

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias - CEng
Curso de Engenharia de Produção



Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA – UM ESTUDO DE
CASO COM ALUNOS DE UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA FEDERAL**

Lucas Zaurisio Da Silva

Pelotas, 2026

Lucas Zaurisio Da Silva

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DE ALUNOS DE
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS -
RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção do
Centro de Engenharias da Universidade
Federal de Pelotas, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Produção.

Orientadora:
Profa. Dra. Renata Heidtmann Bemvenuti

Pelotas, 2026

Lucas Zaurisio Da Silva

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DE ALUNOS DE
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 24/02/2026.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Renata Heidtmann Bemvenuti (Orientadora) - Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande

Prof. Dr. Alejandro Martins Rodriguez - Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Thierry Mendes Dos Santos - Mestrando em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedicatória: Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio constante, incentivo e compreensão ao longo de toda a minha formação acadêmica. Aos professores, que contribuíram de forma significativa para minha trajetória universitária, deixo meu reconhecimento.

Agradecimentos

Dedico este trabalho à minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou nos momentos de dificuldade, tornando possível a conclusão desta etapa. Dedico também aos professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal ao longo do curso de Engenharia de Produção.

Resumo

DA SILVA, Lucas Zaurisio. **Estimativa da emissão de gases do efeito estufa de alunos de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas - RS.** Orientadora: Dra. Renata Heidtmann Bemvenuti. 2026. 109f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2026.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como propósito investigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas às atividades de estudantes do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Para isso, o trabalho se dividiu em quatro objetivos específicos. Os dois primeiros representaram a primeira parte da pesquisa (Artigo 1 – TCC1), que consistiu em mapear a produção científica internacional sobre a pegada de carbono pessoal em universidades e identificar as ferramentas para estimar as emissões individuais de estudantes. O presente artigo encontra-se publicado na revista Delos, conforme a referência: Bemvenuti, R. H., Silva, L. Z. da, Santos, T. M. dos, & Rodriguez, A. M. (2025). Metodologias para estimativa da pegada de carbono pessoal. REVISTA DELOS, 18(73), e6872. <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n73-004>. Os dois últimos corresponderam à segunda etapa da pesquisa (Artigo 2 – TCC2), que foi dedicada à aplicação prática da ferramenta selecionada, ao cálculo da pegada de carbono pessoal média dos estudantes da Engenharia de Produção da UFPel e à proposição de ações para redução dessas emissões e construção de uma cultura universitária de educação e responsabilidade social com a sustentabilidade. A metodologia adotada seguiu o delineamento de revisão integrativa na primeira etapa (TCC1), permitindo a síntese sistemática da produção científica relevante e a identificação de abordagens metodológicas robustas. Na segunda etapa (TCC2), foi utilizada uma pesquisa de levantamento, com coleta de dados primários por meio de questionário eletrônico aplicado aos estudantes, combinada com fatores médios de emissão para estimar a pegada de carbono pessoal relacionada à atividade acadêmica. Como resultado do Artigo 1, consolidou-se um panorama abrangente da literatura científica internacional, destacando a predominância de estudos focados em pegada de carbono institucional e a escassez de análises centradas no comportamento discente, além de apresentar um conjunto de ferramentas aptas a mensurar emissões individuais em contextos universitários. A conclusão desta etapa forneceu a base conceitual e metodológica para a aplicação prática prevista no Artigo 2, a qual permitiu quantificar as emissões de GEE de atividades de estudantes e propor estratégias de mitigação aplicáveis ao ambiente universitário, fortalecendo o papel das instituições de ensino na transição para uma sociedade de baixo carbono. Os resultados do Artigo 2 indicaram que a pegada de carbono pessoal média dos estudantes foi estimada em 7,93 tCO₂-eq por aluno ao ano, com elevada variabilidade entre os respondentes. As principais fontes de emissão identificadas foram o consumo de eletricidade residencial e o transporte diário, seguidas pela alimentação e pela geração de resíduos, evidenciando o papel central dos padrões de mobilidade e consumo energético na composição das emissões individuais. A comparação com estudos internacionais situou os valores observados em patamar intermediário, refletindo especificidades do contexto socioeconômico e da infraestrutura urbana brasileira. Conclui-se que a quantificação da pegada de

carbono pessoal dos estudantes constitui uma ferramenta estratégica para subsidiar políticas institucionais de mitigação de GEE, permitindo a identificação de pontos críticos e a proposição de ações direcionadas, como o incentivo à mobilidade sustentável, à eficiência energética e a práticas de consumo de menor intensidade de carbono. Dessa forma, o estudo contribui para a consolidação do papel das universidades como agentes de educação climática e de transição para uma sociedade de baixo carbono, alinhando o contexto acadêmico aos compromissos globais de sustentabilidade.

Palavras-chave: Pegada de carbono pessoal. Estudantes. Transporte. Sustentabilidade. Gestão ambiental.

Abstract

DA SILVA, Lucas Zaurisio. **Estimation of greenhouse gas emissions from Production Engineering students at the Federal University of Pelotas – RS.** 2026. 109f. Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree in Production Engineering) – School of Engineering, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2026. Advisor: Dr. Renata Heidtmann Bemvenuti.

This Undergraduate Thesis aimed to investigate greenhouse gas (GHG) emissions associated with the activities of students enrolled in the Production Engineering program at the Federal University of Pelotas (UFPel), Brazil. To this end, the study was structured around four specific objectives. The first two objectives comprised the initial phase of the research (Article 1 – TCC1), which focused on mapping the international scientific literature on personal carbon footprints in universities and identifying the tools used to estimate individual student emissions. This article has been published in the journal Delos, as referenced in: Bemvenuti, R. H., Silva, L. Z. da, Santos, T. M. dos, & Rodriguez, A. M. (2025). Methodologies for estimating personal carbon footprints. REVISTA DELOS, 18(73), e6872. <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n73-004>. The remaining two objectives corresponded to the second phase of the research (Article 2 – TCC2), which was dedicated to the practical application of the selected tool, the calculation of the average personal carbon footprint of Production Engineering students at UFPel, and the proposal of actions aimed at reducing these emissions and fostering a university culture of sustainability-oriented education and social responsibility. The methodological approach adopted an integrative literature review in the first stage (TCC1), enabling a systematic synthesis of relevant scientific production and the identification of robust methodological approaches. In the second stage (TCC2), a survey-based research design was employed, with primary data collected through an electronic questionnaire administered to students and combined with average emission factors to estimate the personal carbon footprint associated with academic-related activities. As a result of Article 1, a comprehensive overview of the international scientific literature was consolidated, highlighting the predominance of studies focused on institutional carbon footprints and the relative scarcity of analyses centered on student behavior. Additionally, a set of tools suitable for measuring individual emissions in university contexts was identified. The conclusions drawn from this stage provided the conceptual and methodological foundation for the practical application developed in Article 2, which enabled the quantification of GHG emissions from student activities and the proposal of mitigation strategies applicable to the university environment, thereby strengthening the role of higher education institutions in the transition toward a low-carbon society. The results of Article 2 indicated that the average personal carbon footprint of students was estimated at 7.93 tCO₂-eq per student per year, with substantial variability among respondents. The main sources of emissions identified were residential electricity consumption and daily commuting, followed by food consumption and waste generation, underscoring the central role of mobility patterns and energy use in shaping individual emissions. Comparison with international studies positioned the observed values at an intermediate level, reflecting specific socioeconomic conditions and characteristics of the Brazilian urban infrastructure. It is concluded that quantifying students' personal

carbon footprints constitutes a strategic tool for supporting institutional GHG mitigation policies, as it enables the identification of critical emission sources and the formulation of targeted actions, such as promoting sustainable mobility, energy efficiency, and low-carbon consumption practices. In this way, the study contributes to consolidating the role of universities as agents of climate education and drivers of the transition toward a low-carbon society, aligning the academic context with global sustainability commitments.

Palavras-chave: Personal carbon footprint. Students. Transportation. Sustainability. Environmental management.

Sumário

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

1.1.2 Objetivos Específicos

1.2 Justificativa

1.3 Delimitações da pesquisa

2 ARTIGO 1: IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA ESTIMAR A PEGADA DE CARBONO PESSOAL

2.1 Introdução

2.2 Revisão da Literatura

2.2.1 Aquecimento global e emissões de gases de efeito estufa (GEE)

2.2.2 Pegada de carbono pessoal: conceito e medida em alunos de instituições de ensino

2.2.3 Universidades como agentes de impacto e transformação socioambiental

2.2.4 Pegada de carbono pessoal dos estudantes

2.3 Metodologia

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Mapeamento da produção científica mundial sobre a pegada de carbono pessoal relativa às emissões de gases do efeito estufa (GEE) em universidades

2.4.2 Principais ferramentas utilizadas para calcular a pegada de carbono pessoal

2.4.3 Proposta de ferramenta para o cálculo das emissões de GEE de alunos da UFPel

3 Conclusão

Referências

4. ARTIGO 2: ESTIMATIVA DA PEGADA DE CARBONO PESSOAL DE ESTUDANTES DE UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA DO SUL DO BRASIL

4.1 Introdução

4.2 Metodologia

4.2.1 Coleta e Análise de Dados da pegada de carbono dos estudantes

4.2.2 Levantamento das Práticas Sustentáveis em Universidades do mundo

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Estimativa da Pegada de Carbono

4.3.1.1 Dados gerais dos participantes da pesquisa

4.3.1.2 Pegada pessoal de carbono dos acadêmicos

4.3.1.3 Fontes de emissão de GEE

4.3.1.4 Pegada de carbono (PC) x pegada ecológica (PE) x biocapacidade

4.3.2 Práticas Sustentáveis em Universidades do mundo

4.6 Conclusão

Referências

5. CONCLUSÃO GERAL DA PESQUISA

Referências

APÊNDICE A – Artigos Analisados

APÊNDICE B – Questionário

APÊNDICE C – Termo de Responsabilidade Legal em Caso de Plágio

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global possui como característica o aumento da temperatura na superfície do planeta Terra e um dos principais agentes causadores são os gases do efeito estufa (GEE), como o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o mais importante dióxido de carbono (CO_2), ambos os gases são emitidos em decorrência de ações humanas como o desmatamento, atividades agrícolas e a queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2021).

Assim, o governo brasileiro se comprometeu com a meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) pela metade até 2030, em comparação com os níveis de 2005, bem como de atingir neutralidade das emissões até 2050 (ICCT 2023). Para isso, um passo importante é o conhecimento das fontes que mais emitem GEE, para estipular ações prioritárias e assertivas de redução desses gases.

Nesse contexto, as Universidades são uma fonte importante de estudo, pois além de emitirem importante quantitativo desses gases, podem ser uma fonte de disseminação de cultura de sustentabilidade na comunidade acadêmica, que posteriormente vai ingressar no mercado de trabalho.

Diante dessa realidade, é possível encontrar vários estudos que calcularam a pegada de carbono pessoal (quantidade emitida de gases do efeito estufa) das universidades, porém, poucos se concentraram em compreender o comportamento e as atividades dos indivíduos. Estatísticas mostram que os alunos são os principais contribuintes para as emissões de carbono no ensino superior (Hans, Hikmawati, Surendro, 2023).

Dessa forma, existem poucos trabalhos que estimaram a pegada de carbono pessoal em alunos de Universidades, como os descritos a seguir.

Hans, Hikmawati, Surendro, (2023) desenvolveram um modelo de análise preditiva em que o cálculo das emissões de carbono utilizou uma fórmula que incorporou várias fontes de emissão, incluindo tipo de transporte e distância percorrida, eletricidade utilizada, emissões provenientes do consumo de papel e do uso da sala de aula.

Sippel, Meyer, Scholliers, (2018) investigaram quatro categorias de consumo: habitação (incluindo aquecimento e eletricidade), mobilidade (incluindo uso de carro particular, transporte público e aviação), alimentação e outros consumos. Para isso,

usaram a 'CO2-Rechner', uma ferramenta *online* desenvolvida pela Klima-aktive, da Alemanha, e um questionário anônimo em papel.

Bekaroo et al., (2019) elaboraram um questionário que continha as seções: conscientização sobre o termo pegada de carbono pessoal (conhecimento dos participantes sobre o termo pegada de carbono pessoal e as ferramentas de cálculo existentes); motivações e barreiras para a redução das emissões de carbono (disposição para adotar ações ecologicamente corretas, preocupações com os efeitos das mudanças climáticas e a busca pelo engajamento da comunidade); iniciativas de redução de emissões de carbono (práticas adotadas para reduzir as emissões de carbono em suas atividades diárias, como: reduzir o consumo de alimentos altamente processados, usar a água de forma eficiente, evitar comer carne, comer alimentos orgânicos, reciclar a maioria dos resíduos, desligar as luzes quando não estiverem em uso, substituir fontes de energia por renováveis, reduzir veículos de transporte pessoal para viagens curtas, usar o transporte público em vez do privado sempre que possível, usar serviços eletrônicos em vez de sistemas baseados em papel); detalhes sobre as atividades pessoais dos participantes (consumo de energia doméstica, viagens, dieta e estilo de vida); Detalhes demográficos dos participantes (gênero, faixa etária, faixa de renda e cargo)

Lia, Tan, Rackes (2015), elaboraram um questionário dividido em três categorias: atividades diárias (jantar, chuveiro, cargas de plug), acadêmicas (dormitório, computador, digitalização e sala de aula, biblioteca e escritório pessoal) e de transporte (deslocamento, viagem para cidade natal, viagem de carro e viagem de avião). E, por último, Utarasakul, (2015), que mediu a pegada de carbono pessoal com base na calculadora da Organização de Gestão de Gases de Efeito Estufa da Tailândia, que considera transporte, consumo de alimentos e consumo de energia pelo uso de aparelhos elétricos.

Assim, é possível perceber que existe uma lacuna a ser preenchida no que tange a conhecer as emissões de gases do efeito estufa das pessoas que frequentam as instituições de ensino, as quais devem ser foco de disseminação da cultura de redução de emissões desses gases.

Para preencher essa lacuna, esse trabalho pretende ser realizado em dois momentos. Primeiro, será realizado o mapeamento da produção científica mundial sobre a pegada de carbono pessoal relativa às emissões de gases do efeito estufa

(GEE) em universidades, identificando tendências, lacunas e padrões dominantes e identificada uma ferramenta que possibilite o levantamento da pegada de carbono pessoal de alunos da Universidade Federal de Pelotas-RS (UFPel) (TCC1). Em um segundo momento, pretende-se compreender as etapas de aplicação da ferramenta, realizar um levantamento de informações que permitam o cálculo da pegada de carbono pessoal e calcular a pegada de carbono pessoal dos alunos de Engenharia de Produção da UFPel. Por fim, pretende-se sugerir oportunidades de melhoria a fim de criar uma cultura de minimização das emissões de GEE (TCC2).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Calcular a pegada de carbono pessoal dos estudantes do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas - RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

Mapear a produção científica mundial sobre a pegada de carbono pessoal relativa às emissões de gases do efeito estufa (GEE) em universidades.

Identificar as principais ferramentas utilizadas para calcular a pegada de carbono pessoal e aquela que melhor se aplica para o cálculo das emissões de GEE de alunos da UFPel.

Coletar dados que permitam calcular a pegada de carbono pessoal de alunos da Engenharia de Produção da UFPel.

Sugerir melhorias no sentido de colaborar com uma cultura de minimização das emissões de GEE na Universidade.

1.2 Justificativa

A crescente preocupação com o desempenho ambiental e a sustentabilidade de empresas e organizações também envolve as instituições de ensino. Se as universidades pretendem se tornar líderes em aspectos de sustentabilidade, devem adotar estratégias que envolvam todo o sistema universitário, incluindo o setor administrativo, o uso de energia, de recursos naturais, de resíduos e as emissões de gases do efeito estufa (GEE) atrelados às suas atividades (Sanz et al., 2016).

Para países em desenvolvimento, há poucos estudos revisados por pares que analisam as emissões de gases de efeito estufa geradas por universidades. A escassez é mais evidente nas universidades latino-americanas (Vásquez et al., 2015), onde a literatura científica possui não só poucos levantamentos sistemáticos, como também carência em metodologias padronizadas que garantem o monitoramento e a comparação das emissões no contexto das universidades. De acordo com Amaral et al. (2020), grande parte das universidades da América Latina ainda não possuem dados atualizados de emissões de gás carbônico e programas de mitigação das emissões.

Embora vários estudos tenham examinado as pegadas de carbono dentro das universidades, poucos se concentraram em compreender o comportamento e as atividades dos indivíduos. Estatísticas mostram que os alunos são os principais contribuintes para as emissões de carbono no ensino superior (Hans; Hikmawati; Surendro, 2023).

Além disso, apesar de estudos mostrarem que existe correlação entre baixa renda (e consequentemente baixa despesa) e baixas emissões de carbono, isso não é válido para atividades realizadas pelos estudantes (Sippel; Meyer; Scholliers, 2018).

Nesse contexto, entender qual é a pegada de carbono pessoal (PCP) atrelada às atividades universitárias torna-se essencial para promover o planejamento de políticas públicas para atenuar as emissões de gases do efeito estufa (GEE). Assim, instituições que utilizam programas sustentáveis respaldados em dados confiáveis costumam diminuir seu impacto ambiental, aumentando dessa forma a própria cultura de sustentabilidade (Filho et al., 2019).

Assim, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de contribuir com a lacuna que existe na literatura e na prática institucional, por meio do estudo da

pegada de carbono pessoal dos estudantes da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), especificamente do curso de Engenharia de Produção. Desse modo, a pesquisa contribuirá com dados importantes para melhorar a gestão ambiental universitária e servirá de base para futuras políticas de sustentabilidades, alinhadas com as diretrizes da Lei 15.042/2024, que assegura o monitoramento das emissões de GEE no setor público.

1.3 Delimitações da pesquisa

O presente trabalho delimita-se somente à análise das emissões de GEE emitidos pelos alunos do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) nas atividades diárias.

O estudo exclui as outras fontes de emissões, como o consumo de papel, resíduos sólidos, assim como o deslocamento de alunos de outros cursos.

Os dados coletados serão referentes as atividades executadas no mês de setembro de 2025 (seis meses) pelos acadêmicos.

Os dados serão obtidos através de formulário eletrônico e incluirão questionamentos sobre: refeição, banho, cargas em residências, viagens de férias, uso do computador (estudo), deslocamento diário e impressão.

2 ARTIGO 1: IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA ESTIMAR A PEGADA DE CARBONO PESSOAL

O presente artigo encontra-se publicado na revista *Delos*, conforme a referência: Bemvenuti, R. H., Silva, L. Z. da, Santos, T. M. dos, & Rodriguez, A. M. (2025). Metodologias para estimativa da pegada de carbono pessoal. REVISTA DELOS, 18(73), e6872. <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n73-004>

2.1 Introdução

A crescente preocupação com os impactos ambientais das atividades humanas tem impulsionado a adoção de práticas sustentáveis em diversos setores da sociedade, incluindo o ensino superior. Nesse contexto, instituições acadêmicas vêm sendo desafiadas a mensurar e reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo ativamente para as metas globais de descarbonização. A demanda por avaliações ambientais mais precisas no ambiente universitário tem estimulado a produção científica voltada à quantificação da pegada de carbono pessoal dos estudantes, utilizando abordagens e métricas variadas. Estudos recentes apontam que universidades estão progressivamente adotando métodos padronizados para mensurar suas emissões, enquanto revisões sistemáticas demonstram que a maioria dessas investigações foi publicada entre 2018 e 2022 (Canencio et al., 2024; Lamprecht et al., 2021).

A análise dessa produção revela tanto as abordagens metodológicas mais recorrentes quanto lacunas significativas no que diz respeito à padronização das medições. Diversos métodos e ferramentas têm sido utilizados com diferentes níveis de abrangência e aplicabilidade, o que reforça a importância de selecionar instrumentos metodológicos compatíveis com contextos institucionais específicos. Nessa perspectiva, conhecer e comparar metodologias voltadas ao cálculo das emissões de GEE — especialmente no que se refere ao transporte discente — constitui etapa essencial para subsidiar políticas institucionais mais eficazes (Valls-Val; Bovea, 2022).

Nos últimos anos, diversos estudos têm se debruçado sobre a mensuração da pegada de carbono pessoal de estudantes universitários. Ridhosari e Rahman

(2020), por exemplo, calcularam as emissões dos alunos da Universidade de Pertamina, na Indonésia, enquanto Hans et al. (2023) propuseram um modelo preditivo considerando transporte, energia elétrica, papel e uso de salas. Já Sippel et al. (2018) utilizaram a ferramenta CO₂-Rechner e questionários para analisar o consumo em habitação, mobilidade, alimentação e bens. Apesar desses avanços, ainda são escassas as investigações que focam no comportamento individual dos discentes — principal fonte de emissão em muitos contextos — ou que sistematizam metodologias adaptadas à realidade das instituições latino-americanas (Hans; Hikmawati; Surendro, 2023).

Diante do exposto, o presente estudo objetiva sistematizar o conhecimento relacionado a pegada de carbono pessoal dos indivíduos nas instituições de ensino superior, com foco nos estudantes causadores das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Para tanto, realiza um mapeamento internacional da literatura científica com intuito de identificar as principais abordagens, tendências e lacunas predominantes sobre o tema. Ademais, o trabalho compara ferramentas e metodologias que estão sendo usadas para calcular a pegada de carbono pessoal, com a finalidade aplicar no Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, considerando as atividades dos alunos do curso de Engenharia de Produção.

2.2 Revisão da Literatura

2.2.1 Aquecimento global e emissões de gases de efeito estufa (GEE)

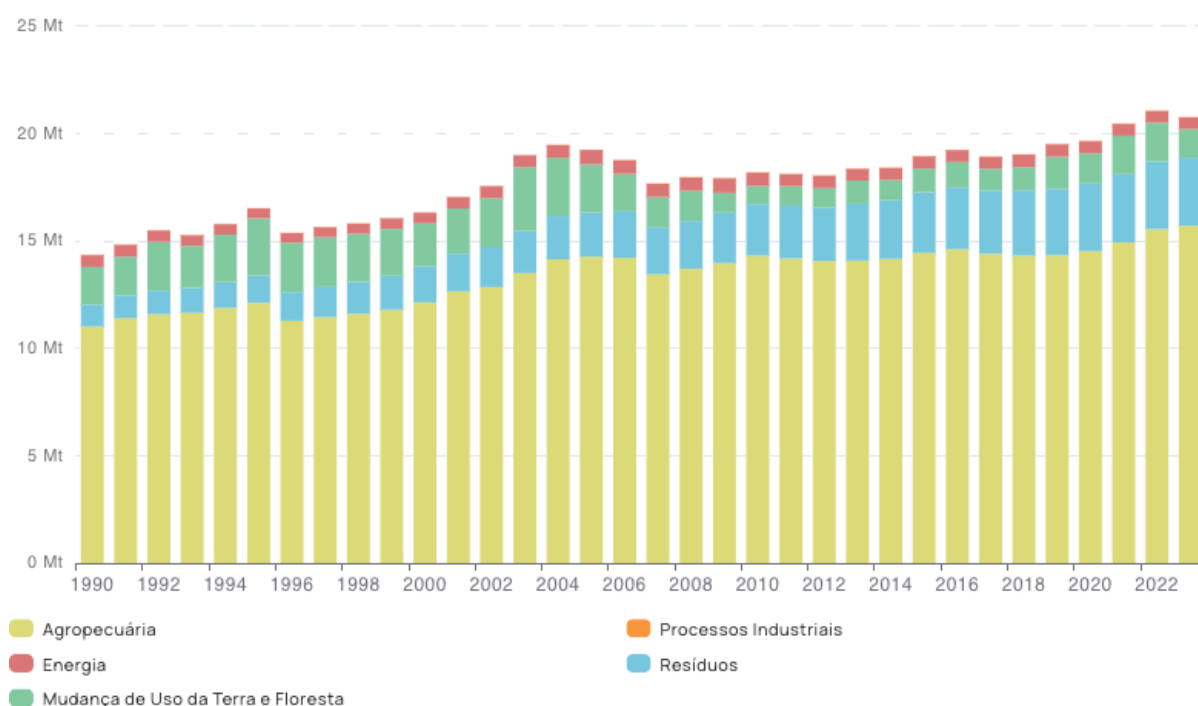
Segundo Nunes (2023), o aquecimento global é causado principalmente pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE) e representa uma crise ambiental global cujas fontes e distribuição exigem análise detalhada. A compreensão desses padrões de emissão torna-se ainda mais relevante ao se observar o cenário brasileiro, onde diferentes setores produtivos apresentam impactos desiguais sobre o clima.

No Brasil, os dados do SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa) para o ano de 2023 indicam que o setor agropecuário lidera o ranking nacional de emissões, intensificando sua participação

ao longo dos últimos anos e atingindo 15 MtCO₂e, o que o posiciona como o principal vetor de impacto climático no país (Figura 1).

Essa posição de destaque reflete, sobretudo, a predominância de práticas agrícolas intensivas e da pecuária extensiva, que têm elevado significativamente as emissões associadas à liberação de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), principalmente por meio do uso de fertilizantes nitrogenados e do manejo de dejetos animais. Tais atividades contribuem diretamente para a elevação de fluxos de N₂O e CH₄, sobretudo em sistemas de pecuária de corte e leiteira (BRATTI et al., 2022).

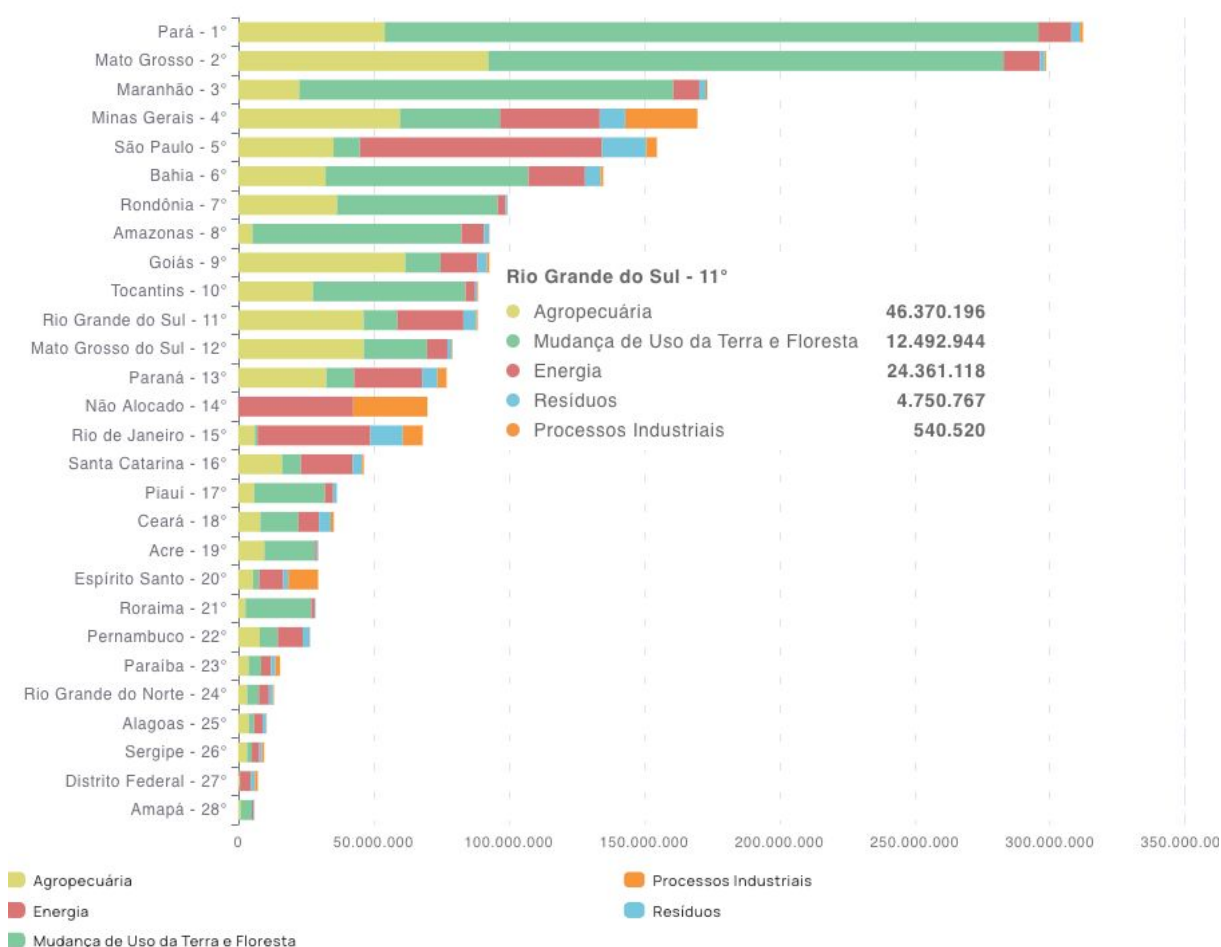
Figura 1 - Emissões totais de GEE no Brasil



A gravidade do problema ganha contornos ainda mais evidentes quando se considera a distribuição espacial dessas emissões. Como mostra a Figura 2, os estados do Pará, Mato Grosso e Maranhão concentram as maiores taxas de emissão, fato que se relaciona diretamente com o avanço da fronteira agrícola e com a pressão crescente por produtividade no setor do agronegócio. O Rio Grande do Sul, por outro lado, aparece em 11º lugar no ranking nacional, indicando um impacto relativo menor, especialmente no que se refere ao desmatamento e ao uso

do solo. Estudos como o de Sohngen et al. (2010) projetam que, somente no estado de Mato Grosso, entre 2006 e 2050, as emissões de GEE oriundas do desmatamento e da agricultura poderão representar entre 71% e 78% do total, com destaque para as contribuições de CH_4 e N_2O . De forma complementar, pesquisas mais recentes (Nwaogu et al., 2024) têm demonstrado como a conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas compromete drasticamente os estoques de carbono orgânico do solo, reduzindo sua capacidade de sequestro de CO_2 , especialmente nas áreas de cerrado no centro-oeste brasileiro.

Essa configuração territorial evidencia profundas desigualdades regionais nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), refletindo diferenças estruturais nos usos do solo e nas estratégias produtivas. Estudos indicam que as regiões Norte e Centro-Oeste, especialmente Pará, Maranhão e Mato Grosso, concentram emissões mais elevadas em razão da expansão da fronteira agrícola, do desmatamento e da limitada capacidade de monitoramento ambiental (Cerri et al., 2010). Por outro lado, estados do Sul, como o Rio Grande do Sul, apresentam menor contribuição por mudança no uso do solo, mas enfrentam desafios específicos ligados ao manejo agropecuário e à adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis, capazes de reduzir emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

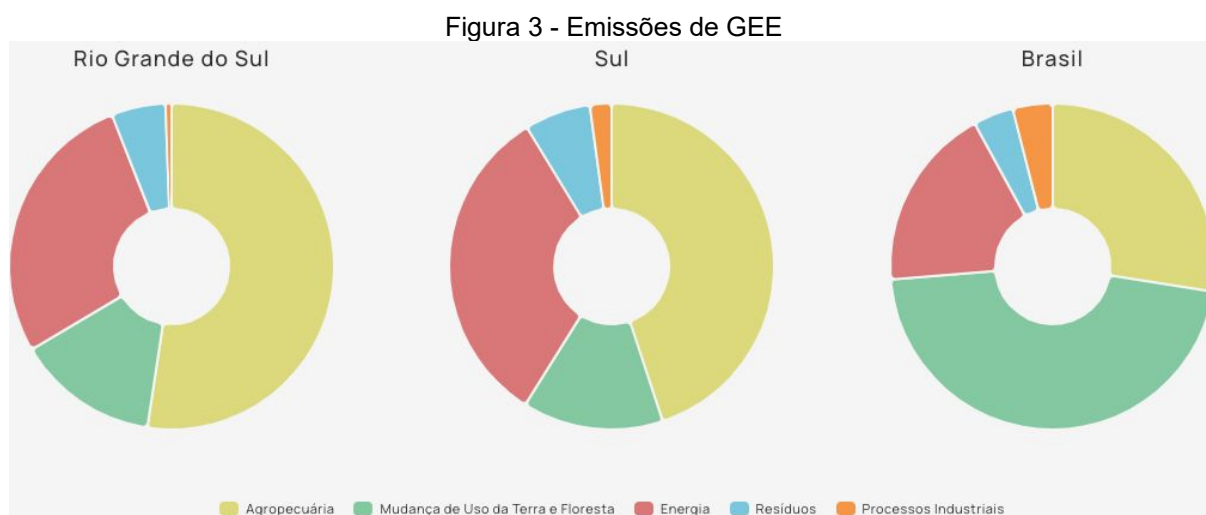
Figura 2 - Emissões totais de GEE por estado (tCO₂e) (1990-2023)

Fonte: SEEG, 2023

Os dados estaduais apresentados na Figura 2 também confirmam a hegemonia do setor agropecuário nas emissões locais, responsável por cerca de 46 MtCO₂e, seguido pelo setor energético com aproximadamente 24 MtCO₂e. Essa divisão setorial reforça a importância da articulação entre políticas de transição energética e mudanças estruturais na matriz produtiva do campo. De acordo com dados nacionais recentes, em 2022, o setor agropecuário contribuiu com aproximadamente 36% das emissões totais de GEE do país, enquanto o setor energético representou cerca de 25% (Climate Analytics, 2025). A partir disso, torna-se evidente que qualquer estratégia eficaz de mitigação climática deve atuar simultaneamente sobre as cadeias produtivas rurais e sobre o sistema energético

nacional, sempre considerando as especificidades estaduais e as metas estabelecidas nos acordos climáticos internacionais.

Complementando essa análise, a Figura 3 apresenta a comparação das emissões de GEE no Rio Grande do Sul, na região Sul e no Brasil como um todo.



Fonte: SEEG, 2023

Esses dados na Figura 3 reforçam a importância de mensurar e compreender as fontes de emissão a partir de diferentes escalas – nacional, estadual e setorial – como etapa indispensável para o desenho de estratégias eficazes de mitigação. No contexto de instituições de ensino, revisões sistemáticas sobre pegada de carbono pessoal em universidades destacam que diferentes escalas (escopos 1, 2 e 3), limites organizacionais e setores (energia, mobilidade, infraestrutura) apresentam impactos diversos, ressaltando a necessidade de distinções metodológicas e políticas adaptadas (Helmerts et al., 2021)

Estudos de caso demonstram que universidades conseguem quantificar sua pegada total (CO₂e) e avaliar separadamente consumo de energia, mobilidade e resíduos, permitindo comparações intra e interinstitucionais e tornando os dados úteis para diagnósticos e políticas de mitigação (Kiehle et al., 2023; Universidade de Oulu, 2023). A partir dessa perspectiva, torna-se essencial discutir o conceito de pegada de carbono pessoal, enquanto instrumento capaz de traduzir impactos ambientais em métricas compreensíveis e comparáveis, especialmente no contexto universitário.

2.2.2 Pegada de carbono pessoal: conceito e medida em alunos de instituições de ensino

A análise da pegada de carbono pessoal de estudantes universitários, particularmente relacionada aos hábitos de transporte e padrões de consumo, tem emergido como um indicador relevante para compreender os impactos ambientais no contexto acadêmico. Ao considerar que o deslocamento diário e as escolhas de consumo representam frações significativas das emissões indiretas de gases de efeito estufa em campi universitários, torna-se possível identificar fontes prioritárias de mitigação e propor políticas direcionadas. Estudos recentes apontam que variáveis como o tipo de modal de transporte utilizado, a distância percorrida até a instituição e o consumo de produtos e serviços dentro e fora do campus influenciam diretamente a pegada pessoal dos estudantes (Li et al., 2015; Kiehle et al., 2023). Nesse sentido, a mensuração desse indicador não apenas amplia a compreensão do impacto climático das atividades estudantis, mas também fornece subsídios para estratégias institucionais voltadas à redução das emissões em ambientes acadêmicos.

Diante da crescente necessidade de quantificar essas emissões com maior precisão, diferentes ferramentas têm sido desenvolvidas para instituições de ensino superior. Entre elas, destaca-se o CO2UNV, proposto por Valls-Val e Bovea (2022), que permite calcular emissões diretas e indiretas por escopo, considerando, por exemplo, deslocamentos estudantis e consumo de energia. De forma complementar, o estudo conduzido na Universidade de Oulu adotou um modelo híbrido baseado em EEIO (Environmentally Extended Input-Output Analysis), uma abordagem que utiliza matrizes de insumo-produto ambientalmente expandidas, combinado ao método A3 (Activity, Allocation and Aggregation), que detalha atividades, aloca emissões e as agrega em categorias finais para estimar emissões per capita de forma mais precisa (Kiehle et al., 2023). A integração dessas duas metodologias amplia a capacidade de rastrear impactos diretos e indiretos associados às atividades universitárias, fornecendo uma visão mais robusta do perfil de emissões institucionais.

Apesar dessas contribuições, nem todas as ferramentas apresentam a mesma capacidade de captar a complexidade dos fatores envolvidos. Enquanto Valls-Val e Bovea (2022) enfatizam a aplicabilidade de uma ferramenta padronizada e flexível para diferentes instituições de ensino superior, permitindo comparabilidade

básica entre campi, o estudo realizado na Universidade de Oulu evidencia os desafios técnicos de capturar todas as fontes de emissão, principalmente as indiretas. A pesquisa de Oulu, embora mais abrangente por utilizar o modelo híbrido EEIO + A3, ainda enfrenta limitações relacionadas à mensuração de variáveis comportamentais dos estudantes, como hábitos individuais de transporte, consumo alimentar e uso de recursos energéticos dentro e fora do campus. A ausência ou simplificação dessas variáveis pode introduzir vieses significativos na estimativa da pegada de carbono pessoal, dificultando análises comparativas entre instituições com perfis socioeconômicos e culturais distintos (Kiehle et al., 2023). Assim, mesmo com avanços metodológicos, persiste a necessidade de ferramentas mais refinadas que conciliam rigor técnico e sensibilidade às especificidades do comportamento estudantil.

Considerando essas lacunas metodológicas, a literatura recente tem apontado que o desafio de mensurar emissões individuais vai além da dimensão técnica, envolvendo também a governança institucional e a capacidade das universidades de se posicionarem como agentes de mudança socioambiental. Dessa forma, integrar métricas precisas de pegada de carbono pessoal a políticas institucionais torna-se essencial para transformar diagnósticos quantitativos em estratégias efetivas de mitigação e educação para a sustentabilidade.

2.2.3 Universidades como agentes de impacto e transformação socioambiental

As universidades, além de quantificar suas emissões, exercem papel estratégico na promoção da sustentabilidade e na mitigação da pegada de carbono pessoal, tanto por sua atuação institucional quanto pelo caráter formativo de suas práticas acadêmicas. Valls-Val e Bovea (2022) defendem que ferramentas como o CO2UNV podem apoiar processos decisórios, orientando intervenções específicas para redução de emissões em diferentes setores do campus. No entanto, estudos como o de Stephens et al. (2010) evidenciam um descompasso recorrente entre o discurso institucional, que muitas vezes enfatiza liderança climática, e a efetiva implementação de políticas internas coerentes com a pesquisa produzida. Essa tensão revela uma oportunidade para maior integração entre métricas de

mensuração, governança universitária e estratégias educacionais que convertam compromissos declarados em ações concretas.

Avançando nessa discussão, pesquisas recentes apontam que algumas universidades vêm superando essa lacuna por meio da adoção de planos de ação climática, como os projetos de campus neutros em carbono na Europa e América do Norte. Esses planos integram infraestrutura sustentável, pesquisa aplicada e engajamento comunitário, demonstrando que abordagens sistêmicas podem alinhar gestão operacional e capacidades institucionais para redução efetiva das emissões (Leal Filho et al., 2020). Complementarmente, a literatura apresenta casos em que os campi são convertidos em verdadeiros “laboratórios vivos” para inovação socioambiental. Evans et al. (2015) destacam a experiência da Universidade de Manchester, cujo University Living Lab conecta pesquisa interdisciplinar, políticas institucionais e participação estudantil em soluções práticas de sustentabilidade. De modo semelhante, Berchin et al. (2020) documentam iniciativas brasileiras que transformam universidades em espaços de experimentação para projetos de energia renovável, mobilidade sustentável e infraestrutura verde, reforçando a função pedagógica e social dessas instituições. Hadfield et al. (2025), em um levantamento global de 18 iniciativas, apontam que a integração entre energia, mobilidade e educação ambiental fortalece a capacidade das universidades de atuar como agentes transformadores, extrapolando a esfera acadêmica e impactando comunidades locais.

Essa visão integrada reforça que o papel das universidades não se limita à produção de conhecimento técnico ou científico, mas envolve a capacidade de operacionalizar práticas sustentáveis no próprio campus, criando ambientes de aprendizagem aplicados e colaborativos Evans et al. (2015). A partir dessa perspectiva institucional, a análise do comportamento dos estudantes, especialmente no que se refere a hábitos de consumo, padrões alimentares e transporte, emerge como etapa essencial para compreender e reduzir a pegada de carbono pessoal em contextos acadêmicos, tema abordado no tópico seguinte.

2.2.4 Pegada de carbono pessoal dos estudantes

O comportamento dos estudantes universitários – abrangendo transporte, consumo energético e hábitos alimentares – exerce influência direta e significativa sobre a pegada de carbono pessoal. Ozawa-Meida et al. (2025) identificaram que os deslocamentos representam até 60% da pegada acadêmica em instituições analisadas, com destaque para a predominância do uso de veículos privados como principal fonte de emissões, mesmo em contextos com ampla oferta de transporte público (Larsen et al., 2021). Essa evidência sugere que as escolhas de mobilidade são determinantes para as emissões diárias, mas não esgotam o conjunto de fatores que compõem o impacto climático dos estudantes.

Pesquisas recentes indicam que o consumo energético em dormitórios universitários, especialmente associado ao uso de condicionadores de ar, laptops e outros dispositivos eletrônicos, contribui de forma expressiva para a pegada per capita (Zhang et al., 2024; Miura et al., 2021). Paralelamente, os hábitos alimentares configuram outra dimensão relevante: estudantes com maior percepção ambiental tendem a reduzir o consumo de carne vermelha, o que se reflete em menores emissões de CO₂e (Slotnick et al., 2022).

Apesar desses avanços, a literatura ainda carece de modelos integradores que articulem mobilidade, energia e alimentação em um único sistema de avaliação, limitando a compreensão holística da pegada de carbono pessoal em ambientes acadêmicos. Barreiras psicológicas, como a percepção de inutilidade das mudanças individuais ou a influência de normas sociais, também dificultam a tradução de atitudes pró-ambientais em ações concretas (Vieira et al., 2023). Diante desse panorama, torna-se evidente a necessidade de políticas institucionais que combinem educação ambiental, infraestrutura sustentável e estratégias de incentivo à mudança comportamental, além do desenvolvimento de ferramentas capazes de capturar simultaneamente os múltiplos fatores de emissão que compõem a pegada de carbono pessoal estudantil.

2.3 Metodologia

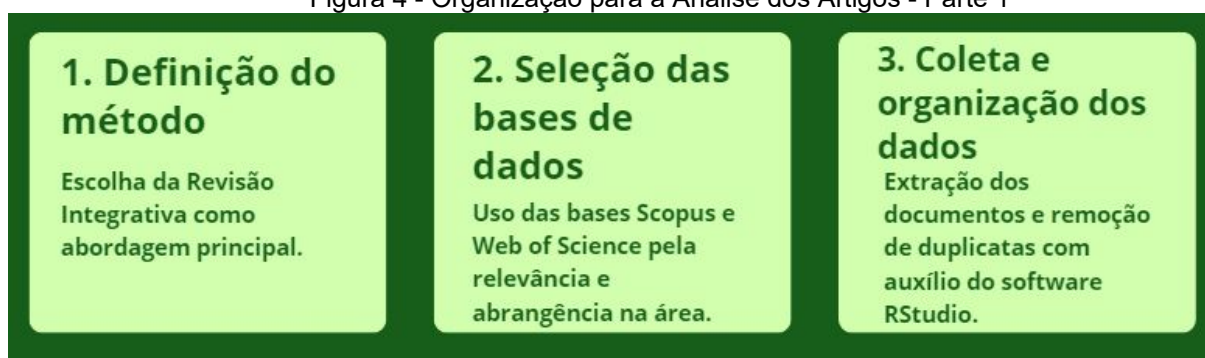
Este estudo adotou o delineamento de revisão integrativa da literatura, metodologia que permitiu a síntese de diferentes tipos de evidências científicas, proporcionando uma compreensão abrangente e contextualizada dos métodos

empregados na quantificação da pegada de carbono pessoal por estudantes universitários (Paredes-Canencio et al., 2024). Essa abordagem foi escolhida por possibilitar a inclusão simultânea de estudos empíricos e teóricos, ampliando as perspectivas sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no âmbito do ensino superior (Valls-Val; Bovea, 2024). Foram considerados artigos que abordaram tanto o levantamento de dados primários quanto secundários do consumo de energia e de outras fontes comuns de emissão em campus universitários (Idundun et al., 2021).

O processo metodológico seguiu uma sequência estruturada de etapas, que incluíram desde a formulação da pergunta norteadora até a extração e análise dos estudos selecionados.

A Figura 4 apresentou um fluxograma com as fases iniciais da pesquisa, que abrangeram as buscas sistematizadas nas bases de dados e o processo de extração dos documentos relevantes, com apoio do software RStudio®.

Figura 4 - Organização para a Análise dos Artigos - Parte 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

As buscas foram conduzidas nas bases de dados Web of Science e Scopus, reconhecidas internacionalmente por sua credibilidade, abrangência e ampla aceitação em estudos de revisão integrativa. A escolha por essas plataformas se justificou por seus recursos avançados de busca, filtragem e exportação de documentos, os quais contribuíram significativamente para a precisão na seleção de estudos relevantes (Chadegani et al., 2013). As strings de busca utilizadas foram “carbon footprint” e “university”, formuladas a partir da pergunta orientadora: “Quais métodos são utilizados para estimar a pegada de carbono pessoal dos estudantes universitários?” A aplicação desses termos resultou na identificação de 167 artigos nas duas bases mencionadas.

Na etapa subsequente, os registros obtidos foram organizados e processados por meio do software RStudio®, ferramenta que removeu duplicatas, resultando em um total de 107 artigos únicos. A utilização do RStudio® proporcionou maior agilidade e eficiência no tratamento dos dados, conforme Aria e Curruculo (2017).

Com os documentos organizados, foi realizada uma triagem com base nos títulos e resumos, visando verificar sua aderência ao escopo da pesquisa. Para isso, definiram-se três critérios de inclusão, que exigiram resposta afirmativa às seguintes perguntas:

(1) O título abordou a pegada de carbono pessoal relacionada ao público universitário?

(2) O resumo fez referência a ferramentas ou metodologias utilizadas para estimar a pegada de carbono pessoal em universidades?

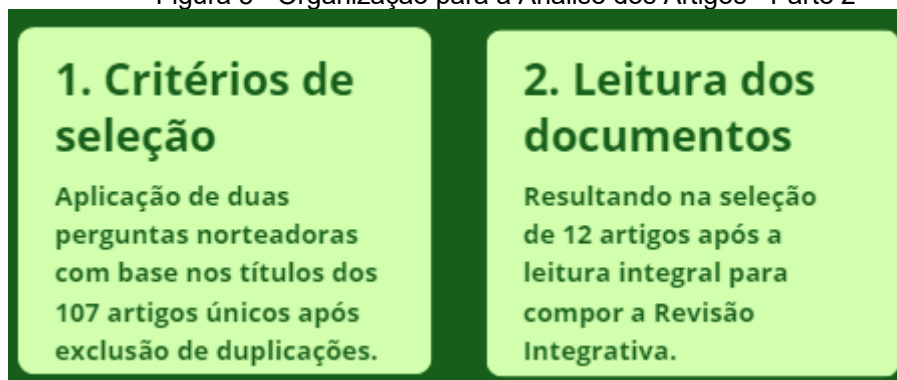
Os estudos que atenderam a esses critérios (1 e 2) foram submetidos à leitura integral. Nessa fase, aprofundou-se a análise por meio de um conjunto de questões norteadoras, com o objetivo de extrair informações relevantes sobre as metodologias adotadas. As perguntas norteadoras da análise foram:

(a) Quais metodologias e instrumentos foram empregados na quantificação da pegada de carbono pessoal em instituições de ensino superior?

(b) De que maneira essas ferramentas demonstraram adequação para a medida da pegada de carbono pessoal dos estudantes?

A Figura 5 sintetizou o processo analítico adotado na etapa final da revisão, destacando a aplicação das perguntas norteadoras como critério de inclusão dos estudos na amostra final

Figura 5 - Organização para a Análise dos Artigos - Parte 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

2.4 Resultados e Discussão

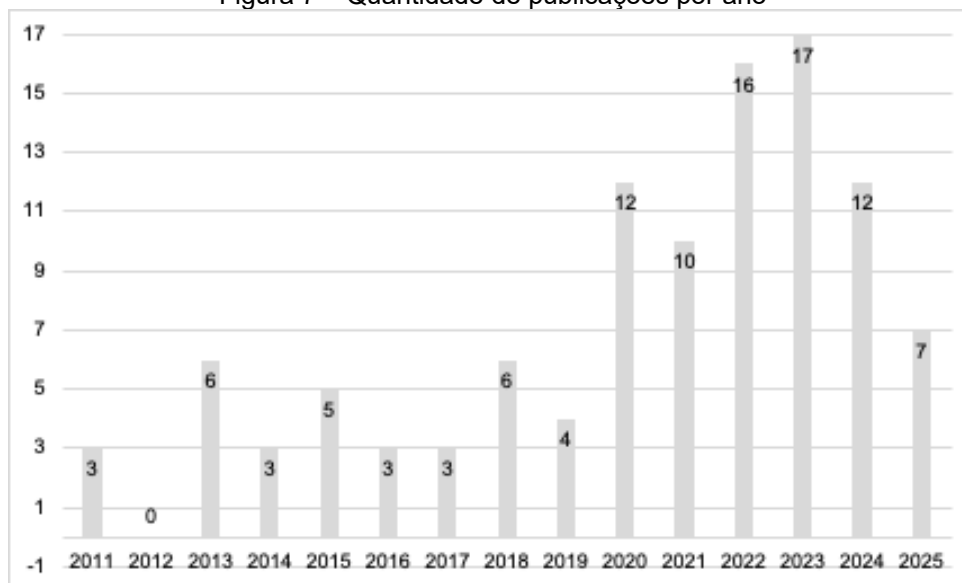
Esta seção apresenta os achados da revisão integrativa, a qual está dividida em duas etapas. A primeira (2.4.1), expõe os resultados da análise bibliométrica de 107 artigos obtidos nas bases *Web of Science* e *Scopus*, com auxílio do *software* RStudio. Na segunda (2.4.2), discute-se a análise dos 12 estudos selecionados para leitura completa, os quais abordam ferramentas de cálculo da pegada de carbono pessoal dos estudantes.

2.4.1 Mapeamento da produção científica mundial sobre a pegada de carbono pessoal relativa às emissões de gases do efeito estufa (GEE) em universidades

A análise bibliométrica é uma estratégia eficaz para compreender a evolução e as características da produção científica sobre a pegada de carbono pessoal no ambiente universitário (Ellili, 2023).

A Figura 6 apresenta uma nuvem de palavras que evidencia os termos mais recorrentes nos títulos, resumos e palavras-chave dos 107 artigos analisados.

Figura 7 – Quantidade de publicações por ano

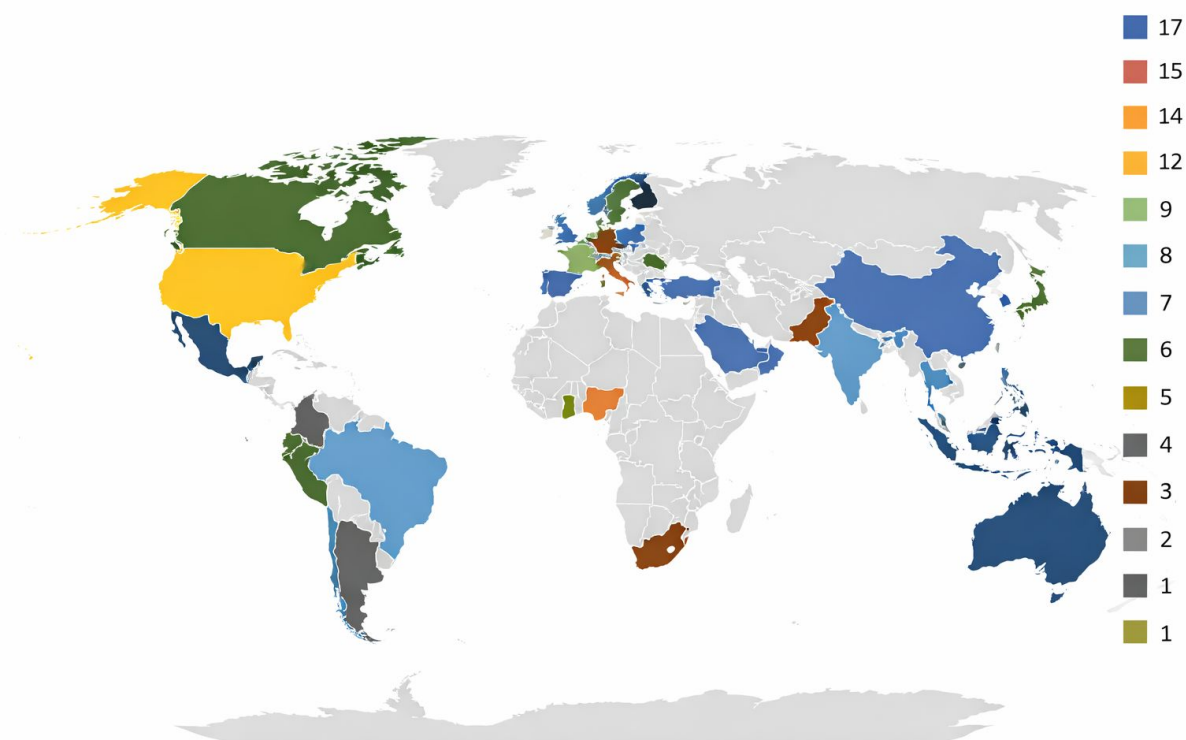


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

É importante salientar que, apesar de não ter sido utilizado recorte temporal, os primeiros artigos datam 2011, com apenas três publicações. A partir de 2020, nota-se uma aceleração na produção científica, alcançando o pico em 2023. Este movimento pode estar relacionado a fatores como os impactos da pandemia de COVID-19 sobre os padrões de mobilidade e emissões (Begum et al., 2021; Lamprecht et al., 2021), bem como à intensificação das políticas ambientais e compromissos firmados em conferências internacionais, como a COP26 (Falcone et al., 2025). Tais fatores parecem ter catalisado o interesse da comunidade científica por estratégias sustentáveis de retomada no setor educacional.

A Figura 8 revela a distribuição geográfica das publicações por país.

Figura 8 – Mapa global dos países com mais publicações



Fonte: Elaborado pelo autor (2025) com base no bibliometrix (2025)

China e Espanha lideram em número de publicações (17 cada), seguidos por Nigéria (15), Malásia e Estados Unidos (12 cada) e Brasil (9).

Esses números indicam o protagonismo de países asiáticos e europeus na produção sobre o tema, o que pode refletir a existência de políticas públicas ambientais mais consolidadas e programas de fomento à pesquisa interdisciplinar em sustentabilidade. A participação do Brasil, embora ainda modesta, demonstra inserção internacional crescente.

Conforme demonstrado por estudos bibliométricos, a China, o Reino Unido e a Espanha figuram entre os países com maior volume de publicações na área de pegada de carbono pessoal, o que é reflexo da combinação entre investimentos governamentais em inovação verde e a priorização acadêmica do tema nas agendas nacionais (Altay; Demirel; Ates, 2025). Esses resultados evidenciam que ambientes com estruturas institucionais e políticas de fomento científicas são mais propensos a gerar produção acadêmica substancial e de impacto.

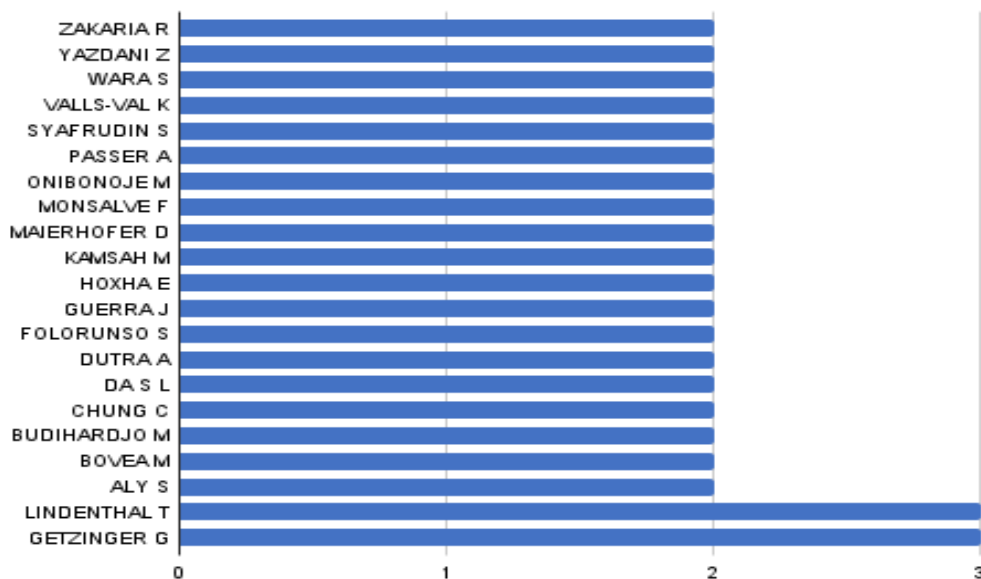
Na Malásia, iniciativas como o *Green Technology Master Plan* (GTMP) têm impulsionado investimentos em tecnologias de baixo carbono, especialmente no setor energético. Estudos como o de Manaf et al. (2019) demonstram que, no contexto do GTMP, foram avaliadas tecnologias de captura de CO₂ em termelétricas e energia renovável, revelando desafios e oportunidades na implementação de medidas de mitigação estatal. Essas políticas públicas oferecem um ambiente propício para o desenvolvimento de pesquisa aplicada e inovação tecnológica, o que provavelmente favorece a produção científica em sustentabilidade por universidades locais.

Na Nigéria, a *Climate Change Act* e o *Energy Transition Plan* têm gerado suporte institucional para pesquisas sobre emissões (Adeyemi; Ogundipe, 2022).

Universidades espanholas têm demonstrado avanços significativos na governança da sustentabilidade por meio da institucionalização de estruturas específicas, como a criação de vice-reitorias ou gabinetes dedicados à temática ambiental, presentes em 82% das instituições analisadas (Torre et al., 2024). Em complemento, estudos no sistema universitário espanhol mostram que embora universidades representem quase 90% do total de publicações em ciência verde e sustentável, sua participação em projetos de P&D+i (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) ainda é modesta, o que pode indicar uma lacuna entre a política institucional e a visibilidade nos programas de pesquisa (De Filippo et al., 2019). Esses instrumentos indicam que ambientes institucionais fortemente respaldados por políticas públicas tendem a gerar maior produção científica no tema.

Em relação à produtividade pessoal, a Figura 9 apresenta a distribuição do número de publicações por autor.

Figura 9 – Autores que publicaram dois ou mais artigos



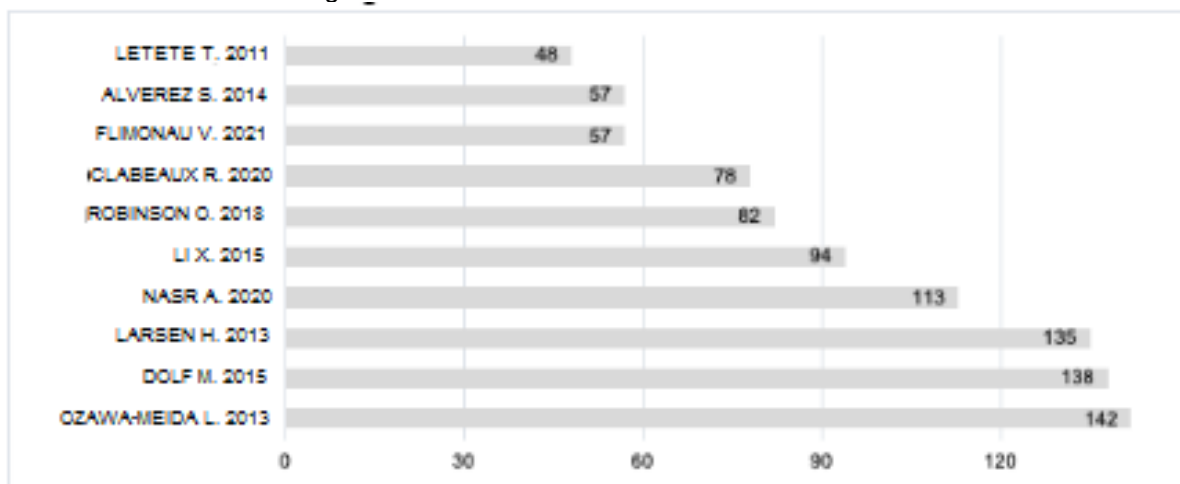
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Verifica-se que 432 autores contribuíram com apenas um artigo, enquanto 19 autores publicaram dois e apenas dois autores publicaram três estudos.

Esse perfil sugere que, embora a temática esteja em expansão, ainda são poucos os pesquisadores com trajetórias consolidadas na área, evidenciando uma oportunidade para aprofundamento e liderança científica.

A partir da Figura 10 é possível perceber que se destacam os autores Ozawa-Meida (2013) com 142 citações, Dolf (2015) com 138 e Larsen (2013) com 135. A alta citação desses autores sinaliza a relevância teórica e metodológica do seu trabalho no campo da pegada de carbono pessoal universitária, funcionando como referências estruturantes para estudos subsequentes.

Figura 10 – Dez autores mais citados sobre o tema



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

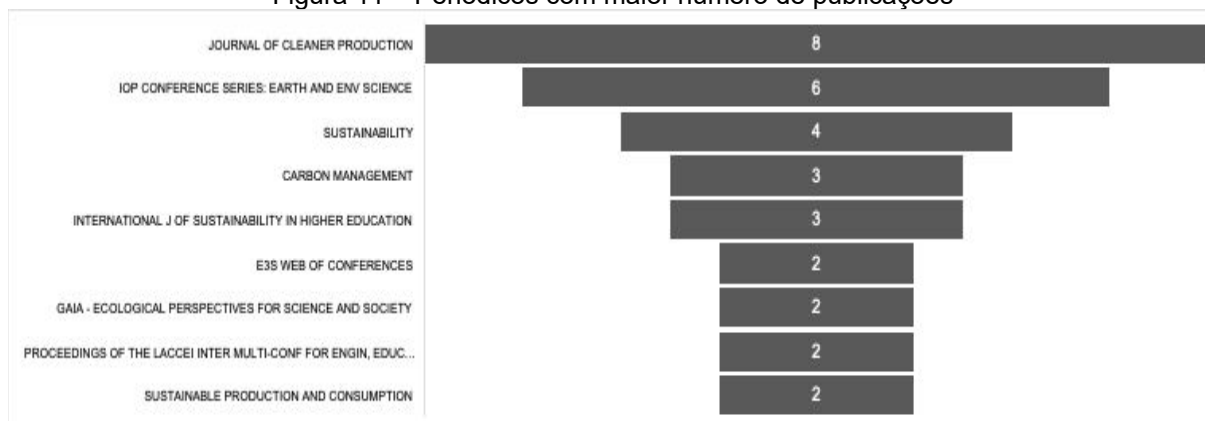
Ao observar simultaneamente as Figuras 9 e 10, observa-se que, os autores que mais publicam sobre o tema, não são os mais citados.

Um exemplo é o caso de Ozawa-Meida (2013), que, mesmo com apenas uma publicação, alcançou 142 citações, superando autores com produção quantitativamente superior, mas menos citadas.

Esse cenário indica que a qualidade, originalidade e aplicabilidade dos estudos têm maior peso na consolidação de referências científicas do que o volume de publicações. Além disso, sugere que determinados trabalhos pioneiros ou metodologicamente robustos podem se tornar altamente citados e servir como base para futuras investigações, mesmo que seus autores não mantenham uma trajetória contínua de publicações no tema.

Os periódicos com mais de uma publicação na temática são apresentados na Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Periódicos com maior número de publicações



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O *Journal of Cleaner Production* lidera, com 9,5% das publicações, seguido por *ICP Conferences Series* (7%) e *Sustainability* (5%).

Outros periódicos especializados, como *Carbon Management* e *International Journal of Sustainability in Higher Education*, também possuem representatividade, com 3,5% cada.

Cabe ressaltar que o *Gala - Ecological Perspectives For Science And Society*, possui fator de impacto em torno de 1,9, mas seu estrato CAPES em Engenharia III não foi localizado nas listas públicas disponíveis.

Da mesma forma, o *Proceedings of the Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions* (LACCEI) não aparece como periódico avaliado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) ou pelo *Journal Citation Reports* (JCR), tratando-se mais de uma coleção de anais de conferência. Para a revista *Sustainable Production and Consumption* (SPC), o valor do fator de impacto é de 9,6, entretanto, não foi localizado nas listas públicas disponíveis.

O Quadro 2 sintetiza os fatores de impacto e a classificação Qualis Capes (Engenharia III) desses periódicos.

Quadro 2 - Fatores de impacto e classificação Qualis dos periódicos

	Fator de Impacto	Qualis Capes (Eng III)
Journal of Cleaner Production	9,8	A1
ICP conferences series	0,71	B2
Sustainability	3,3	B1
Carbon Management	3,2	B2
International Journal of Sustainability in Higher Education	3,4	A2
E3s Web Of Conferences	0,78	B4
Gala - Ecological Perspectives For Science And Society	1,9	Não Encontrado
Sustainable Production And Consumption	9,6	Não Encontrado
Proceedings Of The Laccei Inter Multi-Conf For Engin, Education	Não Encontrado	Não Encontrado

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

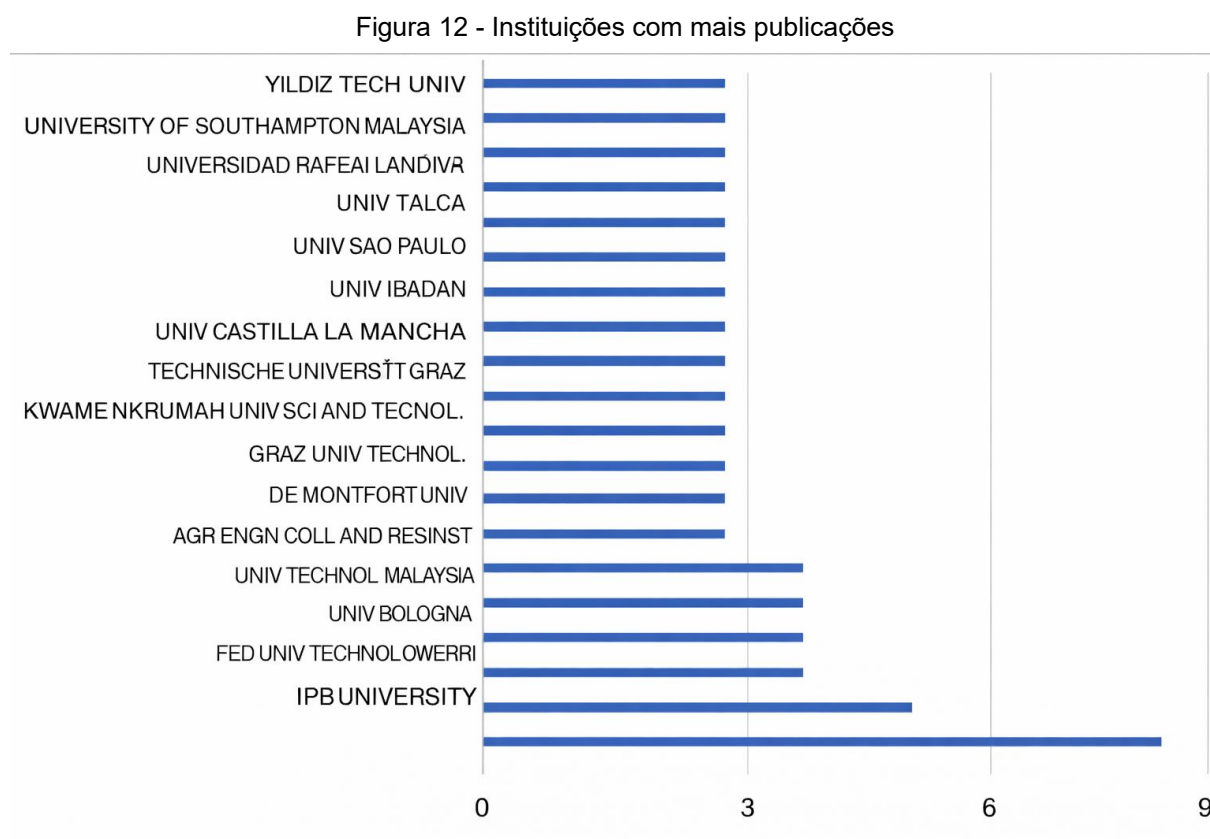
Esse panorama indica uma tendência da comunidade científica em priorizar periódicos especializados em sustentabilidade ambiental, reforçando o amadurecimento da área e sua crescente articulação com as agendas globais de governança climática.

Dados de análise bibliométrica indicam que a pesquisa sobre ESG (*Environmental, Social and Governance*) tem apresentado crescimento robusto e diversificação temática, com predomínio em periódicos de alto impacto em sustentabilidade, o que reflete a consolidação do campo acadêmico frente às demandas globais por transição ecológica (Bosi et al., 2022).

Ademais, o predomínio de publicações em periódicos de alto impacto tem contribuído decisivamente à ampliação da visibilidade das pesquisas sobre sustentabilidade e clima. Estudos bibliométricos recentes, como o realizado por

Zhao et al. (2023), demonstram que a literatura sobre ESG está concentrada em periódicos especializados, refletindo uma maior sedimentação acadêmica e um alinhamento crescente com agendas globais de governança climática e desenvolvimento sustentável.

Quanto às afiliações institucionais, a Figura 12 mostra as instituições com três ou mais publicações.

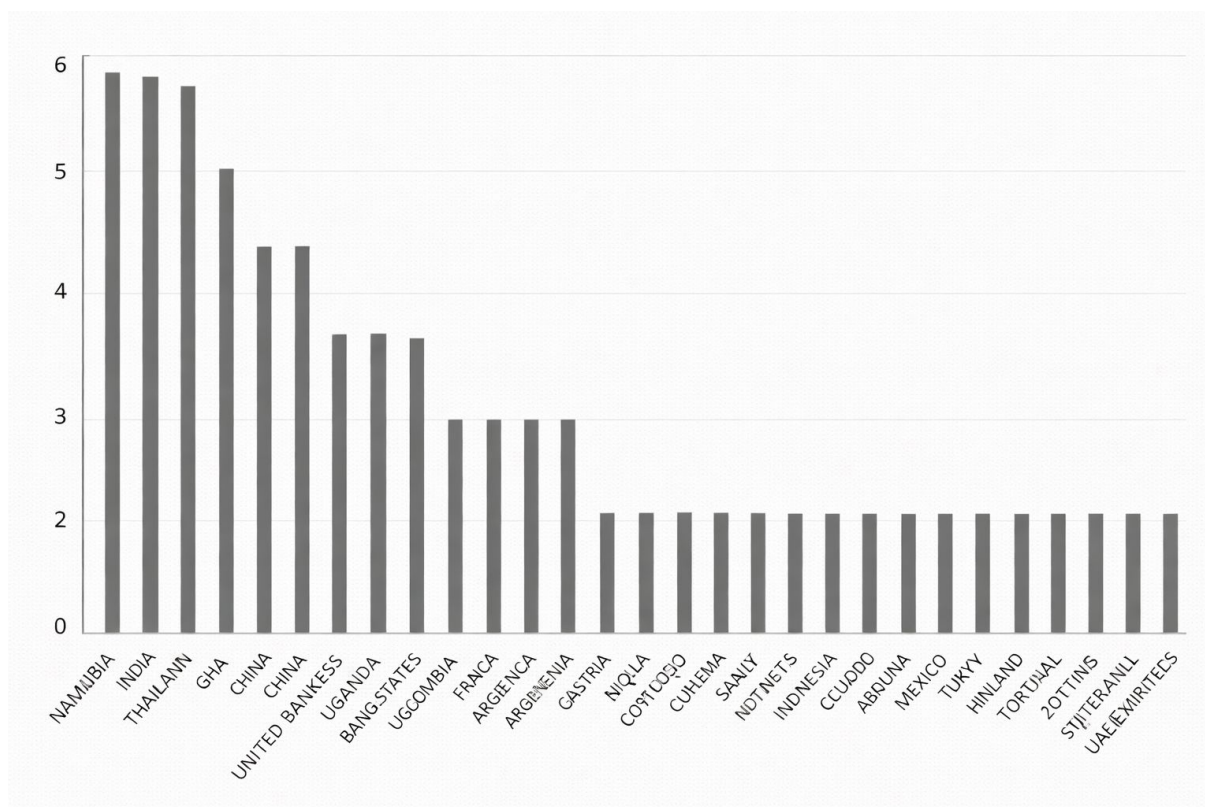


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A maioria das instituições contribuiu com uma ou duas publicações. Destaca-se a Universidade de São Paulo (USP), que possui três estudos sobre a temática, o que revela sua inserção ativa na agenda de pesquisa internacional sobre sustentabilidade universitária.

Por fim, a Figura 13 mostra a origem dos autores correspondentes.

Figura 13 - País do autor correspondente



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A distribuição geográfica dos autores revela uma concentração significativa de pesquisas em determinados países. A Malásia lidera com seis autores atuando na temática, seguida por Nigéria, Espanha, Tailândia, USA, China e Brasil, em 7º lugar, junto com UK (Reino Unido).

O Brasil aparece com apenas quatro autores correspondentes, indicando uma participação modesta na produção científica sobre pegada de carbono pessoal no contexto universitário. São eles: Dutra, A. R. A, com dois trabalhos, da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), Florianópolis-SC; Romão, E. L., da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo-SP; e Barros, M. V., da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa-PR.

A concentração da produção científica em países asiáticos e europeus pode estar relacionada ao estabelecimento de políticas públicas robustas e a estratégias nacionais de incentivo à pesquisa.

2.4.2 Principais ferramentas utilizadas para calcular a pegada de carbono pessoal

A segunda etapa da revisão consistiu na seleção de artigos que abordassem especificamente ferramentas para mensurar a pegada de carbono pessoal gerada por estudantes universitários. Com a intenção era selecionar somente os trabalhos que tratavam da abordagem da medida da pegada de carbono pessoal em pessoas, e não na instituição, muitos trabalhos foram excluídos, restando 12.

O processo de triagem está resumido na Figura 14.

Figura 14 - Total de pesquisas, total de estudos excluídos e totais selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Dos 107 artigos iniciais, muitos foram excluídos por tratarem da pegada de carbono pessoal institucional ou abordarem outros públicos, como professores ou estudantes da educação básica.

O Quadro 3 apresenta dados dos artigos selecionados, enquanto o Quadro 4 sintetiza as ferramentas utilizadas nos respectivos estudos bem como as principais fontes de emissão e o quantitativo da pegada de carbono pessoal média dos estudantes.

Quadro 3 – Artigos selecionados para revisão integrativa

Artigo	Título do trabalho	Autores e ano	Fonte	Objetivo	Amostra	Indicador de desempenho
1	Analysis Of The Carbon Footprint Of Academic Gowns: A Case Study Of Thai University	Petchchedchoo, P.; Petcharaks, N.; Piratrakul, P.; Wongmuek, K. 2024	Journal Of Current Science And Technology	- Quantificar a pegada de carbono pessoal de uma beca acadêmica usada por formandos de bacharelado.	- Uma beca acadêmica (com capuz), tamanho médio, usada para locação, com ciclo de uso de 5 vezes em 5 anos.	- Emissões de gases de efeito estufa (GHG), expressas em kgCO ₂ e ao longo do ciclo de vida do produto.
2	Nutritional Quality And Carbon Footprint Of University Students' Diets: Results From The Ehu12/24 Study	Telleria-Aramburu, N.; Bermudez-Marin, N.; Rocandio, A.; Telletxea, S.; Basabe, N.; Rebato, E.; Arroyo-Izaga, M. 2022	Public Health Nutrition	- Avaliar a qualidade nutricional e a pegada de carbono pessoal das dietas de estudantes universitários, explorando possíveis associações entre essas duas dimensões.	- 603 estudantes universitários (59,5% mulheres), com idades entre 18 e 28 anos, da Universidade do País Basco (UPV/EHU), na Espanha.	- Emissões de gases de efeito estufa, expressas como kgCO ₂ e por 1000 kcal de ingestão alimentar diária.
3	Towards The Evaluation Of Carbon Footprint For University Communities' Mobility: Challenges, Opportunities, And Reduction Strategies	D'Apuzzo, M.; Silvestri, A.; Nardoian, S.; Cappelli, G. 2024	Third International Conference On Sustainable Mobility Applications, Renewables And Technology	- Avaliar a pegada de carbono pessoal da mobilidade dos estudantes universitários e propor estratégias de redução por meio da melhoria no transporte público e uso de modelos de previsão.	- Comunidade estudantil da Universidade de Cassino e do Sul do Lácio, na Itália — inclui estudantes que se deslocam entre vários campi da universidade.	- Emissões de CO ₂ e por meio da mobilidade dos estudantes, calculadas em função da distância, modo de transporte, taxa de ocupação e fatores de emissão.
4	Carbon Footprint Analysis Of Student Behavior For A Sustainable University Campus In China	Li, X.; Tan, H.; Rackes, A. 2015	Journal Of Cleaner Production	- Avaliar a pegada de carbono pessoal associada ao comportamento energético de estudantes universitários e propor estratégias de	- 1.029 estudantes da Universidade de Tongji, em Xangai, China.	- Emissões anuais em tCO ₂ e/estudante.

				mitigação para tornar o campus mais sustentável.		
5	Identify Predictors Of University Students' Continuance Intention To Use Online Carbon Footprint Calculator	Lin S. 2017	Behaviour & Information Technology	- Identificar os fatores que influenciam a intenção de estudantes universitários em continuar utilizando calculadoras online de pegada de carbono pessoal (CFC).	- 279 estudantes de graduação em Taiwan, que utilizaram uma CFC pelo menos 3 vezes ao longo de duas semanas.	- Intenção de uso continuado da calculadora de pegada de carbono pessoal; - Comportamento de baixo carbono.
6	Carbon Footprint Of Environmental Science Students In Suan Sunandha Rajabhat University, Thailand	Utaraskul T. 2015	World Conference On Educational Sciences	- Avaliar a pegada de carbono pessoal dos estudantes do curso de Ciências Ambientais e identificar as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) associadas às suas atividades.	- 35 estudantes do segundo ano do curso de Ciências Ambientais da universidade de Suan Sunandha Rajabhat University, na Tailândia.	- Emissão de GEE, medida em tCO ₂ e por ano por estudante.
7	Food Waste Quantities, Carbon Footprint And Nutrient Loss In University Students' Households In Sweden	Malefors, C.; Sjölund, A.; Sundin, N. 2025	Sustainable Production and Consumption	- Avaliar a quantidade de resíduos alimentares, a pegada de carbono pessoal e a perda de nutrientes em domicílios de estudantes universitários na Suécia.	- 109 estudantes universitários (participantes do curso "Food Waste – Current Situation and Future Opportunities").	- Emissão de kgCO ₂ e de resíduo alimentar por pessoa/dia.
8	The Carbon Footprint Assessment From Electricity Of Undergraduate Students At Mahidol University Amnatcharoen Campus For Eco University	Kulsuwan, P.; Sirisathit, P.; Srisuwan, C. 2019	International Journal of Agricultural Technology	- Avaliar a pegada de carbono pessoal associada ao uso de eletricidade por estudantes de graduação para apoiar políticas de eco-universidade.	- 157 estudantes de graduação (126 do curso de Saúde Pública e 31 do curso de Ciências Agrárias).	- Emissão de tCO ₂ por estudante e por turma.

9	What About Greenhouse Gas Emissions From Students? An Analysis Of Lifestyle And Carbon Footprints At The University Of Applied Science In Konstanz, Germany	Heyne, C.; Wieser, E.; Jäckle, S. 2021	Journal of Cleaner Production	- Analisar a pegada de carbono pessoal dos estudantes com base em seu estilo de vida, identificando as principais fontes de emissões e padrões comportamentais.	- 1.184 estudantes da Universidade de Ciências Aplicadas de Konstanz, Alemanha.	- Emissão anual de kgCO ₂ e por categoria de consumo.
10	The Awareness Level And Carbon Footprint Emission Among University Students In Klang Valley, Malaysia	Syed Ismail, S. N.; Karupiah, K.; Ahmad, N. S. 2017	Indian Journal of Environmental Protection	- Estimar as emissões de carbono dos estudantes universitários com base em atividades do cotidiano, como transporte, energia, alimentação e consumo.	- Estudantes universitários da região de Klang Valley, Malásia (número exato da amostra não especificado).	- Emissão de CO ₂ e por categoria de estilo de vida.
11	Reaction to a low-carbon footprint food logo and other sustainable diet promotions in a UK University's Student Union 'Living Lab'	Lanner, E.; Fish, A. L.; Way, C. H.; Graham, F.; Armstrong, B.; Patel, V.; Knight, D.; Hourdain, R.; Allen, T.; Armstrong, I. G.; Collister, J. M.; Barnett, O.; Reynolds, C. J. 2021	Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society	- Avaliar as atitudes de estudantes e funcionários em relação a dietas sustentáveis e os efeitos de intervenções com logotipo de baixo impacto ambiental em escolhas alimentares.	- 50 estudantes e 372 funcionários da Universidade de Sheffield.	- Vendas de alimentos de baixo, médio e alto impacto; - Reconhecimento e influência do logotipo de baixo impacto; - Mudanças nas escolhas alimentares.
12	Preliminary Study On The Carbon Footprint Awareness & The Analysis Among University Students In Malaysia	Ramli, R.; Purba, K. R.; Baydarova, I. 2024	IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications	- Avaliar a conscientização dos estudantes universitários na Malásia sobre pegada de carbono pessoal, identificar fatores de impacto e propor desenvolvimento de sistema de cálculo.	- 200 estudantes universitários de diferentes instituições na Malásia.	- Escalas de 0 a 5 para contribuição em diferentes categorias: energia, alimentação, transporte, reciclagem, entre outros.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Quadro 4 – Dados extraídos dos 12 artigos

Artigo	Universidade em que foi estudada a pegada de carbono pessoal	Ferramenta utilizada	Emissão total (CO ₂ e)	Principais fontes de emissão
1	Universidade da Tailândia	- Foram seguidas as diretrizes nacionais da Tailândia para pegada de carbono pessoal de produtos; - Aplicaram a ISO 14067:2018; - Utilizaram as regras de categoria de produto; - Conduziram inventários do ciclo de vida e avaliação do impacto do ciclo de vida.	- 42,72 kgCO ₂ e por beca acadêmica durante o seu ciclo de vida.	- Aquisição de matéria-prima: 17,55 kgCO₂e/ano (41,08%); - Uso: 14,39 kgCO₂e/ano (33,69%); - Produção: 7,90 kgCO₂e/ano (18,49%); - Fim de vida útil (EoL): 2,57 kgCO₂e/ano (6,02%); - Distribuição: 0,31 kgCO₂e/ano (0,72%); - Principais materiais: tecido de poliéster (83,67% do peso total), tecido adesivo químico.
2	Universidade do País Basco.	- Utilizaram um Questionário de Frequência Alimentar (FFQ) validado; - Aplicaram índices de qualidade da dieta: HEI-2010 e MedDietScore; - Estimaram as emissões de GEE com base em dados da literatura.	- Média de 4,71 kgCO ₂ e/dia ou 0,23 kgCO ₂ e por 1000 kcal consumidas.	- Carnes vermelhas e processadas (maiores contribuintes); - Frutas e vegetais; - Leite e derivados; - Peixes, ovos e carnes brancas.
3	Universidade de Cassino, Itália.	- Empregaram um modelo de Gravidade Misto para prever os deslocamentos dos estudantes; - Utilizaram o método ETW (EcoTransITWorld) para calcular a pegada de carbono pessoal com base no consumo energético e tipo de transporte.	- 0,3 tCO ₂ e por estudante por ano.	- Uso de carros particulares, especialmente em virtude da baixa eficiência e qualidade do transporte público; - Falta de alternativas sustentáveis acessíveis.
4	Universidade de Tongji, Xangai, China.	- Aplicaram um modelo de estimativa baseado em fatores de emissão (IPCC e governo chinês); - Realizaram uma pesquisa <i>online</i> estruturada.	- 3,84 tCO ₂ e por estudante por ano.	- Alimentação: 1,24 tCO₂e/ano (33,8%); - Banho: 0,65 tCO₂e/ano (17,66%); - Equipamentos elétricos no dormitório: 0,50 tCO₂e/ano (13,65%); - Transporte: 0,76 tCO₂e/ano (20%); - Atividades acadêmicas: 0,576 tCO₂e/ano (15%).
5	Universidade de Taiwan	- Estudantes universitários foram avaliados quanto ao uso e percepção de	- Não houve medição direta das emissões de CO ₂ e. O foco do	- Não especificadas diretamente, pois o foco foi nos preditores de comportamento de uso

		uma ferramenta chamada PErsonal Carbon Footprint Management System; - Aplicaram questionário com 33 itens.	estudo foi comportamental, relacionado à intenção de uso da ferramenta, não a dados quantitativos de emissões.	da ferramenta, e não na quantificação de fontes de emissão.
6	Universidade de Suan Sunandha Rajabhat, Bangkok, Tailândia.	- Utilizaram uma calculadora <i>online</i> da Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO), com foco em consumo de energia, transporte e alimentação.	- 8,25 tCO ₂ e/ano por estudante.	- Uso de eletrodomésticos: 1,05 tCO ₂ e/ano (44%); - Alimentação: 0,7 tCO ₂ e/ano (41%); - Transporte: 0,4 tCO ₂ e/ano (15%).
7	Universidade Sueca de Ciências Agrárias, Suécia.	- Utilizaram kitchen diaries, a ferramenta SAFAD e o software Nutrition Data.	- 64,7 kgCO ₂ e a cada 48,4 kg de resíduos alimentares; - 0,06 kg CO ₂ e/dia por estudante; - Estimativa nacional: 9.950 tCO ₂ e/ano por estudante.	- Produtos de origem animal: laticínios (especialmente queijo, creme, cottage, crème fraîche), carne, e resíduos de prato (ex. gyros, hambúrguer).
8	Univesidade de Mahidol, Amnatcharoen, Tailândia.	- Aplicaram um questionário estruturado, estatísticas descritivas e fator de emissão de eletricidade (0.5610).	- 1.784,32 tCO ₂ e/ano no total; - 1,64 tCO ₂ e/ano por estudante.	- Uso de eletricidade residencial (iluminação, ar-condicionado, geladeira, computador).
9	Universidade de Ciências Aplicadas de Konstanz, Alemanha.	- Aplicaram um questionário <i>online</i> com 54 questões e modelo de cálculo de emissões baseado em fatores de emissão e padrões de consumo individuais.	- 3,9 tCO ₂ e/ano por estudante.	- Transporte: 1,60 tCO ₂ e/ano (41%); - Alimentação: 1,01 tCO ₂ e/ano (26%); - Aquecimento: 0,59 tCO ₂ e/ano (15%); - Eletricidade: 0,27 tCO ₂ e/ano (7%); - Consumo geral: 0,43 tCO ₂ e/ano (11%).
10	Universidade de Klang Valley, Malásia.	- Utilizaram um questionário estruturado e cálculo baseado em fatores de emissão das atividades diárias.	- 4,66 tCO ₂ e/ano por estudante.	- Transporte (carros particulares e motos), eletricidade e alimentação (com destaque para produtos de origem animal).
11	Universidade de Sheffield, Reino Unido	- Aplicaram pesquisas online e presenciais, entrevistas, análise de dados de vendas e o software NVIVO.	- Não quantificado diretamente no estudo.	- Alimentos de alto impacto: carne bovina, carneiro; - Alimentos de impacto médio: queijo, porco, camarão, peixe, manteiga, creme; - Alimentos de baixo impacto: aves, ovos, vegetais.
12	Universidade da Malásia	- Aplicaram um questionário estruturado, análise estatística descritiva e correlação de Pearson.	- Não estimada diretamente — o estudo é exploratório e foca na consciência e estilo de vida dos estudantes, não nos valores absolutos de emissão.	- Reciclagem (maior média de contribuição), seguida por transporte, gastos (consumo), e alimentação. Transporte destaca-se pelo uso de veículos à combustão.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise comparativa dos 12 trabalhos permitiu observar uma heterogeneidade metodológica entre os trabalhos. Por exemplo, estudos como o de Petchchedchoo et al. (2024) e Kulsuwan et al. (2019) adotaram abordagens baseadas no ciclo de vida (LCA), o que reforça o rigor técnico e a rastreabilidade das emissões em produtos específicos, como becas ou consumo elétrico.

Por outro lado, investigações como as de Lin (2017) e Ramli et al. (2024) concentraram-se em aspectos comportamentais e cognitivos, utilizando questionários estruturados e escalas psicométricas para aferir níveis de consciência e intenção de uso de ferramentas digitais.

A partir de uma avaliação do Quadro 4, observa-se que a diversidade de ferramentas reflete tanto a evolução tecnológica quanto as especificidades regionais. Por exemplo, o estudo tailandês de Petchchedchoo et al. (2024) utilizou a ISO 14067:2018 combinada com regras de categoria de produto (PCR) e inventário do ciclo de vida (LCI), estimando uma pegada de 42,72 kgCO₂e para uma beca durante todo o seu ciclo de vida. As maiores contribuições vieram da produção de materiais (41,08%) e do uso (33,69%), indicando que o prolongamento do ciclo de uso ou substituição de materiais poderia gerar redução significativa.

Nos estudos voltados à dieta dos estudantes (Telleria-Aramburu et al., 2022; Malefors et al., 2025; Lanner et al., 2021), a alimentação surgiu como uma das categorias mais representativas nas emissões individuais, especialmente pela presença de carnes vermelhas e laticínios. A estimativa de 4,71 kgCO₂e/dia por estudante na Espanha (Telleria-Aramburu et al., 2022), por exemplo, reforça a relevância das escolhas alimentares cotidianas. De modo semelhante, os dados suecos evidenciaram que os produtos de origem animal estavam entre os principais itens de desperdício alimentar, impactando tanto a pegada de carbono pessoal quanto a eficiência nutricional.

A mobilidade também foi amplamente abordada. O estudo conduzido na Itália por D'Apuzzo et al. (2024) apontou que a dependência de veículos particulares, aliada à baixa qualidade do transporte público, resultava em uma emissão média de 0,3 tCO₂e/ano por estudante. Dando continuidade à análise, D'Apuzzo et al. (2024) propuseram um modelo de gravidade misto para estimar os deslocamentos estudantis, incorporando tanto fatores socioeconômicos quanto a eficiência do transporte público. Essa abordagem permitiu prever, com elevado grau de precisão,

a origem e a quantidade de estudantes que se deslocam até a universidade, evidenciando como a distância e a qualidade dos serviços de transporte influenciam a escolha modal. Para avaliar o impacto ambiental desses deslocamentos, os autores empregaram o método EcoTransITWorld (ETW), que estima a pegada de carbono com base no consumo energético e no tipo de combustível utilizado, possibilitando comparar cenários de mobilidade e identificar alternativas de menor emissão. Em contexto semelhante, o estudo alemão (Heyne et al., 2021) quantificou uma pegada de 3,9 tCO₂e/ano por estudante, com destaque para as categorias de transporte (41%) e alimentação (26%).

Outro aspecto recorrente é o uso de energia elétrica. Estudos como o de Kulsuwan et al. (2019) e Li et al. (2015) quantificaram emissões relacionadas ao consumo residencial (iluminação, ar-condicionado, eletrodomésticos), com valores que variaram de 1,64 tCO₂e/ano por estudante na Tailândia e 3,84 tCO₂e/ano por estudante na China. Essas diferenças podem ser atribuídas à matriz energética local, aos padrões de conforto térmico e à infraestrutura habitacional disponível.

No tocante às ferramentas analíticas, há uma predominância de abordagens baseadas em questionários e fatores de emissão padronizados (IPCC, bases nacionais), ainda que alguns estudos tenham recorrido a modelagens avançadas (ex.: *EcoTransITWorld*; Análise de Equações Estruturais). A ausência de uniformidade metodológica impõe desafios comparativos, mas também revela a multiplicidade de caminhos viáveis para investigação da pegada de carbono pessoal estudantil, o que é coerente com o caráter multidimensional do conceito.

Em suma, os resultados revelam que a pegada de carbono pessoal dos estudantes universitários é influenciada por uma interação complexa entre hábitos individuais, condições institucionais e fatores estruturais regionais. A literatura revisada aponta para a necessidade de intervenções articuladas, que combinem educação ambiental, *redesign* de serviços e mudanças nas políticas institucionais. Estas constatações sustentam a relevância de mensurar de forma criteriosa e sistemática a pegada de carbono pessoal no contexto universitário, tanto como instrumento de diagnóstico quanto como guia para a formulação de estratégias de mitigação.

Por fim, a maioria dos estudos aplica metodologias híbridas, combinando dados primários (coletados por meio de questionários) com fatores de emissão padronizados.

2.4.3 Proposta de ferramenta para o cálculo das emissões de GEE de alunos da UFPel

A presente proposta de questionário, voltada à quantificação da pegada de carbono pessoal de estudantes da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), foi concebida com base na metodologia apresentada por Li et al. (2015). O instrumento será dividido em duas partes, conforme detalhado a seguir.

Na primeira parte do questionário, busca-se caracterizar a amostra por meio de variáveis sociodemográficas e de percepção ambiental (Quadro 5).

Quadro 5 - Variáveis exploratórias para análise da emissão de gases do efeito estufa

Variável	Pergunta	Resposta
Gênero	Qual a sua identidade de gênero?	() Feminino () Masculino () Outro: _____ () Prefiro não informar
Idade	Qual a sua idade (em anos completos)?	Numérica (campo aberto)
Semestre atual	Em qual semestre do curso você está atualmente?	Numérica (campo aberto ou múltipla escolha)
Valor médio da conta de energia elétrica	Qual o valor médio mensal da sua conta de energia elétrica da sua residência (em reais)? Quantas pessoas residem nesse ambiente?	Numérica (R\$) () Não sei ou não se aplica
Conhecimento sobre emissões de carbono	Você conhece fatores que intensificam ou reduzem as emissões de carbono na atmosfera?	() Não conheço () Conheço moderadamente () Conheço bem
Conhecimento sobre o termo “pegada de carbono pessoal”	Você sabe o que é “pegada de carbono pessoal”?	() Não sei () Não sei, mas já ouvi falar () Sei superficialmente () Sei bem o que é
Nível de motivação para reduzir emissões de carbono	Qual é o seu nível de motivação para reduzir suas emissões de carbono?	Escala de 1 a 5 1 = Nenhuma motivação 5 = Motivação muito alta

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Na segunda parte do questionário (Quadro 6) pretende-se realizar a coleta de dados quantitativos referentes às atividades cotidianas dos estudantes, com o intuito de estimar suas emissões médias de CO₂ equivalente (CO₂e/pessoa/ano).

É importante salientar que no início do trabalho, pretendia-se estudar a pegada pessoal de carbono referente a mobilidade dos acadêmicos. Porém, ao longo dos estudos para a construção desse trabalho, percebeu-se que pode ser interessante o estudo da pegada pessoal das atividades cotidianas, de forma a se ter uma maior precisão da emissão total dos GEE pelos acadêmicos.

Assim, pretende-se realizar questionamentos sobre: refeição, banho, cargas em residências, viagens de férias, uso do computador (estudo), deslocamento diário, impressão e digitalização. Essas variáveis foram selecionadas com base em sua relevância no contexto universitário e na disponibilidade de fatores de emissão previamente validados na literatura científica, especialmente no estudo de Li et al. (2015), como apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Estimativa da Pegada de Carbono Pessoal de Estudantes Universitários

Atividade	Pergunta	Unidade de Resposta	Fator de Emissão (KgCO ₂ e/unidade)	Referência do Fator
Refeições (universidade)	Quantas refeições você realizou no refeitório da universidade durante o mês de setembro?	Número de refeições	0,73	Tan et al. (2012); Li et al. (2015)
Refeições (restaurante externo)	Quantas refeições você realizou em restaurantes (fora da universidade) durante o mês de setembro?	Número de refeições	1,21	Tan et al. (2012); Li et al. (2015)
Banho	Quantos banhos quentes em média você toma por dia?	Número de banhos por dia	0,32 (verão); 1,63 (inverno)	Tan et al. (2012); Li et al. (2015)
Uso do computador (estudo)	Quantas horas, aproximadamente, você utilizou o computador para estudo durante o mês de setembro?	Horas de uso	0,079	Li et al. (2015)
Deslocamento	Qual foi a distância	Quilômetros	0,029	Info-Net

diário – ônibus	total percorrida por ônibus (ida e volta) para a universidade durante o mês de setembro?	(km)		(2013); Li et al. (2015)
Deslocamento diário – carro	Qual foi a distância total percorrida por carro (ida e volta) para a universidade durante o mês de setembro?	Quilômetros (km)	0,27	Info-Net (2013); Li et al. (2015)
Deslocamento diário – bicicleta ou a pé	Qual foi a distância total percorrida a pé ou de bicicleta para a universidade durante o mês de setembro?	Quilômetros (km)	0 (zero emissão direta)	Info-Net (2013); Li et al. (2015)
Impressão	Quantas páginas você imprimiu durante o mês de setembro?	Número de páginas	0,0043	Li et al. (2015)
Viagens de férias – carro	Quantos quilômetros você percorreu em viagens de férias utilizando carro nos últimos seis meses?	Quilômetros (km)	0,27	Li et al. (2015)
Viagens de férias – outros meios	Quantos quilômetros você percorreu em viagens de férias utilizando outros meios de transporte (avião, ônibus etc.) nos últimos seis meses?	Quilômetros (km)	0,19 (média estimada)	Li et al. (2015)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A estrutura metodológica apresentada visa fornecer uma estimativa robusta e representativa das emissões de carbono relacionadas às atividades cotidianas dos estudantes da UFPel.

Ao incorporar variáveis contextuais e dados de consumo real, a ferramenta proposta poderá subsidiar análises mais precisas sobre os padrões de emissão da comunidade acadêmica e apoiar o desenvolvimento de estratégias voltadas à mitigação dos impactos ambientais no âmbito universitário.

3 Conclusão

Os resultados deste estudo evidenciam que a temática da pegada de carbono pessoal no ensino superior ainda apresenta lacunas, especialmente no que se refere às emissões provenientes de estudantes.

A revisão integrativa evidencia que a produção científica global permanece majoritariamente orientada a abordagens institucionais de pegada de carbono, dedicando atenção limitada à mensuração das emissões individuais, sobretudo as associadas ao comportamento dos estudantes.

Ao mapear metodologias e ferramentas existentes, este trabalho constrói um referencial teórico consistente para aplicação futura em contexto acadêmico, contribuindo com estudos sobre pegada de carbono pessoal.

A principal contribuição desta investigação é a sistematização de instrumento de mensuração da pegada de carbono pessoal, fornecendo um panorama das ferramentas disponíveis e apontando suas potencialidades e limitações. Esse esforço é fundamental para fortalecer a base de conhecimento necessária à implementação de políticas de mobilidade sustentável em universidades, alinhadas às diretrizes globais de mitigação climática e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Assim, em um cenário em que a mitigação das mudanças climáticas é prioridade global, compreender e gerir a pegada de carbono pessoal dos estudantes é essencial para transformar universidades em protagonistas da transição para uma sociedade de baixo carbono. Neste sentido, um trabalho futuro pretende aplicar a ferramenta proposta neste trabalho para estudar a pegada de carbono pessoal de alunos de uma Universidade Federal de Ensino.

Referências

ADEYEMI, A. O.; OGUNDIPE, C. O. CO₂ emissions and energy policy implications in Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, v. 12, n. 1, p. 28–48, 2022. DOI: 10.32479/ijeep.8050.

ADEYEMI, O.; OGUNDIPE, A. Climate Change Act and Energy Transition Plan in Nigeria: institutional frameworks and emissions reduction policies. *Journal of Environmental Policy*, v. 15, n. 2, p. 101-120, 2022.

ALTAY, M.; DEMIREL, P.; ATES, A. Global research on ESG and carbon footprint: bibliometric analysis of scientific production. *Journal of Cleaner Production*, v. 410, p. 137896, 2025. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.137896.

AMARAL, C.; VÁSQUEZ, L.; MARTÍNEZ, F. Emissões de gases do efeito estufa em universidades latino-americanas: desafios e perspectivas. *Environmental Management Review*, v. 12, n. 3, p. 33-47, 2020.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007.

BEKAROO, G.; et al. Students' awareness and practices towards carbon footprint reduction in universities. *Sustainability*, v. 11, n. 1, p. 111–124, 2019.

BERCHIN, I. I.; et al. Living laboratories for sustainability transitions: case studies from Brazilian universities. *Journal of Environmental Studies*, v. 28, p. 45-60, 2020.

BOSI, M. K.; LAJUNI, N.; WELLFREN, A. C.; LIM, T. S. Sustainability reporting through Environmental, Social, and Governance: a bibliometric review. *Sustainability*, v. 14, n. 19, p. 12071, 2022. DOI: 10.3390/su141912071.

BRATTI, F. et al. Nitrous oxide and methane emissions affected by grazing and nitrogen fertilization in an integrated crop-livestock system. *Geoderma*, v. 425, p. 1-12, 2022.

BRATTI, L.; et al. Agricultural emissions and climate change in Brazil: methane and nitrous oxide patterns. *Environmental Science and Policy*, v. 129, p. 15-27, 2022.

CANENCIO, P.; et al. Integrative review on carbon footprint in higher education: trends and gaps. *Journal of Sustainable Education*, v. 32, p. 12-28, 2024.

CERRI, C. C.; et al. Greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil: modeling and projections. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 139, p. 318–329, 2010.

CERRI, Carlos C.; BERNOUX, Martial; MAIA, Stoecio Malta Ferreira; et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agricola*, v. 67, n. 1, p. 102–116, 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000100015.

CHADEGANI, A. A.; et al. Scopus and Web of Science: a bibliometric comparison. *Scientometrics*, v. 94, n. 1, p. 575-585, 2013.

CLIMATE ANALYTICS. Brazil's current GHG emissions profile. 1.5°C Pathways. Disponível em: <https://1p5ndc-pathways.climateanalytics.org/countries/brazil/current-situation>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CLIMATE ANALYTICS. Sectoral distribution of greenhouse gas emissions in Brazil: updated data for 2025. Climate Analytics Reports, v. 5, p. 12-22, 2025.

CLIMATE OBSERVATORY – SEEG. SEEG – Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimating System. Plataforma online sobre emissões e remoções de GEE no Brasil. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

DE FILIPPO, Daniela; SANDOVAL HAMON, Leyla Angélica; CASANI FERNÁNDEZ NAVARRETE, Fernando; SANZ-CASADO, Elías. Spanish universities' sustainability performance and sustainability-related R&D+I. Sustainability, v. 11, art. 5570, 2019.

ELLILI, N. Analysis of bibliometric trends in carbon footprint research. Environmental Bibliometrics, v. 8, n. 2, p. 21-37, 2023.

EUROPEAN RESEARCH AREA. Spain's strategic alignment with EU sustainable transition and research funding. Sustainable Production and Consumption, v. 22, p. 105–117, 2020. DOI: 10.1016/j.sustainprodcons.2020.01.001.

EVANS, J.; et al. University living labs: sustainability experiments in higher education. Environmental Innovation and Societal Transitions, v. 13, p. 45-60, 2015.

FILHO, W. L.; et al. Universities as living labs for sustainable development: the role of institutional policies. Journal of Cleaner Production, v. 237, p. 117-126, 2019.

HADFIELD, J.; et al. Integrating energy, mobility and education: a global review of 18 campus initiatives for carbon neutrality. Journal of Cleaner Production, v. 412, p. 138-149, 2025.

HANS, S.; HIKMAWATI, M.; SURENDRO, K. Predictive analysis of student carbon emissions. International Journal of Sustainable Education, v. 22, n. 1, p. 55-70, 2023.

HELMERS, E.; et al. Scope and boundaries in university carbon footprint assessments: methodological considerations. Journal of Cleaner Production, v. 287, p. 125-140, 2021.

ICCT – INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION. Brazil's climate commitments and emissions reduction targets: analysis of 2023 policy updates. Washington, DC: ICCT, 2023.

IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.). National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES, 2006.

KIEHLE, J. et al. Carbon footprint estimation at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. Journal of Environmental Management, v. 329, art. 117056, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.117056.

KIEHLE, J.; et al. Hybrid methods for carbon footprint calculation in university campuses: combining EEIO and A3 approaches. *Environmental Assessment Journal*, v. 42, p. 150-170, 2023.

LAMPRECHT, R.; et al. The impact of COVID-19 on carbon emissions in universities: review and perspectives. *Journal of Environmental Education Research*, v. 15, p. 18-33, 2021.

LARSEN, H.; et al. The influence of commuting habits on university carbon emissions. *Sustainable Mobility Journal*, v. 12, p. 49-66, 2021.

LEAL FILHO, W.; et al. Pathways to carbon-neutral campuses: international experiences. *Sustainability in Higher Education*, v. 21, p. 77-92, 2020.

LI, X.; TAN, H.; RACKES, A. Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 106, p. 97–108, 2015.

LI, Y. et al. Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 106, p. 103-111, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.084.

MANAF, Norhuda Abdul et al. Economic and environmental sustainability of low-carbon power generation: relevancy in the Malaysia Green Technology Master Plan (GTMP). *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v. 94, n. 5, p. 1425–1432, 2019.

MIURA, T.; et al. Energy consumption and carbon footprint of university dormitories: case studies from Asia. *Energy and Buildings*, v. 243, p. 110-130, 2021.

NUNES, F. Impactos do aquecimento global e padrões de emissões no Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 20, n. 2, p. 55-70, 2023.

NUNES, L. J. R. The rising threat of atmospheric CO₂: a review on the causes, impacts, and mitigation strategies. *Environments*, v. 10, n. 4, p. 66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments10040066>.

NWAGOU, O.; et al. Soil carbon loss due to land use change in Brazilian Cerrado. *Global Ecology and Conservation*, v. 42, p. e02912, 2024.

NWAGOU, Chukwudi et al. Soil organic carbon stocks as driven by land use in Mato Grosso State: the Brazilian Cerrado agricultural frontier. *Discover Sustainability*, v. 5, p. 1–24, 2024. DOI: 10.1007/s43621-024-00592-w.

OZAWA-MEIDA, L.; et al. Carbon emissions of student commuting and lifestyle habits in universities. *Journal of Cleaner Production*, v. 25, p. 80–94, 2013.

SANZ, M.; et al. Sustainability performance of higher education institutions: measuring emissions and impacts. *Journal of Environmental Management*, v. 178, p. 1-8, 2016.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Emissões totais de GEE no Brasil 1990-2023: relatório técnico. Observatório do Clima, 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>.

SHI, Shaoqing; YIN, Jianhua. Global research on carbon footprint: a scientometric review. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 89, p. 106571, jul. 2021. DOI: 10.1016/j.eiar.2021.106571.

SIPPEL, M.; MEYER, S.; SCHOLLIERS, J. Carbon footprint of university students: consumption patterns and emissions. *Ecological Economics*, v. 150, p. 234-245, 2018.

SOHNGEN, B.; et al. Projected greenhouse gas emissions from deforestation and agriculture in Brazil (2006–2050). *Environmental Research Letters*, v. 5, n. 3, p. 1-12, 2010.

STEPHENS, J.; et al. University climate leadership: discourse and implementation gap. *Journal of Environmental Policy*, v. 12, p. 14-29, 2010.

TAN, H.; CHEN, S.; SHI, Q.; ZHANG, N. Annual Report of Green Campus Development in China. China Green University Network, 2012.

TORRE, E.; et al. Governance of sustainability in Spanish universities. *Higher Education Policy Journal*, v. 35, n. 4, p. 355-378, 2024.

TORRES MANCERA, Rocío; MARTÍNEZ-RODRIGO, Estrella. Science communication for a sustainable academia: a comparative analysis of public and private universities in the Netherlands, Portugal and Spain. *European Public & Social Innovation Review*, 2024.

UNIVERSIDADE DE OULU. Carbon footprint assessment in higher education: EEIO and A3 hybrid model applications. Oulu: University of Oulu Press, 2023.

UNIVERSITY OF OULU Team. Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. *Journal of Environmental Management*, v. 329, art. 117056, 2023.

UTARASAKUL, T. Carbon footprint of environmental science students in Thailand. *World Conference on Educational Sciences*, p. 220-226, 2015.

VALLS-VAL, C.; BOVEA, M. D. CO2UNV: A tool for estimating the carbon footprint of university activities. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 95, p. 106731, 2022.

VIEIRA, R.; et al. Psychological barriers to low-carbon behavior among university students: a systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, v. 87, p. 102-115, 2023.

VÁSQUEZ, L.; et al. GEE emissions in Latin American universities: review of methodologies and data gaps. *Journal of Environmental Education*, v. 26, n. 3, p. 50-62, 2015.

ZHANG, Q.; et al. Energy use and carbon footprint in student accommodations: multi-country analysis. *Energy Reports*, v. 10, p. 557-568, 2024.

ZHAO, X.; et al. ESG research landscape: bibliometric review of global sustainability publications. *Journal of Cleaner Production*, v. 390, p. 136-152, 2023.

ZHAO, Xiangying; NAN, Dongyan; CHEN, Chaomei; ZHANG, Shunan; CHE, ShaoPeng; KIM, Jang Hyun et al. Bibliometric study on environmental, social, and governance research using CiteSpace. *Frontiers in Environmental Science*, v. 10, art. 1087493, 4 jan. 2023. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1087493.

4. ARTIGO 2: ESTIMATIVA DA PEGADA DE CARBONO PESSOAL DE ESTUDANTES DE UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA DO SUL DO BRASIL

4.1 Introdução

A Agenda 2030 das Nações Unidas estabelece que a redução das emissões de gases de efeito estufa constitui uma das ações urgentes para conter os impactos crescentes das mudanças climáticas, especialmente em contextos urbanos, institucionais e educacionais (ONU, 2015). Nesse sentido, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima — convoca governos, organizações e instituições de ensino superior a adotarem estratégias sistemáticas de mitigação e adaptação, fortalecendo o papel das universidades como agentes estruturantes na transição climática. A ONU destaca que instituições educacionais possuem capacidade ampliada de mobilizar comunidades, disseminar conhecimento técnico-científico e monitorar suas próprias emissões, contribuindo diretamente para o avanço da governança climática global. Assim, mensurar e compreender a pegada de carbono em ambientes universitários torna-se uma ação alinhada aos compromissos internacionais da ODS 13, legitimando análises que visam reduzir emissões e consolidar políticas institucionais de sustentabilidade (Romão et al., 2025).

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) são a principal causa das mudanças climáticas globais (Gabric, 2023). Nesse sentido, para alinhar-se às metas científicas para limitar o aquecimento global, instituições de ensino superior também devem adotar reduções de 50% nas emissões até 2030 e alcançar a neutralidade de carbono até 2050 (Sen, 2021; Zhang, 2024).

De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1990), existem 18 GEEs com diferentes potenciais de aquecimento global. Porém, de acordo com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) e o Protocolo de Quioto, apenas o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorocarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6) estão cobertos no protocolo de GEE (UNFCCC, 1998).

A pegada de carbono é expressa em dióxido de carbono equivalente (CO_2e), pois essa unidade permite agregar diferentes gases de efeito estufa em uma métrica única, considerando seus distintos potenciais de aquecimento global, o que viabiliza

a comparação e a análise integrada dos impactos climáticos (Wiedmann; Minx, 2008).

Dessa forma, a crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas inclui o ensino superior. Por isso, instituições acadêmicas vêm sendo desafiadas a mensurar e reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo para o alcance das metas globais de descarbonização (Helmets et al., 2021; He et al., 2023). Conforme observado por Sims, Robinson e Davis (2021), a pesquisa sobre pegada de carbono no ensino superior expandiu-se rapidamente, com a grande maioria das publicações surgindo entre 2018 e 2021.

Da mesma forma, sabe-se que o comportamento dos estudantes universitários, que abrange transporte, consumo de energia e hábitos alimentares, exerce influência direta e significativa sobre a pegada de carbono pessoal (Ozawa-Meida et al., 2025).

Por outro lado, um levantamento sobre instituições latino-americanas destaca que, embora várias universidades estejam adotando iniciativas para reduzir a pegada de carbono, poucas reportam metas ou padrões de medida (Guillén-Chávez, 2023).

Dessa forma, a demanda por avaliações ambientais precisas no ambiente universitário tem estimulado a produção científica voltada à quantificação da pegada de carbono pessoal dos estudantes, utilizando abordagens e métricas variadas (Misni et al., 2024).

Assim, Sippel et al. (2018) identificaram que estudantes da Universidade de Konstanz apresentavam pegada média de 10,9 t CO₂ e/ano, com forte contribuição de mobilidade e aviação. Em outro estudo, Artun (2021) demonstrou que iniciativas de sustentabilidade no campus influenciaram variáveis como consumo energético e transporte, reforçando a importância de modelos comportamentais. Mais recentemente, análises de deslocamento discente mostraram que o commuting representa uma parcela significativa das emissões pessoais (Environment Systems and Decisions, 2025).

Conforme estudado por Crawford e Stephan (2013), as emissões de carbono associadas a atividades cotidianas, como uso de eletricidade e transporte, representam componentes significativos da pegada de carbono das universidades.

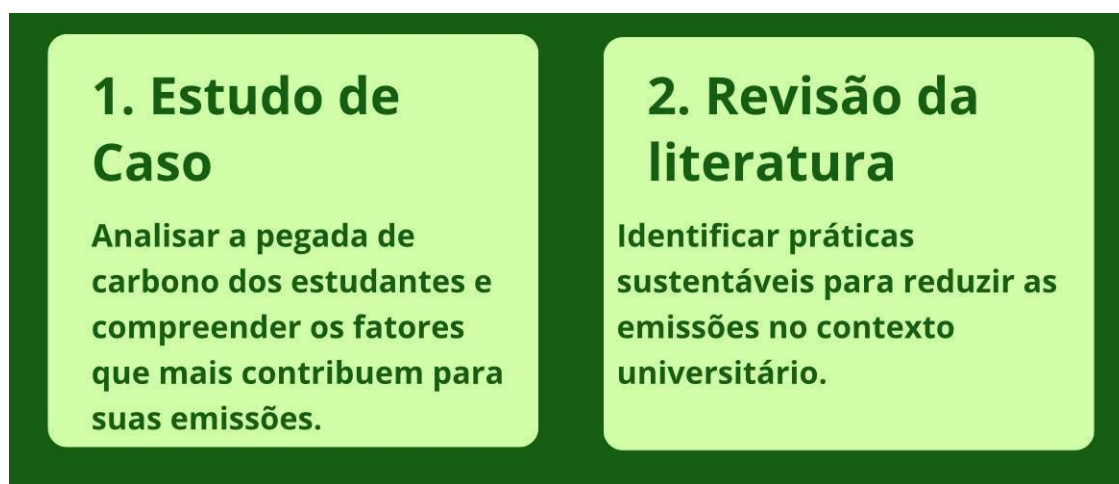
Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo determinar a pegada de carbono pessoal dos estudantes do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), com foco nas emissões associadas às atividades cotidianas como transporte, alimentação, consumo energético, geração de resíduos e hábitos de descarte (Li; Tan; Rackes, 2015).

Assim, esse trabalho contribui com a lacuna do quantitativo de GEE emitido por estudantes universitários e, conseqüentemente, para a consolidação de uma cultura institucional de sustentabilidade e minimização da pegada de carbono.

4.2 Metodologia

Esse estudo foi dividido em duas partes: a primeira, um estudo de caso para analisar a pegada de carbono de estudantes de um curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas, e, a segunda parte, uma revisão da literatura para identificar práticas sustentáveis que vêm sendo adotadas em Universidades do mundo (Figura 15).

Figura 15 – Etapas desse estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4.2.1 Coleta e Análise de Dados da pegada de carbono dos estudantes

O presente estudo de caso adota uma abordagem quantitativa e descritiva (Gil, 2022), fundamentada na aplicação de um questionário estruturado voltado à mensuração da pegada de carbono pessoal dos estudantes do curso de Engenharia de Produção de uma universidade pública do sul do Brasil.

A coleta de dados foi realizada no período de setembro, outubro e novembro de 2025, por meio de um questionário *online* contendo questões fechadas e abertas que buscaram identificar os hábitos e padrões de consumo dos estudantes do curso de Engenharia de Produção (Apêndice B).

A pesquisa foi conduzida de forma anônima por livre e espontânea vontade, garantindo desse modo a confidencialidade das respostas e o uso exclusivo das informações para fins acadêmicos, a pesquisa foi aprovada via comitê de ética em pesquisa, pela Plataforma Brasil (Número do Parecer: 7.880.836) (Kaiser, 2009).

O *link* do *Google Forms* foi enviado para todos os alunos matriculados no curso (N = 203) no dia 26 de setembro de 2025, por e-mail e em grupos de *WhatsApp* de alunos do curso.

O envio foi realizado novamente àqueles que não haviam respondido em 10 de outubro de 2025, resultando, até essa data, 47 respostas.

Para aumentar a quantidade de respostas e garantir maior representatividade da amostra, foi realizado contato pessoal via *WhatsApp* com os alunos que ainda não haviam respondido ao questionário. Assim, no dia 03 de novembro de 2025, a coleta de dados foi encerrada, atingindo uma confiança de 95% e 5% de erro (n=69).

Uma *squeeze* da linha da Universidade foi sorteada como brinde entre os respondentes.

Os dados coletados foram sistematizados e convertidos em emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO₂-eq), de acordo com as referências demonstradas no Quadro 7.

Quadro 7. Fatores de conversão

Fator	Referência	Exemplo de cálculo
Uso da eletricidade (kwh = 0,891 kg CO ₂ -eq)	Haryanto (2025); Santoso, (2017).	R\$ 230,00 em uma residência com 3 pessoas. (R\$ 230/3) / (R\$ 0,72/KWh) (fator de eletricidade) x 0,891 kg CO₂-eq = 1138,5 kg CO ₂ -eq/ano
Uso do Chuveiro elétrico (kwh = 0,079	MCTI e ANEEL (2023).	10 min de banho x 10 L/min* = 100 L; ΔT=15°C*; n=100%;

kg CO ₂ -eq)		Energia necessária = m.c. $\Delta T = 100\text{kg} \times 4,186$ $\text{kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 15^\circ\text{C} = 6270 \text{ kJ} = 1,74\text{kwh} \times$ 0,079 kg CO₂-eq = 0,1374 CO ₂ e/dia = 49,46 kg CO ₂ -eq/ano
Uso do Chuveiro a gás (kwh = 0,227 kg CO ₂ -eq)	MCTI e ANEEL (2023).	10 min de banho x 10 L/min* = 100 kg; $\Delta T = 15^\circ\text{C}^*$; $n=85\%$ 6270 kJ = 1,74kwh = 1,479 kwh (85%); 1,479 kwh x 0,227 kg CO ₂ -eq = 0,335 kg CO ₂ -eq/dia = 120 kg CO ₂ -eq/ano
Uso do computador (kwh = 0,079 kg CO ₂ -eq)	Li, Tan, Rackes, (2015)	7 horas x 0,079 kg CO₂-eq = 0,553 kg CO ₂ -eq/ dia = 199,08 kg CO ₂ -eq/ ano
Folhas impressas (1 folha = 0.939 kg CO ₂ -eq/folha)	Haryanto (2025); Scarborough, et al., (2014).	20 folhas = 20 x 0.939 kg CO₂-eq/folha = 18,78 kgCO ₂ -eq/dia = 6.760,8 kg CO ₂ -eq/ano
Transporte de motocicleta (1km = 0,2310 kg CO ₂ -eq/km)	Haryanto (2025); USDE (2010).	Viagem de Pelotas a Rio Grande = 60 km ida x 0,2310 kg CO₂-eq/km = 13,86 kg CO ₂ -eq/ano
Transporte de carro (km = 0,2310 kg CO ₂ -eq/km)	Haryanto (2025); USDE (2010).	Viagem de Pelotas a Porto Alegre = 260 km ida x 0,2310 kg CO₂-eq/km = 54,60 kg CO ₂ -eq/ano
Transporte de ônibus (km = 0,087 kg CO ₂ -eq/km)	Noussan, M, et al., (2022).	Viagem de Pelotas a Dourados = 1200 km ida x 0,087 kg CO₂-eq/km = 104,4 kg CO ₂ -eq/ano
Transporte de trem (km = 0,19 kg CO ₂ -eq/km)	Haryanto (2025); USEPA (2018).	Viagem de Porto Alegre a São Paulo = 1.132 km ida x 0,19 kg CO ₂ -eq/km = 215,08 kg CO ₂ -eq/ano
Transporte aéreo de médio curso (km = 0,21 kg CO ₂ -eq/km)		Viagem de São Paulo a Pelotas = 1.393 km ida x 0,21 kg CO ₂ -eq/km = 281,19 kg CO ₂ -eq/ano
Viagens aéreas de longa distância (km = 0,26 kg CO ₂ -eq/km)		Viagem de Salvador a São Paulo = 1.985 km ida x 0,26 kg CO ₂ -eq/km = 516,10 kg CO ₂ -eq/ano
Dieta com carne (kg = 7,19 kg CO ₂ -eq/dia)	Scarborough et. al., (2014); Gonzalez et al. (2020).	Considerando que um adulto de 80kg consome 1,5 kg de carne = 1,5 kg x 7,19 kg CO ₂ -eq/dia = 10,785 kg CO ₂ -eq/dia = 3.882,6 kg CO ₂ -eq/ano
Dieta vegana (kg = 2,89 kg CO ₂ -eq/dia)	Scarborough et. al., (2014); Gonzalez et al. (2020).	Considerando que um adulto de 80kg consome 1,5 kg = 1,5 kg x 2,89 kg CO ₂ -eq/dia = 4,335 kg CO ₂ -eq/dia = 1.560,6 kg CO ₂ -eq/ano
Dieta vegetariana (kg = 3,81 kg CO ₂ -eq/dia)	Scarborough et. al., (2014); Gonzalez et al.	Considerando que um adulto de 80kg consome 1,5 kg = 1,5 kg x 3,81 kg CO₂-eq/dia = 5,715 kg CO₂-eq/dia =

	(2020)..	2.057,4 kg CO ₂ -eq/ano
Geração de resíduos de lixo orgânico (kg = 0,374 kg CO ₂ -eq/dia)	Haryanto (2025); USEPA (2018).	Geração de 3,33 kg de lixo orgânico = 3,33 kg x 0,374 kg CO₂-eq/dia = 1,24 kg CO ₂ -eq/dia = 446,4 kg CO ₂ -eq/ano
Geração de resíduos de lixo seco (kg = 0,963 kg CO ₂ -eq/dia)	Haryanto (2025); USEPA (2018).	Geração de 5 kg de lixo orgânico = 5 kg x 0,963 kg CO₂-eq/dia = 4,815 kg CO ₂ -eq/dia = 1.733,4 kg CO ₂ -eq/ano

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

O cálculo da pegada de carbono total dos estudantes foi obtido pela soma das emissões de cada categoria analisada (transporte, energia, alimentação, resíduos e dieta), conforme Equação 1 (Priyankara et al., 2024).

$$CF_{\text{total}} = CF_{\text{transporte}} + CF_{\text{energia}} + CF_{\text{alimentação}} + CF_{\text{resíduos}} + CF_{\text{consumo}} \quad (1)$$

Em que:

CF = *carbon footprint* (pegada de carbono) expresso em toneladas de CO₂ equivalente por ano (t CO₂-eq/ano)

Após o cálculo individual das emissões, os resultados foram consolidados para determinar a pegada de carbono média dos estudantes.

Em seguida, realizaram-se análises comparativas entre categorias de consumo e padrões comportamentais, buscando identificar os principais fatores de contribuição para a pegada total (Li et al., 2015).

4.2.2 Levantamento das Práticas Sustentáveis em Universidades do mundo

Este estudo empregou uma abordagem metodológica de natureza descritiva, orientada à investigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas a indivíduos no contexto do ensino superior, contemplando diferentes realidades institucionais ao redor do mundo.

A construção metodológica foi organizada em cinco etapas sequenciais e interdependentes: (i) definição dos objetivos; (ii) condução de uma busca bibliográfica nas bases *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*; (iii) seleção dos estudos alinhados ao escopo da pesquisa; (iv) extração das

informações relevantes — incluindo estimativas individuais de emissões, metodologias utilizadas para o cálculo da pegada de carbono e medidas sustentáveis propostas pelas instituições; e (v) síntese dos achados.

A prospecção da literatura foi realizada empregando combinações de descritores em língua inglesa, como “*carbon footprint in students*”, “*student carbon emissions*” e “*GHG emissions students*”. A triagem dos estudos ocorreu mediante leitura de títulos, resumos e da metodologia dos artigos para assegurar a aderência aos critérios de inclusão. Esse procedimento garantiu a seleção de publicações diretamente relacionadas à temática investigada e buscou responder à questão de pesquisa: quais práticas sustentáveis vêm sendo utilizadas em universidades do mundo?

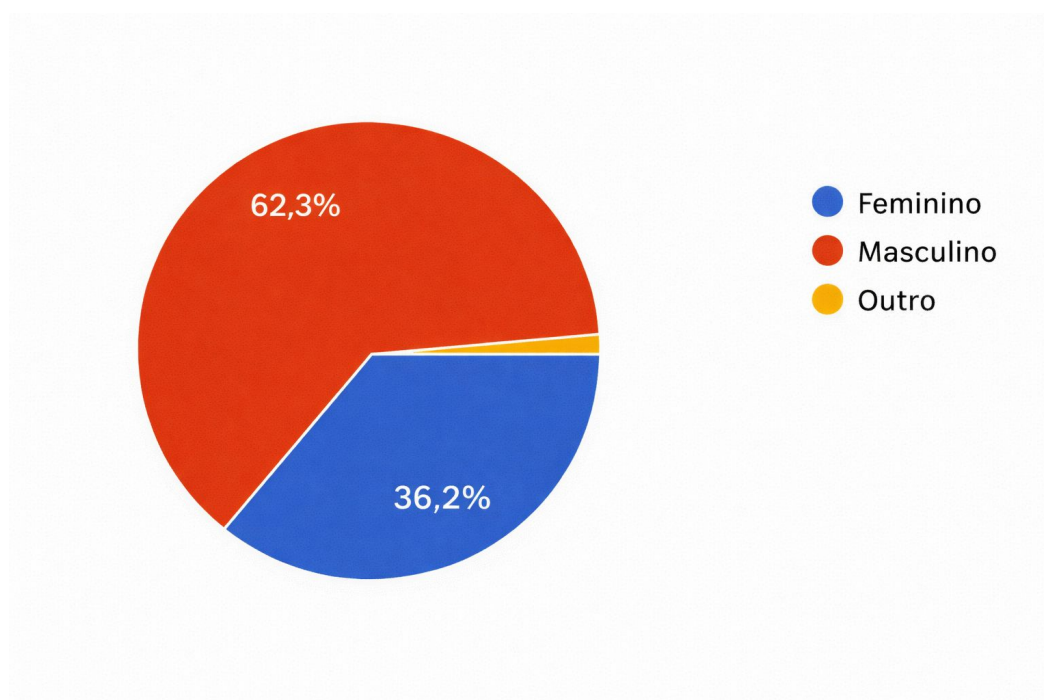
4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Estimativa da Pegada de Carbono

4.3.1.1 Dados gerais dos participantes da pesquisa

A Figura 16 apresenta a distribuição dos participantes da pesquisa segundo o gênero, permitindo a caracterização do perfil demográfico da amostra analisada.

Figura 16 – Gênero dos participantes (n = 69)



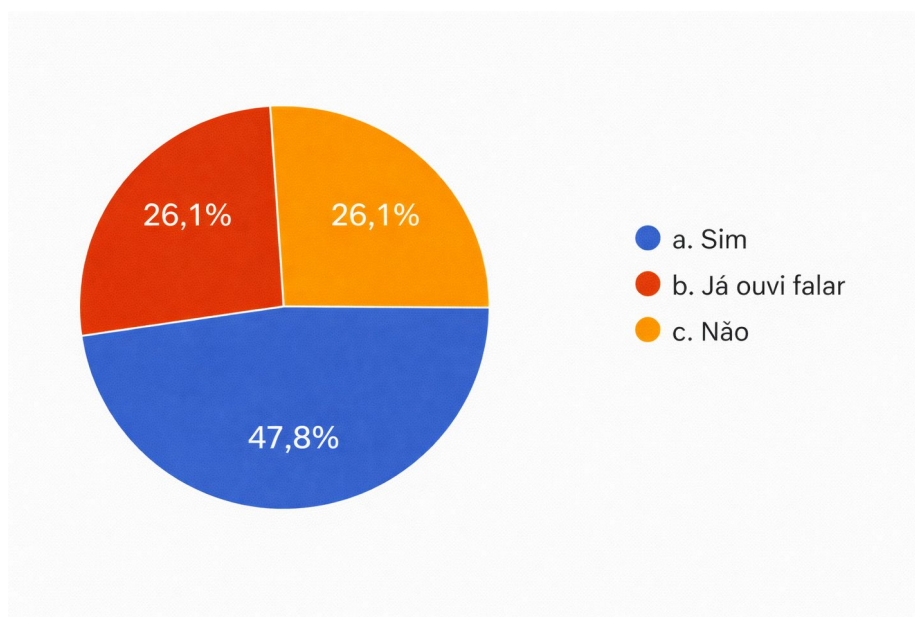
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A predominância do sexo masculino observada na Figura 16 reflete uma tendência amplamente reportada em cursos da área das engenharias no contexto brasileiro e internacional. Estudos apontam que a predominância masculina é resultado de fatores históricos e culturais que influenciam a escolha profissional pelo curso de engenharia (Zanatta et al., 2020; Ceccato e Persson, 2022).

Essa composição demográfica é relevante para análises de pegada de carbono, uma vez que evidências empíricas indicam que gênero pode influenciar padrões de mobilidade, consumo energético e comportamento ambiental (Brough et al., 2016).

A Figura 18 ilustra o grau de familiaridade dos estudantes com o conceito de pegada de carbono.

Figura 18 – Conhecimento prévio sobre o conceito de pegada de carbono



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os resultados indicam que uma parcela importante dos respondentes não possui conhecimento consolidado sobre o tema. Esse achado é consistente com a literatura, que aponta lacunas na educação climática mesmo em cursos de áreas técnicas e de gestão (Wang et al., 2021).

As universidades têm um papel fundamental na promoção da alfabetização climática e na redução das lacunas conceituais sobre a pegada de carbono. Estudos mostram que iniciativas educacionais e *frameworks* institucionais podem aumentar a

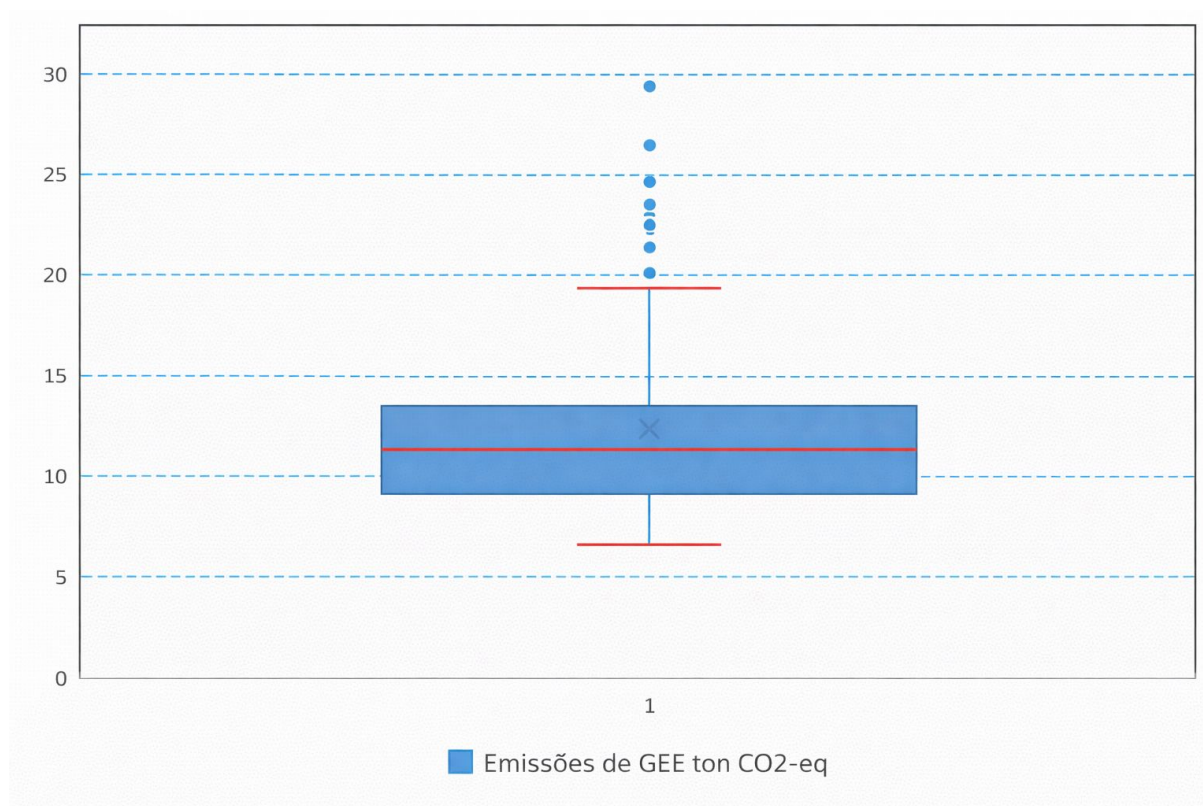
compreensão e a capacidade de mitigação dos estudantes em relação às emissões de GEE (Cotton et al., 2020; Leal Filho et al., 2019).

A limitação conceitual do termo pegada de carbono pode comprometer a adoção de práticas individuais de mitigação, reforçando o papel das universidades como agentes de alfabetização climática.

4.3.1.2 Pegada pessoal de carbono dos acadêmicos

Em média, 7,93 ton CO₂-eq/ano (DP=4,93) são emitidos por aluno do curso de Engenharia de Produção da UFPel, com a presença de *outliers* emitindo valores acima de 15 ton CO₂-eq/ano (Figura 19). Esse valor posiciona-se em um patamar intermediário quando comparado a investigações internacionais conduzidas em instituições de ensino superior.

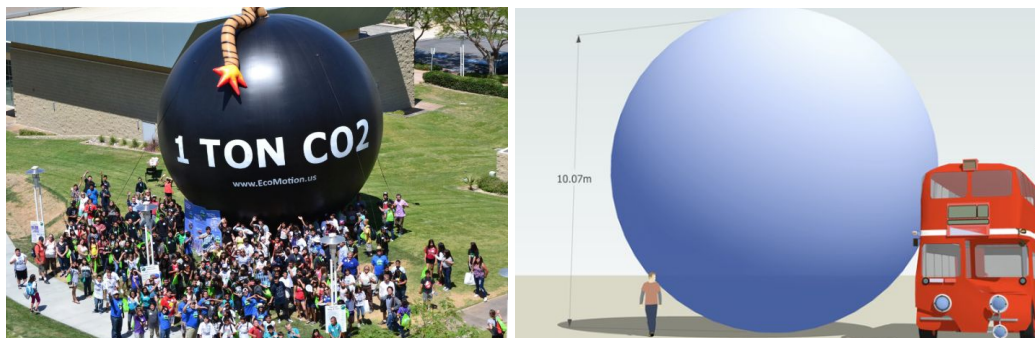
Figura 19 – Box plot da distribuição das emissões totais de CO₂-eq (n=69)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A Figura 20 ilustra a estimativa de uma tonelada de CO₂.

Figura 20 – Dimensão de uma tonelada de CO₂



Estudos realizados na Alemanha indicam valores de 10,9 t CO₂-eq/ano observados entre estudantes da Universidade de Konstanz (Sippel et al., 2018) e o estudo de Helmers et al. (2021), que encontrou pegada pessoal média de 7–8 tCO₂e por estudante/ano, ambos associados principalmente a viagens aéreas e mobilidade acadêmica.

Em contraste, pesquisas desenvolvidas em universidades asiáticas reportam valores menores, variando entre 3,8 e 4,5 tCO₂-eq/ano. Isso pode ser atribuído como reflexo de matrizes energéticas distintas e menor dependência do transporte individual motorizado (Li et al., 2015; Lin et al., 2018).

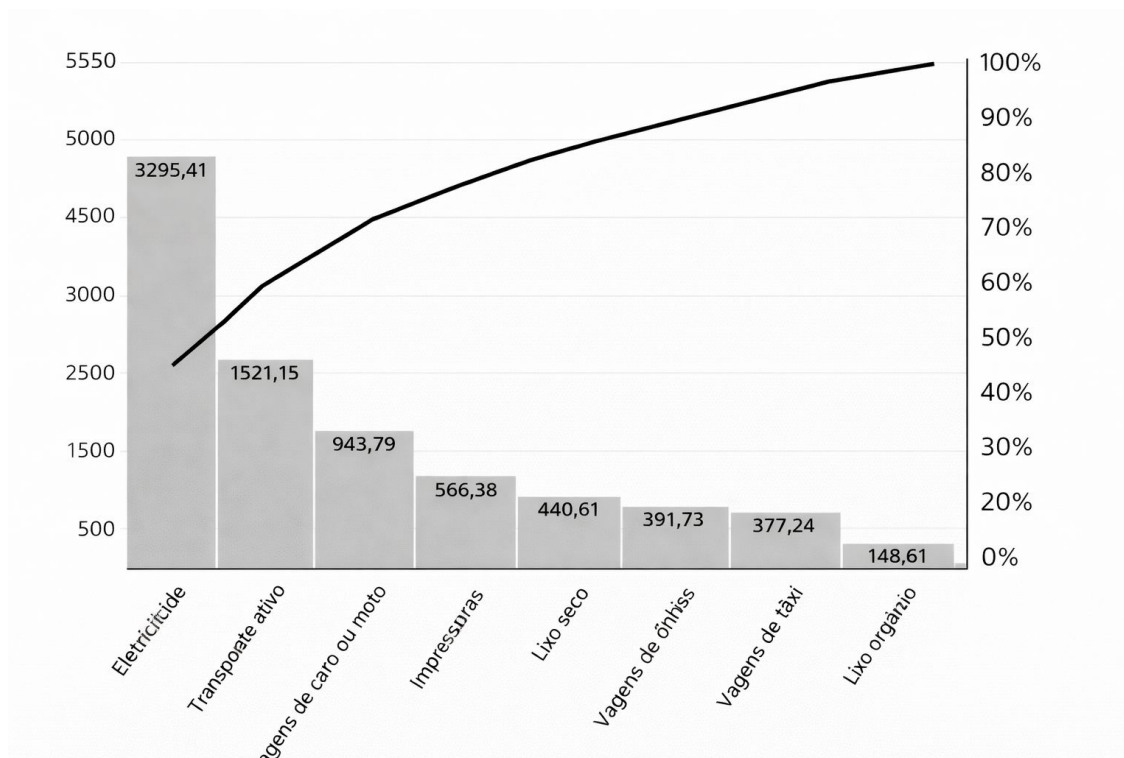
No mesmo sentido, Ridhosari; Rahman (2020) encontraram pegada pessoal dos universitários de 1,7 tCO₂-eq/ano, proveniente de transporte, energia, alimentação e resíduos. Esses valores menores são típicos de países em desenvolvimento, com menor consumo energético per capita.

Assim, percebe-se que a pegada pessoal de carbono de estudantes universitários varia aproximadamente entre 1,7 e 10,9 tCO₂e por ano, dependendo do contexto socioeconômico, das fontes de emissão consideradas e do escopo metodológico adotado (Ridhosari; Rahman, 2020; Helmers et al., 2021; Valls-Val; Bovea, 2022; Hans et al., 2023).

4.3.1.3 Fontes de emissão de GEE

O consumo de eletricidade e o transporte diário concentram a maior parcela das emissões totais de GEE associadas aos estudantes universitários analisados (Figura 21).

Figura 21 - Fontes de Emissões de GEE (kg CO₂-eq/ano/pessoa)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As duas primeiras categorias, quando consideradas conjuntamente, respondem pela fração predominante da pegada de carbono da amostra, caracterizando-se como os principais pontos críticos para intervenções de mitigação.

Esse resultado reforça a relevância de estratégias voltadas à eficiência energética no ambiente doméstico e à promoção de modais de transporte de menor intensidade de carbono no contexto universitário.

O uso do chuveiro elétrico e do computador constituem as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) entre os equipamentos e usos energéticos analisados (Quadro 8).

Quadro 8 - Pegada de carbono atribuída a categoria eletricidade $\pm$ desvio padrão.

Categoria Eletricidade	Pegada de Carbono (kg CO ₂ -eq/ano/pessoa) ± DP
Chuveiro elétrico	75,66 ± 54,22
Chuveiro a gás	0,08 ± 0,21
Computador	172,59 ± 108,03
Climatizador – Jan a Abr	10,33 ± 26,53
Climatizador – Mai a Ago	7,16 ± 24,05
Climatizador – Set a Dez	7,04 ± 24,17

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Esse resultado destaca a relevância do perfil de consumo energético residencial, especialmente em contextos nos quais o aquecimento de água e o uso prolongado de equipamentos eletrônicos são práticas recorrentes, configurando-se como pontos estratégicos para ações de eficiência energética e redução da pegada de carbono no ambiente universitário.

Dentre os alunos respondentes, 80% usam lâmpada LED; 13% fluorescente; 4% incandescente e 3% não sabem.

A predominância do uso de lâmpadas LED indica a adoção de tecnologias mais eficientes energeticamente. A literatura demonstra que a substituição de tecnologias de iluminação convencionais por LED pode reduzir o consumo de energia elétrica e as emissões associadas (Bertoldi; Atanasiu, 2021), especialmente quando combinada com mudanças comportamentais.

Entre as estratégias de eficiência energética em campus universitários, a modernização dos sistemas de iluminação, com a adoção de tecnologias mais eficientes, como LED, tem sido apontada como um dos principais mecanismos de redução do consumo elétrico e das emissões de carbono associadas (Filippín et al., 2018; Leal Filho et al., (2023). Lo, K. (2015), por exemplo, menciona o uso de iluminação LED e iluminação solar, especialmente em áreas externas e em projetos de modernização dos campi para conservação de eletricidade adotadas por universidades chinesas.

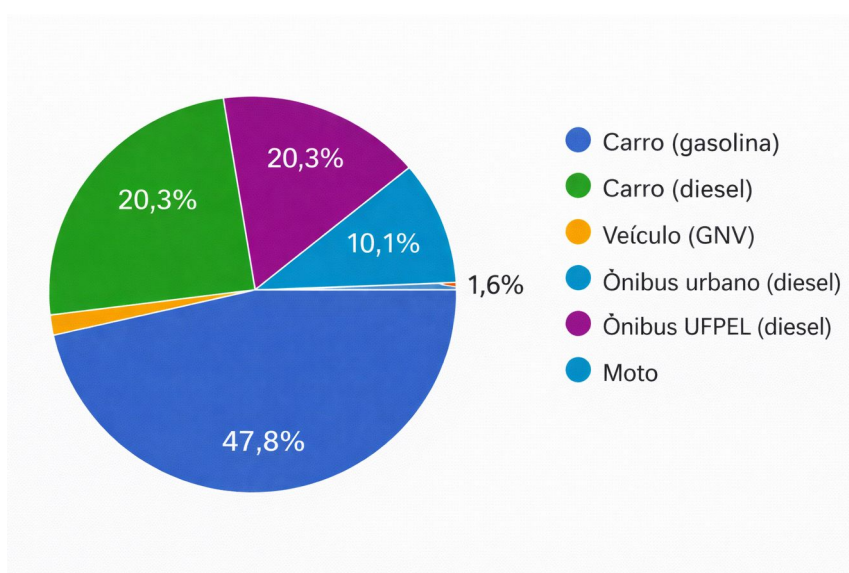
No presente estudo, a eletricidade residencial emerge como o principal componente das emissões, com média de 3.295 kg CO₂-eq/pessoa/ano. Esse resultado é compatível com achados em países de clima subtropical, onde o uso intensivo de equipamentos elétricos e aquecimento de água contribui para a pegada pessoal (Ozawa-Meida et al., 2013).

O transporte diário, responsável por 1.521 kg CO₂-eq/pessoa/ano, apresenta comportamento semelhante ao observado em universidades brasileiras e latino-americanas, onde a dependência de ônibus a diesel e veículos particulares eleva as emissões associadas à mobilidade urbana (Guillén-Chávez et al., 2023). Em contrapartida, em estudos europeus, essa fração tende a ser menor, situando-se entre 15% e 25% da pegada total, devido à maior participação de modais ativos e transporte elétrico coletivo (Verhulst et al., 2020).

A elevada dispersão observada nos dados, evidenciada pelos altos desvios-padrão em categorias como transporte e impressões, é consistente com a literatura internacional, que destaca a presença de *outliers* comportamentais como elemento estruturante da pegada de carbono pessoal em ambientes universitários (Kitzes et al., 2008). Esses resultados reforçam que pequenas parcelas da população estudantil podem responder por frações desproporcionais das emissões, indicando que políticas focalizadas e intervenções direcionadas apresentam maior potencial de mitigação do que estratégias homogêneas aplicadas a todo o campus.

A Figura 22 apresenta os principais meios de transporte utilizados pelos estudantes.

Figura 22 – Meio de transporte utilizado para o deslocamento ao campus (n=69)

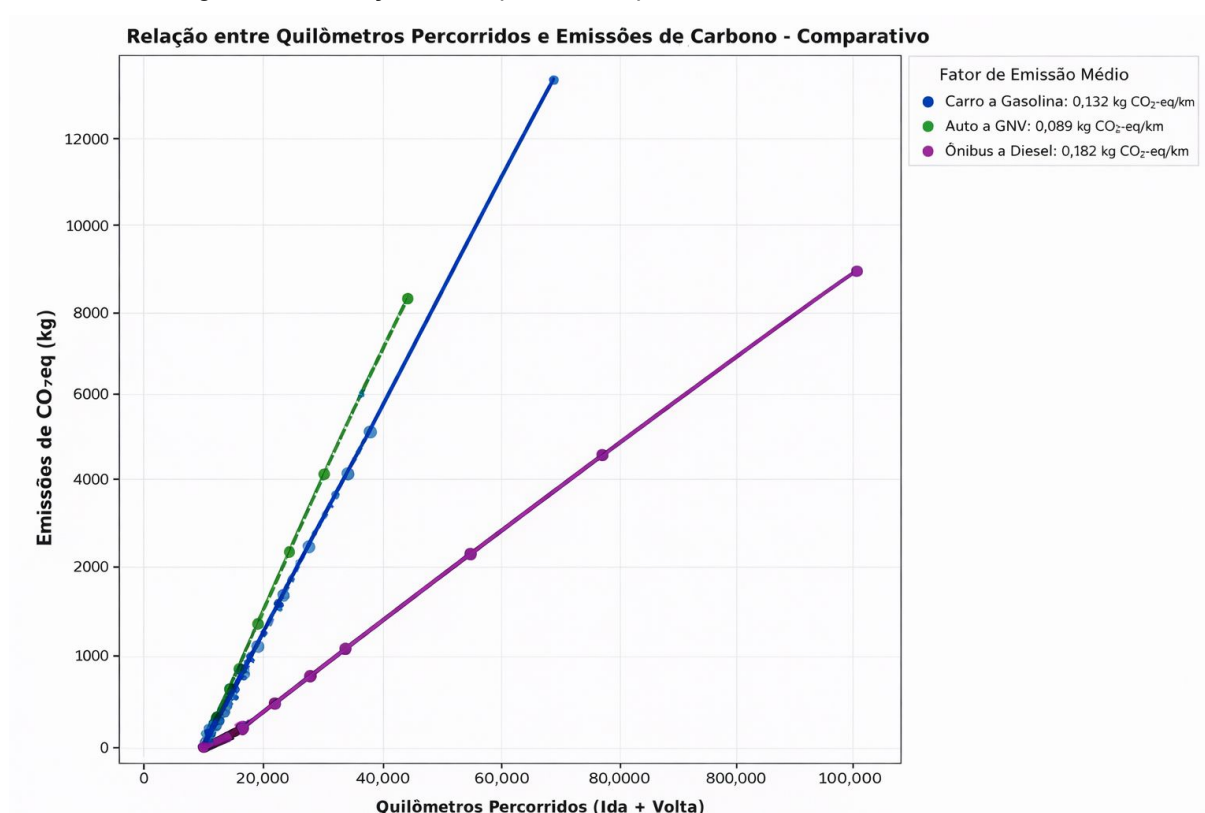


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Observa-se predominância do transporte individual motorizado, padrão amplamente identificado em estudos sobre mobilidade universitária. Pesquisas indicam que fatores como distância residência–campus, infraestrutura urbana e oferta de transporte coletivo influenciam diretamente essas escolhas, impactando a pegada de carbono individual (Akar; Clifton, 2009; Brand et al., 2021).

A Figura 23 evidencia relação linear positiva entre distância percorrida e emissões de CO₂-eq para todos os modais analisados.

Figura 23 – Relação entre quilômetros percorridos e emissões de carbono

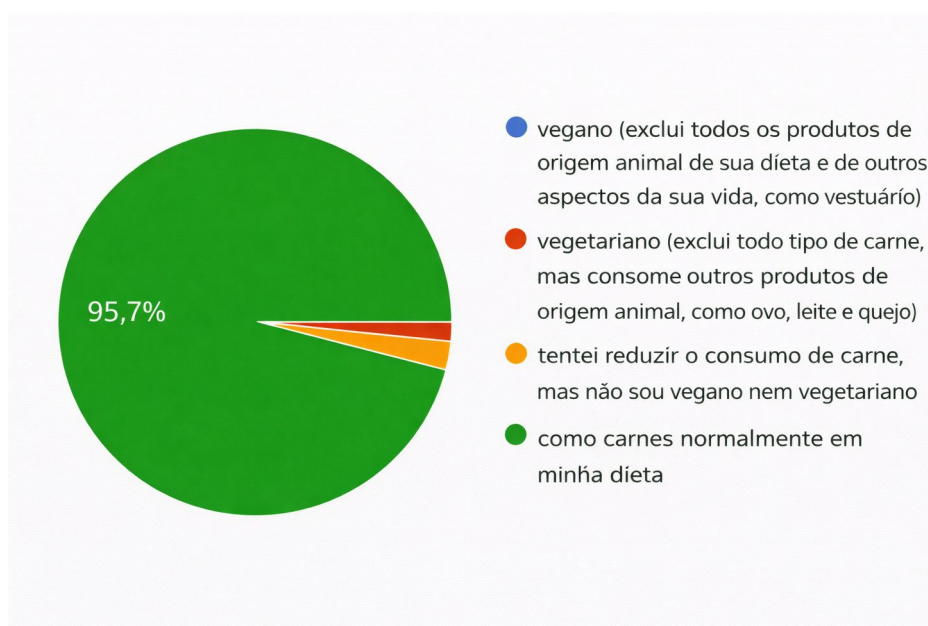


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O menor fator de emissão associado ao transporte coletivo confirma evidências consolidadas de que os ônibus apresentam maior eficiência carbônica por passageiro-quilômetro quando comparados ao transporte individual (Chester; Horvath, 2009). Esses resultados reforçam o papel estratégico do transporte coletivo na mitigação das emissões no ambiente universitário.

A Figura 24 apresenta o padrão alimentar dos estudantes.

Figura 24 – Tipo de dieta dos participantes

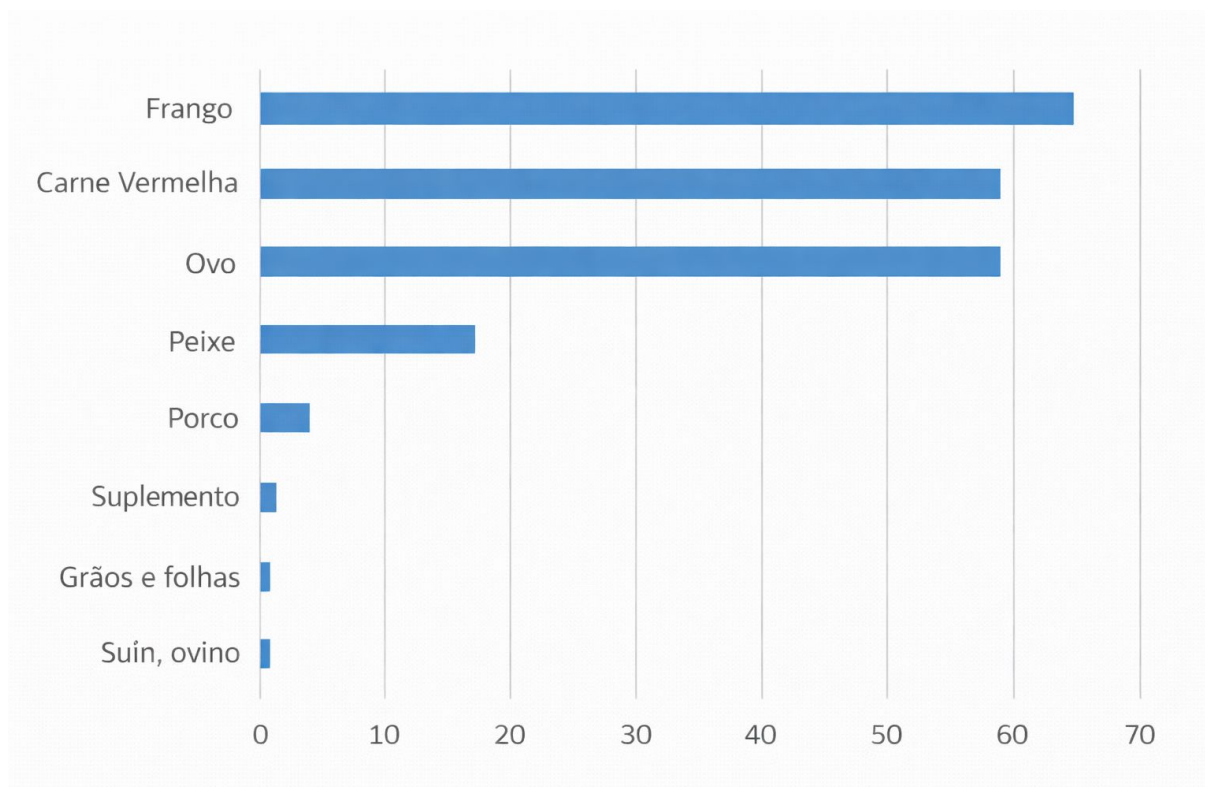


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A predominância do consumo de carne (96%) é consistente com padrões alimentares observados em populações universitárias. Estudos indicam que dietas com elevado consumo de proteína animal apresentam maior intensidade de emissões de gases de efeito estufa, especialmente quando associadas à carne vermelha (Poore; Nemecek, 2018).

A Figura 25 mostra as principais fontes de proteína animal consumidas.

Figura 25 – Fontes de proteína animal consumidas

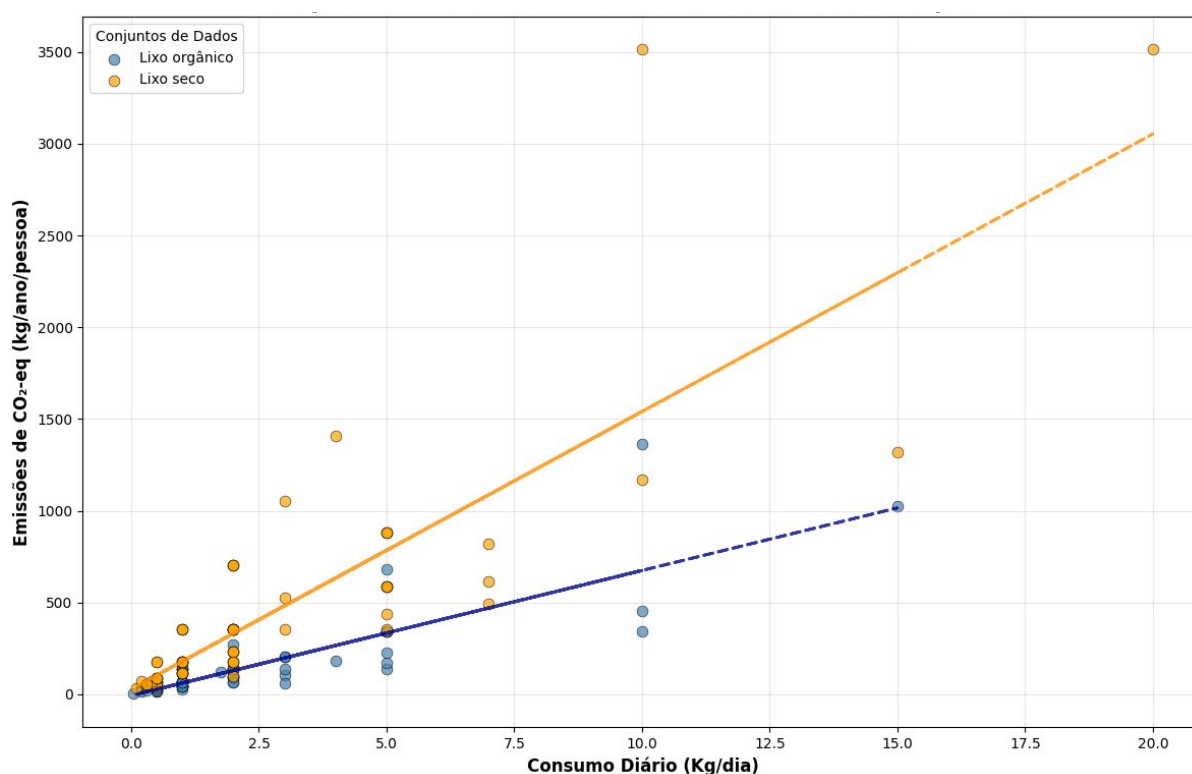


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Embora o consumo de frango apresenta menor intensidade de emissão do que a carne bovina, sua alta frequência ainda representa contribuição relevante para a pegada de carbono. A literatura destaca que substituições graduais entre fontes proteicas podem reduzir emissões sem prejuízo nutricional (Clark et al., 2020).

A Figura 26 mostra correlação positiva entre geração de resíduos e emissões, com maior intensidade associada ao lixo seco (linha laranja).

Figura 26 – Relação entre geração de resíduos e emissões de CO₂-eq



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Estudos demonstram que resíduos não orgânicos, especialmente plásticos e embalagens, apresentam maior intensidade de emissão ao longo do ciclo de vida, reforçando a importância de políticas de redução e reciclagem (Laurent et al., 2014).

Os resultados obtidos por Laurent et al., (2014) indicam uma pegada de carbono média anual de aproximadamente 4,5 t CO₂e por estudante universitário, valor que se situa em patamar intermediário quando comparado a *benchmarks* internacionais, mas que revela especificidades relevantes do contexto brasileiro.

A decomposição das emissões mostra que as principais contribuições decorrem da mobilidade (35%), alimentação (28%) e absorção de carbono associada ao consumo energético e de bens (20%), padrão consistente com achados reportados em estudos recentes sobre pegada de carbono em instituições de ensino superior (Borucke et al., 2013; Lin et al., 2018).

A predominância do componente de mobilidade está diretamente relacionada à elevada dependência de modais motorizados individuais e ao uso extensivo de transporte coletivo movido a combustíveis fósseis, conforme evidenciado nas Figuras 22 e 23.

Diferentemente de contextos europeus, nos quais intervenções estruturadas em campi sustentáveis permitiram reduções de até 25% nas demandas energéticas e emissões associadas ao deslocamento (Eurostat, 2006), o cenário brasileiro ainda apresenta limitações de infraestrutura e baixa integração entre políticas de mobilidade urbana e planejamento universitário. Essas condições contribuem para fatores de emissão mais elevados por quilômetro percorrido, especialmente em trajetos longos realizados diariamente por estudantes de menor renda.

No que se refere ao consumo alimentar, a predominância de dietas baseadas em proteínas animais, evidenciada nas Figuras 24 e 25, reforça a contribuição significativa da alimentação para a pegada total. Embora o consumo de frango apresente menor intensidade de emissões quando comparado à carne bovina, sua elevada frequência mantém impactos relevantes sobre a demanda indireta por biocapacidade. Esse resultado converge com estudos internacionais que identificam a alimentação como um dos principais vetores de emissões em pegadas individuais, especialmente em contextos em que alternativas vegetais ainda não são amplamente difundidas por fatores culturais ou econômicos (Kitzes et al., 2008; Lin et al., 2018).

A análise da geração de resíduos (Figura 26) evidencia correlação linear positiva entre consumo diário e emissões de CO₂e, com destaque para o lixo seco, cujo fator de conversão revelou impacto proporcionalmente superior ao do lixo orgânico. Esse achado sugere que padrões de consumo associados a embalagens, produtos industrializados e materiais de uso acadêmico exercem influência significativa sobre a pegada de carbono, ultrapassando médias globais reportadas na literatura, nas quais essa fração representa cerca de 8% das emissões totais. Os hábitos acadêmicos como uso intensivo de impressões, equipamentos eletrônicos e insumos laboratoriais contribuíram com aproximadamente 12% das demandas totais, indicando oportunidades relevantes de mitigação no ambiente institucional. (Borucke et al., 2013).

A distribuição das emissões totais (Figura 19) revela elevada variabilidade, com presença de valores extremos que elevam a média em relação à mediana. Esse padrão confirma que uma parcela reduzida dos estudantes concentra emissões significativamente mais altas, comportamento amplamente documentado em estudos de pegada de carbono individual (Kitzes et al., 2008). Tais outliers estão

geralmente associados a hábitos específicos, como uso frequente de transporte individual motorizado ou consumo intensivo de bens e serviços, indicando grupos prioritários para intervenções direcionadas.

Por fim, o estudo evidencia lacunas para pesquisas futuras, destacando a necessidade de análises longitudinais que considerem os efeitos pós-pandemia e do ensino híbrido sobre os padrões de deslocamento, bem como modelagens que incorporem variáveis sociodemográficas, como gênero e renda, sob a perspectiva da equidade na transição para estilos de vida compatíveis com os limites planetários.

4.3.1.4 Pegada de carbono (PC) x pegada ecológica (PE) x biocapacidade

A pegada de carbono não se confunde com a pegada ecológica e biocapacidade, pois, conforme o Ministério do Meio Ambiente do Brasil, pegada de carbono mede a quantidade total das emissões de gases do efeito estufa causadas diretamente e indiretamente por uma pessoa, organização, evento ou produto.

Em contrapartida, a pegada ecológica (PE) é definida como o cálculo da área requerida por uma população para a obtenção contínua de recursos (Wackernagel et al., 1996).

A pegada ecológica mensura a demanda de uma população pela biocapacidade dos ecossistemas — ou seja, a quantidade de área biologicamente produtiva necessária para produzir os recursos consumidos e absorver os resíduos gerados — comparada à capacidade do planeta de regenerar esses recursos e absorver resíduos (Global Footprint Network, 2026).

Dados de 2019, mostravam que apenas três países possuíam a biocapacidade superior à pegada ecológica (superávit ecológico): Mongólia, Canadá e Estônia (Global Footprint Network, 2019).

Assim, a análise da pegada de carbono torna-se mais robusta quando interpretada juntamente com biocapacidade, que representa a capacidade dos ecossistemas de regenerar recursos naturais e absorver os resíduos gerados pelas atividades humanas, especialmente o dióxido de carbono (Borucke et al., 2013).

Nesse sentido, a avaliação das emissões dos estudantes não se limita à magnitude absoluta dos valores observados, mas permite examinar sua compatibilidade com os limites ecológicos globais.

Estudos internacionais apontam que, em contextos universitários, o descompasso entre pegada ecológica e biocapacidade é recorrente, sobretudo em países em desenvolvimento, onde limitações estruturais e padrões de consumo intensivos em carbono ampliam a pressão sobre os sistemas naturais (Lin et al., 2018).

Dessa forma, os resultados observados sugerem que a redução da pegada de carbono no ambiente universitário não deve ser analisada apenas como um objetivo de mitigação climática, mas como uma estratégia integrada para reaproximação entre consumo e biocapacidade disponível. Intervenções voltadas à mobilidade sustentável, à alimentação de menor intensidade de carbono e à gestão eficiente de resíduos apresentam potencial direto para reduzir o déficit ecológico associado às atividades acadêmicas, alinhando o contexto institucional aos princípios de sustentabilidade forte e aos compromissos internacionais de mitigação climática (Figueiredo et al., 2021).

No presente estudo, a pegada de carbono média dos estudantes, estimada em 7,93 tCO₂-eq por ano, foi convertida em hectares globais (gha), com base no fator médio global de sequestro de carbono de 2,7 tCO₂ por hectare global por ano (Global Footprint Network, 2023). O valor resultante (7,93 tCO₂-eq/ano | 2,7 tCO₂/gha/ano) corresponde a aproximadamente 2,94 gha por estudante ao ano. Essa conversão possibilita a comparação direta do CO₂-eq com a biocapacidade, expressa na mesma unidade.

Considerando que a biocapacidade global per capita disponível é < 1,6 gha/pessoa (Global Footprint Network, 2023), a pegada de carbono dos estudantes analisados, de 2,94 gha/estudante excede a biocapacidade global disponível.

Assim, pode-se concluir que a redução da pegada de carbono é a forma mais direta de diminuir a pegada ecológica total e equilibrá-la com a biocapacidade disponível.

4.3.2 Práticas Sustentáveis em Universidades do mundo

Para contextualizar as emissões associadas ao comportamento estudantil em distintas realidades institucionais, foi elaborado um quadro comparativo (Quadro 9)

reunindo os principais valores de pegada de carbono reportados na literatura internacional. O objetivo dessa sistematização foi evidenciar como universidades de diferentes países têm mensurado as emissões individuais de seus estudantes, destacando tanto a diversidade metodológica empregada quanto às variações nos padrões de consumo e deslocamento. Ao consolidar esses dados, tornou-se possível identificar tendências, contrastes regionais e fatores explicativos que influenciam a magnitude das emissões, fornecendo uma base referencial para análise dos resultados obtidos no presente estudo.

Quadro 9 - Pegada de carbono de estudantes de instituições de ensino

Título do artigo (traduzido para o português)	Local do estudo	Pegada de carbono	Método usado para estimar os GEE	Propostas de melhorias sustentáveis
E quanto às emissões de gases de efeito estufa dos estudantes? Uma análise do estilo de vida e da pegada de carbono na Universidade de Ciências Aplicadas de Constança, Alemanha (Sippel, Meyer, Scholliers, 2018)	University of Applied Science Konstanz (Alemanha)	10,9 tCO ₂ e/ ano	Aplicação de questionário com 448 estudantes; uso do software CO ₂ -Rechner Klima-aktiv; cálculo considerando aquecimento, eletricidade, transporte, alimentação e consumo geral; fatores de emissão baseados em ciclo de vida	Inserção de atividades de cálculo de pegada de carbono no currículo; Campanhas de conscientização sobre o impacto das viagens aéreas; Incentivo à redução de consumo energético nas residências; Programas de informação sobre dietas sustentáveis; Parcerias com fornecedores de energia para informar sobre consumo energético.
Investigando as emissões pessoais de carbono de funcionários de instituições de ensino superior: Insights das Maurícias (Bekaroo et al 2019)	Instituições de ensino superior das ilhas de Mauritius (Mauritius)	6,3 tCO ₂ e/ ano	Questionário aplicado em 440 funcionários. Abordou consumo doméstico de energia, transporte, dieta e estilo de vida; Uso de calculadoras <i>online</i> : <i>Carbon Footprint</i> e <i>Carbon Story</i>	Campanhas de conscientização e educação ambiental; Programas de sensibilização; Adoção de transporte público; Redução do consumo de carne e produtos processados; Incentivo à adoção de fontes renováveis de energia; Melhoria da infraestrutura de reciclagem.

Modelo de análise preditiva para otimizar a pegada de carbono das atividades de aprendizagem de alunos em cursos relacionados à ciência da computação. (Hans, 2023)	Institut Teknologi Bandung (Indonésia)	571,2 kgCO ₂ e /ano ou 3,1 kgCO ₂ e /dia	Análise de carbono por meio de algoritmos de <i>Machine Learning</i> , <i>XGBoost</i> , Regressão Linear.	Reduzir o uso de energia elétrica; Reduzir distâncias de deslocamento (incentivo à caminhada e compartilhamento de transporte); Otimizar o uso de equipamentos eletrônicos; Monitorar continuamente o consumo e as emissões.
Análise da pegada de carbono do comportamento estudantil para um campus universitário sustentável na China. (Li, Tan, Rackes 2015)	Tongji University (China)	3,8 tCO ₂ e/ ano	Questionário com 1.029 estudantes; Cálculo de emissões de alimentação, banho, eletricidade, transporte, estudos.	Desligar computadores ao término do uso; Incentivar mudanças de comportamento de longo prazo.

Fonte: Próprio autor (2026)

A análise comparativa dos estudos revela uma expressiva heterogeneidade nos valores de pegada de carbono média por estudante entre as diferentes instituições avaliadas, refletindo tanto particularidades regionais quanto divergências metodológicas. A *University of Applied Science Konstanz*, na Alemanha, registrou estimativa anual de 10,9 tCO₂e por estudante, enquanto a *Tongji University*, na China, apresentou média substancialmente inferior, de 3,84 tCO₂e. Em contraste, o *Institute Teknologi Bandung*, na Indonésia, reportou emissões ainda menores, aproximadamente 571 kgCO₂e por estudante ao ano.

Essas discrepâncias evidenciam que variáveis como padrões de consumo, infraestrutura urbana, matriz energética local, hábitos alimentares e procedimentos adotados para o cálculo das emissões exercem influência direta sobre os resultados obtidos. No que se refere às iniciativas de mitigação, observa-se que diversas instituições têm implementado ações de sustentabilidade, incluindo campanhas educativas, mudanças comportamentais relacionadas à mobilidade e à alimentação, além da incorporação de tecnologias voltadas ao monitoramento e redução das emissões de GEE.

4.6 Conclusão

Foi possível calcular a pegada de carbono pessoal dos estudantes do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e, a partir desses resultados, sugerir melhorias que possam contribuir com a consolidação de uma cultura institucional de minimização das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no ambiente universitário.

A estimativa da pegada de carbono média anual dos estudantes, foi de 7,93 tCO₂-eq por estudante. Esse valor posiciona a amostra em um patamar intermediário quando comparada a *benchmarks* internacionais, revelando, contudo, especificidades relevantes do contexto brasileiro.

A decomposição das emissões evidenciou que eletricidade residencial e transporte diário concentram a maior parcela das emissões totais, seguidos pela alimentação baseada em proteínas animais e pela geração de resíduos, corroborando achados recorrentes da literatura científica sobre comportamento estudantil em instituições de ensino superior.

Ao integrar a análise da pegada de carbono com os conceitos de pegada ecológica e biocapacidade, o estudo amplia a interpretação dos resultados, evidenciando que a magnitude das emissões observadas excede a biocapacidade global per capita mundial disponível. Assim, a conversão das emissões médias de CO₂-eq em hectares globais demonstrou um déficit ecológico, reforçando que a redução das emissões no ambiente universitário não deve ser compreendida apenas como uma ação de mitigação climática, mas como uma estratégia estrutural para reaproximação entre padrões de consumo e os limites ecológicos do planeta.

Logo, os achados do estudo fundamentam a proposição de medidas práticas e factíveis voltadas à mitigação das emissões no contexto institucional, com destaque para: (i) o incentivo à modais de transporte de menor intensidade de carbono, como transporte coletivo, mobilidade ativa e sistemas de caronas; (ii) ações de eficiência energética no uso doméstico e acadêmico, especialmente relacionadas ao aquecimento de água e ao uso prolongado de equipamentos eletrônicos; (iii) campanhas de conscientização alimentar voltadas à redução gradual do consumo de proteínas animais; e (iv) políticas de redução, reutilização e reciclagem de resíduos, com ênfase no lixo seco e no consumo associado a atividades acadêmicas.

Por fim, o estudo contribui para o avanço da literatura nacional ao fornecer uma estimativa empírica detalhada da pegada de carbono pessoal de estudantes universitários, ainda pouco explorada no contexto brasileiro, e ao articular essa estimativa com o debate contemporâneo sobre biocapacidade e sustentabilidade forte.

Como limitações, destaca-se a restrição da amostra a um único curso de uma única instituição pública. Assim, pesquisas futuras podem ampliar a análise para outros cursos e acadêmicos de outras universidades, incorporar abordagens longitudinais e integrar variáveis sociodemográficas, fortalecendo a compreensão dos determinantes das emissões e subsidiando políticas institucionais mais eficazes rumo à neutralidade climática no ensino superior.

Referências

AKAR, G.; CLIFTON, K. Transportation choices of college students. *Transport Policy*, v. 16, n. 2, p. 85–94, 2009. DOI: 10.1016/j.tranpol.2009.02.007.

ARTUN, E. Assessment of carbon footprint of a campus with sustainability initiatives. *Gazi University Journal of Science*, v. 34, n. 3, p. 652–663, 2021.

BERTOLDI, P.; ATANASIU, B. Lighting efficiency and energy savings. *Energy Policy*, v. 156, art. 112169, 2021. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112169.

BORUCKE, M. et al. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, v. 24, p. 518–533, 2013. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.08.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X12002968>. Acesso em: 30 nov. 2025.

BRAND, C. et al. Transport carbon footprints revisited. *Energy Policy*, v. 153, art. 112523, 2021. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.112523.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Fatores de emissão de CO₂ para o cálculo de emissões de gases de efeito estufa no Brasil: relatório técnico. Brasília: MCTI, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br>. Acesso em: 5 nov. 2025.

BROUGHT, A. R. et al. Is being green feminine? Environmental behaviors and gender identity. *Journal of Consumer Research*, v. 43, n. 4, p. 567–582, 2016. DOI: 10.1093/jcr/ucw044.

CECCATO, V.; PERSSON, A. Gendered patterns in higher education choices. *Higher Education*, v. 83, p. 247–265, 2022. DOI: 10.1007/s10734-021-00750-3.

CHESTER, M.; HORVATH, A. Environmental assessment of passenger transportation. *Environmental Research Letters*, v. 4, n. 2, art. 024008, 2009. DOI: 10.1088/1748-9326/4/2/024008.

CLARK, M. A. et al. Global food system emissions. *Nature Food*, v. 1, p. 626–638, 2020. DOI: 10.1038/s43016-020-0119-1.

FIGUEIREDO, C.; AZEITEIRO, U. M.; GARCÍA-VINUESA, A.; CARVALHO, S. C. Campus decarbonization: students' perceptions for reducing meat consumption in a Portuguese university. *Sustainability*, v. 13, n. 11, art. 6048, 2021. DOI: 10.3390/su13116048.

GABRIC, A. J. The climate change crisis: a review of its causes and possible responses. *Atmosphere*, v. 14, n. 7, art. 1081, 2023. DOI: 10.3390/atmos14071081.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. What biocapacity measures. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/what-biocapacity-measures/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>. Acesso em: 06 fev. 2026.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. National Footprint and Biocapacity Accounts 2023. Oakland, CA: Global Footprint Network, 2023. Disponível em: <https://data.footprintnetwork.org/>. Acesso em: 9 fev de 2026.

GUILLÉN-CHÁVEZ, S. Leading universities in sustainability: an analysis of carbon footprint initiatives in Latin America. *South Sustainability*, v. 4, n. 2, e081, 2023. DOI: 10.21142/SS-0402-2023-e081.

HAIR, J. F. et al. *Fundamentals of research methods for business*. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019.

HE, F., McCauley, D. and Wilkes, P. (2023), Carbon footprinting for sustainability transitions in higher education: Insights from campus emissions inventories and university targets, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 24 No. 1, pp. 45–62.

HELMERS, E.; CHANG, C. C.; DAUWELS, J. Carbon footprinting of universities worldwide: Part I—objective comparison by standardized metrics. *Environmental Sciences Europe*, v. 33, art. 30, 2021. DOI: 10.1186/s12302-021-00454-6.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Geneva: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 5 nov. 2025.

IVANOVA, D. et al. Quantifying household carbon footprints. *Environmental Research Letters*, v. 15, n. 7, art. 074003, 2020. DOI: 10.1088/1748-9326/ab82ef.

KAISER, K. Protecting respondent confidentiality in qualitative research. *Qualitative Health Research*, v. 19, n. 11, p. 1632–1641, 2009. DOI: 10.1177/1049732309350879.

KITZES, J. et al. Shrink and share: humanity's present and future ecological footprint. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, n. 1492, p. 467–475, 2008. DOI: 10.1098/rstb.2007.2164.

LAURENT, A. et al. Review of LCA of solid waste management. *Waste Management*, v. 34, n. 3, p. 573–588, 2014. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.03.037.

LIN, D. et al. Ecological footprint accounting for countries: updates and results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources*, v. 7, n. 3, art. 58, 2018. DOI: 10.3390/resources7030058.

LOZANO, R. et al. Sustainability in higher education curricula. *Journal of Cleaner Production*, v. 153, p. 1–14, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.062.

MISNI, A.; BUYADI, S. N. A.; BRAHIMI, M. Carbon footprint review in higher learning environment towards campus sustainability. *Asian Journal of Environment-Behaviour Studies*, v. 9, n. 29, p. 41–54, 2024.

NOUSSAN, M.; CAMPISI, E.; JARRE, M. Carbon intensity of passenger transport modes: a review of emission factors, their variability and the main drivers. *Sustainability*, v. 14, art. 10652, 2022. DOI: 10.3390/su141710652.

ONU. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Nova Iorque: Organização das Nações Unidas, 2015.

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018. DOI: 10.1126/science.aag0216.

PRIYANKARA, H. A. C. et al. Developing a community-based carbon footprint questionnaire. *Sustainability*, v. 16, n. 21, art. 9211, 2024. DOI: 10.3390/su16219211.

REDUCING carbon emissions from student commuting in higher education. *Environment Systems and Decisions*, v. 45, art. 5, 2025. DOI: 10.1007/s10669-024-09996-5.

ROMÃO, E., Andrade, H. D. S. and Silva, T. A. G. da (2025), A university campus in Brazil and its carbon footprint aligned with sustainability actions, *International Journal of Sustainability in Higher Education*.

RUS, T.; MOLDOVAN, R.-P.; BEU, D. et al. Towards a climate-neutral campus. *Applied Sciences*, v. 15, n. 7, art. 3695, 2023. DOI: 10.3390/app15073695.

SCHAEFER, F. et al. *Ecological footprint and biocapacity*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.

SEN, G. Achieving sustainability and carbon neutrality in higher education institutions. *Sustainability*, v. 14, n. 1, art. 222, 2021.

SIPPEL, M.; MEYER, D.; SCHOLLIERS, N. What about greenhouse gas emissions from students? *Carbon Management*, v. 9, n. 2, p. 201–211, 2018. DOI: 10.1080/17583004.2018.1440851.

WACKERNAGEL, M. & W. Rees. 1996. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. Canada: New Society Publishers.

WANG, X. et al. Climate change knowledge and behavior among university students. *Sustainability*, v. 13, n. 15, art. 8557, 2021. DOI: 10.3390/su13158557.

ZANATTA, M. et al. Gender inequalities in engineering education in Brazil. *European Journal of Engineering Education*, v. 45, n. 5, p. 711–728, 2020. DOI: 10.1080/03043797.2020.1740503.

ZHANG, Q. Carbon neutrality: operations management research and net-zero targets. *Journal of Operations Management*, 2024.

5. CONCLUSÃO GERAL DA PESQUISA

Foi possível calcular a pegada de carbono pessoal associada às emissões de gases de efeito estufa (GEE) no contexto universitário, tomando como estudo de caso os estudantes do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Para tanto, foram articuladas a quantificação das emissões individuais dos acadêmicos com a discussão sobre limites ecológicos, biocapacidade e estratégias institucionais para mitigação.

O mapeamento da produção científica internacional sobre pegada de carbono pessoal em universidades evidenciou um campo de pesquisa em expansão, porém caracterizado por elevada heterogeneidade metodológica. A revisão sistematizada indicou que a maior parte dos estudos se concentra em instituições europeias e asiáticas, com participação ainda incipiente de universidades latino-americanas, o que reforça a relevância e a originalidade da presente investigação no contexto brasileiro. Observou-se, ainda, relativa convergência na identificação da mobilidade, do consumo energético e dos padrões alimentares como os principais vetores de emissões associadas ao comportamento discente, embora com magnitudes distintas em função de fatores socioeconômicos, culturais e das características da matriz energética local.

A estratégia metodológica adotada neste estudo mostrou-se compatível com a realidade dos estudantes da UFPel, permitindo a conversão consistente de hábitos cotidianos em emissões equivalentes de dióxido de carbono ($\text{CO}_2\text{-eq}$), com base em referências científicas consolidadas. A adoção de um modelo transparente e replicável contribui para a robustez dos resultados, além de ampliar seu potencial de comparação com estudos conduzidos em outros contextos institucionais.

Os dados empíricos coletados junto aos estudantes da Engenharia de Produção da UFPel possibilitaram a estimativa de uma pegada de carbono média de 7,93 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ por estudante ao ano, valor situado em patamar intermediário quando comparado a benchmarks internacionais. A decomposição das emissões indicou que o consumo de eletricidade residencial e o transporte diário concentram a maior parcela das emissões totais, seguidos pela alimentação e pela geração de resíduos. A elevada variabilidade observada entre os indivíduos, com a presença de valores extremos, evidencia que padrões comportamentais específicos exercem influência

desproporcional sobre a pegada total, reforçando a necessidade de estratégias de mitigação direcionadas.

A conversão da pegada de carbono em hectares globais permitiu integrar a análise às métricas de pegada ecológica e biocapacidade, revelando que a demanda associada às emissões dos estudantes supera a biocapacidade global per capita atualmente disponível. Esse achado indica que a problemática das emissões no ambiente universitário transcende a dimensão estritamente climática, refletindo um descompasso estrutural entre padrões de consumo e os limites ecológicos planetários.

Por fim, os resultados obtidos subsidiam a proposição de ações voltadas à consolidação de uma cultura institucional de minimização das emissões de GEE, com destaque para intervenções nos eixos de mobilidade sustentável, eficiência energética, redução do consumo de proteína animal e aprimoramento da gestão de resíduos. As evidências sugerem que estratégias combinadas — de natureza estrutural, educacional e comportamental — apresentam elevado potencial de mitigação no contexto universitário, especialmente quando alinhadas a políticas institucionais de sustentabilidade e aos compromissos internacionais de enfrentamento das mudanças climáticas.

Conclui-se, portanto, que a mensuração da pegada de carbono pessoal constitui uma ferramenta estratégica para o planejamento ambiental universitário, ao permitir a identificação de pontos críticos, o direcionamento de políticas de mitigação e a promoção de estilos de vida compatíveis com os limites da biocapacidade planetária, reforçando o papel das universidades como agentes centrais na transição para a sustentabilidade.

Sugere-se para trabalhos futuros o estudo de *frameworks* institucionais para auxiliar a compreensão e a capacidade de mitigação dos estudantes em relação às emissões de GEE, conforme fizeram Cotton et al., 2020 e Leal Filho et al., 2019.

Referências

ADEYEMI, A. O.; OGUNDIPE, C. O. CO₂ emissions and energy policy implications in Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, v. 12, n. 1, p. 28–48, 2022. DOI: 10.32479/ijeep.8050.

ADEYEMI, O.; OGUNDIPE, A. Climate Change Act and Energy Transition Plan in Nigeria: institutional frameworks and emissions reduction policies. *Journal of Environmental Policy*, v. 15, n. 2, p. 101–120, 2022.

AKAR, G.; CLIFTON, K. Transportation choices of college students. *Transport Policy*, v. 16, n. 2, p. 85–94, 2009. DOI: 10.1016/j.tranpol.2009.02.007.

ALTAY, M.; DEMIREL, P.; ATES, A. Global research on ESG and carbon footprint: bibliometric analysis of scientific production. *Journal of Cleaner Production*, v. 410, p. 137896, 2025. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.137896.

AMARAL, C.; VÁSQUEZ, L.; MARTÍNEZ, F. Emissões de gases do efeito estufa em universidades latino-americanas: desafios e perspectivas. *Environmental Management Review*, v. 12, n. 3, p. 33–47, 2020.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007.

ARTUN, E. Assessment of carbon footprint of a campus with sustainability initiatives. *Gazi University Journal of Science*, v. 34, n. 3, p. 652–663, 2021.

BEKAROO, G. et al. Students' awareness and practices towards carbon footprint reduction in universities. *Sustainability*, v. 11, n. 1, p. 111–124, 2019.

BERCHIN, I. I. et al. Living laboratories for sustainability transitions: case studies from Brazilian universities. *Journal of Environmental Studies*, v. 28, p. 45–60, 2020.

BERTOLDI, P.; ATANASIU, B. Lighting efficiency and energy savings. *Energy Policy*, v. 156, art. 112169, 2021. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112169.

BORUCKE, M. et al. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, v. 24, p. 518–533, 2013. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.08.005.

BOSI, M. K.; LAJUNI, N.; WELLFREN, A. C.; LIM, T. S. Sustainability reporting through Environmental, Social, and Governance: a bibliometric review. *Sustainability*, v. 14, n. 19, p. 12071, 2022. DOI: 10.3390/su141912071.

BRAND, C. et al. Transport carbon footprints revisited. *Energy Policy*, v. 153, art. 112523, 2021. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.112523.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Fatores de emissão de CO₂ para o cálculo de emissões de gases de efeito estufa no Brasil: relatório técnico. Brasília: MCTI, 2023.

BRATTI, F. et al. Nitrous oxide and methane emissions affected by grazing and nitrogen fertilization in an integrated crop-livestock system. *Geoderma*, v. 425, p. 1–12, 2022.

BRATTI, L. et al. Agricultural emissions and climate change in Brazil: methane and nitrous oxide patterns. *Environmental Science and Policy*, v. 129, p. 15–27, 2022.

BROUGHT, A. R. et al. Is being green feminine? Environmental behaviors and gender identity. *Journal of Consumer Research*, v. 43, n. 4, p. 567–582, 2016. DOI: 10.1093/jcr/ucw044.

CANENCIO, P. et al. Integrative review on carbon footprint in higher education: trends and gaps. *Journal of Sustainable Education*, v. 32, p. 12–28, 2024.

CECCATO, V.; PERSSON, A. Gendered patterns in higher education choices. *Higher Education*, v. 83, p. 247–265, 2022. DOI: 10.1007/s10734-021-00750-3.

CERRI, C. C. et al. Greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil: modeling and projections. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 139, p. 318–329, 2010.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F. et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agricola*, v. 67, n. 1, p. 102–116, 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000100015.

CHADEGANI, A. A. et al. Scopus and Web of Science: a bibliometric comparison. *Scientometrics*, v. 94, n. 1, p. 575–585, 2013.

CHESTER, M.; HORVATH, A. Environmental assessment of passenger transportation. *Environmental Research Letters*, v. 4, n. 2, art. 024008, 2009. DOI: 10.1088/1748-9326/4/2/024008.

CLARK, M. A. et al. Global food system emissions. *Nature Food*, v. 1, p. 626–638, 2020. DOI: 10.1038/s43016-020-0119-1.

CLIMATE ANALYTICS. Brazil's current GHG emissions profile. 2025.

CLIMATE OBSERVATORY – SEEG. SEEG – Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimating System. 2023.

DE FILIPPO, D. et al. Spanish universities' sustainability performance and sustainability-related R&D+I. *Sustainability*, v. 11, art. 5570, 2019.

ELLILI, N. Analysis of bibliometric trends in carbon footprint research. *Environmental Bibliometrics*, v. 8, n. 2, p. 21–37, 2023.

EVANS, J. et al. University living labs: sustainability experiments in higher education. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 13, p. 45–60, 2015.

FIGUEIREDO, C. et al. Campus decarbonization: students' perceptions for reducing meat consumption. *Sustainability*, v. 13, art. 6048, 2021. DOI: 10.3390/su13116048.

GABRIC, A. J. The climate change crisis. *Atmosphere*, v. 14, art. 1081, 2023. DOI: 10.3390/atmos14071081.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. What biocapacity measures. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/what-biocapacity-measures/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>. Acesso em: 06 fev. 2026.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. National Footprint and Biocapacity Accounts 2023. Oakland, CA: Global Footprint Network, 2023. Disponível em: <https://data.footprintnetwork.org/>. Acesso em: 9 fev de 2026.

GUILLÉN-CHÁVEZ, S. Leading universities in sustainability. *South Sustainability*, v. 4, e081, 2023. DOI: 10.21142/SS-0402-2023-e081.

HAIR, J. F. et al. Fundamentals of research methods for business. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2019.

HELMERS, E.; CHANG, C. C.; DAUWELS, J. Carbon footprinting of universities worldwide. *Environmental Sciences Europe*, v. 33, art. 30, 2021. DOI: 10.1186/s12302-021-00454-6.

IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006.

IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines. 2019.

IVANOVA, D. et al. Quantifying household carbon footprints. *Environmental Research Letters*, v. 15, art. 074003, 2020. DOI: 10.1088/1748-9326/ab82ef.

KAISER, K. Protecting respondent confidentiality in qualitative research. *Qualitative Health Research*, v. 19, n. 11, p. 1632–1641, 2009. DOI: 10.1177/1049732309350879.

KITZES, J. et al. Shrink and share. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, p. 467–475, 2008. DOI: 10.1098/rstb.2007.2164.

LI, X.; TAN, H.; RACKES, A. Carbon footprint analysis of student behavior. *Journal of Cleaner Production*, v. 106, p. 97–108, 2015.

LI, Y. et al. Carbon footprint analysis of student behavior. *Journal of Cleaner Production*, v. 106, p. 103–111, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.084.

LIN, D. et al. Ecological footprint accounting for countries. *Resources*, v. 7, art. 58, 2018. DOI: 10.3390/resources7030058.

LOZANO, R. et al. Sustainability in higher education curricula. *Journal of Cleaner Production*, v. 153, p. 1–14, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.062.

MISNI, A. et al. Carbon footprint review in higher learning. *Asian Journal of Environment-Behaviour Studies*, v. 9, n. 29, p. 41–54, 2024.

ONU. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030. 2015.

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts. *Science*, v. 360, p. 987–992, 2018. DOI: 10.1126/science.aag0216.

SEN, G. Achieving sustainability and carbon neutrality. *Sustainability*, v. 14, art. 222, 2021.

SIPPEL, M.; MEYER, D.; SCHOLLIERS, N. What about greenhouse gas emissions from students? *Carbon Management*, v. 9, n. 2, p. 201–211, 2018. DOI: 10.1080/17583004.2018.1440851.

WACKERNAGEL, M. & W. Rees. 1996. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. Canada: New Society Publishers.

ZANATTA, M. et al. Gender inequalities in engineering education in Brazil. *European Journal of Engineering Education*, v. 45, n. 5, p. 711–728, 2020. DOI: 10.1080/03043797.2020.1740503.

ZHANG, Q. Carbon neutrality: operations management research. *Journal of Operations Management*, 2024.

APÊNDICE A – Artigos Analisados

Quadro 7 – Artigos analisados para revisão integrativa

Título	Autores	Ano	DOI
Carbon Footprint Assessment	VALLS-VAL	2022	10.1016/j.spc.2021.11.020

Tool For Universities: Co2unv	K;BOVEA M		
The Carbon Footprint Of Spanish University Websites	SANCHEZ-CUADRADO S;MORATO J	2024	10.3390/su16135670
Quantifying Carbon Footprint Review In University Campus	MISNI A;BUYADI S;KAMARUDDIN S;AHMAD P	2019	10.21834/e-bpj.v4i12.1765
Carbon Footprint Of A University Campus From Colombia	VARON-HOYOS M;OSORIO-TEJADA J;MORALES-PINZON T	2021	10.1080/17583004.2021.1876531
Us Universities Must Tackle Their Huge Carbon Footprints	HUISING M;ARON A	2023	10.1038/d41586-023-03348-0
Carbon Footprint Of The University Of Cape Town	LETETE T;MUNGWE N;GUMA M;MARQUARD A	2011	NA
Open-Source Carbon Footprint Estimator: Development And University Declination	AUGER C;HILLOULIN B;BOISSERIE B;THOMAS ;MAEL M;GUIGNARD Q;ROZIERE E	2021	10.3390/su13084315
Green Ict Framework To Reduce Carbon Footprints In Universities	UDDIN M;OKAI S;SABA T	2017	10.12989/eri.2017.5.1.001
Assessment Of Carbon Footprint At University Technology Malaysia (Utm)	YAZDANI Z;TALKHESTAN G;KAMSAH M	2013	10.4028/www.scientific.net/AMM.295-298.872
The Carbon Footprint At Quality And Environmental University Consortium - Qualenv	FUCHS P;FILHO H M;DA S L;ARAUJO A;DUTRA A;GUERRA J;SALGUEIRINHO O D A S	2024	10.1108/IJSHE-11-2022-0376
Food Waste And Associated Carbon Footprint: Evidence From Chinese Universities	QIAN L;RAO Q;LIU H;MCCARTHY B;LIU L;WANG L	2022	10.1080/20964129.2022.2130094

Carbon Footprint Estimation In A University Campus: Evaluation And Insights	YANEZ P;SINHA A;VASQUEZ M	2020	10.3390/su12010181
Carbon Footprint At A United Arab Emirates University: Ghg Protocol	SAMARA F;IBRAHIM S;YOUSUF M;ARMOUR ;ROSE R	2022	10.3390/su14052522
Analyzing Research Trends Of Universities' Carbon Footprint: An Integrated Review	MA B;BASHIR M;PENG X;STRIELKOWSKI W;KIRIKKALELI D	2023	10.1016/j.gr.2023.05.008
Estimation Of Carbon Footprint In Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore	KARISHMA C;KOTTISWARAN S;BALASUBRAMANIAN A;KANNAN B	2021	10.22438/jeb/42/4(SI)/MRN
The Carbon Footprint Of Cataract Surgery In A French University Hospital	FERRERO A;THOUVENIN R;HOOGEWOUD F;MARCIREAU I;OFFRET O;LOUISON P;MONNET D;BREZIN A	2022	10.1016/j.jfo.2021.08.004
Measuring Carbon Performance In A Uk University Through A Consumption-Based Carbon Footprint: De Montfort University Case Study	OZAWA-MEIDA L;BROCKWAY P;LETTEN K;DAVIES ;JASON J;FLEMING P	2013	10.1016/j.jclepro.2011.09.028
Renewable Energy And Carbon Footprint Emission At University Technology Malaysia (Utm)	YAZDANI Z;NADERIPOUR A;KAMSAH M	2013	10.4028/www.scientific.net/AMR.734-737.1861
The Carbon Footprint Of A Public University Campus In Mexico City	MENDOZA-FLORES R;QUINTERO-RAMIREZ R;ORTIZ I	2019	10.1080/17583004.2019.1642042
Investigating The Carbon Footprint Of A University - The Case Of Ntnu	LARSEN H;PETTERSEN J;SOLLI	2013	10.1016/j.jclepro.2011.10.007

	C;HERTWICH ;EDG AR G E		
Measuring Carbon Footprint Of An Indian University Using Life Cycle Assessment	SANGWAN K;BHAKAR V;ARORA V;SOLANKI ;PREM P	2018	10.1016/j.procir.2017.11.111
Towards A Universal Carbon Footprint Standard: A Case Study Of Carbon Management At Universities	ROBINSON O;TEWKESBURY A;KEMP S;WILLIAMS ;IAN D I	2018	10.1016/j.jclepro.2017.02.147
Commuters' Carbon Footprints: A Sustainability Case Study From Symbiosis International University, India	RAO P;KRISHNAMURTH Y S;PRADHAN V	2017	NA
The Carbon Footprint Of A Uk University During The Covid-19 Lockdown	FILIMONAU V;ARCHER D;BELLAMY L;SMITH ;NEIL N;WINTRIP R	2021	10.1016/j.scitotenv.2020.143964
Carbon Footprint Of Environmental Science Students In Suan Sunandha Rajabhat University, Thailand	UTARASKUL T	2015	10.1016/j.sbspro.2015.07.371
The Carbon Footprint Of A University Campus. Case Study Of Yildiz Technical University, Davutpaâža Campus, Turkey	GUVENC S;CANIKLI S;CAN- GUEVEN E;VARANK ;GAMZE G;AKBAS H	2023	10.13135/2384-8677/7317
Reducing The Carbon Footprint Of A German University Hospital: Perspectives From Hospital Stakeholders	QUITMANN C;SAUERBORN R;DANQUAH I;HERRMANN ;ALIN A A	2023	10.1016/j.joclim.2023.100247
Carbon Footprint Of A University Compost Facility: Case Study Of Cornell Farm	SCHWARZ M;BONHOTAL J	2018	10.1080/1065657X.2018.1438934

Services			
Measuring A University'S Environmental Performance: A Standardized Proposal For Carbon Footprint Assessment	GARCIA-ALAMINOS A;GILLES E;MONSALVE F;ZAFRILLA J	2022	10.1016/j.jclepro.2022.131783
A University Campus In Brazil And Its Carbon Footprint Aligned With Sustainability Actions	ROMAO E;ANDRADE H;DA S T;APARECIDA G A;CASSINHA M;KASEMODEL M;CONSIGLIO C	2025	10.1108/IJSHE-10-2024-0699
Carbon Footprint Estimation At The National University Of Rosario, Argentina: Evaluation And Perspective	VEGA M;DELANNOY F;CANO D;GIANDOMENICO ;ESTEBAN E;PIACENTINI R	2024	10.3897/ap.7.e0357
Identify Predictors Of University Students' Continuance Intention To Use Online Carbon Footprint Calculator	LIN S	2017	10.1080/0144929X.2016.1232751
Carbon Footprint Analysis Of Student Behavior For A Sustainable University Campus In China	LI X;TAN H;RACKES A	2015	10.1016/j.jclepro.2014.11.084
A Mitigation Concept For Energy-Demand Based Carbon Footprint In A University Campus	FOLOORUNSO S;ONIBONOJE M;WARA S;TITA T	2020	NA
Measurement Of Carbon Footprint At National University Of Costa Rica For 2012-2014. Heading For Carbon Neutrality	CHAVARRIA-SOLERA F;MARIO M O;GAMBOA-VENEGAS R;RODRIGUEZ-FLORES J	2016	10.15359/ru.30-2.4
Carbon Footprint Of A University In A Multiregional Model: The Case Of The	GOMEZ N;CADARSO M;MONSALVE F	2016	10.1016/j.jclepro.2016.06.009

University Of Castilla-La Mancha			
Assessing The Carbon Footprint Of A University Campus Using A Life Cycle Assessment Approach	CLABEAUX R;CARBAJALES-DALE M;LADNER D;WALKER T	2020	10.1016/j.jclepro.2020.122600
Carbon Footprint Of Faculty Of Environment And Resource Studies, Mahidol University, Salaya Campus, Thailand	AROONSRIMORAK OT S;YUWAREE C;ARUNLERTAREE C;HUTAJAREORN R;BUADIT T	2013	10.1016/j.apcbee.2013.05.031
Food Waste Quantities, Carbon Footprint And Nutrient Loss In University Students' Households In Sweden	MALEFORS C;SJOLUND A;SUNDIN N	2025	10.1016/j.spc.2025.01.017
Carbon Footprint At Institutions Of Higher Education: The Case Of The University Of Oulu	KIEHLE J;KOPSAKANGAS-SAVOLAINEN M;HILLI M;PONGRACZ E	2023	10.1016/j.jenvman.2022.117056
Impact Of The Covid-19 Pandemic On The Carbon Footprint Of A Philippine University	CORTES A;DOS M L;TABORNAL K;TOLABING H	2022	10.1088/2634-4505/acaa52
Determination Of Carbon Footprint In The Salesian University, South Campus, Quito, Base Year 2012	VILCHES R;DAVILA F;VARELA S	2015	10.17163/lgr.n21.2015.03
Carbon Footprint Of A Scientific Publication: A Case Study At Dalian University Of Technology, China	SONG G;CHE L;ZHANG S	2016	10.1016/j.ecolind.2015.06.044
The Carbon Footprint Of A Public Sector University Before And During The Covid-19 Lockdown	HASEEB M;TAHIR Z;BATOO S;MAJEED A;AHMAD S;R. R;KANWAL S	2022	10.30955/gnj.004222
Towards The Evaluation Of	D'APUZZO	2024	10.1109/

Carbon Footprint For University Communities' Mobility: Challenges, Opportunities, And Reduction Strategies	M;SILVESTRI A;NARDOIANNI S;CAPPELLI G		SMART63170.2024.10815400
Time Series-Based Carbon Footprint Forecast In A University Campus: Abuad As A Case Study	FOOLORUNSO S;ONIBONOJE M;WARA ;SAMUEL T S	2021	10.1109/ POWERAFRICA52236.2021.95432 97
Nutritional Quality And Carbon Footprint Of University Students' Diets: Results From The Ehu12/24 Study	TELLERIA- ARAMBURU N;BERMUDEZ- MARIN N;ROCANDIO A;TELLETXEA S;BASABE N;REBATO E;ARROYO-IZAGA M	2022	10.1017/S1368980021002640
How To Assess The Carbon Footprint Of A Large University? The Case Study Of University Of Bologna's Multicampus Organization	BATTISTINI R;PASSARINI F;MARROLLO R;LANTIERI C;SIMONE A;VIGNALI V	2023	10.3390/en16010166
The Carbon Footprint Of Universities. Importance Of Buildings' Footprint Using The Example Of Graz	PASSER A;MAIERHOFER D;HOXHA E;GETZINGER G;LINDENTHAL T	2020	10.14512/gaia.29.3.15
The Carbon Footprint Of Cataract Surgery In A Dutch University Hospital	NUIJTS R;HONINGS S;ISTAMTO T;KUHN J;LAMBERS J;ELFERINK S;WEBERS C	2022	NA
Estimating The Carbon Footprint Of Ethiopian Higher	ADMAS M;MENSAH L;DZEBRE	2025	10.1016/j.rineng.2025.104911

Education Institutions: A Case Study Of Debre Markos University	D;ARTHUR R;QUANSAH D		
Analysis Of The Carbon Footprint Of Academic Gowns: A Case Study Of Thai University	PETCHCHEDCHOO P;PETCHARAKS N;PIRATRAKUL P;WONGMUEK K	2024	10.59796/jcst.V14N2.2024.46
Organisation Carbon Footprint Assessment And Greenhouse Gas Reduction Emission Of Yala Rajabhat University, Thailand	JIJAI S;NAMBURI S;MUADCHIM M;THONGMARK N;MUHAMAD N;HAJIMASALAEH W;PRADABPHETR AT P	2024	10.46754/jssm.2024.06.010
Eco-Responsible Awareness Raising Interventions To Reduce The Use Of Long-Acting Mdis And Carbon Footprint In A University Hospital Center (Earth)	GROGUHÃ% S;LANDRY O;SIRMALIS C;WILLIAMSON D;STORTINI A;FORTIER M	2025	10.1177/10600280251343947
Corrigendum Of The Abstract 224: Assessment Of The Carbon Footprint Of The Care Pathway Of Patients Receiving Non-Invasive Ventilation Monitored At The Bordeaux University Hospital	GRASSION L;ZINGARETTI P;PASQUIER O	2025	10.1016/j.rmr.2025.02.091
Organizational Carbon Footprint: A Case Study Of The University Of Phayao	SUCHATTRAKUN W;CHITAPORNPAN S;KREETACHAT N;SEDPHO S;PRAGOT W	2025	NA
Greenhouse Gas Emissions Of A University Campus In Guatemala: Foundations For A Carbon-Neutral Footprint By 2040; [Emisiones De Gases De Efecto Invernadero En Un Campus Universitario De	GÁLVEZ-CAMPOS B;SOSA E F;DE L A A;HERNÁNDEZ S D;ESCALANTE C M;CASTAÑA'EDA G L;GONZÁLEZ R F	2025	10.20937/RICA.55235

Guatemala: Bases Para Una Huella De Carbono Neutral A 2040]			
---	--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

APÊNDICE B – Questionário

Cálculo da Pegada de Carbono Pessoal

Quanto de Gases do Efeito Estufa Você Produz?

Que tal descobrir seu impacto ambiental e fazer parte da mudança para um mundo livre de CO₂?!

Ao preencher esse questionário, que leva em torno de 6 min, você estará contribuindo com a descoberta da emissão média de gases do efeito estufa emitidos por alunos do curso de Engenharia de Produção. Além disso, você estará

concorrendo a uma Squeeze da linha UFPel. Pretendemos enviar o resultado para os respondentes desse questionário, após a finalização do tratamento dos dados.

Dados do projeto:

Título: Sistemática de mensuração e verificação das emissões de gases do efeito estufa no contexto de uma universidade pública.

Equipe: Lucas Zaurísio da Silva e Renata Heidtmann Bemvenuti (orientador)

Objetivos:

- Realizar um levantamento de informações que permitam calcular a pegada de carbono dos alunos do curso de Engenharia de Produção da UFPel;
- Determinar o valor de CO2 equivalente médio emitido pelos alunos;

Os seus dados pessoais serão preservados.

Declaro que li, entendi e aceito participar por livre e espontânea vontade da presente pesquisa, que foi aprovada via comitê de ética em pesquisa, via Plataforma Brasil (Número do Parecer: 7.880.836).

Informações Básicas

1 - Gênero:

☐ Feminino ☐ Masculino ☐ Outro

2 - Qual seu semestre?

3 - Você sabe o que é pegada de carbono?

☐ Sim ☐ Já ouvi falar ☐ Não

Uso de eletricidade

4 - Quantos reais, em média, é a conta de eletricidade do local que você mora?

5 - Quantas pessoas moram com você?

6 - Qual tempo médio DIÁRIO você fica com o chuveiro elétrico ligado?

7 - Qual tempo médio DIÁRIO você fica com o chuveiro a gás ligado (GLP)?

8 - Quantas horas em média, POR DIA, você usa o computador?

9 - Quantas folhas você imprime em média POR SEMANA?

10 - De Janeiro a Abril, quantas horas em média POR DIA você ficou num ambiente climatizado?

11 - De Maio a Agosto, quantas horas em média POR DIA você ficou num ambiente climatizado?

12 - De Setembro a Dezembro, quantas horas em média POR DIA você ficou num ambiente climatizado?

13 - Qual tipo de lâmpada predominante em sua residência?
☐ Incandescente ☐ Fluorescente ☐ LED ☐ Não sei

Transporte

14 - Qual o seu meio de transporte predominante para deslocamento diário?

- ☐ Carro (gasolina)
☐ Carro (diesel)
☐ Veículo (GNV)
☐ Ônibus urbano (diesel)
☐ Ônibus UFPel (diesel)
☐ Moto

15 - Quantos Km POR DIA em média você se desloca?

16 - Quantas viagens de avião você faz DENTRO DE UM ANO em média?

17 - Quantas viagens de carro ou moto você faz DENTRO DE UM ANO em média?

18 - Quantas viagens de ônibus você faz DENTRO DE UM ANO em média?

Consumo alimentar

19 - Você se considera:

☐ Vegano

☐ Vegetariano

☐ Tento reduzir o consumo de carne

☐ Como carnes normalmente

20 - Quais dessas fontes de proteína você costuma ingerir normalmente?

☐ Peixe ☐ Frango ☐ Carne vermelha ☐ Ovo ☐ Outro: _____

Geração de resíduos

21 - Qual quantidade média de lixo orgânico (sujo) (em Kg) você produz POR DIA?

22 - Qual quantidade média de lixo seco (limpo) (em Kg) você produz POR DIA?

APÊNDICE C – Termo de Responsabilidade Legal em Caso de Plágio

Conforme Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção da UFPel:

CAPÍTULO VII - DAS COMPETÊNCIAS E RESPONSABILIDADES DO(A) DISCENTE

Art.20. Compete ao/a discente regularmente matriculado no componente curricular TCC: IX. Assinar o Termo de Responsabilidade em Caso de Plágio

TERMO DE RESPONSABILIDADE LEGAL EM CASO DE PLÁGIO

Declaro, para todos os fins de direito e que se fizerem necessários, na forma de legislação vigente e aplicável que eu, Lucas Zaurisio da Silva, matrícula nº 21103034, CPF nº 072.877.931-56, assumo inteira e total responsabilidade pelo aporte substancial, ideológico e referencial conferido ao presente Trabalho de Conclusão de Curso, bem como pelo seu integral conteúdo, assim isentando a Universidade Federal de Pelotas, o Orientador(a) Prof(a) Renata Heidtmann Bemvenuti, e a Banca Examinadora, de todo e qualquer efeito e/ou reflexo relacionado ao presente trabalho, intitulado, ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA – UM ESTUDO DE CASO COM ALUNOS DE UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA FEDERAL. Acrescento ainda a responsabilidade sobre qualquer ofensa a direitos autorais e intelectuais de terceiros, protegidos na forma da legislação em vigor. Dessa forma, estou ciente de que poderei responder administrativa, civil e criminalmente em caso de reprodução indevida de conteúdos de livros, e-books, sítios da internet e qualquer outra conduta que possa configurar plágio comprovado no trabalho de conclusão de curso.
Pelotas, 12 de Fevereiro de 2026.

Documento assinado digitalmente
 LUCAS ZAURISIO DA SILVA
Data: 12/02/2026 22:37:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do discente