FLYNN, Ciara et al. The road to net zero: a case study of innovative technologies and policy changes used at a medium-sized university to achieve czero by 2030. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9954, 2021.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Nunca mais outra vez. 2023. Disponível em:< <https://acesse.dev/0snQU> > Acesso em: 05 jul. 2023.

PAINEL GOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC, sigla em inglês). Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza, 2018. Disponível em: <<https://l1nk.dev/dTE5S> > Acesso em: 20 de junho de 2023.

PEIXER, J. F. B. (2019). *A contribuição nacionalmente determinada do brasil para cumprimento do acordo de paris: metas e perspectivas futuras* (Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina). Repositório UFSC. Disponível em: <https://encr.pw/LWpPC>. Acesso em 25 jul. 2024

PEREZ-LOPEZ, Jose-Benito; ORRO, Alfonso; NOVALES, Margarita. Environmental impact of mobility in higher-education institutions: the case of the ecological footprint at the University of A Coruña (Spain). **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6190, 2021.

PERPÉTUO, Rodrigo. O Acordo De Paris, O Brasil E As Cidades. **Cadernos**, v. 1, n. 1, p. 29-33, 2017

PINHEIRO, Ana Cristina Magalhães Santana; DE SOUZA, Joseane Xavier; FERREIRA, Adriano Fernandes. Tratados internacionais ambientais e o fenômeno da constitucionalização. **Revista de Constitucionalização do Direito Brasileiro**, v. 4, n. 1, p. e044-e044, 2021.

POTENZA, R. F. et al. Análise das emissões brasileiras de e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2020 gases de efeito estufa. **Brasília, DF: SEEG**, 2021.

PREUSS, Maicon Junior. Inventário de gases de efeito estufa e emissões evitadas com o gerenciamento de resíduos e cobertura vegetal na Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2017.

RIBEIRO, Paulo JG; FONSECA, Fernando. Students' home-university commuting patterns: A shift towards more sustainable modes of transport. *Case studies on transport policy*, v. 10, n. 2, p. 954-964, 2022.

RIBEIRO, Paulo; FONSECA, Fernando; MEIRELES, Tânia. Sustainable mobility patterns to university campuses: Evaluation and constraints. **Case studies on transport policy**, v. 8, n. 2, p. 639-647, 2020.

RIDHOSARI, Betanti; RAHMAN, Ari. Carbon footprint assessment at Universitas Pertamina from the scope of electricity, transportation, and waste generation: toward a green campus and promotion of environmental sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 119172, 2020.

RODRÍGUEZ-ANDARA, Alejandro; PEÑA-BARRENECHEA, Daniel; CARRILLO-QUIÑONES, Ernesto. Instituciones universitarias sostenibles: determinación de gases efecto invernadero en un centro universitario y estrategias para disminuirlas. 2020. Disponível em: < <https://acesse.dev/Si00T>>. Acesso em: 10 ago. 2024.

ROSA, Tatiana Oro da. Elaboração de inventário de gases de efeito estufa para implantação de um loteamento urbano através da metodologia GHG Protocol no município de Bento Gonçalves. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2023. Disponível em: <<https://encr.pw/NZ00c>> Acesso em: 27. Abr 2023

RYBARCZYK, Greg. Toward a spatial understanding of active transportation potential among a university population. **International journal of sustainable transportation**, v. 12, n. 9, p. 625-636, 2018.

RYBARCZYK, Greg; GALLAGHER, Laura. Measuring the potential for bicycling and walking at a metropolitan commuter university. **Journal of Transport Geography**, v. 39, p. 1-10, 2014.

SAHA, Bijoy; FATMI, Mahmudur Rahman. Simulating the impacts of hybrid campus and autonomous electric vehicles as GHG mitigation strategies: a case study for a mid-size Canadian post-secondary school. **Sustainability**, v. 13, n. 22, p. 12501, 2021.

SAMARA, Fatin et al. Carbon Footprint at a United Arab Emirates University: GHG Protocol. **Sustainability**, v. 14, n. 5, p. 2522, 2022.

SARRO, Vanessa Martins. Os mecanismos da governança global para a proteção da camada de ozônio. 2016. 94 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Católica de Santos, Santos, 2016.

SCHUTZE, Caryl Andre Barquero; PINTO, Clara Reis. Estudo comparativo da pegada de carbono dos hábitos de transporte de estudantes da Unicamp. **Revista Ciãncias do Ambiente On-Line**, v. 9, n. 2, 2013.

SCHWANEN, Tim. Mobilidade de baixo carbono em Londres: uma transição justa?. **One Earth**, v. 2, n. 2, p. 132-134, 2020.

SCOTT, D.; USHER, R. **Researching education: Data, methods, and theory in educational research**. *Educational Review*, v. 56, n. 4, p. 311-323, 2004.

SCOVAZZI, Tullio; LIMA, Lucas Carlos. Do protocolo de kyoto ao acordo de paris. **Revista da Faculdade de Direito da UFMG**, v. 78, p. 469-476, 2021.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do brasil. 2019. Disponível em: <a>. Acesso em: 05 jul. 2023.

SENRA, Ana Luiza Pimenta. Proposta de um inventário de emissões de gases de efeito estufa no campus morro do cruzeiro da universidade federal de ouro preto. 2023. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: <<https://monografias.ufop.br/handle/35400000/5553>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

SILVA, Leandro Santos da. Aplicação da pegada ecológica em instituições de ensino superior: o caso da Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda-UFF. 2023a.

SILVA, Liziane Araújo da. As ações de sustentabilidade com potencial de redução da pegada de carbono de uma instituição de ensino federal como estratégia para um Green Campus. 2023b.

SIMON, M. K.; GOES, J. Developing a theoretical framework. Seattle, WA: Dissertation Success, LLC, 2011.

SOBRINO, Natalia; ARCE, Rosa. Understanding per-trip commuting CO2 emissions: A case study of the Technical University of Madrid. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 96, p. 102895, 2021.

SONETTI, Giulia; BARIOGLIO, Caterina; CAMPOBENEDETTO, Daniele. Education for sustainability in practice: a review of current strategies within Italian universities. **Sustainability**, v. 12, n. 13, p. 5246, 2020.

SOUTO, Renata de Sousa. Sustentabilidade ambiental na Universidade de Brasília sob a perspectiva do UI GREENMETRIC. 2020.

SULTAN, Basel; KATAR, Ihab M.; AL-ATROUSH, Mohamed Ezzat. Towards sustainable pedestrian mobility in Riyadh city, Saudi Arabia: A case study. *Sustainable Cities and Society*, v. 69, p. 102831, 2021.

SUNDRAM, Veera Pandiyan Kaliani et al. Sustainable transportation on university campus: a case at UiTM selangor, puncak alam campus, Malaysia and universitas Negeri Semarang, Indonesia. **Asian Journal of University Education**, v. 17, n. 2, p. 262-272, 2021.

UDOP. Indústria do etanol ganha apoio de um antigo inimigo nos EUA: o setor de petróleo. Disponível em: <<https://encr.pw/i1OWe>> Acesso em: 27 jul. 2023.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME & CLIMATE ANALYTICS. Pursuing the 1.5 °C Limit: Benefits & Opportunities. New York: United Nations Development Programme. 2016. Disponível em: <<https://encr.pw/pLEwX>>. Acesso em: 29 mai. 2023

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies, 2022. Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>,

university student travel frequency and mode choice patterns in China. **Transport Policy**, v. 45, p. 55-65, 2016.

VALLS-VAL, Karen; BOVEA, María D. Carbon footprint assessment tool for universities: CO2UNV. **Sustainable Production and Consumption**, v. 29, p. 791-804, 2022

VARÓN-HOYOS, Manuel; OSORIO-TEJADA, José; MORALES-PINZÓN, Tito. Carbon footprint of a university campus from Colombia. **Carbon Management**, v. 12, n. 1, p. 93-107, 2021.

VICH, Guillem et al. Distance decay effects on public transportation ridership in the context of a metropolitan university campus: evidence from the autonomous University of Barcelona. **Geographical Review**, v. 111, n. 3, p. 373-392, 2021.

WARD, Ian; OGBONNA, Anthony; ALTAN, Hasim. Sector review of UK higher education energy consumption. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 2939-2949, 2008.

WEST, Thales AP et al. Reduções exageradas de emissões de carbono de projetos voluntários de REDD+ na Amazônia brasileira. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 39, pág. 24188-24194, 2020. See More

WHALEN, Kate E.; PÁEZ, Antonio; CARRASCO, Juan A. Mode choice of university students commuting to school and the role of active travel. **Journal of Transport Geography**, v. 31, p. 132-142, 2013.

WRI Brasil. **Os países que mais emitiram gases de efeito estufa**. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/os-paises-que-mais-emitiram-gases-de-efeito-estufa#:~:text=No%20entanto%2C%20entre%20os%2010,maior%20que%20a%20da%20C3%8Dndia..> Acesso em: 4 ago. 2024.

YAÑEZ, Pablo; SINHA, Arijit; VÁSQUEZ, Marcia. Carbon footprint estimation in a university campus: Evaluation and insights. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 181, 2019.

ZANGALLI JÚNIOR, Paulo César. A natureza do clima e o clima das alterações climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

ZEITOUNE, Bruno et al. Práticas sustentáveis: adoção de cultura institucional em IES. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 13, n. 1, p. 150-168, 2019.

ZHAN, Guangjun et al. Using hierarchical tree-based regression model to examine ZHOU, Jiangping. From better understandings to proactive actions: Housing location and commuting mode choices among university students. **Transport Policy**, v. 33, p. 166-175, 2014.

ZHOU, Jiangping. From better understandings to proactive actions: Housing location and commuting mode choices among university students. **Transport Policy**, v. 33, p. 166-175, 2014.

ZHOU, Jiangping. Proactive sustainable university transportation: Marginal effects, intrinsic values, and university students' mode choice. **International journal of sustainable transportation**, v. 10, n. 9, p. 815-824, 2016.

ZHOU, Jiangping; WANG, Yin; WU, Jiangyue. Mode choice of commuter students in a college town: An exploratory study from the United States. **Sustainability**, v. 10, n. 9, p. 3316, 2018

ZHOU, Jiangping; WANG, Yin; WU, Jiangyue. Mode choice of commuter students in a college town: An exploratory study from the United States. **Sustainability**, v. 10, n. 9, p. 3316, 2018

APÊNDICE A – Questionário aplicado para levantamento de dados

EMISSÕES, MENSURAÇÕES E MEIOS DE COMPENSAÇÃO DE CARBONO DE UMA UNIDADE DE ENSINO DE PERNAMBUCO.

B I U ↻ ✕

Estudo das emissões de CO2 provenientes da mobilidade dos estudantes

Olá! Chamo-me Natalia Araújo, sou estudante do curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Administração e Desenvolvimento (PPAD). Estou desenvolvendo uma pesquisa sobre a emissão de carbono proveniente da mobilidade dos estudantes e funcionários, sob a orientação da profa. Dra. Ana Regina Bezerra Ribeiro e Coorientação do Prof. Dr. Márcio Sampaio Pimentel. O objetivo dessa pesquisa quantificar a pegada de carbono lançadas a atmosfera de forma indireta nas atividades educacionais proveniente da mobilidade diária dos estudantes e funcionários. Por isso, está coleta buscará conhecer detalhes sobre o trajeto diário dos participantes, tendo como público-alvo, estudantes e colaboradores da instituição de ensino do Senac na unidade de Caruaru, contribuindo para a ciência acerca da pegada de carbono na mobilidade. Ao responder estas questões, o participante nos dará a chance de promover avanços nesse campo do conhecimento ao entender novas relações sobre o fenômeno existente.

É importante frisar que se você está respondendo este questionário através de um celular, é melhor que responda com o aparelho na posição horizontal.

Antecipadamente, agradeço sua participação.

Natália Araújo de Lima Luna
Mestranda do PPAD – UFRPE
natalialunna1@hotmail.com
(81) 984671382

This form is automatically collecting emails from all respondents. [Change settings](#)

After section 1 Continue to next section ▼

*

Ao responder o presente questionário, você concordará em participar como voluntário de uma pesquisa de mestrado do Programa de Pós-graduação em Administração e Desenvolvimento (UFRPE), em que você fornecerá informações socioeconômicas e sobre a sua mobilidade diária. Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema. Você tem garantido o seu direito de não aceitar participar ou de retirar sua permissão, a qualquer momento, sem nenhum tipo de prejuízo. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados dessa coleta serão para fins acadêmicos, onde serão agrupados e analisados sem conter quaisquer informações pessoais que possibilite a identificação do participante.

Ao marcar esta alternativa, você declara que aceita esses termos de sigilo e concorda em participar da presente pesquisa como voluntário (a), autorizando a divulgação das informações fornecidas em congressos e/ou publicações científicas desde que nenhum dado possa me identificar.

- Não
- Sim

Você é estudante do - Caruaru? *

Nosso público alvo restringe-se apenas aos estudantes ativos da unidade.

- Sim
- Não

Você estuda presencialmente? *

Visto que esta pesquisa busca quantificar o trajeto dos estudantes, tem-se como público alvo aqueles que estão matriculados na modalidade presencial

- Sim
- Não

*

Você é estudante de?

Por favor, selecione o tipo de curso.

- Graduação
- Pós-graduação
- Qualificação Técnica
- Mediotec
- Other...

Qual o segmento do curso: *

- Gestão
- Comunicação
- Beleza
- Saúde
- Tecnologia da Informação (TI)
- Moda
- Produção de alimentos
- Gastronomia

Qual nome do curso? *

- Aromaterapia
- Assistência de Enfermagem Domiciliar
- Beginners I
- Beginners II
- Cabeleireiro Assistente
- Chef Teens
- Cozinha Para Eventos
- Cuidados Especiais com Idosos
- Design de Moda
- Elementary English
- Elementary English I
- Elementary Smart English
- Flores de Açúcar
- Gastronomia
- Gestão Financeira
- Limpeza de pele

Qual a duração do curso? *

- Até uma semana
- Até um mês
- De um mês até 3 meses
- De um mês até 4 meses
- De um mês até 5 meses
- De um mês até 6 meses
- De até 1 ano
- De até 1 ano e 6 meses
- De até 2 anos
- De até 2 anos e 6 meses
- De 3 anos
- Other...

Você se identifica como? *

- Masculino
- Feminino
- Prefiro não informar

Qual bairro você mora? Se você não mora em Caruaru, informe o nome da cidade e bairro na alternativa "outros" *

- Agamenon Magalhães
- Boa vista
- Caiucá
- Cedro
- Centenário
- Cidade Alta
- Cidade Jardim
- Deputado José Antônio Liberato
- Dovinópolis
- Indianópolis
- Jardim Panorama
- João Mota
- José Carlos de Oliveira
- Kennedy
- Luiz Gonzaga
- Manoel Bezerra Lopes

Qual a renda per capita familiar? *

Por favor, some as rendas ativas dos membros residentes em sua casa, dividido pela quantidade total de pessoas que moram na residência para obter a faixa de renda familiar per capita familiar.

ASSIM COMO TODA PESQUISA, ESTA INFORMAÇÃO SERÁ APENAS PARA FINS DE PESQUISA E ESTRATIFICAÇÃO DA AMOSTRA, ESTANDO CONFIDENCIALIZADAS TODAS AS INFORMAÇÕES SOCIODEMOGRÁFICAS DOS PARTICIPANTES

- Renda variável
- De 1 a 2 salários-mínimos
- De 3 a 4 salários-mínimos
- Mais de 5 salários-mínimos
- Other...

Quantas vezes na semana você se desloca do seu ponto de origem até o ? *
***considerando 5 dias na semana**

- Todos os dias
- 1 vez na semana
- 2 vezes na semana
- 3 vezes na semana
- 4 vezes na semana

Você costuma ir e vir da instituição caminhando? *

- Sim
- Não

Considerando o trajeto por dia e que a sua residência é o ponto de origem, qual o tipo de transporte você mais utiliza para chegar ao ? *

B *I* U ↻ ✕

A indicação entre parênteses de (próprio ou compartilhado), significa que você SEMPRE SE DESLOCA de automóvel próprio ou solicitados em aplicativos (Uber, 999, Indriver e outros).

No caso de escolher a opção "outros", favor indique o modal utilizado.

- 1 (um) Ônibus
- 2 (dois) Ônibus
- 3 (três) Ônibus
- Carro (próprio)
- Carro (compartilhado)
- Motocicleta (próprio)
- Motocicleta (compartilhado)
- 1 (um) Van
- 2 (dois) Vans
- 3 (três) Vans
- Micro-ônibus
- Caminhão pequeno
- Bicicleta (sem motor)

Qual tipo de combustível é utilizado no veículo? *

Independente se o transporte é de uso particular, privado ou público, por favor informe de acordo com seu conhecimento qual o tipo de combustível.

Se você escolher a opção outro, por favor, indique o tipo de combustível. Por exemplo, eletricidade, hidrogênio ou outros.

- Transporte flex - Bicomcombustível
- Apenas gasolina
- Apenas álcool
- Gás Natural Veicular
- Diesel
- Híbrido
- Não sabe informar
- Other...

Transporte flex



Description (optional)

Se você escolheu a opção "transporte flex" ou "híbrido", especifique qual o percentual utiliza com frequência para cada tipo de combustível? *

Por exemplo, 50% álcool e 50% gasolina, ou 30% álcool e 70% gasolina e etc.

Short answer text

After section 11 Continue to next section



Section 12 of 13

Section title (optional)



Description (optional)

Se você utiliza veículo particular, indique as características do seu veículo seguindo a configuração de Ano, Marca, Motor e Modelo. *

Long answer text

Section 13 of 13

Este questionário está chegando ao fim. Por isso, agradeço a quem chegou até aqui.  

As próximas questões são opcionais e livres em respostas. Se, não houver nada a acrescentar você poderá finalizar o questionário.

Este espaço é livre para esclarecimentos, dúvidas ou sugestões acerca das informações sobre a sua mobilidade.

A resposta para este campo é opcional para indicar vossas observações ou sugestões

Long answer text

APÊNDICE B – Survey para levantamento de dados na matrícula

Instituição de Ensino (2024)

Formulário de matrícula - Online

Caro novo aluno,

Nossa instituição está fortemente comprometida com a preservação ambiental e a redução dos impactos das mudanças climáticas. Para avançar em nossos esforços de sustentabilidade, estamos focados em entender melhor como nossas atividades educacionais influenciam as emissões de carbono, especialmente no que diz respeito ao transporte.

Para isso, gostaríamos de contar com a sua colaboração. Pedimos que, por favor, informe os principais meios de locomoção que utiliza. Essas informações nos ajudarão a quantificar os impactos indiretos associados às atividades educacionais sobre as emissões de carbono provenientes do transporte.

Reafirmamos que seus dados serão mantidos em total sigilo e serão utilizados exclusivamente para fins de análise interna. Sua participação é opcional e o preenchimento do formulário não é obrigatório.

Agradecemos imensamente pela sua contribuição e pelo seu apoio em nossas iniciativas para promover um futuro mais sustentável.

1. Qual meio de transporte você utilizará com maior frequência ao longo da sua estadia em nossas dependências educacionais?

- Carro
- Motocicleta
- Ônibus rodoviário
- Ônibus de viagem
- Micro-ônibus
- Outros: _____

2. Sobre seu veículo, informe conforme mostra o exemplo:

- Ano de fabricação: *2010*
- Marca: *Ford*
- Modelo e versão: *Fordk LB2Z*
- Potência do motor ou cilindradas: *exemplo 150cc (moto) ou 1.0 12v. (automóveis)*

3. Qual tipo de combustível você normalmente utiliza?

- Álcool
- Gasolina
- (__%)Alcool e (___%)Gasolina
- Diesel
- Outro: _____

