

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

KEVIN FELIPE LINS SANTOS

ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO: ESTUDO DE CASO NO CENTRO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

MACEIÓ/AL

2024

KEVIN FELIPE LINS SANTOS

**ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO: ESTUDO DE CASO NO CENTRO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
de Alagoas, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Ambiental
e Sanitária.

Orientadora: Professora Dra. Karina Ribeiro
Salomon.

MACEIÓ/AL

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Jorge Raimundo da Silva – CRB-4 – 1528

S237e Santos, Kevin Felipe Lins.

Estratégias de descarbonização: estudo de caso no Centro de Tecnologia da
Universidade Federal de Alagoas / Kevin Felipe Lins Santos. – 2024.
39 f. : il.

Orientadora: Karina Ribeiro Salomon.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental e
Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 37-39.

1. Protocolo GHG - metodologia. 2. Poluição do ar - Mudanças climáticas. 3.
Efeito Estufa - Inventário. 4. Mudanças climáticas. I. Título.

CDU: 551.583

Folha de Aprovação

KEVIN FELIPE LINS SANTOS

Estratégias de Descarbonização: Estudo de caso no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
KARINA RIBEIRO SALOMON
Data: 05/12/2024 06:32:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Orientadora: Professora Dra. Karina Ribeiro Salomon
(Universidade Federal de Alagoas)**



Documento assinado digitalmente
CHRISTIANO CANTARELLI RODRIGUES
Data: 04/12/2024 20:27:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Professor Dr. Christiano Cantarelli Rodrigues
(Universidade Federal de Alagoas)**



Documento assinado digitalmente
DANIEL PINTO FERNANDES
Data: 04/12/2024 15:53:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Professor Dr. Daniel Pinto Fernandes
(Universidade Federal de Alagoas)**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força que me foi dada e pelas oportunidades que se abriram. Agradeço também à minha família, pois sem eles nada disso seria possível: à minha mãe Jailda, por sempre me ensinar o que é certo a fazer; ao meu pai Edival, por ser um exemplo de trabalho árduo e esforço; à minha irmã Keylla, que sempre me deu apoio e motivação; e ao amor da minha vida, minha namorada Erakthlyn, que fez com que a vida se tornasse muito mais leve e prazerosa. Agradeço também aos meus amigos do grupo intitulado "5ª série", por todo o apoio mútuo e por tornar a graduação um lugar acolhedor. Quero ainda expressar minha gratidão aos professores do CTEC, que me ofereceram todo o suporte necessário para o meu desenvolvimento, tanto acadêmico quanto pessoal, em especial à minha orientadora Karina Salomon. Por fim, agradeço à equipe da ENOPS Engenharia, da sede de Maceió, por toda a calma e os ensinamentos, que pude vivenciar na prática, mostrando como o saneamento funciona de forma efetiva.

RESUMO

Com o agravamento das mudanças climáticas, a poluição do ar vem tomando protagonismo nos debates mundiais, com isso, surge a pauta do Efeito Estufa. Quando tratamos de poluição do ar, a melhor opção é remediação na fonte de emissão, e não é diferente com os Gases de Efeito Estufa, podendo ter sua quantificação e gerenciamento facilitados através de inventários. Tendo em vista o Centro de Tecnologia como um importante bloco da Universidade Federal de Alagoas para a formação de novos integrantes nesse combate ao Aquecimento Global, faz-se necessária a elaboração de um Inventário de Gases de Efeito Estufa. A metodologia escolhida foi o Programa Brasileiro de GHG Protocol 2024, fornecido pela Fundação Getúlio Vargas e fundamentada na ISO 14064, que propõe a identificação da área de estudo, determinação das subcategorias dos escopos, levantamento e análise de dados. Para a obtenção dos dados, foram feitas solicitações a SINFRA, a direção do CTEC, contagem in loco e estimativas. Após a elaboração do inventário, constatou-se que, os escopos 1 e 3 são os mais significativos na emissão dos GEEs no Centro de Tecnologia objeto de estudo. Notou-se que há um grande uso de aparelhos de ar-condicionado o que acarreta uma grande emissão de gás carbono equivalente, outro fator que traz peso nessa emissão é a geração de efluentes líquidos devido a massiva quantidade de pessoas no geral que utilizam o bloco consequentemente gera um alto valor de efluentes. Esses, combinados contribuem para uma emissão total de 675,22 tCO₂e. O plano de ação para melhoria do gerenciamento dos GEEs foi elaborado através de uma matriz SWOT, devido sua fácil aplicabilidade e eficiência, incluindo ações como um sistema de reutilização de efluentes gerados e eletrificação da frota de veículos.

Palavras-chave: Protocolo GHG; Poluição do ar; Efeito Estufa; Inventário; Universidade.

ABSTRACT

With the worsening of climate change, air pollution has gained prominence in global discussions, bringing the Greenhouse Effect into focus. When it comes to air pollution, the best approach is mitigation at the source, and this holds true for Greenhouse Gases (GHG) as well, which can be more easily quantified and managed through inventories. Considering the Technology Center as an important department at the Federal University of Alagoas for training new participants in the fight against global warming, the development of a Greenhouse Gas Inventory is essential. The chosen methodology was the 2024 Brazilian GHG Protocol Program, provided by the Getúlio Vargas Foundation, which involves identifying the study area, determining scope subcategories, collecting, and analyzing data. To obtain data, requests were made to SINFRA, the CTEC management, along with in-person counts and estimates. After creating the inventory, it was found that scopes 1 and 3 are the most significant in GHG emissions at the Technology Center under study. There is a large use of air conditioning units, which results in a high carbon dioxide equivalent emission, and another contributing factor is the generation of liquid effluents due to the significant number of people using the building, which consequently leads to high effluent output. Together, these factors contribute to a total emission of 675.22 tCO₂e. An action plan to improve GHG management was developed through a SWOT matrix, chosen for its ease of application and effectiveness, including actions such as a system for reusing generated effluents and electrifying the vehicle fleet.

Keywords: GHG Protocol; Air pollution; Greenhouse Effect; Inventory; University.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aumento das emissões de GEE de 1850 a 2019.....	16
Figura 2. Variação da temperatura superficial global entre 1850 e 1900.....	17
Figura 3. Mapa de localização do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.	23
Figura 4. Visão geral dos escopos.	24
Figura 5. Escopos e subcategorias GHG Protocol.....	25
Figura 6. Subcategorias selecionadas por escopos.	25
Figura 7. Emissões de CO ₂ e por escopo (toneladas).	34
Figura 8. Emissões de GEE (porcentagem).....	35
Figura 9. Matriz SWOT.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potencial de aquecimento dos GEE.....	15
Tabela 2. Emissão de Gases de Efeito Estufa por fontes naturais.	18
Tabela 3. Emissão de Gases de Efeito Estufa por fontes antropogênicas.	19
Tabela 4. Ações para a descarbonização em diferentes setores.	21
Tabela 5. Medidas mitigadores de outros estudos.	22
Tabela 6. Valores utilizados para o cálculo de emissões fugitivas.....	28
Tabela 7. Composição do RSU de Maceió.....	29
Tabela 8. Indicadores (KPIS) utilizados na elaboração do plano de ação.....	30
Tabela 9. Dados de inventários de GEE encontrados na literatura.	30
Tabela 10. Valores utilizados para o cálculo de emissões provenientes do uso de energia elétrica.	32
Tabela 11. Valores utilizados para o cálculo de emissões provenientes da geração de RSU. .	33
Tabela 12. Comparativo dos KPIS com outros centros educacionais.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
GEE	Gases de Efeito Estufa
COP-21	21ª Conferência das Partes
CTEC	Centro de Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDCs	Contribuições Nacionalmente Determinadas
ONG	Organização Não Governamental
SEMIL	Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	Efeito estufa.....	15
3.1.2	Fontes antropogênicas.....	18
3.3	Inventário de GEE.....	19
3.3.1	Protocolo GHG.....	20
3.3.2	Norma ISO 14064.....	20
3.4	Mecanismos de descarbonização.....	21
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	Caracterização da área de estudo.....	23
4.2	Elaboração do inventário Gases de Efeito Estufa (GEE).....	23
4.3	Cálculo das Emissões.....	24
4.3.1	Escopo 1.....	26
4.3.2	Escopo 2.....	26
4.3.3	Escopo 3.....	27
4.4	Obtenção dos dados.....	28
4.4.1	Combustão Móvel.....	28
4.4.2	Emissões fugitivas.....	28
4.4.3	Energia elétrica.....	28
4.4.4	Viagens a negócio.....	29
4.4.5	Resíduos Sólidos.....	29
4.4.4	Geração de esgoto.....	29
4.5	Indicadores de Performance (KPIS).....	29
4.6	Plano de Ação.....	30
5	RESULTADOS.....	32
5.1	Inventário de GEE.....	32
5.1.1	Escopo 01.....	32
5.1.2	Escopo 02.....	32
5.1.3	Escopo 03.....	32
5.2.	Comparações entre os escopos.....	33
5.3.	KPIS.....	35
5.4.	Matriz SWOT.....	37
6	CONCLUSÃO.....	39

REFERÊNCIAS.....	40
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente urgência das questões ambientais, é essencial uma ação coletiva para combater as mudanças climáticas. O Acordo de Paris, estabelecido em 2015 durante a 21ª Conferência das Partes (COP-21), emerge como um momento significativo nesse esforço global, simbolizando a união de líderes de países do globo na luta contra as ameaças das mudanças climáticas.

O acordo lançou metas com o objetivo de limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C. Essas metas permitem a necessidade crítica de conter os impactos adversos das mudanças climáticas e proteger os ecossistemas frágeis e as comunidades vulneráveis. Um dos aspectos inovadores do Acordo de Paris é uma abordagem de redução na fonte, em que cada país se compromete voluntariamente a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a promoção de práticas sustentáveis. Essas chamadas “Contribuições Nacionalmente Determinadas” (NDCs) refletem a diversidade das situações nacionais, reconhecendo as diferentes responsabilidades históricas e capacidades financeiras (ROVERE, 2016).

O Brasil comprometeu-se voluntariamente a reduzir as emissões de GEE. A meta para 2025 é uma redução de 37% em relação a 2005, e pretende-se alcançar uma redução de 43% até 2030 em relação aos níveis de 2005. Almejando esse objetivo, o país pretende mudar sua matriz energética, aumentando a participação de energias renováveis para 45% (MMA, 2019).

Com a utilização crescente de fontes de energia não renováveis, ocorre o aumento nas emissões de GEE, com isso a acumulação anual de CO₂ na atmosfera atingiu em 2015 a marca de 17 bilhões de toneladas. Nesse sentido, uma solução seria a descarbonização das fontes de energia antrópicas, ou seja, diminuir significativamente o consumo de fontes de energia a base de carbono fóssil (ARAÚJO, 2020).

O Estado de São Paulo oficializou seu compromisso com a iniciativa "Race to Zero" das Nações Unidas por meio do Decreto Estadual nº 65.881/2021, que também instituiu a criação do Plano de Ação Climática 2050 (PAC2050). O PAC2050 visa a implementação de estratégias de mitigação de emissões em seis setores-chave: Transportes, Energia, Agropecuária, Florestas e Usos do Solo (Afolu), Resíduos, Indústria e Uso de Produtos, além de Finanças Verdes e Inovação. Estabelecendo metas para 2030 e 2050 em relação a 2021, período de retomada econômica pós-pandemia, o plano emerge como uma alternativa viável para o gerenciamento de Gases de Efeito Estufa (GEE), destacando a importância da elaboração de inventários e a busca por alternativas de controle (SEMIL, 2022).

Tendo em vista a importância deste, algumas instituições já avançaram nesse quesito

e construíram seus inventários. Uma pesquisa feita em 2017 no Centro Federal de Educação e Tecnologia de Minas Gerais fez a contabilização dos gases de efeito estufa gerados pelas principais atividades da instituição e constatou que para mitigá-los seria necessário o plantio de 1697 árvores durante 30 anos. A USP de São Carlos - SP teve seu inventário elaborado associado ao consumo de energia para os anos de 2008 a 2020 e constatou durante a crise hídrica em 2014 e 2015 que as emissões equivalentes foram altíssimas devido ao aumento dos fatores de emissão e que em 2019 ocorreu um declínio de 50% devido a pandemia onde as pessoas estavam em isolamento e consequentemente ocorreu a diminuição do uso de energia na universidade. Mais recentemente, em 2023 foi elaborado um trabalho de conclusão de curso onde foi elaborado um inventário para a Universidade Federal Fluminense UFF – RJ, onde é possível saber a emissão de CO₂e por aluno além de sugestões para como a instituição possa organizar os dados que venham a ser utilizados em inventários futuros (MAGALHÃES, 2023).

Fica claro, portanto, a importância da realização de tais inventários para registrar e relacionar vários eventos que estão ligados de forma direta ou indiretamente com a geração de Gases de Efeito Estufa (GEE). O CTEC (Centro de Tecnologia) da Universidade Federal de Alagoas, concentra uma grande quantidade de alunos, além de contar com laboratórios e um amplo estacionamento. Sendo assim, o inventário de gases da unidade acadêmica visa a contribuição para a consolidação de um ambiente acadêmico ecologicamente consciente e alinhado aos esforços globais de redução das emissões de GEE.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Propor medidas de descarbonização a partir do inventário de emissões de gases de efeito estufa no Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as principais fontes de emissão de GEE nas atividades local;
- Quantificar as emissões de GEE em cada fonte identificada, utilizando metodologias reconhecidas internacionalmente, como o Protocolo GHG (Greenhouse Gas Protocol);
- Avaliar o desempenho ambiental do CTEC em relação a emissões de GEE, comparando com referências nacionais e internacionais e estabelecendo metas de redução de emissões;
- Elaborar um plano de ação para redução de emissões de GEE como estratégia de descarbonização.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Efeito estufa

O efeito estufa age como um cobertor natural, permitindo que a vida exista na Terra. Quando a luz solar atinge nosso planeta, parte dela é refletida de volta para o espaço, enquanto a outra parte é absorvida pela superfície da Terra, aquecendo-a. Quando a Terra irradia esse calor de volta ao espaço, alguns gases presentes na atmosfera (gases de efeito estufa - GEE) atuam como bloqueadores, impedindo que esse calor escape completamente. Esses gases deixam passar a energia do Sol, que tem comprimentos de onda menores, mas são opacos à radiação térmica emitida pela Terra, que tem comprimentos de onda mais longos. Essa diferença nos comprimentos de onda está relacionada às distintas temperaturas do Sol e da Terra. A presença desses gases na atmosfera é vital, pois, caso não existissem naturalmente, a temperatura média da Terra seria extremamente baixa, atingindo cerca de 18°C negativos. A interação entre a superfície e a atmosfera, mediada pelo efeito estufa, mantém as condições ideais que proporcionam uma temperatura média global, próxima à superfície, de aproximadamente 14°C (MMA).

De acordo com a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, entende-se por gás de efeito estufa sendo, constituinte gasoso, natural ou antrópico, que, na atmosfera, absorve e emite radiação infravermelha (BRASIL, 2009). Existem sete principais gases com efeito de estufa reconhecidos mundialmente pelo Protocolo de Quioto, na Tabela 1 estão apresentados cada um deles e seus respectivos potenciais de aquecimento.

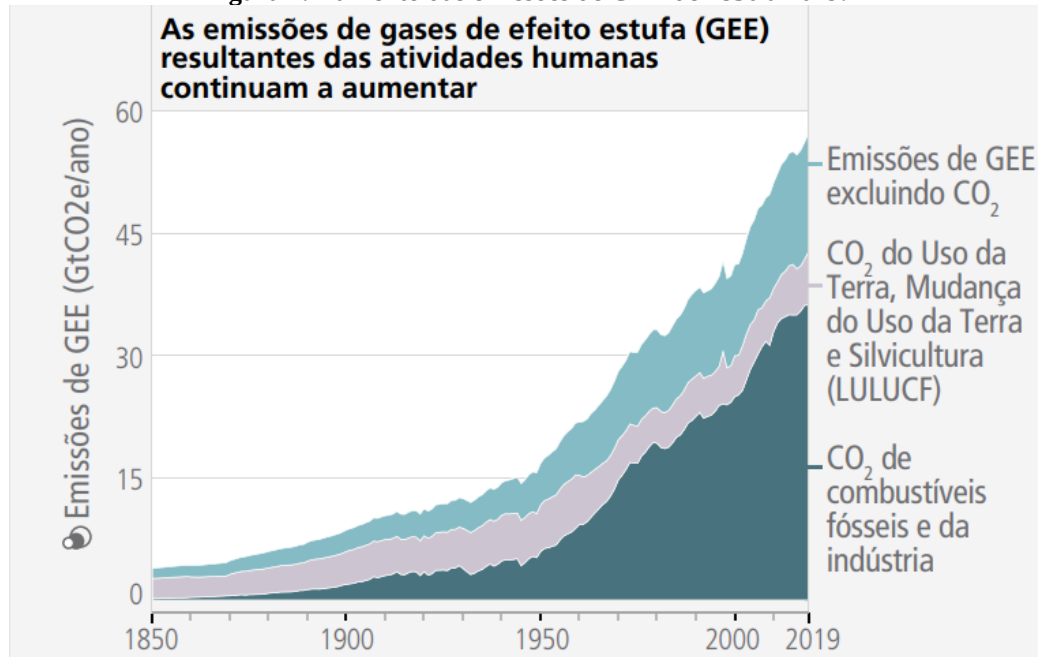
Tabela 1. Potencial de aquecimento dos GEE.

Gás	GWP (Global Warming Potential)
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido nitroso (N ₂ O)	198
Hexafluoruro de enxofre (SF ₆)	22.800
Hidrofluorcarbonos (HFCs)	675
Perfluorocarbonos (PFCs)	7.390
Trifluoreto de nitrogênio (NF ₃)	17.200

Fonte: IPCC AR4 (2007)

No Primeiro Relatório de Avaliação lançado pelo IPCC em 1990 os cientistas manifestaram a certeza de que as emissões provenientes de atividades humanas estão aumentando substancialmente as concentrações de gases de efeito estufa (Figura 1), tendo como resultado o aquecimento adicional da superfície terrestre (JURAS, 2008).

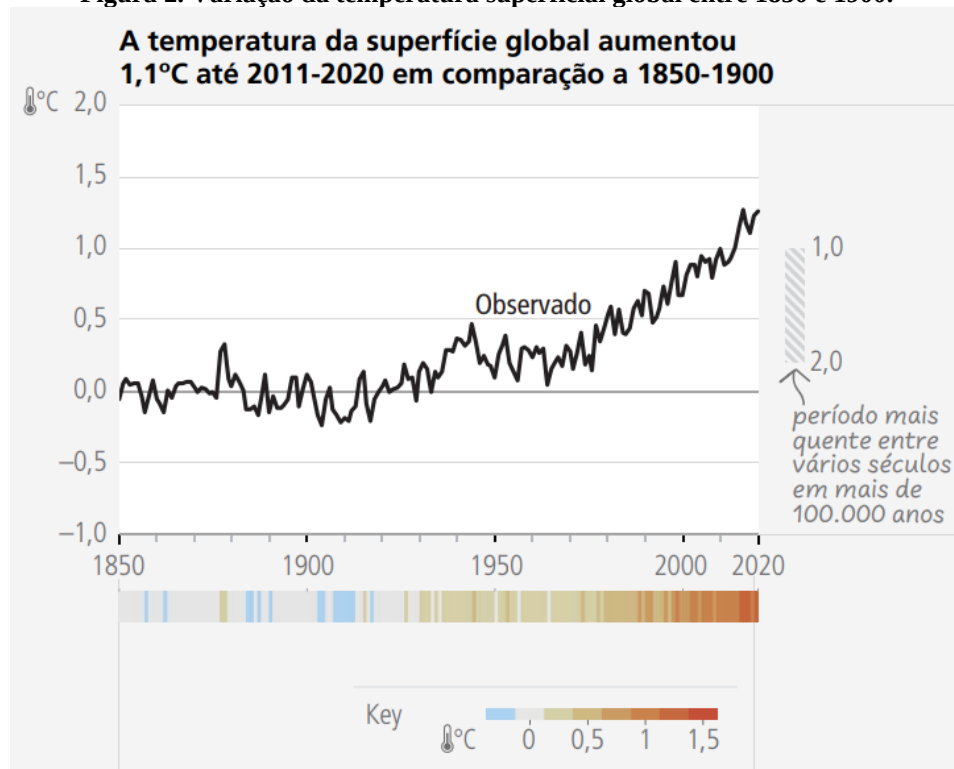
Figura 1. Aumento das emissões de GEE de 1850 a 2019.



Fonte: IPCC, 2023.

As elevações notadas nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) desde cerca de 1750 são, sem dúvida, consequências das atividades humanas que geram emissão. Os sumidouros terrestres e oceânicos absorveram, com variações regionais, uma proporção praticamente constante (cerca de 56% globalmente, anualmente) das emissões de dióxido de carbono (CO₂) resultantes de atividades antropogênicas nas últimas seis décadas. Em 2019, as concentrações atmosféricas atingiram 410 partes por milhão (ppm) para o CO₂, 1866 partes por bilhão (ppb) para o metano (CH₄), e 332 ppb para o óxido nitroso (N₂O). Outros contribuintes significativos para o aquecimento incluem o ozônio troposférico (O₃) e os gases halogenados. As concentrações de CH₄ e N₂O atingiram níveis sem precedentes em pelo menos 800.000 anos, e há uma alta confiança de que as concentrações atuais de CO₂ são superiores a qualquer momento nos últimos dois milhões de anos. Desde 1750, os aumentos nas concentrações de CO₂ (47%) e CH₄ (156%) excedem consideravelmente e os aumentos em N₂O (23%) são comparáveis às variações naturais ao longo de milênios entre períodos glaciais e interglaciais ao longo de pelo menos 800.000 anos. Como mostrado na Figura 2, essas emissões geraram o aumento de 1,1°C na temperatura da superfície global entre 2011-2020, em comparação com o período de 1850-1900 (IPCC, 2023).

Figura 2. Variação da temperatura superficial global entre 1850 e 1900.



Fonte: IPCC, 2023.

3.1.1 Fontes naturais

As fontes naturais referem-se às origens e processos intrínsecos ao ambiente natural, que contribuem para a emissão de substâncias na atmosfera sem a intervenção direta das atividades humanas, na Tabela 2, está disposta a relação fonte/emissão das fontes naturais. Essas fontes desempenham um papel crucial na dinâmica atmosférica e na composição química do ar (BAIRD, 2002). Normalmente, as emissões geradas por fontes naturais são remediadas por fenômenos químicos e físicos da natureza, que são suficientes para degradar os contaminantes emitidos (SILVA, 2011).

Tabela 2. Emissão de Gases de Efeito Estufa por fontes naturais.

Naturais	
Fontes	Emissão
Solo	N ₂ O (desnitrificação) NH ₃ (processos aeróbicos) Gases redutores (CH ₄ , NO, H ₂ S)
Vegetação	Compostos orgânicos
Oceanos	Componentes atmosféricos: CO, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CS ₂ , SCO, ClCH ₃
Vulcanismo	Material Particulado óxidos de nitrogênio e de enxofre, H ₂ S, HCl, HF, SCO
Atividades biológicas	Gases e Vapores

Fonte: Adaptado, Silva (2011)

3.1.2 Fontes antropogênicas

As fontes antropogênicas referem-se às origens e atividades relacionadas diretamente às ações humanas que têm impacto na emissão de poluentes na atmosfera. Ao contrário das fontes naturais, que estão intrinsecamente ligadas aos processos ambientais naturais, as fontes antropogênicas são impulsionadas por práticas industriais, agrícolas, de transporte e outros setores humanos (BAIRD, 2002). Na Tabela 3 estão algumas das principais fontes antropogênicas de poluição atmosférica:

Tabela 3. Emissão de Gases de Efeito Estufa por fontes antropogênicas.

Antropogênicas	
Fonte	Emissão
Refinaria de petróleo	SO ₂ , SO ₃ , CO, NO ₂ , NO, H ₂ S, Hidrocarbonetos (HC) Mercaptanas (RSH)
Indústrias metalúrgicas	Materiais Particulados
Queima e Evaporação de Combustíveis	Cinzas NO, NO ₂ , O ₂ , SO ₃ , CO, CO ₂ Hidrocarbonetos Aldeídos Aerossóis
Queima de Resíduos Sólidos	Material Particulado Hidrocarbonetos Ácidos Orgânicos Aldeídos NO _x , SO ₂ , CO

Fonte: Adaptado, Baird (2002)

Compreender as fontes é crucial para a elaboração de estratégias de mitigação da poluição atmosférica (MARIANO, 2014). A adoção de tecnologias mais limpas, práticas sustentáveis e regulamentações ambientais eficazes são fundamentais para minimizar o impacto negativo das atividades humanas na qualidade do ar (LACAVA, 2003).

3.3 Inventário de GEE

O inventário de emissões pode ser comparado a um diagnóstico abrangente realizado em uma empresa, conjunto de empresas, setor econômico, cidade, estado ou país, com o propósito de identificar as fontes de gases de efeito estufa decorrentes das atividades produtivas, assim como a quantidade desses gases lançada na atmosfera. Realizar essa contabilidade implica quantificar e organizar dados sobre as emissões, seguindo padrões e protocolos específicos, e atribuir essas emissões de maneira precisa a uma unidade de negócio, operação, empresa, país ou outra entidade (GVces, 2009).

Para impulsionar iniciativas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e desempenhar um papel ativo na mitigação das mudanças climáticas, as empresas necessitam, em primeiro lugar, compreender a extensão e a origem dessas emissões. Ao adotarem a prática de desenvolver inventários, elas não só quantificam suas emissões, mas também exploram opções para reduzi-las em suas operações. Dessa iniciativa, surgem diversos benefícios para as organizações, tais como a minimização do uso de matérias-primas

impactantes ao meio ambiente, a redução dos resíduos e emissões gerados no processo, a conscientização dos funcionários, produtos mais adequados ambientalmente, maior eficiência no transporte, antecipação aos requisitos legais e às exigências do mercado, a estratégia ambiental gera novas oportunidades de negócios, possibilidade de participação no mercado de carbono e a fidelização de grandes clientes (ABNT/BID, 2016).

3.3.1 Protocolo GHG

A Green Gas Protocol Initiative é uma parceria entre ONGs, governo e outras entidades, liderada pelo World Resources Institute (WRI) e pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Estabelecida em 1998, seu objetivo principal é desenvolver normas globais para monitorar e comunicar emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Dois protocolos essenciais surgiram disso: o GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard, guia para relatar emissões de GEE corporativas, e o GHG Protocol Project Quantification Standard, guia para quantificar reduções de emissões de projetos mitigadores. Esses padrões promovem transparência e consistência nas práticas de sustentabilidade global (Protocolo de Gases com Efeito Estufa 2024).

3.3.2 Norma ISO 14064

Globalmente reconhecida, a ISO 14064 é uma ferramenta valiosa para organizações comprometidas com a gestão responsável das emissões de GEE. Ela é composta por uma série de 3 normas que estabelecem diretrizes e princípios fundamentais para uma abordagem consistente e transparente na quantificação e relato das emissões.

A primeira parte, ISO 14064-1, define os princípios e requisitos gerais para organizações elaborarem inventários de GEE, abrangendo desde a identificação e categorização de fontes até a coleta de dados e métodos de quantificação. Essa norma promove a transparência, consistência e integridade nos processos de relato de emissões.

A segunda parte, ISO 14064-2, concentra-se na quantificação e relato de emissões de GEE específicas de projetos de redução. Fornece diretrizes detalhadas para projetos em diversos setores, incentivando práticas que contribuam efetivamente para a mitigação das mudanças climáticas.

A terceira parte, ISO 14064-3, aborda a validação e verificação dos inventários de GEE, garantindo a credibilidade e confiabilidade das informações apresentadas. Estabelece

processos para assegurar a integridade e transparência dos dados, fornecendo um mecanismo robusto para avaliar a conformidade com os requisitos estabelecidos.

Ao seguir essas normas, as organizações não apenas contribuem para esforços globais de combate às mudanças climáticas, mas também fortalecem sua credibilidade e sustentabilidade ambiental. O conjunto abrangente de diretrizes oferecido pela ISO 14064 ajuda a padronizar práticas, promovendo uma abordagem eficaz e unificada na luta contra as alterações climáticas.

3.4 Mecanismos de descarbonização

Alguns dos métodos de descarbonização estão ligados a mudanças relacionadas a energia, tanto na produção quanto na utilização (ARAÚJO, 2020). No Brasil, temos o maior programa de descarbonização do mundo, denominado Energias da Amazônia, tendo como objetivo a redução do uso de óleo diesel na geração de energia na região (MME, 2023).

Para a mitigação da emissão de carbono e auxiliar no processo de descarbonização, temos diferentes ações a serem tomadas para cada setor (SEMIL, 2023):

Tabela 4. Ações para a descarbonização em diferentes setores.

Energia	Aumentar a eficiência energética em eletricidade e combustíveis
	Implementar geração solar e eólica
	Introduzir combustíveis avançados a partir de biomassa e utilizar hidrogênio
Transportes	Reduzir emissões no transporte de carga, transporte coletivo e frota veicular leve
	Realizar mudanças no planejamento urbano
	Eletrificar a frota veicular e introduzir novos combustíveis
Agropecuária Florestas Usos do Solo	Implementar práticas de agricultura de baixo carbono
	Potencializar a remoção de carbono através de recomposição florestal e restauração ecológica
	Melhorar o manejo do solo com plantio direto e insumos menos intensivos
	Recuperar pastagens degradadas e modificar a dieta de bovinos para reduzir emissões de metano
Indústria Uso de Produtos	Substituir insumos e produtos, alterando processos e implementando monitoramento e controle rigorosos de emissões
Resíduos Sólidos Efluentes	Reduzir emissões em aterros sanitários
	Capturar e aproveitar energeticamente resíduos sólidos e biogás em estações de tratamento de efluentes

Fonte: Adaptado, SEMIL (2022)

Em outros trabalhos semelhantes foram propostas ações para minimizar a geração dos Gases de Efeito Estufa, em sumo apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Medidas mitigadores de outros estudos.

Instituição	Medidas mitigadoras sugeridas
CEFET - MG	Plantio de árvores
	Plano de gestão
UFF -RJ	Monitoramento de dados
	Padronização da coleta de dados
	Concientização de funcionários
	Sistema de Gestão
	Auditorias
UNISINOS	Estabelecer metas
	Manutenção dos arcondicionados
	Redução das viagens aéreas
	Abastecimento das frotas com etanol
	Redução do consumo de nergia
UFS	Utilizar gás natural nos geradores ao invés de combustível fóssil
	Renovação da frota de veículos
	Substituição de equipamentos que utilizam gás refrigerante
	Fazer reuso dos efluentes tratados
	Reutilização da água da chuva
	Implantar sistema de energia renovável

Fonte: Autor, 2024.

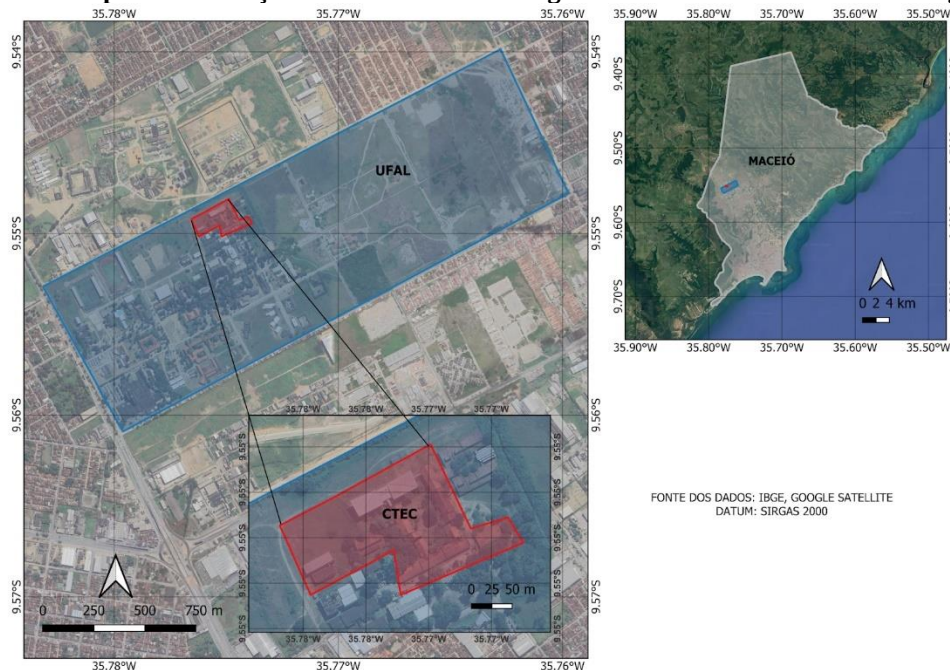
4 METODOLOGIA

A fim de proporcionar uma compreensão mais clara, a metodologia será dividida em subtópicos, contemplando a caracterização da área de estudo, a adesão aos protocolos estabelecidos pelo Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol 2024) e a elaboração do inventário de emissões e propor medidas mitigatórias.

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o Centro de Tecnologia (CTEC) (Figura 3), localizado no campus AC Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas. Possuindo uma área de aproximadamente 10.000 m², possui 20 laboratórios de ensino e pesquisa, 17 salas de aula, cerca de 80 professores e 30 técnicos-administrativos. Conta atualmente com mais de 1350 alunos de graduação e pós-graduação, onde outros 300 alunos de Ensino Médio que frequentam regularmente suas instalações por meio de diferentes programas de extensão (UFAL).

Figura 3. Mapa de localização do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.



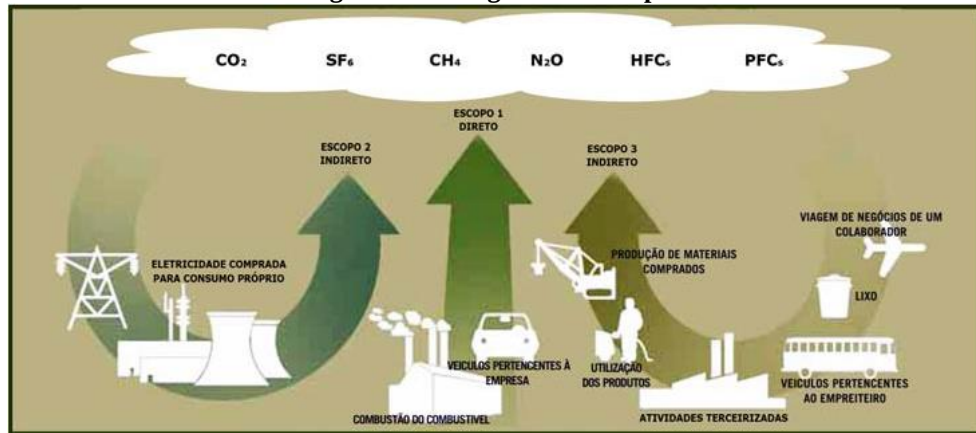
Fonte: Autor, 2024.

4.2 Elaboração do inventário Gases de Efeito Estufa (GEE)

O método escolhido para a elaboração do inventário foi o GHG Protocol 2024, mais especificamente a versão da Fundação Getúlio Vargas, assim sendo necessária caracterização,

baseada em quem tem o controle da fonte de emissão com base nos três escopos, como observado na Figura 4.

Figura 4. Visão geral dos escopos.



Fonte: GVces, 2009.

Escopo 1, são fontes de propriedade ou controle direto, inclui as emissões de gases de efeito estufa provenientes de fontes que estão diretamente sob propriedade ou controle da organização.

Escopo 2, são emissões indiretas por consumo de eletricidade, vapor, aquecimento ou resfriamento, consumidos pela organização. Estas emissões são originadas fora das instalações da organização, mas resultam do consumo de energia pela organização.

Escopo 3, outras emissões indiretas associadas às atividades da organização, mas que ocorrem em fontes que estão fora do controle direto ou da propriedade da organização. Inclui emissões provenientes de atividades como transporte de produtos, uso final de produtos, viagens de negócios, entre outras na cadeia de valor da organização.

4.3 Cálculo das Emissões

A elaboração de um inventário de Gases de Efeito Estufa, necessita de uma série de equações que se baseiam em uma equação geral de emissão. Esta por sua vez relaciona um conjunto de variáveis denominadas dados de atividade (DA), juntamente com fator de emissão (FE) e o potencial de aquecimento global (GWP) (Clima, 2013). O estudo terá como ano de referência o de 2023.

$$E = DA \times FE \times GWP \quad (\text{Equação 1})$$

Dados de atividade DA: expresso em (quantidade/ano).

Fator de emissão: expresso em (tCO₂e / unidade).

GWP: determinado pelo gás emitido.

É importante salientar que dentro dos escopos há subcategorias onde são quantificados diferentes tipos de GEE, listados na Figura 5. Obtida a partir da ferramenta de cálculo desenvolvida pela Fundação Getúlio Vargas, em formato de xlsx, para a aplicabilidade do GHG Protocol no Brasil.

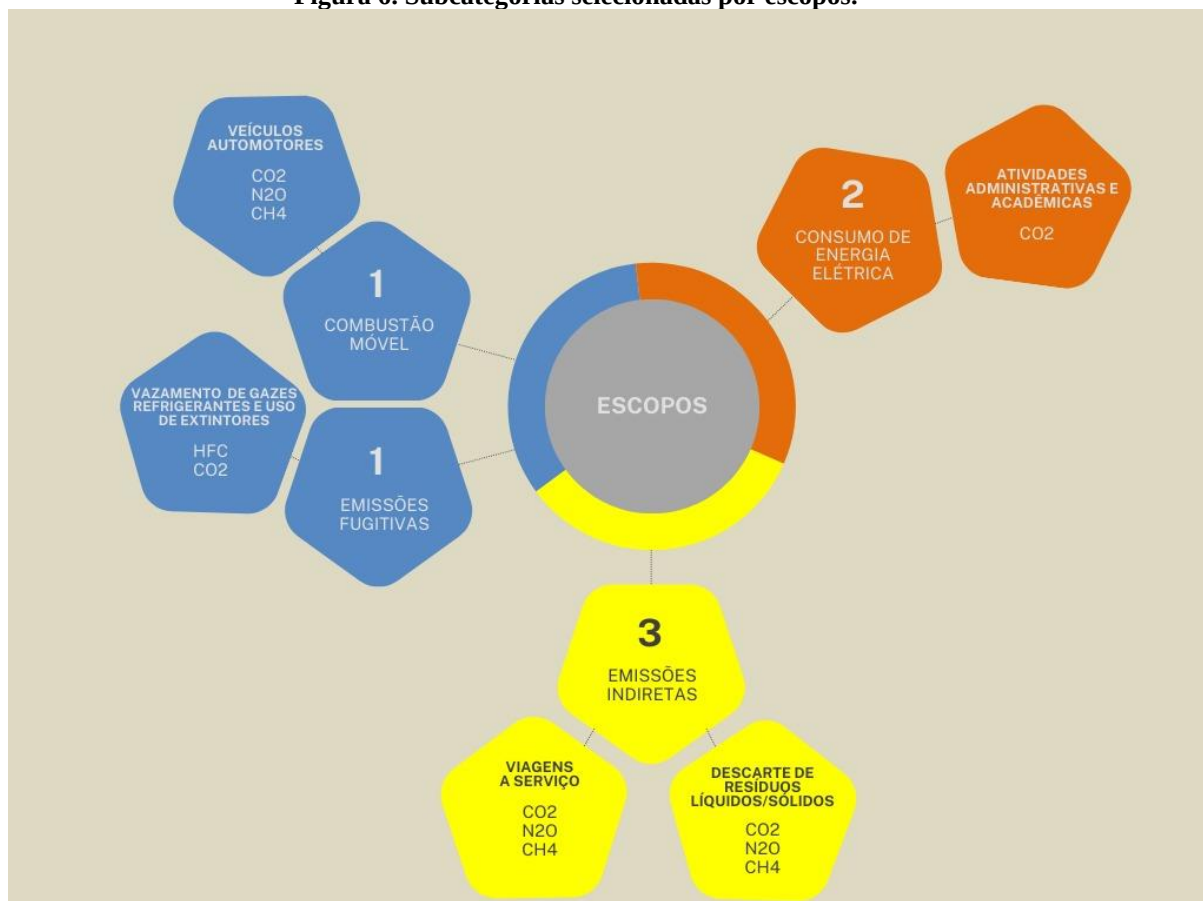
Figura 5. Escopos e subcategorias GHG Protocol.

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fugitivas - GEE não Quioto	Aeroportos	Fatores de conversão	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Mudanças no uso do solo	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Eletricidade (localização)	Perdas T&D (localização)	Compra de Energ. Térmica	Eletricidade (esc. compra)	Perdas T&D (esc. compra)			
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transp & Distr upstream	Resíduos sólidos gerados	Efluentes gerados	Viagens a negócios	Deslocamento casa-trabalho	Transp & Distr downstream	

Fonte: GVes, 2023.

Com base no tipo de empreendimento e limites operacionais foram determinadas subcategorias que melhor corroboram com o estudo, apresentadas na Figura 6.

Figura 6. Subcategorias selecionadas por escopos.



Fonte: Autor, 2024.

4.3.1 Escopo 1

Combustão Móvel

A combustão móvel, deve-se às emissões dos veículos que são utilizados para execução, operação e manutenção das atividades executadas pela instituição, podemos ser acadêmicas, de ensino, ou extensão. A quantificação se dá pela equação abaixo:

$$E \text{ (tCO}_2\text{e)} = CC \times F \times GWP \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

CC: Consumo de combustível. (m³/ano)

F: Fator de emissão dos gases N₂O, CH₄ e CO₂. (tGEE/m³)

GWP: Potencial de aquecimento global

Emissões Fugitivas

As emissões fugitivas são aquelas em que ocorrem emissão acidental de hidrofluorcarbonetos (HFCs). Essas emissões podem ocorrer durante a instalação de um ar-condicionado, geladeiras, freezers ou semelhantes, também como na falta de manutenção deles. A quantificação pode ser feita pela equação:

$$CHFC-410a \text{ (tCO}_2\text{e)} = QTDhfc-134a \times CG \times GWP \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

QTDhfc-410a: Quantidade de aparelhos que utilizam o GEE HFC-134a (t/ano).

CG: Quantidade de gás máximo armazenado em cada aparelho (t).

GWP: Potencial de aquecimento global

4.3.2 Escopo 2

Consumo de Energia Elétrica

Após a obtenção dos dados, no processo de estimativas, foi adotado o fator de emissão do sistema interligado nacional, conforme divulgado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2022). Assim, a mensuração das emissões de GEE provenientes do consumo de energia elétrica foi calculada a partir do seu consumo multiplicado pelo fator de poluição.

$$E \text{ (tCO}_2\text{e)} = C \times F \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

C: Consumo de eletricidade (KWh/ano)

F: Fator de emissão dos gases N₂O, CH₄ e CO₂. (tCO₂/MWh).

4.3.3 Escopo 3

Viagens a Serviço

Viagens a serviço são consideradas viagens feitas para participação de eventos, capacitações, visitas técnicas e etc. a distância percorrida será obtida com base no ponto de partida e no ponto de chegada. A rota traçada é duplicada para que seja considerada tanto a ida para o evento quanto a volta ao CTEC. Assim, a mensuração das emissões de Gases de Efeito Estufa provenientes do consumo de combustível é a distância vezes seu fator de poluição e seu potencial.

$$E \text{ (tCO}_2\text{e)} = 2 \times \text{Dist} \times F \times \text{GWP} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

Dist: Distância percorrida (m/ano)

Consumo de combustível. (m³/ano)

F: Fator de emissão dos gases N₂O, CH₄ e CO₂. (tGEE/m³)

GWP: Potencial de aquecimento global

Resíduos sólidos

Durante o tratamento e destinação dos resíduos sólidos gerados no CTEC, são gerados gases, que também devem ser contabilizados no inventário. Assim, segundo a metodologia do IPCC, o CH₄ pode ser mensurado na degradação do carbono orgânico. A Equação 6 apresentada abaixo faz essa mensuração.

$$\text{Ech}_4 = \frac{16}{12} * F * \text{DOCf} * \text{FCMaterro} * \sum_{x=1}^y Q_{jx} * \text{DOCj} * e^{-kj*(y-x)} * (1 - e^{-kj}) \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

ECH₄: Emissões de Metano (tCH₄/ano);

16/12: Fator de conversão de C para CH₄;

Q_{j,x}: Quantidade de resíduo j gerada em um intervalo de y anos;

F: Fração de metano no biogás (%);

DOCf: Fração do carbono degradável total para o biogás (kg C/kg resíduo);

DOCj: Fração de carbono degradável (kg C/kg resíduo) no resíduo do tipo j;

FCMaterro: Fator de correção de metano;

- y: Ano de estudo;
 x: Ano da disposição dos resíduos;
 kj: Taxa de decomposição do resíduo.

Efluentes Líquidos

Para análise dos efluentes líquidos o modelo foi utilizado a ferramenta da planilha GHG protocol disponível através da FGV.

4.4 Obtenção dos dados

4.4.1 Combustão Móvel

O consumo de combustível ou percurso realizado pelos veículos do CTEC, sendo dados necessários para calcular as emissões geradas pela combustão móvel do CTEC não foram disponibilizados pela SINFRA. Sem essas informações, não é possível realizar as análises previstas.

4.4.2 Emissões fugitivas

Para o cálculo das emissões fugitivas foram contabilizados o número de aparelhos de ar-condicionado *in loco*. O tipo do gás e a carga utilizada foram adotados conforme o Manual de Instalação, Operação e Manutenção de Aparelhos Split (Cartier, 2019). Os valores estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Valores utilizados para o cálculo de emissões fugitivas.

Aparelhos de ar-condicionado	111
Gás	HFC-410A
Carga	2525g

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4.4.3 Energia elétrica

O bloco não tem um medidor de consumo de energia de forma separada, dessa forma o valor de consumo foi estimado com base no consumo global da universidade e pela quantidade de usuários no bloco.

4.4.4 Viagens a negócio

Para a análise das emissões relacionadas a viagens, foi disponibilizada pela secretaria da direção do CTEC a relação dos pedidos de solicitações aprovados de viagens dos docentes e discentes.

4.4.5 Resíduos Sólidos

A universidade não dispõe de dados referentes a geração resíduos sólidos, porém a coleta é realizada pela concessionária do município e destinada ao aterro sanitário. A taxa de resíduos sólidos urbanos gerados em Maceió é de 0,98 kg/hab./dia (DE OLIVEIRA SILVA, 2020) e sua composição está disposta na Tabela 7. Com a taxa o valor da geração de resíduos da universidade pode ser estimado.

Tabela 7. Composição do RSU de Maceió.

Componente	Percentual
Papéis/papelão	10,10%
Resíduos têxteis	5,03%
Matéria Orgânica	66,08%
Madeira	0,61%
Fraldas	3,70%
Borracha e couro	0,75%
Outros materiais inertes*	13,73%

Fonte: Adaptado, De Oliveira Silva, 2024.

4.4.4 Geração de esgoto

Assim como nos resíduos sólidos, não há mensuração do consumo de água ou geração de efluentes da Universidade. Sendo assim, a norma NBR 13969:1997 traz que a taxa de efluente geradas em âmbito acadêmico é de 50 litros por usuário por dia e a contribuição de carga orgânica seria de 20 gDBO/dia.

4.5 Indicadores de Performance (KPIS)

Para a elaboração de um plano de ação é necessário a mensuração através de indicadores de performance. Esses indicadores servem para que as ações apresentadas no plano possam ser acompanhadas de forma sistemática e comparados ao longo do tempo. A Tabela 8 apresenta os indicadores.

Tabela 8. Indicadores (KPIS) utilizados na elaboração do plano de ação.

Indicadores de performance (KPIS)
Emissão total por quantidade de usuários
Emissão total por quantidade alunos
Emissão total por usuários do escopo 1
Emissão total por usuários do escopo 2
Emissão total por usuários do escopo 3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após a mensuração dos KPIs, é fundamental realizar a comparação desses indicadores com os KPIs de outras instituições. Essa análise comparativa permitirá avaliar o desempenho atual da instituição em termos de emissões de gases de efeito estufa, na Tabela 9 temos as outras instituições utilizadas na comparação.

Tabela 9. Dados de inventários de GEE encontrados na literatura.

Estudo	Instituição de Ensino Superior	Ano base	População
Gonçalves e Pozza (2016)	Unicamp Limeira (Faculdade de Tecnologia)	2015	1.572
Carvalho, Van Elk e Romanel (2017)	PUC-RIO (Campus Gávea)	2011	19.699
Yabushita (2013)	Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão	2012	1.940

Fonte: Adaptado, Cruz, 2020.

4.6 Plano de Ação

Após a confecção do inventário, foi elaborada uma Matriz SWOT, onde foram avaliados os elementos internos e externos, identificando-se os pontos fortes (Strengths), fraquezas (Weaknesses), oportunidades (Opportunities) e ameaças (Threats). Essa abordagem permitiu formular estratégias que capitalizem os recursos internos e respondam efetivamente aos desafios externos encontrados no ambiente de estudo.

Pontos Fortes (S): São as características internas positivas da organização, como recursos reputação da marca forte, equipe talentosa, tecnologia avançada, entre outros.

Pontos Fracos (W): Representam as áreas internas que carecem de força ou são deficientes em relação à concorrência. Isso pode incluir falta de recursos, má gestão, processos ineficientes, produtos obsoletos, entre outros.

Oportunidades (O): Refere-se a fatores externos positivos que uma organização pode

aproveitar para alcançar seus objetivos. Isso pode incluir mudanças no mercado, avanços tecnológicos, novas tendências de consumo, lacunas no mercado ou mudanças regulatórias favoráveis.

Ameaças (T): São fatores externos que representam desafios ou obstáculos para a organização. Isso pode incluir concorrentes agressivos, mudanças na legislação, flutuações econômicas, avanços tecnológicos dos concorrentes, entre outros.

5 RESULTADOS

5.1 Inventário de GEE

5.1.1 Escopo 01

A análise das emissões geradas pela combustão móvel do CTEC não pôde ser realizada, pois os dados necessários sobre o consumo de combustível ou o percurso realizado pelos veículos ainda não foram disponibilizados pela SINFRA. Sem essas informações, a estimativa de emissão deste escopo tornou-se inviável até presente momento. A maior parte da frota de veículos que circula no CTEC seria de carros próprios de alunos e funcionários, o que seria enquadrado no escopo 03, não obrigatório.

O CTEC conta com 111 aparelhos de ar-condicionado onde o gás utilizado é o HFC-410A gerando uma recarga de 2525g. Adotando que 50% dos aparelhos tiveram reposição de gás, temos que as emissões fugitivas somam 269,55 tCO₂e. Toda essa emissão foi proveniente da emissão de 0,14 toneladas de HFC.

5.1.2 Escopo 02

Para estimar o consumo de energia elétrica do CTEC, foi utilizado o consumo per capita da universidade, multiplicado pela quantidade de alunos do bloco. Os valores resultantes dessa estimativa estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores utilizados para o cálculo de emissões provenientes do uso de energia elétrica.

Consumo da UFAL (kwh)	1.000.000
Consumo por usuário(kwh)	36
Consumo do CTEC (kwh)	62.637

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O consumo da UFAL foi obtido através da fatura de energia elétrica, disponibilizada pelo professor da UFAL Dr. Wellinsílvio Costa. Considerando uma compra anual de 62,637 mwh temos uma emissão de 2,41 tCO₂.

5.1.3 Escopo 03

As emissões decorrentes da disposição dos resíduos sólidos foram calculadas com base na geração de resíduos per capita municipal, ajustada para refletir uma permanência média de 10 horas na universidade, considerando que os cursos oferecidos no CTEC são de período integral.

Tabela 11. Valores utilizados para o cálculo de emissões provenientes da geração de RSU.

Parâmetro	Valor
Taxa de geração de RSU per capita	0,408 (kg/usuário/dia)
Geração total do CTEC anual	258,59 (Toneladas)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As emissões de resíduos sólidos no CTEC somaram 386,94 tCO₂e, sendo a maior parte decorrente da emissão de 13,82 tCH₄. O metano, gerado pela decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, foi o principal responsável por esse montante elevado de emissões.

Em relação ao efluentes líquidos, para a obtenção dos gases gerados foram utilizados os seguintes parâmetros: Volume de efluentes domésticos gerados no ano igual a 31,663.8 m³; Carga orgânica do efluente doméstico de 6,650.83 kgDBO/ano e 1,807.57 kgN/ano de Teor de N efluente doméstico.

Obtendo como resultado 10,76 tCO₂e/ano de emissões totais relacionadas aos efluentes domésticos. Importante destacar que, esse valor se dá principalmente pela presença significativa de metano no esgoto, que é equivalente a gerações consideráveis de gás carbônico.

Já os gases de efeito estufa oriundos de viagens a trabalho, foram contabilizados 21 formulários de viagens sendo todas de ida e volta totalizando 42 viagens em sua grande maioria realizadas por docentes e, mas também uma parcela significativa de viagens destinadas a discentes que foram representar e ou apresentar a instituição em algum congresso ou evento acadêmico. Os destinos foram: São Paulo - SP; Belo Horizonte - MG; Rio de Janeiro - RJ; Aracajú - SE e Fortaleza - CE. 38 das 42 viagens foram de avião representando 90,48%, 2 de ônibus representando 4,75% e 2 de carro particular representando 4,75%.

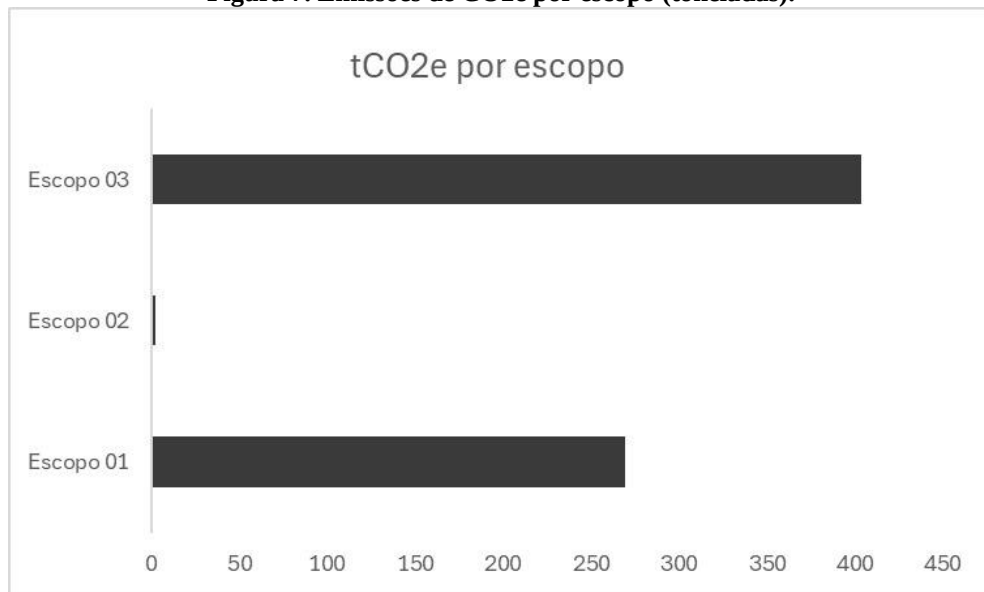
As viagens de avião onde é utilizado o combustível querosene – QAV são equivalentes a uma emissão de 5,48 tCO₂, já as de ônibus que utilizam o diesel resultou em 0,01 tCO₂ e as de carro considerando o abastecimento com gasolina resultou em 0,06 tCO₂ totalizado 5,56 toneladas de gás carbônico equivalente.

5.2. Comparações entre os escopos

Os escopos 01 e 03 destacam-se como os maiores responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa no CTEC, conforme ilustrado na Figura 8. Esses altos índices de emissões podem ser atribuídos principalmente a dois fatores: o uso intensivo de aparelhos de ar-condicionado e a significativa geração de efluentes líquidos. O grande número de aparelhos de ar-condicionado em funcionamento no campus contribui substancialmente para as emissões de gases relacionados ao uso de substâncias refrigerantes, que possuem elevado potencial de

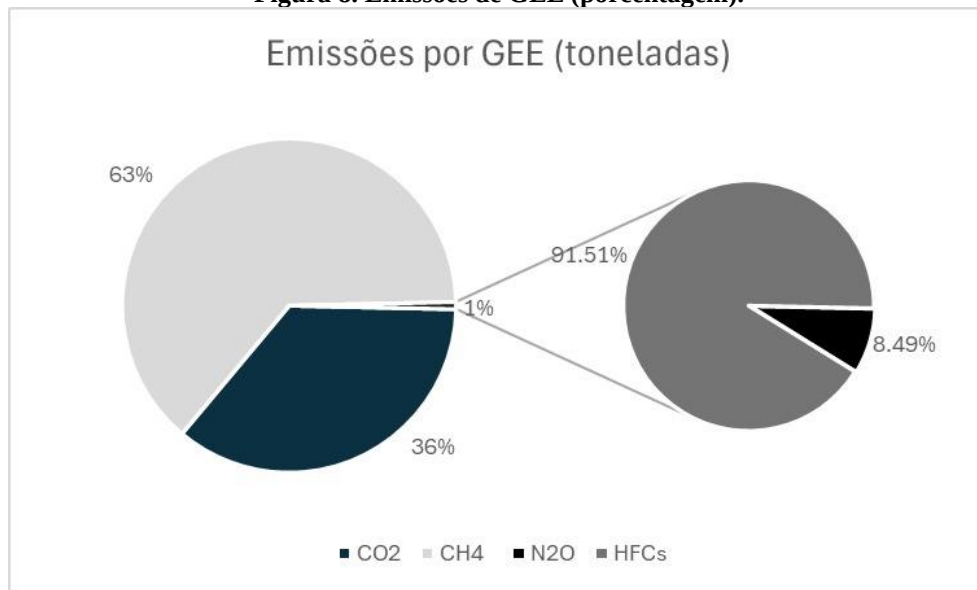
aquecimento global. Paralelamente, a alta geração de efluentes líquidos, que exige tratamento e disposição adequada, também intensifica as emissões associadas ao escopo 03. Esses fatores combinados resultam em uma contribuição significativa para o total de emissões da instituição. Importante destacar que, os escopos 1 e 2 são obrigatórios e de responsabilidade direta da UFAL diferente do escopo 3 que além de não ser obrigatório no inventário a responsabilidade do gerenciamento fica sob terceiros.

Figura 7. Emissões de CO₂e por escopo (toneladas).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Pode ser observado na Figura 8 que a emissão que mesmo em pequena quantidade de lançamento, quando comparados com os outros gases, os HFCs representam uma boa parte do CO₂ equivalente lançado pelo bloco, isso se dá pelo seu grande potencial de aquecimento (GWP), sendo 1.924 vezes mais prejudicial que o gás carbônico.

Figura 8. Emissões de GEE (porcentagem).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com isso, após análise dos dados obtidos foi possível constatar que, são gerados uma emissão total de 675,22 tCO₂e.

5.3. KPIS

A análise comparativa entre os indicadores de performance (KPIs) em emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos centros acadêmicos de diferentes universidades brasileiras – CTEC (UFAL), UNICAMP Limeira (Faculdade de Tecnologia), PUC-RIO (Campus Gávea) e UTFPR (Campo Mourão), revela diferenças significativas no desempenho ambiental.

O Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (CTEC) apresenta uma emissão total por usuário de 0,500 tCO₂, abaixo da UNICAMP (1,314 tCO₂) e ligeiramente acima da UTFPR (0,492 tCO₂). A PUC-RIO se destaca por ter o valor mais baixo (0,293 tCO₂), o que sugere maior eficiência no controle de emissões por usuário.

Quando analisadas as emissões totais por aluno, o CTEC registra 0,389 tCO₂, novamente abaixo da UNICAMP (1,419 tCO₂) e levemente inferior à UTFPR (0,553 tCO₂). A PUC-RIO, com 0,371 tCO₂, permanece como a instituição mais eficiente nessa métrica. Esse indicador reforça o cenário observado nas emissões totais por usuário, em que a UNICAMP apresenta o maior valor, possivelmente devido ao tamanho e à natureza das atividades realizadas no campus.

As emissões do escopo 1 (emissões diretas) por usuário mostram que o CTEC registra 0,155 tCO₂, valor consideravelmente mais alto que a UNICAMP (0,006 tCO₂) e a PUC-RIO (0,002 tCO₂), mas menor que a UTFPR (0,473 tCO₂). Isso indica que, enquanto o CTEC tem

desafios em relação às emissões diretas, a UNICAMP e a PUC-RIO mantêm essas emissões sob controle, provavelmente devido ao uso reduzido de fontes de combustão direta ou ao menor uso de veículos e equipamentos movidos a combustível fóssil.

Para as emissões do escopo 2 (emissões indiretas de energia), o CTEC e a PUC-RIO apresentam uma baixa taxa de 0,001 tCO₂ por usuário, indicando um consumo mais sustentável de eletricidade. A UTFPR também apresenta um valor relativamente baixo (0,020 tCO₂), enquanto a UNICAMP apresenta uma emissão significativamente maior de 0,060 tCO₂. Este dado sugere que a UNICAMP poderia se beneficiar de uma estratégia de eficiência energética mais robusta para reduzir as emissões indiretas de energia.

Nas emissões do escopo 3 (outras emissões indiretas), o CTEC registra 0,229 tCO₂, enquanto a UNICAMP apresenta um valor substancialmente mais alto de 1,249 tCO₂. A PUC-RIO, com 0,291 tCO₂. A alta emissão da UNICAMP sugere uma forte dependência de serviços terceirizados ou atividades que geram emissões indiretas, enquanto a PUC-RIO e o CTEC têm valores mais moderados.

Tabela 12. Comparativo dos KPIS com outros centros educacionais.

Indicadores de performance (KPIS)	CTEC	UNICAMP	PUC-RIO	UTFPR
Emissão total por quantidade de usuários	0,500	1,314	0,293	0,492
Emissão total por quantidade alunos	0,389	1,419	0,371	0,553
Emissões do escopo 01 por quantidade usuários	0,155	0,006	0,002	0,473
Emissões do escopo 02 por quantidade usuários	0,001	0,060	0,001	0,020
Emissões do escopo 03 por quantidade usuários	0,229	1,249	0,291	Não contabilizado

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

O CTEC apresenta emissões bastante próximas das demais instituições analisadas, o que traz uma perspectiva positiva, especialmente considerando seu porte. Embora sua população de aproximadamente 1760 seja semelhante a Faculdade de Tecnologia da UNICAMP que conta com 1572 usuários, o CTEC conseguiu obter KPIS menores, refletindo um desempenho ambiental relativamente melhor. Além disso, quando comparado com o Campus Gávea da PUC-Rio, que possui uma estrutura significativamente maior de 19699 usuários e com mais recursos, o CTEC ainda assim obteve KPIS próximos. Esse resultado sugere que, mesmo com menos infraestrutura e recursos disponíveis, o CTEC está conseguindo manter um padrão de emissões competitivo, alinhado ao de instituições de maior porte, demonstrando a viabilidade de implementar medidas para reduzir emissões de GEE em instituições menores.

5.4. Matriz SWOT

A análise da matriz SWOT, foi elaborada a partir dos fatores identificados como internos que seriam forças e fraquezas e pelos fatores externos tidos como oportunidades e ameaças, identificando os pontos de apoio e os desafios para a implementação de práticas que levem à redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

As forças incluem a presença de áreas verdes e o apoio da comunidade acadêmica, que favorecem um ambiente propício para iniciativas de descarbonização e conscientização ambiental. Fraquezas destacam a inexistência de um histórico de dados e a falta de manutenção preventiva em aparelhos de ar-condicionado, dificultando o controle e a gestão de emissões.

Tocante as oportunidades abrem possibilidades como a eletrificação da frota de veículos e o tratamento de efluentes para sua reutilização. Por outro lado, questões como os altos custos de implementação e a falta de interligação entre departamentos representam ameaças externas significativas.

Figura 9. Matriz SWOT.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho indicam a importância de direcionar as medidas mitigadoras principalmente para o escopo 3, que apresentou o maior volume de emissões devido, principalmente, a geração de esgoto e resíduos sólidos. Mesmo o escopo 3 não sendo obrigatório a instituição é corresponsável, sendo assim, precisam ser aplicadas medidas de gestão visando a redução na fonte das contaminantes que geram o GEE. A análise comparativa com outras universidades destaca que, enquanto o CTEC (UFAL) apresenta um desempenho relativamente eficiente em emissões totais, há oportunidades claras para melhorar o controle e a eficiência das emissões diretas. Além disso, o escopo 1 também merece atenção, uma vez que envolve emissões diretas significativas e pode beneficiar-se de estratégias de incentivo a práticas sustentáveis.

Evidentemente é necessário um monitoramento contínuo e mais detalhado, incluindo a contabilidade do consumo de energia por bloco, aprimorar a gestão e ajustar as metas de redução com maior assertividade. A criação dos KPIs permitirá que estudos posteriores realizem comparações, e entenda como que o campus avançou ou regrediu em relação as emissões.

Considerando as limitações enfrentadas no acesso aos dados específicos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, seja pela falta destes ou pela não disponibilização de informações pela instituição, fica evidente a necessidade de estudos adicionais. Estes trabalhos futuros poderiam utilizar dados mais abrangentes, de modo a desenvolver uma compreensão mais detalhada das emissões e possibilitar a formulação de estratégias de descarbonização mais específicas.

Fica claro, portanto, a necessidade de aprimorar o monitoramento e o controle das emissões nas instituições de ensino, pois, com a continuidade das ações de medição e controle, será possível avançar na descarbonização do campus e contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13969:1997. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

ARAÚJO, Emília Rodrigues; SILVA, Márcia; RIBEIRO, Rita. **Sustentabilidade e descarbonização: desafios práticos.** 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT); Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). **Gestão de gases de efeito estufa: Guia de ações para economia de baixo carbono em pequenas e médias empresas.** Rio de Janeiro, 2016. 41 p.

BARBOSA, Danilo et al. Emissões de gases de efeito estufa (GEE) associados ao consumo de energia elétrica no campus da USP de São Carlos para o período de 2008-2020. **Resumos expandidos**, 2021.

BAIRD, C. (Tradução: RECIO, M. A. L. e CARRERA, L. C. M.). **Química Ambiental**, 2ª ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2002.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: 30 dez. 2009. ed. extra.

BRIANEZI, Daniel; D'AVILA, Mateus Araujo. INVENTÁRIO E NEUTRALIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO CEFET/MG-CAMPUS I. In: **12ª Semana de Ciência e Tecnologia do CEFET-MG.** 2016.

BRAZIL BEAUTY NEWS COM AFP. **Descarbonização: técnicas de captação de carbono conquistam espaço.** 2023. Disponível em: <https://www.brazilbeautynews.com/descarbonizacao-tecnicas-de-captacao-de-carbono,4774#:~:text=Existem%20dois%20m%C3%A9todos%20mas%20nem,remo%C3%A7%C3%A3o%20de%20carbono%20do%20ar>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CARRIER. **Manual de instalação, operação e manutenção: ar-condicionado split.** São Paulo: Carrier do Brasil, 2019. Disponível em: <https://carrierdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/03/987cb-splitspace.pdf>. Acesso em: 01 de ago. 2024.

CARVALHO, J. P. A. F. de; ELK, A.G.H.P.V; ROMANEL, C. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Campus Gávea da PUC-Rio. Engenharia Sanitária Ambiental. Rio de Janeiro, vol. 22, n.3, página inicial e final do artigo, mai. e jun. de 2017.

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

CONAMA, Resolução nº 4914 de 19 de novembro de 2018, do Conselho Nacional do Meio Ambiente; “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar”; Publicada no Diário Oficial da União em 21/11/2018; Brasília, DF.

DA CRUZ, F. A.; D'AVILA, S. P. Inventário De Emissões De Gases De Efeito Estufa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba – Sede Central e Ecoville. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 84p, 2013.

DE OLIVEIRA SILVA, Claudionor et al. Resíduos sólidos urbanos de Maceió/AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 426-439, 2020.

FRANCO, Beatriz. Da revolução industrial à destruição da ozonosfera. Exame. 5 de set de 2022. Disponível em: <https://exame.com/esg/da-revolucao-industrial-a-destruicao-da-ozonosfera/> Acesso em: 26 fev. 2024.

GONÇALVES, P.B; POZZA, S. A. Qualidade do ar. Inventário de gases de efeito estufa no campus 1 da UNICAMP em Limeira, SP. XIV ENEEAmb, II Fórum Latino de Engenharia e Sustentabilidade e I SBEA – Centro-Oeste. Brasília, 2016.

GVCES, Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG protocol - **Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)**, - São Paulo: FGV, 2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/proclima>. Acesso em: 10 fev. 2024.

GVCES, Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. Ferramenta de Cálculo do PBGHG 2023.0.3. Disponível em: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform>. Acesso em: 02 fev. 2024.

IPCC. Climate change 2007: Synthesis Report - Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: WMO: IPCC, 2007.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001).

JURAS, I. A. G. M. **Aquecimento Global e Mudanças Climáticas: uma introdução**. Plenarium, v.5, n.5, p. 34 - 46, out., 2008

LACAVA, C. I. V. Avaliação da qualidade do ar. In: ÁLVARES JUNIOR, O. de M.; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P. S. **Emissões Atmosféricas**, Brasília, 2002: p. 131-180. Disponível em: https://ambiental.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA-_cap_2__QUAL_AR.pdf. Acesso em: 16 fev. 2024.

MAGALHÃES, Pedro Coutinho Glória. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa da Universidade Federal Fluminense**, 2023.

MARIANO, Glauber Lopes (Org.). **Meteorologia em tópicos Volume 1: Poluição atmosférica**. 1. ed. Pelotas: Clube dos Autores, 2014.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Brasília/DF. 2021. Capítulo 2. ISBN: 978-65-87432-18-2, Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1129471/inventario-nacionalde-emissoes-e-remocoes-antropicas-de-gases-de-efeito-estufa>. Acesso em: 06 fev. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Descarbonização, um processo que pode ajudar o meio ambiente.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/descarbonizacao-um-processo-que-pode-ajudar-o-meio-ambiente>. Acesso em: 02 fev. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris.** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Efeito Estufa e Aquecimento Global.** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global.html#startOfPageId195>. Acesso em: 16 fev. 2024.

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

PROTOCOLO DE GASES COM EFEITO ESTUFA. NORMAS CORPORATIVAS DE TRANSPARÊNCIA E CONTABILIZAÇÃO (2004). Edição Revista. BSCD Portugal: Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável; World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. Edição Portuguesa.

ROVERE, E. L.L. O Brasil e a COP-21. In: VICENTE, M. (Org.). **Cadernos Adenauer xvii, nº 2. Mudanças climáticas: o desafio do século.** Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, agosto 2016, p 7-8.

SILVA, José Gabriel da. **Controle da poluição atmosférica: livro didático.** 1. ed. rev. Palhoça: UnisulVirtual, 2011. 206 p.

SILVA, K. R. G. DA. **Inventários de gases de efeito estufa para o município de Maceió. Maceió: Universidade Federal de Alagoas - UFAL,** 2017.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano de Ação Climática e desenvolvimento sustentável para São Paulo: PAC2050.** Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-final-site_30_12_22.pdf Acesso em: 06 mar. 2024.

UFAL, O CTEC em Números. **Centro de tecnologia.** Disponível em: <https://ctec.ufal.br/institucional/o-ctec-em-numeros>. Acesso em: 12 fev. 2024.

YABUSHITA, E. E. R. **Inventário e proposta de gerenciamento de gases de efeito estufa (GEE) na UTFPR: estudo de caso do Campus Campo Mourão.** Campo Mourão, 53p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.