



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE

ANDREIA PALHETA FERREIRA DE SOUZA

**DESCARBONIZAÇÃO NA UFPA: uma análise do Projeto SIMA com aproveitamento  
de crédito de carbono**

**DM 18/2025**

**BELÉM/PARÁ**

**2025**

ANDREIA PALHETA FERREIRA DE SOUZA

**DESCARBONIZAÇÃO NA UFPA: uma análise do Projeto SIMA com aproveitamento  
de crédito de carbono**

**DM 18/2025**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação  
em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre na área de Sistemas de Energia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Mota Soares

Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Rosa Carriço de Lima  
Montenegro Duarte

BELÉM/PARÁ

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S719d Souza, Andreia Palheta Ferreira de.  
DESCARBONIZAÇÃO NA UFPA : uma análise do Projeto  
SIMA com aproveitamento de crédito de carbono / Andreia Palheta  
Ferreira de Souza, . — 2025.  
78 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Thiago Mota Soares  
Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Rosa Carriço de Lima  
Montenegro Duarte  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica, Belém, 2025.

1. transição energética. 2. descarbonização do setor  
energético. 3. painéis fotovoltaicos. 4. ODS 7. 5. mobilidade  
elétrica. I. Título.

CDD 621.307209811

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGEE  
“DESCARBONIZAÇÃO NA UFPA: uma análise do projeto SIMA com aproveitamento  
de crédito de carbono ”

AUTORA: ANDREIA PALHETA FERREIRA DE SOUZA

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora, aprovada pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, sendo julgada adequada para a obtenção do Grau de Mestra em Engenharia Elétrica na Área de Sistemas de Energia Elétrica.

APROVADA EM: 15/07/2025

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Thiago Mota Soares**

(Orientador – PPGEE/ITEC/UFPA)

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte**

(Coorientador – ICEN/UFPA)

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Emília de Lima Tostes**

(Avaliadora Interna - PPGEE/UFPA)

---

**Prof. Dr. Miércio Cardoso de Alcântara Neto**

(Avaliador Interno - PPGEE/UFPA)

---

**Dr. Carlos Eduardo Moreira Rodrigues**

(Avaliador Externo - ITEC/UFPA)

**VISTO:**

---

**Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso**

(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

Aos meus pais, Erasmo (*in memoriam*) e Madu.  
A minha tia Socorro. Sem vocês eu nada seria.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, da sabedoria, por me dá forças e guiar no caminho correto. A Nossa Senhora de Nazaré, mãe do filho de Deus e Àquela que me acolhe em seus braços em todos os momentos da minha vida. Ao seu filho amado Jesus, que morreu por mim.

Ao meu pai, Erasmo, que sempre me incentivou a estudar. Você sempre será minha inspiração de amor, dedicação e trabalho. Sei que de onde o senhor estiver, está olhando por mim e abrindo meus caminhos. A minha mãe, sem ela eu nada seria, que me acolhe em meu pranto, me incentiva nas minhas batalhas e comemora cada vitória. Obrigada por sempre estar comigo.

A minha tia Socorro, que quando eu não vi luz no fim do túnel, me estendeu a mão e me mostrou outros caminhos, me mostrou outros sonhos para sonhar. Esse trabalho é tão seu quanto meu. Obrigada por sempre me ouvir e me acolher, por ser mais que uma tia, por ser minha mãe também. E a minha prima Paula, pelas conversas cheias de risadas e incentivos.

Ao meu irmão e a minha cunhada, meus parceiros de risadas, vôleis, conversas profundas e bestas. A gente vive todo dia aprendendo a lidar um com o outro, mas a vida nos deu amor para que tudo fique mais fácil.

As três crianças que não sabem, mas são minhas maiores forças: Davi, Maria Júlia e Aurora. São por elas que eu luto. Eu quero ser aquela que vai estar sempre realizando o sonho de vocês, pois vocês são os meus maiores sonhos e presentes.

Aos meus amigos do LABQUALI, em especial Jéssica Sousa e Douglas Carvalho, que me aguentaram nos dias intensos na escrita dessa dissertação, que leram comigo, me deram ideias e me ajudaram a relaxar.

A todos os amigos e colaboradores do CEAMAZON, uma família realmente. De onde suguei de cada um informações, relatórios e muito mais para me ajudar a compor esse trabalho. Em especial a Prof. Dra. Maria Emília Tostes que trata cada aluno como filho e está sempre a disposição para nos auxiliar. Ao PPGEE, em especial ao Coordenador, Prof. Dr. Diego Lisboa, que sempre me incentivou a finalizar meu trabalho, sempre muito atencioso e alegre no dia a dia. Ao Prof. Dr. Miércio Cardoso, diretor do ITEC, pelas nossas conversas enriquecedoras

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Thiago Soares e Prof. Dra. Ana Rosa Duarte, por toda sua paciência, pesquisas e novas descobertas que fizemos juntos ao longo desta Dissertação.

A CAPES, pois como uma pessoa que vem de família de classe média baixa, viver da pesquisa é difícil, sem auxílio financeiro, seria impossível. A Norte Energia, que através do Projeto SIMA, proporcionou que a UFPA se tornasse um laboratório vivo, gerando dados para realização desta pesquisa.

E, por último, mas não menos importante, a minha Psicóloga Graça, sem nossas conversas eu não sei se conseguiria chegar ao fim de mais uma batalha.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	14
Figura 2 - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio.....	15
Figura 3 - Concepção integrada do Sistema Inteligente de Mobilidade Elétrica Multimodal da Amazônia (SIMA). ....	48
Figura 4 - Trajeto do Ônibus Circular UFPA .....	49
Figura 5 - Ônibus elétrico - Circular UFPA.....	49
Figura 6 - Trajeto Ônibus Rodoviário Belém-Castanhal. ....	50
Figura 7 - Ônibus elétrico - SIMA Rodoviário .....	50
Figura 8 - Trajeto Barco Elétrico/Catamarã UFPA .....	51
Figura 9 - Barco de propulsão elétrica, com captação de energia fotovoltaica, modelo catamarã. ....	51
Figura 10 - Painéis Fotovoltaicos do CEAMAZON.....	52
Figura 11 - Painéis Fotovoltaicos do Mirante do Rio. ....	52
Figura 12 - Banco de Baterias do CEAMAZON. ....	53
Figura 13 - Metodologia .....	56
Figura 14 - Geração Fotovoltaica do SGF1 de junho/2024 a maio/2025. ....	60
Figura 15 - Legenda software Victron Energy para Geração SGF1.....	60
Figura 16 - Geração de energia do SGF2 no ano de 2024 .....	61
Figura 17 - Geração de energia do SGF2 até junho de 2025. ....	62
Figura 18 - Gráfico de Emissões Evitadas em tCO <sub>2</sub> /ano .....	69

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Cálculo de Carbono para o Circular UFPA .....	58
Tabela 2 – Cálculo de Carbono para o Rodoviário.....	58
Tabela 3 - Cálculo de Carbono para o Barco .....	59
Tabela 4 - Média da geração do SGF2 dos meses de dez/2024 a mai/2025 nos anos anteriores. .....	63
Tabela 5 - Valores dos modais elétricos consolidados .....	66
Tabela 6 - Valores dos SFG1, SFG2 e BESS consolidados .....	67
Tabela 7 - Análise prospectiva de 10 anos para o Projeto SIMA .....	68

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BESS	Banco de Baterias
BYD	BUILD YOUR DREAMS
CEAMAZON	Centro de Eficiência Energética da Amazônia
CO <sub>2e</sub>	Carbono equivalente
COP	Conferência das Partes
CRE	Certificados de Reduções de Emissões
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG Protocol	Greenhouse Gas Protocol
ICCT	International Council on Clean Transportation
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
SGF1	Sistema Gerador Fotovoltaico 1 - CEAMAZON
SGF 2	Sistema Gerador Fotovoltaico 2 – Mirante do Rio
SIMA	Sistema Inteligente de Mobilidade Elétrica Multimodal da Amazônia
SIN	Sistema Interligado Nacional
UFPA	Universidade Federal do Para
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima
VE	Veículo Elétrico

## RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo analisar a contribuição do Projeto SIMA (Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal), implementado na Universidade Federal do Pará (UFPA), para a descarbonização do setor energético no contexto institucional. A pesquisa está inserida no escopo do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), que promove o acesso à energia limpa, acessível e sustentável, e considera a transição energética como premissa fundamental para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A partir de uma revisão teórica que abrange os conceitos de ODS, transição energética, descarbonização e mercado de carbono, a dissertação explora o potencial dos sistemas fotovoltaicos como método eficiente de descarbonização. O Projeto SIMA integra diversas soluções tecnológicas sustentáveis, como a instalação de painéis fotovoltaicos para geração de energia, banco de baterias, eletropostos, veículos elétricos terrestres e aquáticos, e um sistema de monitoramento inteligente. A energia gerada por fontes renováveis é utilizada para abastecer os modais elétricos operantes no campus da UFPA, promovendo a substituição de veículos movidos a combustíveis fósseis. A metodologia da pesquisa envolve a análise qualitativa e quantitativa de dados operacionais do sistema, com foco na estimativa das emissões evitadas em decorrência da eletrificação da frota e da utilização de energia solar. Utilizam-se fatores de emissão estabelecidos por organismos internacionais, como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e o Programa Brasileiro GHG Protocol, além de dados técnicos referentes ao consumo médio de diesel por modal substituído, distância percorrida, eficiência dos veículos elétricos e capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos. Com base nesses dados, é realizada a quantificação do volume de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>) que deixaria de ser emitido com a operação dos modais elétricos em substituição aos convencionais. A partir dessa estimativa, discute-se a possibilidade de conversão da descarbonização alcançada em créditos de carbono, segundo metodologias reconhecidas pelo mercado voluntário e regulado, abrindo caminho para estratégias de financiamento e valorização ambiental de iniciativas institucionais. Os resultados obtidos demonstram que a articulação entre geração de energia limpa, gestão inteligente e mobilidade elétrica tem potencial significativo de descarbonização, podendo ser replicada em outras instituições públicas e privadas, e contribuindo para políticas de sustentabilidade e redução de emissões no setor energético. A dissertação reforça o papel das universidades como espaços estratégicos para a implementação de soluções inovadoras de baixo carbono, promovendo a transição energética em consonância com os compromissos climáticos globais.

**Palavras-chave:** transição energética; descarbonização do setor energético; painéis fotovoltaicos; ODS 7; mobilidade elétrica.

## ABSTRACT

This dissertation aims to analyze the contribution of the SIMA Project (Intelligent System for Efficient Multimodal Electric Mobility Management), implemented at the Federal University of Pará (UFPA), to the decarbonization of the energy sector within the institutional context. The research is framed within the scope of Sustainable Development Goal 7 (SDG 7), which promotes access to clean, affordable, and sustainable energy, and considers energy transition as a fundamental premise for the mitigation of greenhouse gas (GHG) emissions. Through a theoretical review covering the concepts of SDGs, energy transition, decarbonization, and the carbon market, this study explores the potential of photovoltaic systems as an efficient method for decarbonization. The SIMA Project integrates various sustainable technological solutions, such as the installation of photovoltaic panels for energy generation, battery banks, charging stations, electric land and water vehicles, and an intelligent monitoring system. The energy generated from renewable sources is used to power the electric mobility systems operating on the UFPA campus, promoting the replacement of fossil fuel-powered vehicles. The research methodology involves both qualitative and quantitative analyses of operational system data, focusing on estimating the emissions avoided due to fleet electrification and the use of solar energy. Emission factors established by international bodies, such as the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the Brazilian GHG Protocol Program, are employed, along with technical data related to average diesel consumption of the replaced vehicles, distances traveled, efficiency of electric vehicles, and the installed capacity of photovoltaic systems. Based on these data, the volume of carbon dioxide equivalent (CO<sub>2e</sub>) emissions avoided by operating electric cars instead of conventional vehicles is quantified. From this estimate, the possibility of converting the achieved decarbonization into carbon credits is discussed, following methodologies recognized by both voluntary and regulated carbon markets. This opens pathways for financing strategies and environmental valuation of institutional initiatives. The results demonstrate that integrating clean energy generation, intelligent management, and electric mobility holds significant potential for decarbonization. Such a model could be replicated in other public and private institutions, contributing to sustainability policies and emission reductions in the energy sector. The dissertation reinforces the role of universities as strategic spaces for the implementation of innovative low-carbon solutions, promoting the energy transition in alignment with global climate commitments.

**Keywords:** energy transition; decarbonization of the energy sector; photovoltaic panels; SDG 7; electric mobility.

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) .....	14
1.2	IMPORTÂNCIA DO ODS 7 (ENERGIA ACESSÍVEL E LIMPA) PARA A DESCARBONIZAÇÃO .....	17
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA.....	18
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA .....	19
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	21
2.2	OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS .....	23
2.3	TRANSIÇÃO ENERGÉTICA .....	25
2.4	DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR ENERGÉTICO .....	28
2.5	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO AUXÍLIO NA DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO.....	29
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
<b>3.</b>	<b>CRÉDITO DE CARBONO E MERCADO DE CARBONO</b> .....	<b>35</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	35
3.2	CONCEITOS E FUNDAMENTOS.....	36
3.2.1	<i>Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris</i> .....	37
3.2.2	<i>Tipos de mercados: regulado (compliance) e voluntário</i> .....	38
3.2.3	<i>Papel dos Certificados de Redução de Emissão (CREs)</i> .....	39
3.3	ESTRUTURA DO MERCADO DE CARBONO.....	40
3.3.1	<i>Mercado Regulado</i> .....	40
3.3.2	<i>Mercado Voluntário</i> .....	41
3.4	METODOLOGIAS DE MENSURAÇÃO E VERIFICAÇÃO .....	42
3.5	LIMITES, DESAFIOS E OPORTUNIDADES.....	43
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
<b>4.</b>	<b>PROJETO SIMA COMO ESTRATÉGIA DE DESCARBONIZAÇÃO</b> .....	<b>47</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	47
4.2	DESCRIÇÃO DO PROJETO SIMA E SEUS OBJETIVOS .....	48
4.2.1	<i>Ônibus elétrico urbano:</i> .....	49
4.2.2	<i>Ônibus elétrico rodoviário:</i> .....	50
4.2.3	<i>Barco Elétrico:</i> .....	51
4.2.4	<i>Sistema de Geração Fotovoltaico (SGF1):</i> .....	52
4.2.5	<i>Sistema de Geração Fotovoltaico (SGF2):</i> .....	52
4.2.6	<i>Banco de Baterias (BESS):</i> .....	53
4.3	METODOLOGIA DE DESCARBONIZAÇÃO APLICADA AO SIMA .....	53
4.4	CÁLCULOS DE DESCARBONIZAÇÃO UTILIZANDO O SIMA .....	56
4.4.1	<i>Cálculos Veículos Elétricos</i> .....	56
a.	<i>Cálculos Situação 1 (Ônibus a Combustão x Ônibus Elétrico)</i> .....	56
b.	<i>Cálculo Situação 2 (Barco a diesel marítimo x Barco elétrico)</i> .....	58
c.	<i>Síntese do resultado dos modais elétricos</i> .....	59

4.4.2	<i>Cálculos Sistemas Fotovoltaicos</i> .....	60
4.4.3	<i>Cálculos Banco de Baterias - BESS</i> .....	63
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS .....	64
4.6	ANÁLISE PROSPECTIVA DO PROJETO SIMA.....	68
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>74</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável é um compromisso global assumido em 2015 por 193 Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) por meio da Resolução 70 da Assembleia Geral, intitulada “*Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*”. Trata-se de um plano de ação abrangente que estabelece diretrizes para enfrentar os principais desafios sociais, econômicos e ambientais do século XXI, com foco na promoção de um desenvolvimento equilibrado, inclusivo e sustentável. A agenda reconhece a interdependência entre essas dimensões e propõe uma abordagem integrada, respeitando as particularidades de cada país e incentivando esforços conjuntos em direção a um futuro mais justo e resiliente (Brasil, 2025; ONU, 2025).

No centro da Agenda 2030 estão os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) — um conjunto de 17 objetivos e 169 metas que orientam ações voltadas à erradicação da pobreza, à promoção da educação, saúde, igualdade de gênero, acesso à energia limpa, trabalho decente e ao enfrentamento das mudanças climáticas, conforme indicado através da Figura 1. Ao propor metas e indicadores claros, os ODS visam melhorar a qualidade de vida das populações, proteger os recursos naturais e fomentar a cooperação internacional, com o objetivo de garantir paz, prosperidade e sustentabilidade para as atuais e futuras gerações (Brasil, 2025; ONU, 2025).

Figura 1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: ONU, 2020.

Para abordar os objetivos sustentáveis, é preciso primeiro entender o termo “desenvolvimento sustentável” e como a ONU apresentou os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

(2016) em seu trabalho demonstram os caminhos tomados e discutidos pelos países na busca pelo desenvolvimento sustentável quando o assunto ainda não tinha esse nome.

O conceito surgiu em 1970, mas só ganhou relevância a partir de 1972 com a Conferência de Estocolmo, a qual alertou sobre os danos irreversíveis com a degradação ambiental (Pott; Estrela, 2017). Entretanto, o termo foi popularizado após o relatório “Nosso Futuro Comum”, conhecido também como “Relatório Brundtland”, o qual descrevia o desenvolvimento como aquele que atende às necessidades da geração presente sem comprometer as gerações futuras, buscando o equilíbrio econômico, social e ambiental (Pott; Estrela, 2017).

Desde então, a ONU desempenha um papel central na coordenação de esforços globais por meio de instrumentos jurídicos e políticos voltados à mitigação e adaptação climática (El Bosaty; Khafagy, 2024). Dentre estes mecanismos, é importante citar a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (sigla em inglês UNFCCC para *United Nations Framework Convention on Climate Change*), responsável pela realização das Conferências das Partes (COP), com destaque as COPs 3, 21 e 26, as quais aprovaram o Protocolo de Kyoto, o Acordo de Paris e reforçou as metas para manter o aquecimento abaixo de 1,5°C, respectivamente (Bennemann; Lima; Silva, 2024; El Bosaty; Khafagy, 2024; Lucon; Coelho, 2002; Pott; Estrela, 2017; Scovazzi, 2021).

Também foram destaques as COPs 13 e 19, ocorridas em Bali e Varsóvia, respectivamente, com objetivo de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal (REDD e REDD+) ((Bennemann; Lima; Silva, 2024; Lucon; Coelho, 2002; Pott; Estrela, 2017; United Nations, s.d).

A agenda de desenvolvimento sustentável se vê então avançando a partir dos resultados da cúpula de 2002, com a criação dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), com 8 metas e apoio de 191 países, conforme Figura 2 abaixo (Brasil, 2015; Silva et al., 2019).

Figura 2 - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio.



Fonte: Brasil, 2015.

A criação dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) marcou um importante passo na institucionalização da pauta socioambiental no cenário internacional. Contudo, à medida que os desafios globais se tornavam mais complexos e interdependentes, tornou-se necessário rever e ampliar esse escopo. Nesse sentido, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, realizada em 2012, foi decisiva para o redesenho dessa agenda. Durante o evento, os países reconheceram a necessidade de estabelecer um novo conjunto de metas mais abrangentes e integradas, propondo a formulação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esse processo desencadeou amplas consultas globais e, três anos depois, resultou na adoção da Agenda 2030, durante a Cúpula das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, em setembro de 2015, em Nova York (Silva et al., 2019; United Nations, s.d).

No mesmo ano, mas em uma instância distinta, ocorreu a COP 21, realizada em Paris sob a égide da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Nessa conferência, foi firmado o histórico Acordo de Paris, no qual 195 países assumiram compromissos voluntários para a redução das emissões de gases de efeito estufa, com o objetivo de limitar o aquecimento global a bem menos de 2 °C, preferencialmente até 1,5 °C, em relação aos níveis pré-industriais (Scovazzi, 2021; El Bosaty; Khafagy, 2024). Ainda que a Agenda 2030 e o Acordo de Paris tenham origens e fóruns distintos, ambos compartilham uma base comum: o compromisso com o desenvolvimento sustentável e a urgência de respostas coordenadas frente à crise ambiental e climática global.

## *1.2 Importância do ODS 7 (Energia Acessível e Limpa) para a descarbonização*

Dentre os Objetivos do Milênio (ODM) e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) surgiram as discussões quanto o acesso à energia limpa, um assunto que, por muito tempo, manteve-se “esquecido”, contudo, a partir da Agenda 2030 e da criação do ODS 7 que trata da Energia Acessível e Limpa, faz luz a necessidade de repensar o sistema energético e a dependência global as fontes não-renováveis (Dalei et al., 2021; Almeida, 2023; Mata; Mont’Alverne, 2024).

Almeida (2023), Dias (2024), Mata e Mont’Alverne (2024) mostram que ao tratar do ODS 7, a principal discussão é em torno da transição energética. Onde a transição além de auxiliar na diminuição da emissão de poluentes atmosféricos e aumentar a matriz energética renovável, é imprescindível para que a descarbonização se concretize.

A discussão sobre o ODS 7 – Energia Acessível e Limpa ganhou centralidade nas Conferências das Partes (COPs) da UNFCCC, especialmente, após a consolidação da Agenda 2030. Desde então, o tema é frequentemente associado aos debates sobre transição energética, redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e justiça climática, tornando-se um eixo estratégico para a implementação das metas climáticas definidas no Acordo de Paris (Columbia SIPA, 2015; IPCC et al., 2023; UNFCCC, 2021).

Na COP21 (Paris, 2015), o ODS 7 foi integrado de forma transversal às metas do Acordo de Paris, que estabeleceu o compromisso de limitar o aumento da temperatura global a bem abaixo de 2 °C. O documento reconhece a necessidade de ampliar o acesso à energia sustentável, em especial nos países em desenvolvimento (Columbia SIPA, 2015).

A COP22 (Marrakech, 2016), conhecida como a “COP da Ação”, consolidou o compromisso de transformar os objetivos do Acordo de Paris em ações concretas. Nesse contexto, o ODS 7 foi novamente realçado, especialmente por meio da Plataforma de Ação Global de Marrakech, que impulsionou iniciativas para levar energia renovável a regiões vulneráveis, com foco no continente africano (UNFCCC, 2016).

Durante a COP24 (Katowice, 2018), o debate se concentrou na regulamentação do Acordo de Paris e no financiamento climático. O ODS 7 foi abordado em articulação com a necessidade de garantir uma transição energética justa, que levasse em conta os diferentes níveis de desenvolvimento e as capacidades tecnológicas de cada país (UNFCCC, 2018). A energia limpa foi apontada como um instrumento fundamental para aliar desenvolvimento econômico e mitigação das mudanças climáticas.

Na COP26 (Glasgow, 2021), o ODS 7 ganhou destaque por meio de iniciativas como o *Glasgow Breakthrough on Power*, que visa tornar a energia limpa a opção mais acessível e confiável no mundo. Além disso, a declaração sobre a transição do carvão para energia limpa marcou um avanço na busca por sistemas energéticos mais sustentáveis, em consonância com as metas do ODS 7. O documento final reconheceu a necessidade de fortalecer o apoio aos países em desenvolvimento, promovendo soluções energéticas sustentáveis (UNFCCC, 2021).

A COP27 (Sharm El-Sheikh, 2022), realizada no Egito, trouxe uma ênfase especial na implementação de soluções energéticas que garantam acesso universal à energia limpa, especialmente em comunidades marginalizadas. A conferência reforçou a importância do financiamento para acelerar essa transição e reduzir desigualdades energéticas (UNFCCC, 2022).

Já na COP 28 (Dubai, 2023), o ODS 7 foi uma das pautas centrais. Com o lançamento do primeiro *Global Stocktake*, que avaliou o progresso dos países em relação às metas climáticas, ficou evidente que a aceleração da energia renovável é fundamental. A conferência firmou o compromisso de triplicar a capacidade global de geração de energia renovável até 2030 e duplicar as taxas globais de eficiência energética, reconhecendo que tais medidas são indispensáveis para o cumprimento do ODS 7. Além disso, foi reafirmada a urgência de garantir acesso à eletricidade para cerca de 800 milhões de pessoas que ainda vivem sem esse recurso básico, com destaque para a realidade africana (IPCC et al., 2023).

Na COP28, ocorrida em Dubai/Emirados Árabes Unidos, foi apresentado o “Compromisso Global de Renováveis e Eficiência Energética”, visando acelerar a adoção de fontes renováveis e triplicar a capacidade global em até 11.000 GW até 2030, sendo esta meta ambiciosa, acordada por mais de 120 países (Dias, 2024).

Esse compromisso reforça a importância da descarbonização como um pilar essencial para o enfrentamento da crise climática, destacando que a ampliação das fontes renováveis e a melhoria da eficiência energética são estratégias complementares e indispensáveis para reduzir as emissões de gases de efeito estufa de forma significativa (Bastos, 2023).

### *1.3 Problema de pesquisa e justificativa*

A necessidade de transição energética em instituições públicas impõe desafios complexos, que envolvem desde a gestão eficiente do consumo de energia até a integração de fontes limpas, a implementação de redes distribuídas e a redução das emissões de carbono, exigindo soluções que conciliem inovação tecnológica, viabilidade econômica e

responsabilidade ambiental. Na Universidade Federal do Pará (UFPA), foi implementado o Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal (SIMA) — um projeto que integra dois ônibus elétricos, uma embarcação elétrica, sistemas fotovoltaicos e banco de baterias — com o propósito de alinhar as operações institucionais ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7).

No entanto, ainda não se sabe, de forma clara e mensurável, qual o real impacto desse sistema na redução do consumo de energia e das emissões de carbono. Especificamente, é necessário verificar se a proposta do SIMA se configura como uma solução sustentável e escalável para a descarbonização da mobilidade na UFPA.

É preciso, ainda, investigar o quanto a implementação do SIMA impactou na redução do consumo de energia e das emissões de carbono na Universidade, e, desta forma, conhecer como o mesmo representa uma proposta sustentável e escalável para a transição energética da mobilidade na UFPA. Valendo-se destas informações, é possível aprofundar pesquisas de modo a entender se o SIMA é um sistema capaz de promover a descarbonização na UFPA, bem como gerar energia suficiente para colocar a Universidade no cenário do Mercado de Crédito de Carbono. E, por fim, como a ampliação desse sistema, em planos futuros, irá impactar o cenário já estabelecido.

#### *1.4 Objetivos da pesquisa*

##### **Geral**

Avaliar o impacto do SIMA na transição energética da UFPA, com base no ODS 7, analisando como os diversos componentes do sistema contribuem para a descarbonização e para as perspectivas futuras no mercado de carbono.

##### **Específicos:**

- Averiguar de que forma a implementação do Projeto SIMA contribui para o atendimento ao ODS 7;
- Analisar de que forma esses sistemas de geração colaboram em termos de eficiência energética, bem como sua contribuição na redução do consumo de energia na UFPA;
- Analisar o potencial do SIMA, a partir do uso de ônibus e embarcação elétrica, como proposta sustentável para a descarbonização da mobilidade na UFPA;
- Projetar cenários de ampliação do SIMA, estimando seus impactos futuros em consumo de energia e sua possibilidade na redução das emissões de carbono;
- Investigar perspectivas futuras no mercado de carbono.

### *1.5 Estrutura da dissertação*

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, organizados de forma a possibilitar uma compreensão progressiva dos fundamentos conceituais, da metodologia adotada e da análise aplicada ao Projeto SIMA no contexto da descarbonização da Universidade Federal do Pará.

No Capítulo 1, apresenta-se a introdução ao tema, com a contextualização sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 7 – Energia Limpa e Acessível –, além da delimitação do problema de pesquisa, justificativa, objetivos e a descrição da estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 corresponde à revisão de literatura e tem por objetivo estabelecer os fundamentos teóricos que embasam a pesquisa. São abordados os conceitos de ODS e transição energética, com ênfase na descarbonização do setor energético. Em seguida, explora-se o papel dos sistemas fotovoltaicos como ferramentas para redução de emissões, incluindo seu potencial para a geração de Certificados de Redução de Emissões (CREs). Essa base teórica estrutura a análise realizada nos capítulos posteriores.

No Capítulo 3, são discutidos os conceitos, estruturas e metodologias relacionados ao crédito de carbono e ao mercado de carbono. São abordadas as origens e transformações dos mecanismos de precificação de carbono, os diferentes tipos de mercado (regulado e voluntário), as metodologias de mensuração e verificação de emissões, além da análise da aplicabilidade desses instrumentos ao Projeto SIMA.

O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso do Projeto SIMA como estratégia institucional de descarbonização. Inicialmente, é feita a caracterização dos componentes do sistema (ônibus elétricos, barco elétrico, painéis fotovoltaicos e banco de baterias), seguida pela metodologia adotada para o cálculo das emissões evitadas. Os dados quantitativos são analisados e comparados com os cenários de referência, permitindo mensurar o potencial de descarbonização e a geração de créditos de carbono associados. Este capítulo também inclui uma análise consolidada dos resultados e uma avaliação prospectiva para os próximos anos.

Por fim, o Capítulo 5 reúne as considerações finais, destacando as principais conclusões da pesquisa, suas contribuições para o campo da transição energética e descarbonização em instituições públicas, além de sugestões para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentados conceitos teóricos pesquisados na literatura acerca das palavras chaves utilizadas neste trabalho, tais como: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Transição Energética, Descarbonização, Sistemas Fotovoltaicos como método de descarbonização. Na seção 2.1 se faz uma breve introdução sobre os assuntos os quais serão tratados neste capítulo. Na seção 2.2 são apresentados os conceitos em torno dos ODS e como os mesmos estão alinhados à temática do mercado de crédito de carbono.

Na seção 2.3 O trabalho fala sobre a transição energética como mecanismo de atendimento dos ODS e como influencia no mercado de carbono. Na seção 2.4 são apresentados conceitos de descarbonização do setor energético considerando diversas alternativas e como esta ação está ligada à mitigação das emissões de carbono.

Então na seção 2.5 são apresentados estudos voltados para os Sistemas fotovoltaicos como auxílio na descarbonização do setor elétrico, demonstrando como a energia gerada nestes sistemas podem virar Certificados de Reduções de Emissões (CREs). Por fim, a seção 2.6 apresenta uma síntese dos principais pontos abordados ao longo do capítulo, consolidando a base teórica que fundamenta as análises e discussões desenvolvidas nos capítulos subsequentes desta dissertação.

### 2.1 Introdução

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios globais da atualidade. Segundo (Calvin et al., 2023), a intensificação do efeito estufa é resultado do aumento de gases do efeito estufa (GEE), como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, oriundos principalmente da queima de combustíveis fósseis, na atmosfera. O setor energético é o maior contribuinte dessas emissões, sendo responsável por cerca de dois terços do total global (New Climate Economy, 2014; De La Peña et al., 2022).

A mitigação dessas mudanças exige um conjunto articulado de estratégias. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), as medidas mais eficazes para reduzir as emissões incluem o aumento da eficiência energética, a captura e armazenamento de carbono, a utilização de energia nuclear, a modernização dos sistemas de transmissão e distribuição, bem como o emprego de tecnologias avançadas de medição (New Climate Economy, 2014).

Trata-se, portanto, de uma transformação estrutural do sistema energético, conhecida como transição energética — processo fundamental para a construção de uma economia de baixo carbono, resiliente ao clima e socialmente inclusiva (Dias, 2024).

Nesse contexto, a energia renovável, especialmente a solar fotovoltaica, tem ganhado protagonismo como vetor de desenvolvimento sustentável. Essa transição energética está intrinsecamente conectada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS 7, que visa assegurar o acesso universal a uma energia limpa, segura, moderna e a preços acessíveis (Dias, 2024; Mata; Mont'Alverne, 2024).

Segundo estimativas recentes, cerca de 72% das metas dos ODS dependem, direta ou indiretamente, da modernização da infraestrutura energética e tecnológica (Lezak et al., 2019; Shabalov et al., 2021).

Nesse sentido, a energia e toda a infraestrutura que a sustenta constituem um pilar fundamental para o desenvolvimento social e econômico em escala global. A energia se destaca como um agente catalisador de mudança, capaz de enfrentar os principais desafios contemporâneos, desde a redução da pobreza até a mitigação da crise climática (Turci; Roa; Muniz, 2022; Dias, 2024).

Experiências concretas mostram que ações como investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), estímulo à mobilidade elétrica e instalação de eletropostos gratuitos podem contribuir para ampliar o acesso à energia limpa e inovadora.

Contudo, a efetivação da transição energética ainda enfrenta entraves significativos, especialmente em países em desenvolvimento. Barreiras tecnológicas, financeiras e regulatórias limitam a expansão de soluções sustentáveis e reforçam desigualdades sociais (Monteiro, 2023; Brumatti; Chaves; Siman, 2024).

Diante disso, o princípio da transição justa emerge como um guia essencial, promovendo o equilíbrio entre metas ambientais e justiça socioeconômica (Mata; Mont'Alverne, 2024).

Nesse sentido, o mercado de crédito de carbono surge como alternativa para mitigar o aquecimento global e as mudanças climáticas, onde a partir do mesmo é atribuído valor monetário às emissões de GEE, internalizando os custos da poluição nas atividades produtivas (Goularte; Alvim, 2011; Oliveira; Stakoviak Júnior, 2024). A precificação de carbono é um instrumento chave nesse contexto, incentivando a inovação e o investimento em tecnologias de baixo carbono (Oliveira; Stakoviak Júnior, 2024), tal como a usada como base nesta dissertação.

Portanto, este capítulo propõe-se a apresentar como os sistemas fotovoltaicos, enquanto solução tecnológica e instrumento de política climática, podem acelerar a descarbonização da matriz energética brasileira, contribuindo diretamente para o alcance do ODS 7, para um

modelo de desenvolvimento verdadeiramente sustentável e de que forma pode ser aproveitado no mercado de crédito de carbono.

## 2.2 *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS*

Lançada em 2015, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável constitui um plano de ação global que dá continuidade e aprofunda os compromissos estabelecidos pelos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) (ONU, 2018). Um de seus principais diferenciais é a abordagem abrangente, que articula as dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável. Composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, a Agenda busca impulsionar iniciativas em áreas fundamentais para o bem-estar humano e a preservação do planeta, com horizonte de implementação até 2030 (ONU, 2018; Gaertner et al., 2021).

Esse referencial internacional resulta de um processo de construção coletiva que se apoia em décadas de debates e resoluções promovidos pelas Nações Unidas, incluindo a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável e a Cúpula Mundial para o Desenvolvimento Social (ONU, 2018). Em relação às agendas anteriores, a Agenda 2030 representa um avanço importante, tanto pela ampliação temática quanto pela proposição de metas mais claras e indicadores mais precisos (Gaertner *et al.*, 2021).

Outro aspecto relevante é o reconhecimento da diversidade dos contextos nacionais. A Agenda reafirma o respeito ao espaço de formulação de políticas públicas de cada país, com ênfase especial nas necessidades dos países em desenvolvimento. Além disso, defende a ampliação da representatividade desses países nos fóruns internacionais de decisão econômica e na governança global. Seu caráter inclusivo busca engajar uma ampla gama de atores: governos, parlamentos, organismos internacionais, autoridades locais, povos indígenas, sociedade civil, setor privado, comunidade científica e acadêmica, sendo descrita como uma “Agenda do povo, pelo povo e para o povo” (ONU, 2018; Silva, 2018; Silva et al., 2019).

O princípio norteador da Agenda é “Não deixar ninguém para trás” (*Leaving No One Behind* – LNOB), que expressa o compromisso de garantir que todas as pessoas, independentemente de sua origem, renda, gênero, etnia ou localização, possam se beneficiar igualmente do desenvolvimento (ONU, 2018; Martins et al., 2024). Contudo, apesar de seu discurso transformador, parte da literatura crítica aponta que a Agenda não confronta de forma direta as estruturas institucionais que perpetuam desigualdades históricas. Em muitos casos,

permanece ancorada em paradigmas normativos já estabelecidos, o que pode limitar sua capacidade de promover transformações mais profundas e efetivas nas causas da exclusão social (Gaertner *et al.*, 2021).

A estrutura da Agenda 2030 foi concebida de modo a abordar a complexidade e os múltiplos níveis dos desafios contemporâneos, operando em múltiplos níveis de governança, do local ao global, e promovendo a integração entre setores como saúde, economia, educação, recursos naturais, energia, agricultura, ciência e urbanização. Isso exige uma abordagem sistêmica e articulada, que envolva diferentes saberes, atores sociais, tecnologias e instrumentos de política pública (Gaertner *et al.*, 2021).

A transição energética sustentável configura-se como um dos pilares centrais para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7) da Agenda 2030 das Nações Unidas, que visa assegurar o acesso universal, confiável, sustentável e moderno à energia. Este objetivo não se restringe à mera disponibilização de energia, mas propõe metas ambiciosas que incluem a ampliação da participação das fontes renováveis na matriz energética global, a melhoria da eficiência energética e o fortalecimento de infraestruturas resilientes (Dias, 2024; Turci; Roa; Muniz, 2022).

No contexto brasileiro, essa transição adquire contornos particulares, uma vez que o país detém uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo e apresenta elevados índices de acesso a combustíveis e tecnologias limpas, atingindo 99,8% da população (Turci; Roa; Muniz, 2022; Rodrigues; Silva, 2025).

A estrutura da Agenda 2030 foi concebida para enfrentar a complexidade e as várias categorias dos desafios contemporâneos, e o ODS 7 reflete essa abordagem ao se articular diretamente com outros objetivos, como aqueles voltados à ação climática (i.e ODS 11, 13, 14 e 15), ao desenvolvimento econômico (i.e ODS 1, 2, 8, 9 e 12) e à inclusão social (i.e ODS 1, 2, 4, 5, 6 e 10) (Dias, 2024).

As alterações climáticas, por sua vez, representam um dos maiores desafios à ciência e à governança global, sendo diretamente abordadas por meio de metas vinculadas à transição energética baseada em fontes renováveis (Moita Neto; Silva; Oliveira Junior, 2024). Nesse sentido, a promoção de energias renováveis — como solar, eólica, hidráulica, biomassa e geotérmica — torna-se fundamental para reduzir as emissões de carbono, combater as mudanças climáticas e fortalecer a resiliência socioambiental (Osman *et al.*, 2023; Bohnert, 2024; Rodrigues; Silva, 2025).

A incorporação de práticas de eficiência energética e o uso de tecnologias limpas são essenciais não apenas para mitigar os efeitos adversos do aquecimento global, mas também para garantir o acesso equitativo e sustentável à energia, promovendo o desenvolvimento em múltiplas dimensões (Bohnert, 2024; Mata; Mont'Alverne, 2024; Sauaia, 2025).

Interligado aos ODS está o mercado de crédito de carbono o qual aborda os conceitos e princípios que os fundamentam, como desenvolvimento sustentável, mitigação das mudanças climáticas, proteção ambiental, impacto social e crescimento econômico sustentável (Santin, 2007; Goularte; Alvim, 2011; Oliveira; Stakoviak Júnior, 2024).

O mercado de créditos de carbono é apresentado como um instrumento eficaz para a mitigação do aquecimento global e das mudanças climáticas, que ameaçam a sobrevivência da humanidade. Vários esforços têm sido feitos para equilibrar o crescimento econômico com a sustentabilidade dos recursos naturais, e os esquemas de comércio de emissões são vistos como uma das principais alternativas para alcançar esse equilíbrio (Goularte; Alvim, 2011).

Os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) permitem a redução de emissões de GEEs de forma economicamente viável, representando uma possibilidade real de aliar o desenvolvimento econômico à conservação ambiental (Santin, 2007).

A integração de políticas e programas de mitigação deve considerar diferentes objetivos de desenvolvimento sustentável, com as emissões de GEEs sendo apenas um dos critérios (Oliveira; Stakoviak Júnior, 2024). A expansão do comércio de Certificados de Reduções de Emissões (CREs) é significativa, movimentando bilhões de dólares. O Brasil, como um grande provedor de projetos de MDL, tem um potencial de ganhos financeiros significativos através da comercialização de CREs, aliado à conservação ambiental. A venda de créditos de carbono de aterros sanitários, por exemplo, pode gerar receitas consideráveis (Goularte; Alvim, 2011; Oliveira; Stakoviak Júnior, 2024; Santin, 2007).

Para Goularte e Alvim (2011) o mercado de crédito de carbono é um mecanismo intrinsecamente ligado e crucial para alcançar metas de desenvolvimento sustentável, assim contribuindo diretamente para alcançar os ODS.

### *2.3 Transição Energética*

A transição energética sustentável desempenha um papel estratégico não apenas no cumprimento do ODS 7, mas também na viabilização do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13 (ODS 13), voltado à adoção de medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos (Vieira, 2022; Bohnert, 2024).

Ao promover a substituição progressiva dos combustíveis fósseis por fontes renováveis, a transição energética torna-se um mecanismo fundamental para o atendimento das metas internacionais de mitigação das mudanças climáticas, como aquelas pactuadas no âmbito do Acordo de Paris (Rodrigues; Silva, 2025; Sauaia, 2025; Turci; Roa; Muniz, 2022). No entanto, apesar de avanços expressivos, o Brasil ainda enfrenta desafios relevantes que comprometem o ritmo e a efetividade desse processo.

Um exemplo preocupante é o aumento da participação das termelétricas na matriz elétrica nacional, que passou de 13% em 2019 para 21% em 2021, indicando uma tendência de retrocesso. Esse cenário evidencia a urgência de políticas públicas mais robustas, articuladas e consistentes, capazes de garantir não apenas a manutenção, mas também a ampliação da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, assegurando a convergência entre os objetivos climáticos e energéticos do país (Turci; Roa; Muniz, 2022).

Uma transição energética sustentável, para ser efetiva, exige planejamento integrado que articule os aspectos tecnológicos, ambientais e socioeconômicos envolvidos. Trata-se de um processo que vai além da substituição de fontes fósseis por renováveis, demandando uma reestruturação mais ampla nos modos de produção e consumo de energia. Seus efeitos repercutem diretamente sobre as estratégias de desenvolvimento sustentável (Santos et al., 2025).

Esse processo precisa estar comprometido com a conservação ambiental, sobretudo com a proteção da biodiversidade. A expansão das energias renováveis não pode ocorrer à custa da degradação de ecossistemas ou da perda de espécies. Por isso, é essencial que projetos de geração limpa sejam planejados com critérios rigorosos, que considerem os impactos sobre os biomas e os modos de vida locais (Santos *et al.*, 2025).

A transição energética também se relaciona diretamente com o avanço da chamada economia verde, ao propor uma lógica de crescimento que não esteja dissociada da preservação ambiental. O incentivo a tecnologias limpas favorece a criação de empregos qualificados, estimula cadeias produtivas sustentáveis e reforça a importância de modelos de produção e consumo menos intensivos em carbono. No entanto, para que esse processo seja, de fato, transformador, é preciso assegurar que seus benefícios alcancem os grupos historicamente excluídos, promovendo inclusão social, equidade e justiça ambiental (Carvalho; Pereira, 2024; Oliveira Júnior; Collaço, 2023; Santos *et al.*, 2025).

Nesse cenário, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) oferecem um referencial estratégico. O ODS 7, que trata do acesso universal à energia limpa e acessível,

articula-se com outros objetivos centrais, como a erradicação da pobreza (ODS 1) e o combate às mudanças climáticas (ODS 13). A transição energética sustentável torna-se, assim, um eixo estruturante para enfrentar os desafios climáticos e construir uma trajetória de desenvolvimento mais justa e resiliente (Brumatti; Chaves; Siman, 2024; Franzolin; Klingor; Brollo, 2024).

Garantir que essa transição ocorra de forma justa envolve, necessariamente, considerar seus efeitos sociais, incluir a participação ativa das comunidades envolvidas e enfrentar com seriedade o problema da pobreza energética. Essa condição — caracterizada pela dificuldade de acesso a serviços energéticos seguros, confiáveis e economicamente viáveis — compromete a qualidade de vida e evidencia a dimensão multidimensional da pobreza (Oliveira Júnior; Collaço, 2023; Carvalho; Pereira, 2024; Mori, 2025; Santos et al., 2025).

A concretização dessa transição exige políticas públicas consistentes, marcos regulatórios estáveis e uma governança ambiental eficiente, capazes de estimular investimentos, incentivar a inovação e assegurar a segurança energética. A coordenação entre os diferentes níveis de governo e a cooperação internacional são igualmente fundamentais para garantir que os compromissos climáticos sejam cumpridos e que a sustentabilidade energética seja alcançada (Carvalho; Pereira, 2024; Mori, 2025; Oliveira Júnior; Collaço, 2023).

A inovação tecnológica cumpre um papel decisivo nesse processo, ao permitir o desenvolvimento de soluções mais eficientes e acessíveis. O avanço de tecnologias emergentes e disruptivas, bem como o fortalecimento de ecossistemas de inovação — como o Sistema Brasileiro de Inovação (SBI) —, representam caminhos estratégicos para superar os desafios técnicos, econômicos e sociais que ainda limitam uma transição energética verdadeiramente sustentável e inclusiva (Franzolin; Klingor; Brollo, 2024; Santos *et al.*, 2025).

São consideradas soluções ótimas para uma transição de baixo carbono a adoção da energia solar e eólica, onde a partir de fazendas solares em grande escala, como no deserto do Saara, poderia suprir a demanda global de eletricidade (Yang et al., 2022; Power; Lu; Zhang, 2023).

A introdução de sistemas de Captura e Armazenamento de Carbono (CCS), especialmente quando combinados com mecanismos de precificação de carbono, pode reduzir significativamente as emissões e até mesmo gerar receita com o comércio de carbono, compensando os custos operacionais. Esta tecnologia tem um forte potencial de redução de emissões de carbono (Wei et al., 2023).

O Comércio de Emissões de Carbono (*Carbon Emission Trading*, em inglês) é uma política fundamental para acelerar a transformação de baixo carbono na indústria de energia,

visto o crédito de carbono ser parte de um mecanismo global de comércio adotado para reduzir essas emissões, proporcionando um incentivo econômico para os países reduzirem suas pegada de carbono, permitindo que aqueles que o fazem vendam créditos para os que excedem seus limites (Wei et al., 2023; Zhao, 2023).

#### *2.4 Descarbonização do setor energético*

A descarbonização do setor energético é abordada sob diversas perspectivas, destacando-se a necessidade urgente de substituir fontes de energia não renováveis por soluções sustentáveis para mitigar as emissões de gases de efeito estufa. As emissões de GEE, particularmente de CO<sub>2</sub>, são a principal preocupação devido aos seus impactos nas mudanças climáticas (Ferreira; Santana; Rapini, 2021; Gonçalves, 2024; Santos et al., 2024).

Em um estudo por Kunz *et al.* (2018), foi identificado que as energias renováveis respondiam por 19,3% da matriz energética mundial, gerando cerca de 9,8 milhões de empregos, sobretudo nos setores fotovoltaico e de biocombustíveis. No Brasil, a situação é ainda mais favorável: em 2021, 83% da matriz energética era composta por fontes renováveis (Brasil, 2023), o que reforça o protagonismo nacional nesse processo de transição.

Na busca pela descarbonização, diversas fontes de energia renovável têm sido consideradas alternativas estratégicas para a transição energética (Ferreira *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2024). A geração fotovoltaica (FV) destaca-se, especialmente em sistemas isolados, como o implementado no arquipélago de Fernando de Noronha, mas também se consolida como uma fonte relevante na matriz energética brasileira de forma geral (Ferreira *et al.*, 2024).

A energia eólica é apontada como uma das principais fontes renováveis do país, com expressivo potencial, sobretudo na região Nordeste (Ferreira *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2024). A energia hídrica, por sua vez, continua sendo o principal componente da matriz energética nacional; entretanto, enfrenta desafios relacionados à variabilidade dos níveis dos reservatórios e aos impactos socioambientais decorrentes da instalação de grandes empreendimentos (Costa *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2024)

A biomassa também é reconhecida como uma fonte renovável importante, com aplicações que incluem a produção de biodiesel a partir de óleo de palma na região amazônica e a utilização de resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar (Costa et al., 2023; Ferreira et al., 2024; Silva, 2024). O biogás e o biometano vêm sendo apresentados como alternativas promissoras para a descarbonização, especialmente por meio do aproveitamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos agropecuários, com destaque para as

potencialidades da região Amazônica (Costa; Bacellar, 2022). A energia nuclear, embora não seja considerada uma fonte renovável, é classificada como uma fonte limpa e de baixa emissão de carbono, podendo atuar de maneira complementar na matriz energética (Ferreira *et al.*, 2024).

O hidrogênio, em especial o hidrogênio verde, tem sido concebido como um vetor energético com elevado potencial para o armazenamento de energia a longo prazo e para aplicação em setores intensivos em emissões, como os de transporte, siderurgia e produção de cimento. No entanto, sua utilização em larga escala ainda enfrenta obstáculos significativos relacionados aos elevados custos e aos desafios tecnológicos envolvidos em sua produção, transporte e armazenamento (Santos *et al.*, 2024; Silva, 2024).

Alguns autores afirmam que a descarbonização do setor energético é uma ação urgente e crucial para mitigar as emissões de carbono, com o mercado de carbono desempenhando um papel fundamental nesse processo (Power; Lu; Zhang, 2023; Wei *et al.*, 2023).

A elaboração de inventários de GEE (conforme o GHG Protocol) permite às organizações identificarem novas oportunidades no mercado de carbono, atrair investimentos e planejar processos que promovam a eficiência econômica, energética e operacional. A contabilização das emissões de Escopo 2 (energia elétrica adquirida) é crucial, pois representa uma das maiores fontes de emissões para muitas organizações e uma oportunidade significativa de redução, ajudando a avaliar riscos e oportunidades associados às mudanças nos custos de energia (GHG Protocol, 2008).

### *2.5 Sistemas Fotovoltaicos como auxílio na descarbonização do setor elétrico*

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) são vistos como uma alternativa promissora para a geração sustentável de energia elétrica. Eles representam uma das fontes mais abundantes na natureza, oferecendo eficiências de produção crescentes e sólidas. A sua implementação é globalmente considerada uma das fontes mais promissoras devido aos seus múltiplos benefícios ambientais, econômicos e técnicos, facilitando a gestão da energia (Andrade *et al.*, 2021; Moraes *et al.*, 2021).

A energia solar fotovoltaica é utilizada em diversas aplicações, como bombeamento de água, alimentação de instalações remotas, residências urbanas e telecomunicações. No Brasil, inicialmente, seu uso se concentrava em sistemas isolados em pequena escala em áreas sem conexão com o Sistema Interligado Nacional (SIN), mas a quantidade de instalações conectadas à rede elétrica cresceu após regulamentações da ANEEL, como a Resolução

Normativa nº 482/2012 e nº 687/2015. A implementação de um SFV resulta na diminuição do valor da fatura de energia, alteração nas demandas registradas e na curva de carga diária do consumidor (Morais *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021).

Para as universidades e prédios públicos, a adoção de SFV traz benefícios econômicos e ambientais, como economia nas contas de energia e redução da liberação de gases poluentes, proporcionando maior autonomia financeira para a instituição. Além disso, a demanda por energia solar está em expansão, tornando-a uma alternativa mais competitiva para gerar eletricidade em residências, comércios e serviços públicos (Silva *et al.*, 2021).

A operação e manutenção (O&M) de SFV são essenciais para aumentar a geração de energia e as receitas econômicas, sendo um mercado em expansão com alto potencial de negócios futuros no setor fotovoltaico. A confiabilidade no monitoramento e um bom programa de O&M podem evitar perdas financeiras significativas e garantir maior durabilidade e desempenho energético das usinas. Os avanços tecnológicos e o aumento da produção de células solares têm contribuído para a diminuição dos preços dos sistemas fotovoltaicos, tornando-os mais atrativos (Dantas; Pompermayer, 2018; Costa, 2021; Silva *et al.*, 2021).

Os sistemas fotovoltaicos contribuem significativamente para a descarbonização e para a sustentabilidade do setor elétrico por serem uma fonte de energia limpa e renovável. Eles minimizam impactos ambientais negativos, pois não emitem poluentes ou ruídos durante a geração de energia. A utilização de SFV diversifica a matriz energética e minimiza a dependência de recursos hídricos, que podem ser afetados negativamente por perdas na transmissão e distribuição (Dantas; Pompermayer, 2018; Nespolo *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021).

A geração distribuída, que é um modelo de SFV, oferece diversos benefícios ao sistema elétrico, incluindo baixo impacto ambiental, redução de cargas na rede e diminuição de perdas (Dantas; Pompermayer, 2018; Silva *et al.*, 2021). Países que geram eletricidade predominantemente a partir de fontes renováveis apresentam menor nível de emissão de gases de efeito estufa (GEE). No Brasil, a matriz energética, dominada por fontes renováveis, possui baixa intensidade de carbono. A implementação de sistemas híbridos, que combinam SFV com bancos de baterias, pode reduzir significativamente o uso de grupos geradores a diesel, os quais possuem maior impacto ambiental. Além disso, a energia fotovoltaica pode aliviar a demanda atendida por usinas hidrelétricas quando os reservatórios estão baixos, diminuindo a necessidade de acionar termelétricas. A geração fotovoltaica também ajuda a suavizar as

variações na demanda de energia ao longo do dia (Dantas; Pompermayer, 2018; Andrade *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021).

A busca por fontes de energia renováveis, como a solar fotovoltaica, é um dos grandes desafios para a humanidade devido à intensificação do efeito estufa, e que a energia solar é uma forma promissora de contornar esse problema. A tecnologia fotovoltaica é apresentada como uma solução que contribui para um ambiente mais sustentável ao minimizar os impactos ambientais negativos. Portanto, a relação é de que os SFV são uma resposta ou solução para os desafios impostos pelas mudanças climáticas, e não uma ferramenta para o estudo delas (Dantas; Pompermayer, 2018; Silva *et al.*, 2021).

A aplicação de sistemas fotovoltaicos no âmbito do mercado de crédito de carbono se manifesta, principalmente, através da redução ou anulação de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o que pode gerar crédito de carbono a ser monetizado (Valadão, 2022).

A geração de energia solar fotovoltaica, juntamente com outras fontes renováveis como a eólica e a biomassa, pode levar à emissão de Certificados de Redução de Emissões (CREs) no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Estes certificados podem ser comercializados no mercado de carbono com países industrializados para os ajudar a cumprir as suas metas de redução de Gases de Efeito Estufa, ao mesmo tempo que promovem o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento. O mercado de carbono é composto por diversas transações de reduções de emissões de GEE, incluindo iniciativas alinhadas com o Protocolo de Kyoto e esforços independentes (Scovazzi, 2021; El Bosaty; Khafagy, 2024; Oliveira; Stakoviak Júnior, 2024).

Ao reduzir as emissões reais de carbono por meio da geração de energia fotovoltaica, as entidades podem gerar receita vendendo as permissões de carbono excedentes no mercado de carbono. Por exemplo, os certificados de Garantia de Origem (Guarantees of Origin) provenientes de energia fotovoltaica podem ser vendidos para ajudar empresas a cumprir suas cotas de emissão e, assim, pagar menos impostos sobre o carbono (Zhuang *et al.*, 2025).

Os sistemas fotovoltaicos contribuem para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> ao substituir a energia gerada a partir de combustíveis fósseis, como o gás natural ou o diesel. Um estudo no Peru demonstrou que, em 2021, a geração de energia solar, eólica e de biomassa evitou a emissão de mais de 1 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub> ao deslocar o consumo de gás natural. O índice de redução de emissões para a entrada de centrais solares FV, eólicas e de biomassa no despacho elétrico foi de 0,37 Ton CO<sub>2</sub> por MWh. Para cada MWh gerado por centrais

fotovoltaicas e eólicas, evitou-se, em média, a emissão de aproximadamente 0,37 toneladas de CO<sub>2</sub> (Cruz, 2024).

A venda de créditos de carbono pode aumentar significativamente a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos. No Brasil, um estudo sobre sistemas fotovoltaicos off-grid para irrigação concluiu que a porcentagem de áreas economicamente viáveis para a instalação de PV aumentou consideravelmente com a venda de créditos de carbono. Isso implica que produtores que poderiam não considerar a energia fotovoltaica atrativa do ponto de vista econômico, podem beneficiar-se desta via. A venda de créditos de carbono pode aumentar a área de uso potencial de sistemas fotovoltaicos em até 26,84%. O lucro gerado pela venda de carbono pode ser utilizado para diminuir o custo da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, e este ganho é incluído no cálculo do custo do ciclo de vida (LCC) dos sistemas FV (Valadão, 2022).

Sistemas fotovoltaicos são componentes integrais de Usinas Virtuais (VPPs) e Sistemas Integrados de Energia (RIES) que operam com uma "consciência de carbono". Estes sistemas incorporam modelos avançados de comércio de carbono, como o comércio de carbono escalonado (*stepped/laddered carbon trading*), juntamente com outras tecnologias como energia eólica, sistemas de *Power-to-Gas* (P2G) e *Carbon Capture and Storage* (CCS), além de sistemas de armazenamento de energia. O objetivo é otimizar o despacho de energia, mitigar as flutuações da energia renovável e alcançar uma operação econômica de baixo carbono. Isso visa aumentar a taxa de consumo de energia renovável e reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> (Lu et al., 2025; Rego; Castro; Lagarto, 2025; Zhuang et al., 2025).

Embora os investimentos em sistemas fotovoltaicos acarretem custos iniciais, sua integração em Comunidades de Energia Renovável (CERs) pode resultar em viabilidade econômica e lucratividade. Isso ocorre por meio da redução das contas de eletricidade, da venda do excedente de energia (potencialmente a preços mais altos do que à rede tradicional) e dos benefícios relacionados ao carbono. Para VPPs e RIES, a combinação de sistemas fotovoltaicos com mecanismos de comércio de carbono busca uma "operação econômica de baixo carbono" e oferece "benefícios econômicos e ambientais significativos". Os créditos de carbono podem até se tornar uma fonte de receita quando as emissões ficam abaixo das cotas permitidas, devido ao uso de energia fotovoltaica e outras tecnologias de baixo carbono (Lu et al., 2025; Rego; Castro; Lagarto, 2025; Zhuang et al., 2025).

## *2.6 Considerações finais*

Para Fernandes e Mazzola (2016), o ODS 7 foca no acesso universal a fontes de energia renováveis, eficientes e não poluentes, essenciais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, já que a maior parte das emissões ainda provém da queima de combustíveis fósseis. Em um estudo divulgado pela Embrapa (2018), as energias renováveis eram responsáveis por 19,3% da energia consumida no mundo, gerando 9,8 milhões de empregos no setor, especialmente na energia fotovoltaica e biocombustíveis. No Brasil, em 2021, 83% da matriz energética era originada de fontes renováveis (Brasil, 2023), evidenciando o protagonismo do país na transição energética.

Ao longo deste capítulo, foi possível identificar que a descarbonização da matriz energética global — e, mais especificamente, do setor elétrico — passa por um processo complexo de reestruturação, no qual os sistemas fotovoltaicos se apresentam como alternativa estratégica, tanto por sua viabilidade técnica quanto pelos benefícios ambientais e econômicos associados. A incorporação dessas tecnologias em edifícios públicos, como universidades, pode contribuir significativamente para a redução de emissões, para a economia de recursos e para a promoção de práticas sustentáveis no setor público.

Adicionalmente, a articulação entre sistemas de geração renovável e os mecanismos de mercado de carbono amplia o potencial de retorno econômico e de escalabilidade das soluções sustentáveis. Os créditos de carbono gerados a partir da energia limpa são instrumentos eficazes de monetização da descarbonização, tornando possível transformar ganhos ambientais em oportunidades financeiras, especialmente em contextos institucionais que ainda enfrentam limitações orçamentárias.

A literatura demonstra que, além dos ganhos ambientais, a transição energética requer políticas públicas robustas, marcos regulatórios estáveis e mecanismos de financiamento e precificação que estimulem o investimento em tecnologias limpas e incentivem práticas sustentáveis. A utilização de sistemas híbridos, a integração com redes inteligentes e o uso estratégico dos créditos de carbono se revelam como caminhos promissores para acelerar esse processo.

Assim, conclui-se que a adoção de fontes renováveis, em especial os sistemas fotovoltaicos, associada à participação ativa no mercado de carbono, pode constituir uma via concreta e eficaz para o cumprimento das metas do ODS 7, contribuindo para uma transição energética justa, inclusiva e de baixo carbono. Essa base teórica sustenta as próximas análises

da dissertação, que tratarão do potencial do Projeto SIMA na UFPA como modelo aplicável de descarbonização institucional.

### 3. CRÉDITO DE CARBONO E MERCADO DE CARBONO

#### 3.1 Introdução

A precificação do carbono é um instrumento crucial para a mitigação das mudanças climáticas, sendo um mecanismo de mercado global para a redução de emissões de baixo carbono. Este sistema transforma o direito de emitir dióxido de carbono em uma commodity transacionável, proporcionando um incentivo econômico para que os países reduzam suas pegadas de carbono (Zhao, 2023).

A redução das emissões de carbono é fundamental para resolver problemas ambientais como o aquecimento global (Wei *et al.*, 2023). O Protocolo de Kyoto reconheceu a necessidade de estabelecer um mecanismo de mercado ambiental para restringir as emissões de poluentes (Zhao, 2023). A intensificação das mudanças climáticas e a crescente pressão por compromissos de descarbonização têm impulsionado o desenvolvimento de mecanismos econômicos voltados à precificação do carbono.

A comercialização de certificados de redução de emissão através dos mercados de carbono tem servido como um instrumento alternativo para a mitigação do aquecimento global e das mudanças climáticas, que ameaçam a sobrevivência da humanidade no planeta (Goularte; Alvim, 2011). Além de movimentarem bilhões de dólares, os mercados de carbono também compensaram a emissão de bilhões de toneladas de dióxido de carbono. A operacionalização desses instrumentos contribui para internalizar os custos ambientais das emissões, promovendo a transição para uma economia de baixo carbono.

No contexto institucional, projetos voltados à geração de energia limpa, mobilidade elétrica e eficiência energética, como o SIMA aqui analisado, apresentam potencial para gerar créditos de carbono, desde que atendam aos critérios técnicos de adicionalidade, mensuração, verificação e registro estabelecidos por plataformas reconhecidas, como a VERRA (*Verified Carbon Standard – VCS*).

Embora significativas, a alta proporção de energia renovável no consumo de eletricidade enfrenta desafios devido à sua natureza imprevisível. Tecnologias como sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs) podem melhorar o espaço para o consumo de energia renovável e aumentar a estabilidade do sistema. A Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) pode reduzir ainda mais as emissões e até mesmo gerar receitas com o comércio de carbono, melhorando a sustentabilidade das operações (Wei *et al.*, 2023).

Este capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos conceituais e normativos que estruturam o mercado de carbono, detalhando as diferenças entre os mercados regulado e voluntário, os referenciais metodológicos mais utilizados (como o GHG Protocol), e os critérios exigidos para a certificação de projetos. Também é discutido o panorama brasileiro recente, com destaque para o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), estabelecido pela Lei nº 15.042/2024 (BRASIL, 2024).

Ao estruturar essa base teórica e normativa, o capítulo busca subsidiar a análise, nos capítulos seguintes, da elegibilidade do Projeto SIMA para a geração de créditos de carbono, considerando a quantificação das emissões evitadas e as exigências técnicas dos mecanismos de comercialização existentes.

### *3.2 Conceitos e fundamentos*

Para fins de regulamentação do mercado, cada tonelada de CO<sub>2</sub> que deixa de ser lançada na atmosfera equivale a um crédito de carbono (Valadão, 2022).

As reduções de emissões de gases de efeito estufa (GEE) de projetos são quantificadas em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e), gerando certificados de emissões reduzidas (CERs) que podem ser vendidos no mercado de carbono a países industrializados (Cruz, 2024; Valadão, 2022).

Para calcular as emissões de CO<sub>2</sub>-equivalente, a quantidade emitida de um GEE é multiplicada pelo seu Potencial de Aquecimento Global (PCG) para um horizonte temporal estabelecido. O PCG mede a influência no aquecimento global de um quilograma de um GEE em comparação com um quilograma de dióxido de carbono (Cruz, 2024).

A "pegada de carbono" também é tipicamente expressa em toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub> eq.), abrangendo outros gases de efeito estufa como metano e óxidos de azoto (Calabrese et al., 2021).

A concepção do mercado de carbono teve origem com o Protocolo de Kyoto, firmado em 1997, o qual estabeleceu metas específicas de redução das emissões de gases de efeito estufa. Esse acordo internacional reconheceu o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, atribuindo aos países industrializados compromissos mais rigorosos em função de sua contribuição histórica para as mudanças climáticas (Gómez, 2024).

A proliferação de estudos sobre o comércio de carbono (ou precificação do carbono) teve início após a assinatura do Protocolo de Kyoto. Este protocolo foi fundamental por ter reconhecido a necessidade de estabelecer um mecanismo de mercado ambiental para restringir

a emissão de poluentes. A teoria subjacente ao comércio de carbono, que trata o direito de emitir dióxido de carbono como uma commodity transacionável, deriva do estudo das externalidades, com a solução de problemas de externalidades através de instrumentos de mercado e a definição de direitos de propriedade. Assim, o Protocolo de Kyoto forneceu a base conceitual e o ímpeto inicial para o desenvolvimento de mercados de carbono e a precificação de emissões (Zhao, 2023).

### **3.2.1 Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris**

O Acordo de Paris, adotado em dezembro de 2015 durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), representa um marco na governança climática internacional ao introduzir uma abordagem mais flexível e inclusiva. Diferentemente do modelo de metas centralizadas e juridicamente vinculantes adotado pelo Protocolo de Kyoto, o Acordo de Paris opera com uma estrutura descentralizada e orientada “de baixo para cima” (*bottom-up*), por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs). Nessa lógica, cada país signatário define suas próprias metas, estratégias e instrumentos para mitigação e adaptação às mudanças climáticas, respeitando suas circunstâncias nacionais, capacidades e níveis de ambição (Dzebo et al., 2017).

Embora as NDCs tenham como objetivo principal a redução das emissões de gases de efeito estufa, elas também se configuram como instrumentos estratégicos mais amplos, frequentemente articulando metas relacionadas ao desenvolvimento sustentável. Assim, os compromissos climáticos assumidos no âmbito do Acordo de Paris transcendem a mitigação e incorporam ações de adaptação, resiliência climática e cobenefícios sociais e econômicos.

Nesse contexto, o Acordo de Paris reforça a relevância da descarbonização do setor energético e a transição para fontes renováveis, criando espaço para mecanismos de mercado, como a precificação do carbono, que atuam como incentivos econômicos à redução de emissões. Iniciativas como a plataforma NDC-SDG Connections evidenciam as fortes inter-relações entre as NDCs e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando, em especial, a convergência entre o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e as ações climáticas, o que promove uma maior coerência entre as agendas ambiental e de desenvolvimento global.

Em suma, enquanto o Protocolo de Kyoto estabeleceu o precedente para os mecanismos de mercado de carbono, o Acordo de Paris, com sua abordagem flexível e focada nas NDCs, continua a impulsionar ações climáticas que se beneficiam e, por sua vez, reforçam a relevância

da precificação do carbono como um instrumento global de mitigação e incentivo à transformação de baixo carbono (Dzebo et al., 2017; Scovazzi, 2021).

### **3.2.2 Tipos de mercados: regulado (*compliance*) e voluntário.**

Os mercados regulados, ou de "compliance", são tipicamente criados por governos ou acordos internacionais e impõem obrigações legais às entidades para atingir metas de redução de emissões ou seguir certas diretrizes (Wei et al., 2023; Zhao, 2023; Idawati et al., 2024).

Um exemplo proeminente de mercado regulado é o sistema de comércio de emissões de carbono (CET, do inglês *Carbon Emissions Trading*). Este mecanismo global de mercado é adotado para a redução de emissões de baixo carbono, onde o direito de emitir dióxido de carbono é tratado como objeto de uma transação comercial (Zhao, 2023).

A implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU pelas empresas é, por natureza, voluntária. As corporações são incentivadas a aplicar sua criatividade e inovação para resolver desafios de desenvolvimento sustentável (Calabrese et al., 2021; Van Der Waal; Thijssens; Maas, 2021).

Empresas multinacionais e instituições de ensino superior (IES) frequentemente utilizam relatórios de sustentabilidade para divulgar voluntariamente seu impacto ESG (Ambiental, Social e Governança) (Van Der Waal; Thijssens; Maas, 2021). Embora voluntária, a prática de divulgação é uma forma de as empresas se conectarem com as demandas das partes interessadas e buscarem legitimidade (Idawati *et al.*, 2024).

As diretrizes da Global Reporting Initiative (GRI) são amplamente aceitas e usadas voluntariamente para divulgar o compromisso e a contribuição das empresas e IES aos ODS. Outras iniciativas voluntárias incluem o UN Global Compact (GC) e o SDG Compass (Idawati *et al.*, 2024; Van Der Waal; Thijssens; Maas, 2021). A adesão a iniciativas voluntárias como o Pacto Global pode estar associada à melhoria da imagem ou ganhos financeiros, embora possa ser percebida como "blue-washing" se for apenas superficial. A qualidade desses relatórios voluntários pode variar, e o mero fato de existirem não garante a qualidade das informações (Calabrese *et al.*, 2021; Idawati *et al.*, 2024).

Os mercados voluntários permitem que empresas e indivíduos negociem créditos fora do âmbito regulamentado do Protocolo de Kyoto, servindo como um meio para adquirir experiência e "know-how" para futuras participações em mercados regulamentados (Goularte; Alvim, 2011).

### 3.2.3 Papel dos Certificados de Redução de Emissão (CREs).

Os Certificados de Redução de Emissão (CREs), também conhecidos como Créditos de Carbono, são um instrumento fundamental para a mitigação do aquecimento global e das mudanças climáticas (Goularte; Alvim, 2011; Costa; Andrade, 2020).

Os CREs representam a redução certificada de emissões de gases de efeito estufa (GEE), onde cada crédito equivale a uma tonelada métrica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente que foi sequestrada ou mitigada. O potencial de aquecimento global do metano, por exemplo, é 21 vezes maior que o do gás carbônico (Goularte; Alvim, 2011; Santin, 2007).

Eles funcionam como um mecanismo para compensar emissões, permitindo que agentes poluidores ou países que não conseguem cumprir suas metas domésticas de redução de emissões financiem projetos de controle ambiental em outros países, geralmente em desenvolvimento. No âmbito do Protocolo de Kyoto, os CREs são o produto principal do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL permite a participação de países em desenvolvimento, como o Brasil, nas atividades de redução de GEEs (Goularte; Alvim, 2011; Santin, 2007).

Os países industrializados (Anexo I) podem adquirir CREs de nações em desenvolvimento que implementam projetos de MDL, facilitando o cumprimento de suas próprias metas de redução (Costa; Andrade, 2020). O processo para obtenção de CREs através do MDL é rigoroso, envolvendo sete etapas: concepção, validação, aprovação, registro, monitoramento, certificação e emissão dos certificados (Santin, 2007).

A ideia básica é que os países que não conseguem atingir suas metas de redução através de ações domésticas podem adquirir "direitos de poluir" financiando o controle ambiental em outros países (Goularte; Alvim, 2011).

A comercialização de CREs movimentou bilhões de dólares, alcançando US\$120 bilhões em 2010, com cerca de 7 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> negociadas (Goularte; Alvim, 2011). A venda de CREs pode gerar receitas significativas para os países em desenvolvimento. Para a Microrregião de Teófilo Otoni, a venda de créditos de carbono de um aterro sanitário poderia render R\$ 320.019,49 no primeiro ano, chegando a R\$418.995,71 em 2045. Um experimento com uma associação de catadores previu R\$903.280,00 anuais com a emissão de 12.904 tCO<sub>2</sub>Eq (Costa; Andrade, 2020; Viana; Queiroz, 2023).

Estudos no Brasil indicam que a divulgação voluntária das emissões de GEE (através de inventários e questionários do *Carbon Disclosure Project - CDP*) está associada a um menor custo de capital para as empresas, mesmo para as mais poluentes. Isso sugere que as empresas

gozam de vantagens competitivas ao sinalizar seu compromisso com a gestão de riscos climáticos (Prates et al., 2023). Os projetos de MDL e a comercialização de CREs podem aliar o desenvolvimento econômico à conservação ambiental, criando oportunidades para novos empregos, maximizando a eficiência de processos produtivos e reduzindo impactos ambientais (Goularte; Alvim, 2011; Santin, 2007).

### 3.3 Estrutura do Mercado de Carbono

Existem dois tipos principais de mercados de carbono: o mercado regulado e o mercado voluntário. Embora ambos visem a mitigação das mudanças climáticas, suas estruturas, objetivos e mecanismos de operação diferem (Ferraz; Cooke, 2024).

#### 3.3.1 Mercado Regulado

O mercado regulado, também conhecido como Sistema de Comércio de Emissões (SCE) ou "*Cap and Trade*" (Limite e Comércio), foi formalmente instituído em nível global pelo Protocolo de Kyoto em 1997 (Dib, 2025; Lima; Reis, 2025; Tomadon, 2024).

O Protocolo de Kyoto categorizou os países em Anexo I (desenvolvidos, com metas obrigatórias de redução de emissões) e não-Anexo I (em desenvolvimento, sem metas obrigatórias, mas incentivados a participar) (Tomadon, 2024). Para ajudar os países a cumprirem suas metas de forma flexível, foram criados três mecanismos:

- **Implementação Conjunta (IC):** Permite que países do Anexo I realizem projetos de redução de emissões em outros países do Anexo I e obtenham Unidades de Redução de Emissões (ERUs)
- **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL):** Permite que países desenvolvidos invistam em projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento (não-Anexo I), recebendo em troca Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), também conhecidas como Créditos de Carbono (CERs). O Brasil teve aproximadamente 400 projetos ligados ao MDL entre 2004 e 2024, evitando 56 milhões de toneladas de emissões de carbono
- **Comércio de Emissões:** Estabelece um sistema global de compra e venda de permissões de emissão, transformando-as em uma *commodity*.

Além das ERUs e CERs, o Protocolo de Kyoto introduziu as Unidades de Quantidade Atribuídas (AAUs), que são permissões de emissão que cada país recebe com base em suas metas, e as Unidades de Remoção (RMUs), geradas por atividades que removem CO<sub>2</sub> da atmosfera (como reflorestamento) (Tomadon, 2024).

Nesse sistema, um limite máximo (*cap*) é definido para as emissões de GEE. As empresas ou países que emitem menos do que o permitido podem vender suas permissões (*allowances* ou créditos de carbono) para aqueles que excedem o limite. Isso cria um forte incentivo econômico para investir em tecnologias mais limpas e eficiência energética (Dib, 2025; Lima; Reis, 2025).

Então, em 2015, com o Acordo de Paris e novas metas estabelecidas, também foram introduzidas as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), que são metas de redução de emissões que cada país signatário deve estabelecer e comunicar (Ferraz; Cooke, 2024; Lima; Reis, 2025). O Acordo também permitiu a criação de mercados internacionais de carbono (Artigo 6), possibilitando que os países cumpram parte de suas metas através da compra e venda de créditos (Lima; Reis, 2025; Tomadon, 2024).

O Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia é um proeminente exemplo de mercado regulado, operando sob o princípio do "Cap and Trade" (Dib, 2025). No Brasil, o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) foi instituído pela Lei Federal nº 15.042/2024 e o Projeto de Lei (PL) nº 412/2022 busca regulamentá-lo, definindo os créditos de carbono como ativos transacionáveis (Ferraz; Cooke, 2024; Nogueira et al., 2025). A expectativa é que o mercado de carbono possa movimentar até US\$ 167 bilhões por ano até 2030, com o Brasil tendo potencial para 30% desse mercado (Tomadon, 2024).

### **3.3.2 Mercado Voluntário**

O mercado voluntário de carbono surge paralelamente ao mercado regulado. Ele é impulsionado por empresas e outras partes interessadas (como indivíduos e governos) que desejam adotar práticas de sustentabilidade e governança climática (ESG) para reduzir ou neutralizar voluntariamente suas emissões de GEE, independentemente de metas obrigatórias (Dib, 2025; Ferraz; Cooke, 2024; Grandini, 2025).

Diferentemente do mercado regulado, o mercado voluntário é menos burocrático e mais flexível, permitindo que as transações sejam realizadas em bolsas de valores, por meio de intermediários ou diretamente entre as partes (Grandini, 2025; Tomadon, 2024).

As corporações brasileiras têm demonstrado crescente adesão às práticas ESG (*Environmental, Social, and Governance*), buscando reduzir ou neutralizar as emissões inerentes às suas atividades. A compra de créditos de carbono de forma voluntária é uma forma de demonstrar responsabilidade social corporativa (Dib, 2025; Ferraz; Cooke, 2024).

O valor dos créditos no mercado voluntário pode ser influenciado por fatores como a localização, o tipo de projeto, o ano de emissão, o padrão de certificação, o envolvimento da comunidade local e a biodiversidade (Grandini, 2025).

Para garantir a credibilidade e a integridade ambiental dos projetos, os créditos no mercado voluntário são auditados por entidades autônomas, como:

- **VERRA:** Uma das maiores certificadoras globais, responsável pelo "Programa Padrão de Carbono Verificado" (VCS), aplicável tanto no mercado voluntário quanto no regulado.
- **Lux Carbon Standard (LuxCS):** A primeira certificadora brasileira, com o objetivo de reduzir os custos dos projetos de descarbonização;
- **Gold Standard:** desenvolveu o padrão "Gold Standard for the Global Goals" (GS4GG), uma norma abrangente que integra metodologias, diretrizes e salvaguardas, com mecanismos robustos de verificação e fiscalização para garantir integridade ambiental e social;
- **American Carbon Registry e Social Carbon:** Oferece padrões rigorosos, transparentes e baseados em ciência para contabilização de carbono, além de validar e verificar projetos por auditores independentes.

O mercado voluntário abrange uma vasta gama de projetos, incluindo reflorestamento, restauração de áreas degradadas, conservação florestal (como os projetos REDD+), agrofloresta, manejo do solo, bioenergia (como o RenovaBio, que gera CBIOS), eficiência energética industrial, e gestão de resíduos sólidos (Grandini, 2025).

### *3.4 Metodologias de Mensuração e Verificação*

As metodologias de mensuração e verificação são cruciais para a credibilidade e integridade dos mercados de carbono, sejam eles regulados ou voluntários, garantindo que os créditos de carbono representem efetivas reduções ou remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Ferraz; Cooke, 2024).

A geração de CERs exige um conjunto de passos detalhados, conforme melhor detalha Grandini, (2025) a seguir:

Passo 1. **Elaboração de um Documento de Concepção do Projeto (DCP):** Este documento deve conter a descrição das atividades, participantes, metodologia das linhas de base (o que aconteceria sem o projeto), metodologia de cálculo da redução de emissões, limite do projeto, definição do período de obtenção dos créditos, o plano de monitoramento e a

justificativa para a adicionalidade da atividade (ou seja, a redução só ocorreria por meio do projeto)

Passo 2. Análise e Validação por Entidade Operacional (EO): O projeto é encaminhado a uma Entidade Operacional, designada pela Conferência das Partes, que realiza a análise, validação e aprovação, antes de ser enviado ao Conselho Executivo para registro

Passo 3. Implementação do Plano de Monitoramento: Uma vez aprovado, o plano de monitoramento estabelecido no DCP é colocado em prática

Passo 4. Certificação e Emissão de CERs: Se houver reduções efetivas, a Entidade Operacional, responsável pela verificação, emitirá um certificado. Com base nessa certificação, o Conselho Executivo emitirá as RCEs, que então podem ser comercializadas.

O Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) foi instituído pela Lei Federal nº 15.042/2024 e com regulamentação em tramitação (PL 412/2022). Define créditos de carbono como ativos transacionáveis, resultantes de reduções ou remoções de GEE "submetidos a metodologias nacionais ou internacionais que adotem critérios e regras para mensuração, relato e verificação de emissões, externos ao SBCE". O SBCE reconhece Certificados de Redução ou Remoção Verificada de Emissões (CRVEs) que são "resultados verificados com base em metodologias credenciadas".

No mercado voluntário, a aquisição de créditos requer a verificação da existência do projeto gerador e sua conformidade com as normas aplicáveis. É fundamental que os créditos sejam "emitidos, validados e certificados por empresas internacionais que homologam projetos de carbono". Isso inclui "auditorias rigorosas e verificações detalhadas para assegurar que os créditos representam reduções reais e adicionais de emissões de CO<sub>2</sub>" (Nogueira et al., 2025).

### *3.5 Limites, Desafios e Oportunidades*

Apesar do potencial promissor, ambos os mercados (regulado e voluntário) enfrentam desafios. No Brasil, a ausência de legislação específica e uniforme sobre a natureza jurídica dos créditos de carbono gera incertezas para sua comercialização e tratamento tributário. Há preocupações de que a falta de desoneração tributária possa desincentivar o uso dos créditos de carbono, tornando a tributação similar à de atividades poluentes (Ferraz; Cooke, 2024).

Adicionalmente, os custos elevados de certificação e auditoria tornam os projetos de pequena escala menos atraentes economicamente (Tomadon, 2024). Também existe o risco de que empresas e países simplesmente comprem créditos para compensar emissões, sem efetivamente adotar medidas para mitigá-las internamente. A superação desses desafios exige

regulamentações claras, metodologias padronizadas, monitoramento eficaz e uma governança robusta, além de atenção aos direitos e participação das comunidades locais e tradicionais (Lima; Reis, 2025; Nogueira et al., 2025).

No entanto, o mercado de carbono é visto como uma ferramenta essencial para atingir as metas de redução de GEE e promover o desenvolvimento sustentável, incentivando a inovação e o investimento em tecnologias limpas e renováveis, além de impulsionar a criação de novos mercados e empregos (Dib, 2025; Nogueira et al., 2025).

Apesar dos avanços e do potencial do mercado de carbono, a mensuração e verificação ainda enfrentam desafios (Dib, 2025; Ferraz; Cooke, 2024; Tomadon, 2024):

- **Falta de Padronização e Legislação Clara:** Há uma ausência de legislação específica e uniforme sobre a natureza jurídica dos créditos de carbono, o que gera incertezas para sua comercialização e tratamento tributário. Isso reflete a falta de "regulamentos claros, metodologias padronizadas para valoração, monitoramento, verificação e certificação" em nível nacional.
- **Custos Elevados:** Os processos de certificação e auditoria são complexos e acarretam "elevados custos", o que torna projetos de pequena escala menos atraentes economicamente.
- **Integridade Ambiental e Dupla Contagem:** É crucial que as metodologias garantam a "integridade ambiental e evitem a dupla contagem" das reduções de emissões. Há uma preocupação em torno da "contabilização realista do carbono" em sistemas complexos como a restauração florestal.
- **Necessidade de Pesquisa Contínua:** A "pesquisa científica contínua é fundamental para subsidiar o desenvolvimento de metodologias robustas" e avaliar a efetividade das ações. Há uma janela de oportunidade para novos estudos que contribuam com "novas metodologias de mensuração de carbono que sejam acessíveis e íntegras" e sua aplicação em diversos contextos, incluindo ecossistemas costeiros e marinhos.

O mercado de carbono impulsiona o investimento em tecnologias limpas e renováveis, bem como em eficiência energética, gerando novos mercados e oportunidades de emprego. Para os geradores de créditos, a comercialização representa uma fonte adicional de receita. Isso é particularmente relevante para projetos de conservação e descarbonização, que, de outra forma, poderiam não ser economicamente atraentes devido aos altos investimentos.

Esquemas como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), instituído pela Lei nº 14.119/2021, permitem a remuneração de provedores que mantêm ou recuperam Serviços

Ecosistêmicos (SE), como o sequestro de carbono, alinhando interesses econômicos e ambientais.

Os créditos de carbono são uma ferramenta essencial para combater o aquecimento global, ao permitir a compensação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A redução de emissões contribui diretamente para a melhora da qualidade do ar e, conseqüentemente, da saúde pública.

O Brasil tem grande potencial para ser um fornecedor líder de créditos de carbono no cenário internacional, especialmente devido à sua vasta biodiversidade e extensão florestal. A participação brasileira na oferta de créditos mundiais passou de 3% em 2019 para 12% em 2021.

A energia solar é uma das fontes que mais auxilia na descarbonização do planeta. A Agência Internacional de Energia (IEA) destaca que a fonte fotovoltaica pode ajudar o planeta a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em mais de 6 bilhões de toneladas até 2050, o que seria equivalente a tirar de circulação todos os carros a combustão da Terra por cerca de um ano (ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2024). Quando veículos elétricos são carregados com eletricidade de origem solar, sua pegada de carbono é significativamente inferior à de veículos movidos a gasolina ou diesel, contribuindo para a redução das emissões globais de GEE no setor de transportes. Inclusive, já há projetos que preveem o uso de painéis solares fotovoltaicos para recarregar as baterias de ônibus elétricos em campus universitários, demonstrando a sinergia entre as duas tecnologias limpas (UNICAMP, 2019).

### *3.6 Considerações finais*

O Capítulo 3 apresentou uma análise aprofundada dos fundamentos conceituais, normativos e operacionais que estruturam o mercado de carbono, destacando sua relevância como instrumento econômico para a mitigação das mudanças climáticas. A precificação do carbono, surgida a partir do Protocolo de Kyoto e consolidada com o Acordo de Paris, transformou as emissões evitadas em ativos negociáveis, promovendo uma lógica de incentivo financeiro à redução de gases de efeito estufa (GEE). Nesse contexto, os créditos de carbono — representados pelos Certificados de Redução de Emissão (CREs) — assumem um papel central na transição para uma economia de baixo carbono, ao internalizar os custos ambientais e gerar novas oportunidades econômicas.

A distinção entre os mercados regulado e voluntário demonstra que há múltiplos caminhos possíveis para a comercialização dos créditos, com diferentes níveis de exigência, fiscalização e escalabilidade. O mercado regulado, mais robusto e juridicamente amparado, avança em países como os membros da União Europeia e, mais recentemente, no Brasil com a criação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE). Já o mercado voluntário, mais acessível e flexível, tem ganhado protagonismo por meio de certificadoras como VERRA, Gold Standard e Social Carbon, permitindo que projetos institucionais, como o SIMA, possam se enquadrar e beneficiar-se da geração de créditos.

As metodologias de mensuração, verificação e certificação se mostraram fundamentais para assegurar a credibilidade e a adicionalidade dos projetos. No entanto, os desafios ainda são expressivos: a ausência de regulamentação específica, os elevados custos de validação e auditoria, a necessidade de padronização metodológica, a dupla contagem e a complexidade na mensuração da real mitigação de carbono impõem barreiras à adesão de novos agentes ao mercado. Tais limitações impactam principalmente projetos de pequena escala, como os desenvolvidos em instituições de ensino, que poderiam desempenhar papel relevante na descarbonização setorial.

Por outro lado, as oportunidades são significativas. O Brasil destaca-se como um dos países com maior potencial para fornecer créditos de carbono no cenário internacional, especialmente em função da sua biodiversidade e matriz energética renovável. Projetos que integrem tecnologias limpas, como energia solar e mobilidade elétrica — a exemplo do SIMA — estão alinhados com os princípios do desenvolvimento sustentável e com as diretrizes dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Assim, a associação entre energias renováveis, mobilidade elétrica e mecanismos de compensação de emissões representa uma estratégia promissora para instituições públicas que buscam protagonismo climático. O Projeto SIMA, ao reunir essas frentes, demonstra aderência aos critérios dos mercados de carbono e potencial para se tornar um modelo replicável em outras universidades e centros urbanos. No capítulo seguinte, será realizada uma análise aplicada do SIMA, evidenciando seu impacto na redução de emissões e seu enquadramento como projeto elegível à geração de créditos de carbono no mercado voluntário.

## 4. PROJETO SIMA COMO ESTRATÉGIA DE DESCARBONIZAÇÃO

### 4.1 Introdução

A queima de combustíveis fósseis é uma das principais causas do aquecimento global. Veículos elétricos (VEs) carregados com eletricidade de origem solar possuem uma pegada de carbono muito inferior à de veículos movidos a gasolina ou diesel, contribuindo para a redução das emissões globais no setor de transportes (Soares; Norat, 2024).

O processo de descarbonização institucional requer a adoção de soluções tecnológicas integradas, capazes de promover a redução efetiva das emissões de gases de efeito estufa (GEE), com base na substituição de fontes fósseis por alternativas renováveis e de baixo carbono. Neste contexto, o Projeto SIMA – Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal –, desenvolvido na Universidade Federal do Pará (UFPA), constitui uma proposta técnica que articula geração distribuída fotovoltaica, eletromobilidade terrestre e fluvial, armazenamento de energia e sistema de monitoramento inteligente.

Este capítulo apresenta a caracterização dos principais componentes do SIMA e sua contribuição para a mitigação das emissões institucionais, a partir de uma abordagem quantitativa e comparativa entre os cenários de referência (modais convencionais movidos a diesel) e os cenários com base em fontes renováveis (ônibus elétricos, embarcação elétrica, sistemas fotovoltaicos e banco de baterias). Os dados utilizados foram obtidos por meio de relatórios técnicos, plataformas de monitoramento energético e documentação operacional do projeto.

A metodologia de cálculo adotada fundamenta-se nas diretrizes do GHG Protocol e na metodologia VERRA, permitindo estimar o volume de CO<sub>2</sub> equivalente evitado a partir da substituição energética. Os fatores de emissão foram selecionados com base em fontes oficiais e em parâmetros técnicos aplicáveis ao contexto brasileiro. A energia elétrica consumida pelos modais elétricos foi caracterizada como renovável, por ser originada de sistemas fotovoltaicos conectados ao sistema de carregamento.

A análise realizada permite quantificar a contribuição de cada subsistema na redução de emissões, além de avaliar o potencial técnico do SIMA para inserção no mercado de crédito de carbono. Os resultados obtidos neste capítulo subsidiam a discussão sobre viabilidade econômica, adicionalidade e replicabilidade do projeto, alinhando-se às metas definidas pela Agenda 2030 e às estratégias nacionais de transição energética.

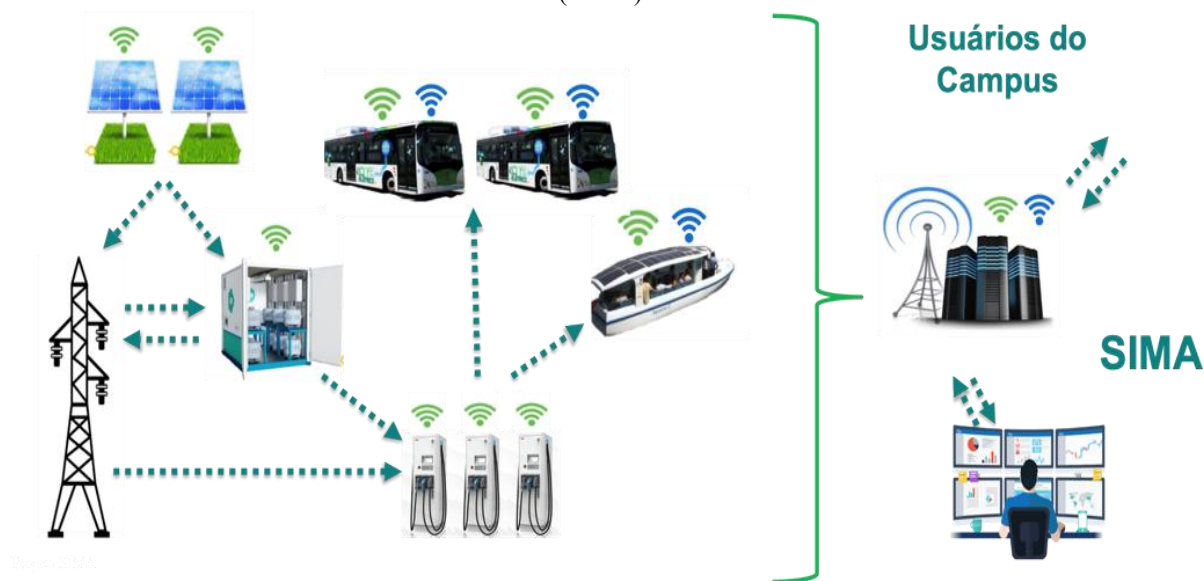
#### 4.2 Descrição do Projeto SIMA e seus objetivos

A Norte Energia, atuando na região Norte do Brasil, em um contexto típico da Amazônia, incorporou a mobilidade elétrica como uma estratégia voltada à transição energética regional. Nesse sentido, a empresa propôs à Chamada Pública ANEEL nº 22/2018 o projeto intitulado “Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal”, o qual foi selecionado entre as propostas submetidas.

O projeto contemplou diferentes modais de transporte elétrico, com destaque para o desenvolvimento de um barco elétrico, configurando-se como um diferencial significativo para a realidade amazônica, caracterizada por sua vasta rede hidrográfica e pelo uso predominante do transporte fluvial. Assim, ao investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação, a Norte Energia contribuiu de forma relevante para a expansão de soluções sustentáveis na mobilidade regional, promovendo a viabilidade técnica e operacional desses modais e estimulando a criação de modelos de negócios que podem favorecer o surgimento de novos empreendimentos sustentáveis na região (UFPA; NORTE Energia, 2024).

O projeto propôs a desenvolver e implantar as infraestruturas de 7 subsistemas, que, em conjunto, compõem o Sistema Inteligente de Mobilidade Elétrica Multimodal da Amazônia (SIMA), cuja concepção integrada pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3 - Concepção integrada do Sistema Inteligente de Mobilidade Elétrica Multimodal da Amazônia (SIMA).



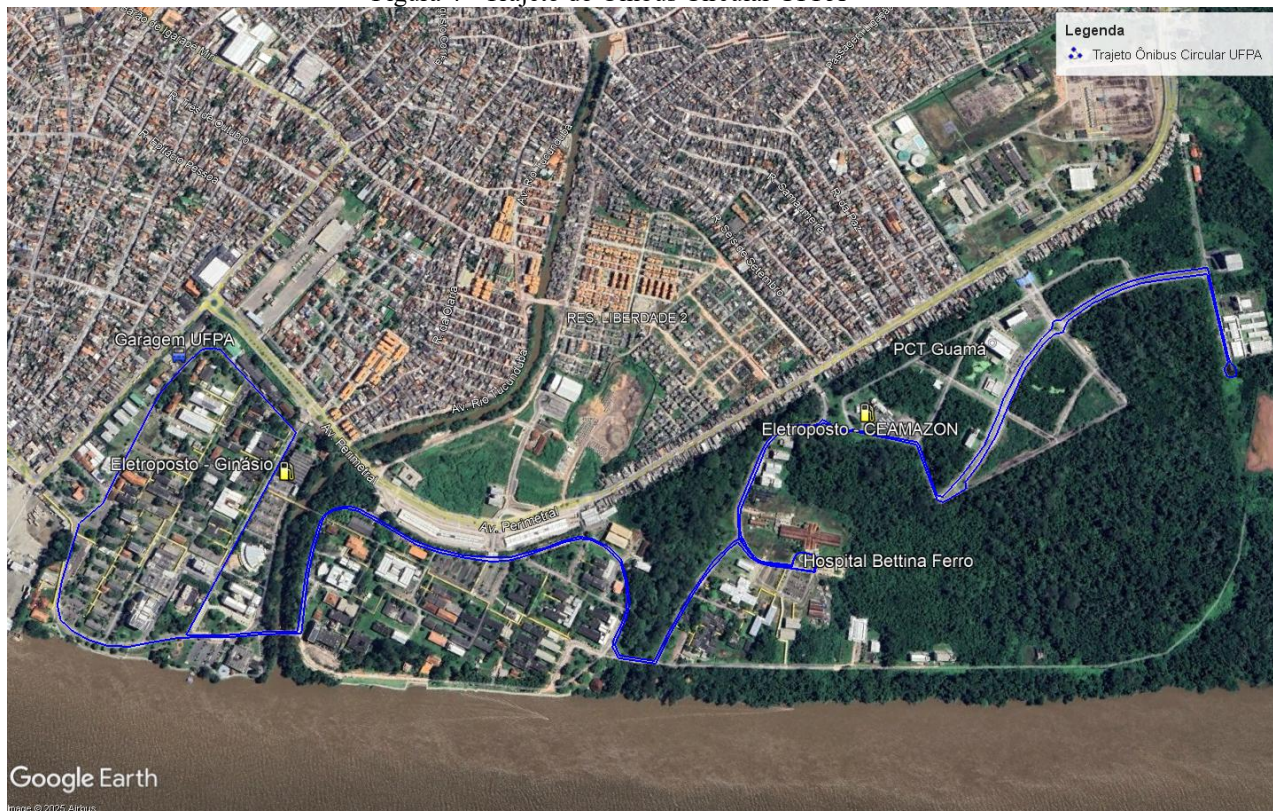
Fonte: UFPA; NORTE Energia (2024)

Os principais componentes do projeto e de interesse deste trabalho são mais bem descritos a seguir:

### 4.2.1 Ônibus elétrico urbano:

Concebido para seguir o trajeto do ônibus circular na Cidade Universitária “Prof. José da Silveira Netto”, rodando diariamente para fazer o traslado dos alunos da universidade em suas atividades, com alcance diário de até 2.400 pessoas, Figura 4 e Figura 5 a seguir:

Figura 4 - Trajeto do Ônibus Circular UFPA



Fonte: Autora (2025).

Figura 5 - Ônibus elétrico - Circular UFPA

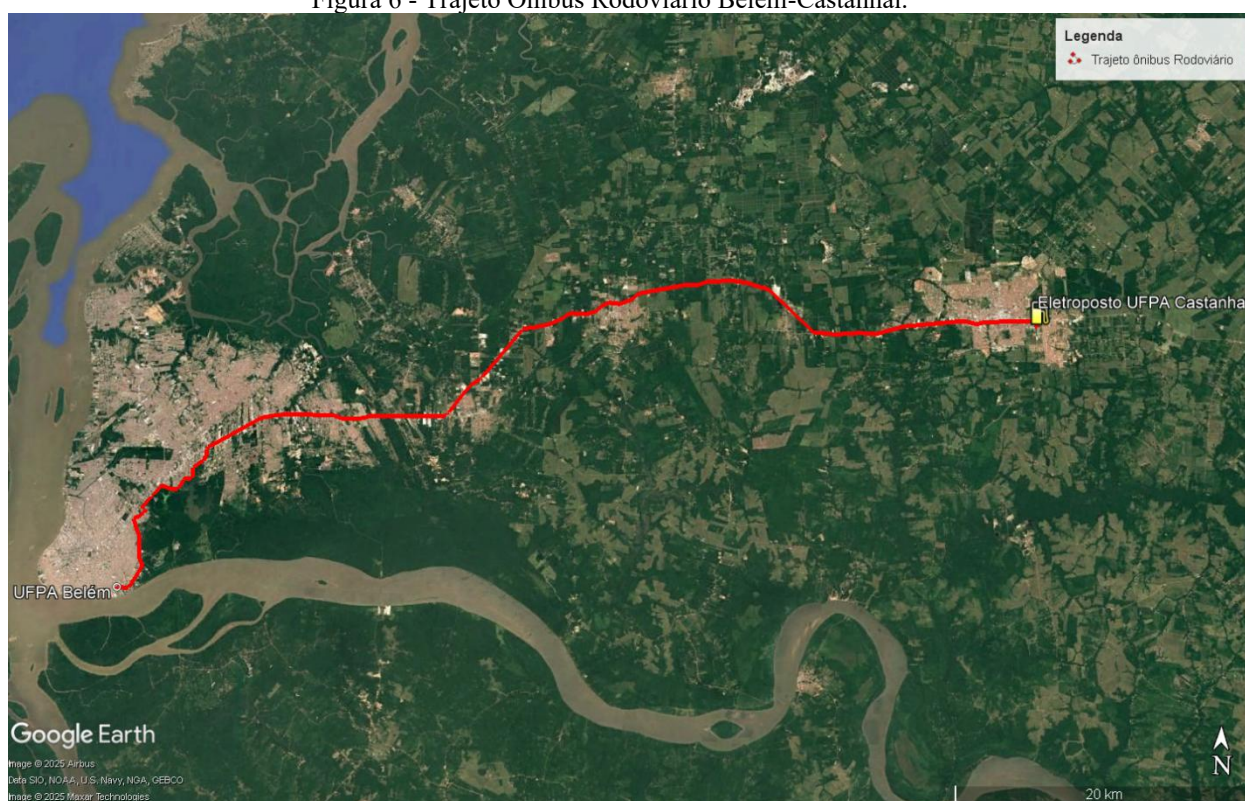


Fonte: UFPA; NORTE Energia (2024)

#### 4.2.2 Ônibus elétrico rodoviário:

Esse modal inicia seu percurso, com saída da UFPA Campus Belém e chegada ao Campus da UFPA-Castanhal pela manhã e retorno programado para o início da tarde, percorrendo diariamente 156 km, conforme Figura 6. A ligação com ônibus elétrico entre Belém e Castanhal é um marco da execução do projeto, pois inaugurou o primeiro corredor verde da Amazônia, tornando viável a circulação de veículos elétricos entre as duas cidades. O ônibus pode ser visto na Figura 7 abaixo:

Figura 6 - Trajeto Ônibus Rodoviário Belém-Castanhal.



Fonte: Autora (2025).

Figura 7 - Ônibus elétrico - SIMA Rodoviário

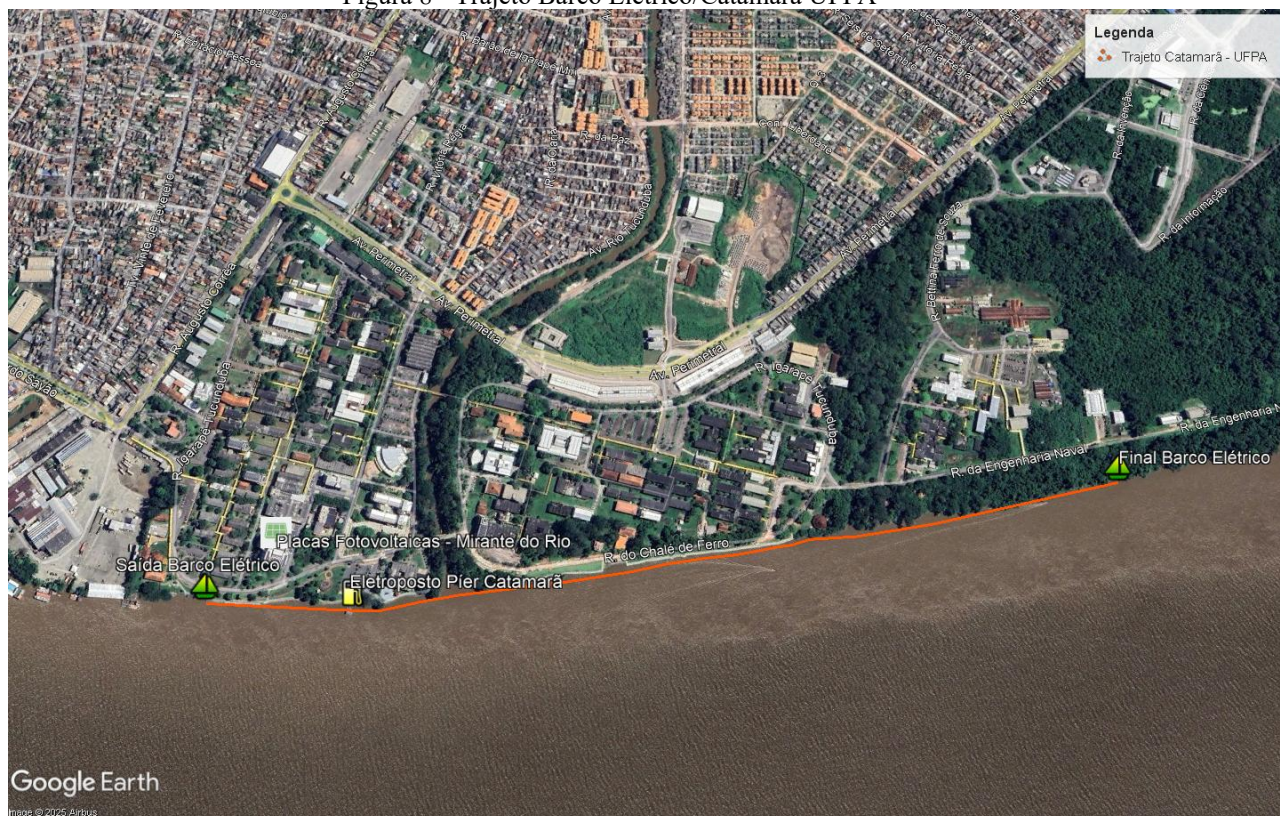


Fonte:UFPA; NORTE Energia (2024).

### 4.2.3 Barco Elétrico:

O barco foi concebido, no modelo catamarã, para o transporte de passageiros, com capacidade de 20 pessoas, e inicialmente destinado ao transporte dos estudantes da Universidade Federal do Pará, no Campus Guamá, em Belém – PA, nos deslocamentos pela orla da UFPA, para as atividades acadêmicas de seus cursos, apresentado conforme Figura 8 e Figura 9 abaixo:

Figura 8 - Trajeto Barco Elétrico/Catamarã UFPA



Fonte: Autora (2025).

Figura 9 - Barco de propulsão elétrica, com captação de energia fotovoltaica, modelo catamarã.



Fonte: UFPA; NORTE Energia (2024)

#### 4.2.4 Sistema de Geração Fotovoltaico (SGF1):

Instalado no CEAMAZON/UFPA, dividido em 3 (três) subsistemas:

-Subsistema SFV-CEAMAZON 01: 50 kWp, inversor modelo SMA Sunny Tripower CORE1 - STP 50-40

-Subsistema SFV-CEAMAZON 02: 15 kWp, inversor Fronius SYMO BR 15.0-3

-Subsistema SFV-CEAMAZON 03: 5,8 kWp

-Módulo fotovoltaico modelo: BYD 335PHK-36-4BB, 335 Wp

-Número de módulos fotovoltaicos: 234, conforme Figura 10 a seguir

Figura 10 - Painéis Fotovoltaicos do CEAMAZON



Fonte: UFPA; NORTE Energia (2024).

#### 4.2.5 Sistema de Geração Fotovoltaico (SGF2):

Instalado no prédio Mirante do Rio, com as seguintes especificações:

-Inversor: modelo WEG SIW500H ST060-M0

-Módulo fotovoltaico modelo: BYD 335PHK-36-4BB, 335 Wp

-Número de módulos fotovoltaicos: 178, conforme Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Painéis Fotovoltaicos do Mirante do Rio.



Fonte: UFPA; NORTE Energia (2024).

#### 4.2.6 Banco de Baterias (BESS):

Instalado no container do Centro de Supervisão e Controle do SGF localizado no CEAMAZON. Sistema de armazenamento composto por 8 (oito) baterias modelo BYD B-Box, com especificações: Módulo da bateria: GBSSB 2 módulos, capacidade por bateria de 13,8 kWh, capacidade total do banco de 110,4 kWh, conforme Figura 12 abaixo.

Figura 12 - Banco de Baterias do CEAMAZON.



Fonte: UFPA; NORTE Energia (2024)

#### 4.3 Metodologia de descarbonização aplicada ao SIMA

A presente pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, integrando técnicas quantitativas e qualitativas para a avaliação do impacto ambiental decorrente da eletrificação da frota de transporte e da utilização de sistemas fotovoltaicos no âmbito do Projeto SIMA, desenvolvido na Universidade Federal do Pará (UFPA). O foco principal da análise recai sobre a estimativa das emissões de carbono (CO<sub>2</sub>) evitadas em decorrência da substituição de modais movidos a combustíveis fósseis por modais elétricos alimentados por fonte renovável, assim como a identificação de emissões indiretas evitadas em função da operação do sistema de armazenamento de energia (banco de baterias).

A quantificação das emissões evitadas foi realizada por meio de planilhas eletrônicas estruturadas no Microsoft Excel, nas quais foram aplicadas fórmulas baseadas nas diretrizes do GHG Protocol e na metodologia VERRA (2025). Essas ferramentas permitiram a sistematização dos dados, realização de cálculos e conversões energéticas, além de viabilizar a análise comparativa entre os modais convencionais e os eletrificados.

Os dados operacionais relativos à geração foram obtidos por meio dos softwares Victron Energy VRM e SolarView, utilizados para o monitoramento em tempo real dos sistemas fotovoltaicos instalados. Esses sistemas forneceram informações detalhadas sobre a capacidade instalada, o perfil de geração e a eficiência energética, além do carregamento dos

veículos elétricos integrados à rede. Tais dados foram essenciais para caracterizar a origem da energia consumida como predominantemente renovável, o que influencia diretamente no cálculo das emissões evitadas.

As informações referentes aos padrões de uso dos veículos elétricos (ônibus e embarcação) e às especificações técnicas do sistema foram extraídas do Relatório Final do Projeto SIMA (UFPA; NORTE Energia, 2024), Albuquerque et al (2024), do Relatório (COPPETEC, 2016) e de Carvalho (2011).

As equações utilizadas para o cálculo das emissões evitadas levaram em conta as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e do Programa Brasileiro *GHG Protocol*, os quais fornecem fatores de emissão expressos em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por litro de diesel consumido. O fator de emissão da rede elétrica nacional foi obtido a partir da média dos fatores divulgados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) no período de janeiro a abril de 2025 (MCTI, 2025). O fator de emissão da fonte renovável foi considerado nulo, conforme previsto nas diretrizes metodológicas internacionais para fontes solares.

No que se refere ao sistema de armazenamento de energia (banco de baterias), reconhece-se que, no contexto geral do Projeto SIMA, o banco de baterias desempenha funções múltiplas, incluindo o suporte ao carregamento dos modais elétricos e a estabilização do fornecimento de energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos. No entanto, para fins de cálculo nesta pesquisa, o banco de baterias foi considerado exclusivamente em sua função de abastecimento energético ao prédio do CEAMAZON, durante o período das 18h às 21h, horário de maior demanda e no qual se evita o uso da rede da concessionária ou de geradores a diesel. Essa estratégia, além de reduzir custos e sobrecarga na rede, caracteriza-se como uma prática de *peak shaving*, ao deslocar o consumo da rede em horários de maior intensidade de carbono, substituindo-o por energia limpa previamente armazenada.

Essa delimitação metodológica tem como objetivo isolar e quantificar as emissões indiretas de GEE evitadas especificamente por meio da utilização de energia armazenada de fonte renovável para consumo predial. A metodologia adotada para esse cálculo foi baseada na proposta CN0157 – *Methodology for Grid-Connected Energy Storage Systems*, desenvolvida pela VERRA e atualmente em fase de consulta pública. Apesar de ainda não formalmente aprovada, a CN0157 apresenta uma estrutura metodológica sólida e alinhada com padrões internacionais de quantificação de emissões evitadas em sistemas de armazenamento, sendo, portanto, considerada adequada para a análise proposta. Importante destacar que a CN0157

incorpora explicitamente o conceito de *peak shaving*, ao prever que os sistemas de armazenamento descarreguem energia em horários de maior demanda ou maior intensidade de carbono da rede, justamente como ocorre no caso analisado. Assim, a quantificação foi realizada a partir do volume de energia efetivamente utilizada pelo CEAMAZON proveniente do banco de baterias no período especificado, multiplicado pelo fator de emissão da fonte energética substituída. Como a energia armazenada tem origem em painéis fotovoltaicos, o fator de emissão da fonte considerada foi nulo, conforme recomendações metodológicas internacionais para fontes renováveis.

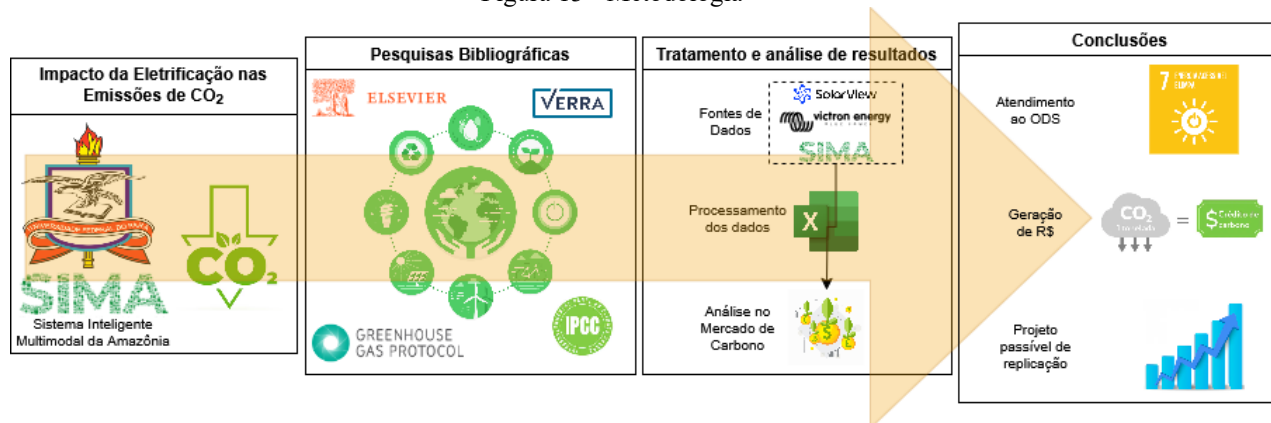
A metodologia adotada permite não apenas estimar as emissões evitadas diretamente com a operação dos modais elétricos, mas também avaliar o impacto indireto positivo gerado pela integração do banco de baterias no sistema energético do campus. Com base nesses dados, estimou-se ainda o potencial de conversão dessas emissões evitadas em créditos de carbono, de acordo com os critérios definidos por plataformas como a VERRA (*Verified Carbon Standard* – VCS).

As emissões evitadas foram expressas tanto em toneladas quanto em quilogramas de CO<sub>2</sub> equivalente, garantindo maior precisão nos resultados e compatibilidade com diferentes padrões de comunicação científica e regulatória. Esse delineamento metodológico visa assegurar a robustez dos resultados, contribuindo para uma análise fundamentada da contribuição do Projeto SIMA no processo de descarbonização institucional, em consonância com os compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da Agenda 2030, em especial o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7, foco deste trabalho.

Por fim, os valores consolidados de emissões evitadas, oriundos tanto dos modais elétricos quanto do uso eficiente do banco de baterias, embasaram a estimativa de comercialização potencial de créditos de carbono no mercado internacional. A análise considerou os preços praticados em mercados voluntários e regulados, destacando os padrões exigidos pela VERRA e os critérios de adicionalidade, monitoramento, verificação e registro. Os resultados obtidos demonstram que, caso a UFPA opte por formalizar sua inserção nesse mercado, os créditos de carbono gerados pelo Projeto SIMA poderão ser registrados e comercializados, contribuindo para o financiamento de novas ações sustentáveis no ambiente institucional.

Para melhor visualização da metodologia utilizada, segue conforme Figura 13:

Figura 13 - Metodologia



Fonte: Autora, 2025.

#### 4.4 Cálculos de descarbonização utilizando o SIMA

##### 4.4.1 Cálculos Veículos Elétricos

Os cálculos para os veículos elétricos devem ser divididos em 3 etapas, a primeira é o cálculo para o cenário considerando o veículo a combustão. Na segunda etapa, os cálculos devem considerar o cenário para o veículo elétrico. Por último, é feita subtração entre a quantidade de carbono emitido (CO<sub>2e</sub>) do veículo a combustão menos o CO<sub>2e</sub> do veículo elétrico.

Para melhor explicitar, esses cálculos serão divididos por modais, assim inicialmente serão apresentados os cálculos para a substituição dos ônibus a combustão pelos ônibus elétricos, a qual está identificada como Situação 1. Posteriormente serão demonstrados os cálculos para o barco elétrico, o qual será chamada de Situação 2.

##### a. Cálculos Situação 1 (Ônibus a Combustão x Ônibus Elétrico)

Algumas literaturas (Dallmann, 2019; Peres et al., 2016) afirmam que os ônibus de propulsão elétrica não apresentam emissões diretas durante a operação, classificando-os como veículos de emissão zero carbono, contudo devem ser consideradas as chamadas emissões indiretas. Conforme apontam os autores Jaramillo et al. (2022), essas emissões são classificadas no escopo 2 (eletricidade consumida) e escopo 3 (processos de fabricação e fim de vida útil).

A fim de garantir comparabilidade entre os cenários avaliados, as condições de operação adotadas foram mantidas constantes para ambos os modais, diferenciando-se apenas quanto à fonte energética e seus respectivos fatores de emissão. A distância diária percorrida foi estimada com base na autonomia da bateria do ônibus elétrico, cuja capacidade é de 324 kWh (UFPA; NORTE Energia, 2024). Considerando um consumo médio de 1,5 kWh/km, conforme dados de Rebouças et al. (2022), a autonomia resultante é de 216 km (324/1,5).

Dessa forma, o valor de 216 km/dia foi utilizado para ambos os cenários de cálculo. No caso do ônibus a combustão, adotou-se o consumo médio de diesel de 0,538 l/km para o ônibus urbano e 0,469 l/km para o ônibus rodoviário, conforme estudo realizado pelo Laboratório de Transporte de Carga da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPETEC, 2016), o qual avaliou o desempenho de ônibus urbanos e rodoviários. O fator de emissão do diesel utilizado foi o valor padrão de 2,67 kgCO<sub>2</sub>/litro, adotado por metodologias internacionais como o *GHG Protocol* e o IPCC .

Para o cálculo das emissões associadas ao veículo elétrico, foi adotado o fator de emissão estabelecido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). A base de dados disponível no site do MCTI fornece os fatores médios mensais de emissão da matriz elétrica brasileira. Considerando que, até o momento da elaboração deste trabalho, os dados disponíveis referiam-se ao período de janeiro a abril de 2025, utilizou-se a média aritmética desses meses, resultando em um fator de emissão de 0,24 kgCO<sub>2</sub>/kWh.

De acordo com os parâmetros descritos acima, para a obtenção dos valores de emissão de carbono diário do veículo a combustão ( $E_{VC}$ ), foi utilizada a Equação (1), onde considerou-se o consumo do diesel ( $C_{diesel}$ ), a distância percorrida diariamente ( $D$ ) e o fator de emissão do diesel ( $FE_{diesel}$ ).

$$E_{VC} = C_{diesel} \times D \times FE_{diesel} \quad (1)$$

Ainda considerando os parâmetros citados anteriormente, para o cálculo dos valores de emissão de carbono diário do veículo elétrico ( $E_{VE}$ ), foi utilizada a Equação (2), onde considerou-se o consumo de energia ( $C_{energia}$ ), a distância percorrida diariamente ( $D$ ) e o fator de emissão da rede elétrica ( $FE_{rede\ elétrica}$ ).

$$E_{VE} = C_{energia} \times D \times FE_{rede\ elétrica} \quad (2)$$

A partir dos cálculos das emissões diárias feitos, foi necessário também calcular o valor anual destas, assim os valores diários foram multiplicados considerando que os ônibus rodam 5 dias na semana, 4 semanas no mês, por 12 meses. Para o cálculo de Emissões de CO<sub>2</sub> poupadas com a substituição dos ônibus a combustão por elétricos, subtraiu-se as equações (1) e (2), chegando aos valores conforme Tabela 1 e Tabela 2, conforme a seguir:

Tabela 1 – Cálculo de Carbono para o Circular UFPA

Cálculos de Créditos - CIRCULAR UFPA		
Modal	Emissões de Carbono diárias (kgCO <sub>2</sub> /dia)	Emissões de Carbono Anuais (kgCO <sub>2</sub> /ano)
Ônibus a combustão	310,28	74.466,09
Ônibus elétrico	77,76	18.662,40
Emissões de CO <sub>2</sub> poupadas a partir da substituição de ônibus a Combustão por elétrico=		55.803,69

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 2 – Cálculo de Carbono para o Rodoviário

Cálculos de Créditos - Rodoviário		
Modal	Emissões de Carbono diárias (kgCO <sub>2</sub> /dia)	Emissões de Carbono Anuais (kgCO <sub>2</sub> /ano)
Ônibus a combustão	195,35	46.883,49
Ônibus elétrico	56,16	13.478,40
Emissões de CO <sub>2</sub> poupadas a partir da substituição de ônibus a Combustão por elétrico=		33.405,09

Fonte: Autora, 2025.

## b. Cálculo Situação 2 (Barco a diesel marítimo x Barco elétrico)

Para a realização do cálculo comparativo entre os barcos, também foi necessário adotar um cenário comum para ambos. O barco elétrico possui um banco de baterias com capacidade de 47,2 kWh e autonomia de 40 km (dado fornecido pela equipe responsável do projeto do barco), assim estabeleceu-se o consumo energético em aproximadamente 1,18 kWh/km (40/47,2).

Para estimar as emissões do barco a combustão, foram utilizadas as informações fornecidas por Albuquerque *et al.* (2024), que indicam um consumo de 20 litros de diesel por hora de operação, sendo que a embarcação navega a uma velocidade de 8 nós. Considerando que 1 nó corresponde a 1 milha náutica por hora, ou seja, 1,85 km/h, a velocidade média do barco foi convertida para 14,8 km/h.

Visto as informações acima, precisou-se calcular em quanto tempo o barco faz a rota diária e o quanto de diesel marítimo ele consome neste percurso. Para o cálculo do tempo, utilizou-se a fórmula da Velocidade Média ( $V_m$ ), visto que a distância ( $\Delta S$ ) é 40 km e a  $V_m$  é 14,8 km/h.

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Dessa forma, o tempo necessário para percorrer a rota diária é de aproximadamente 2,70 horas. Multiplicando esse tempo pelo consumo horário (20 l/h), estimou-se que o barco a diesel consome cerca de 54,05 litros de combustível por dia.

O fator de emissão do diesel marítimo adotado nesta análise foi de 3,53 kgCO<sub>2</sub>/litro, conforme dados da plataforma ClimaTiq (2019), que reúne fatores de emissão baseados em metodologias reconhecidas internacionalmente, como o IPCC e o *GHG Protocol*.

Assim, para calcular as emissões diárias de carbono do barco a diesel ( $E_{BD}$ ) foi utilizada a Equação (3), onde  $C_{diesel\ marítimo}$  é o consumo do diesel em litros por dia e  $FE_{diesel\ marítimo}$  é o fator de emissão do diesel marítimo.

$$E_{BD} = C_{diesel\ marítimo} \times FE_{diesel\ marítimo} \quad (3)$$

Conforme na situação 1, utilizou-se da Equação (2) para saber as emissões diárias do veículo elétrico (barco elétrico). De posse destes valores, foram feitos cálculos para considerá-los anualmente e por fim pode-se chegar as Emissões de CO<sub>2</sub> poupadas a partir da substituição do barco a combustão pelo elétrico, conforme evidenciado na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Cálculo de Carbono para o Barco

Cálculos de Créditos - Barco/Catamarã/Poraquê		
Modal	Emissões de Carbono diárias (kgCO <sub>2</sub> /dia)	Emissões de Carbono Anuais (kgCO <sub>2</sub> /ano)
Barco a diesel	190,81	45.794,59
Barco elétrico	11,33	2.718,72
Emissões de CO <sub>2</sub> poupadas a partir da substituição de barco a Combustão por elétrico=		<b>43.075,87</b>

Fonte: Autora, 2025.

### c. Síntese do resultado dos modais elétricos

A análise integrada dos três modais elétricos implementados no âmbito do Projeto SIMA – dois ônibus (um circular e outro rodoviário) e um catamarã – permite observar de forma clara o impacto positivo da eletromobilidade na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Juntos, os modais elétricos evitam a emissão de 132,284 tCO<sub>2</sub>/ano.

Desse total, os dois ônibus elétricos juntos representam uma economia de 89,208 tCO<sub>2</sub>/ano, enquanto o catamarã elétrico é responsável por uma economia de 43,075 tCO<sub>2</sub>/ano, devido principalmente ao elevado consumo de diesel marítimo no cenário convencional. Considerando que uma tonelada de CO<sub>2</sub> evitada equivale a um crédito de carbono, a UFPA

possui um potencial total de geração de **132 créditos de carbono por ano**, caso adote os procedimentos adequados para registro e validação das reduções no mercado de carbono.

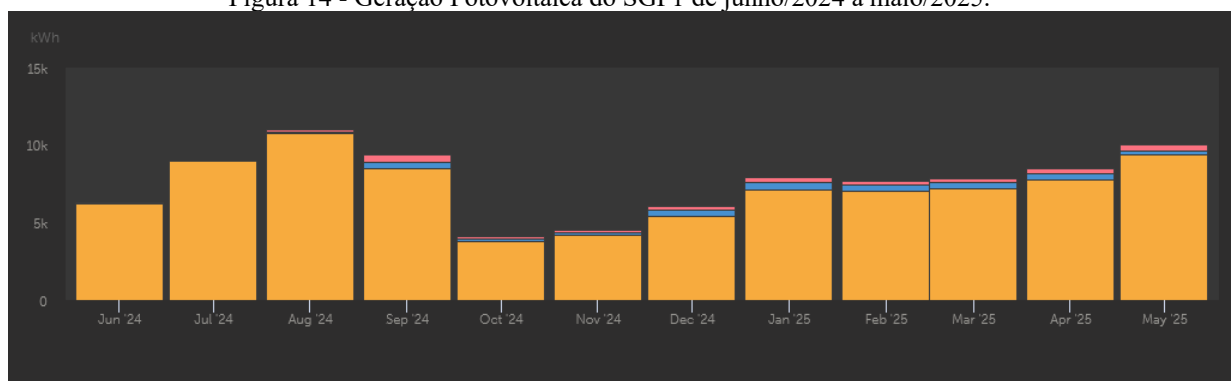
Esse resultado evidencia não apenas os benefícios ambientais diretos proporcionados pela substituição dos modais a combustão, mas também uma oportunidade estratégica para a universidade se posicionar como referência em sustentabilidade, inovação e transição energética. A iniciativa reforça o compromisso institucional com as metas do Acordo de Paris, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (especialmente o ODS 7), e aponta para a viabilidade técnica e econômica de projetos sustentáveis baseados em energias limpas e transporte de baixa emissão.

#### 4.4.2 Cálculos Sistemas Fotovoltaicos

Para os Sistemas Fotovoltaicos os cálculos foram em relação a energia gerada pelos mesmos, porém como os dois são monitorados por softwares diferentes, a forma de apresentação dos dados é diferenciada.

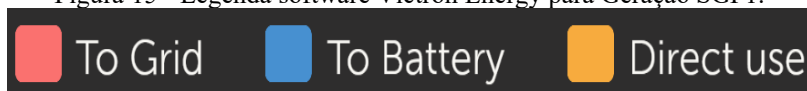
Para o SGF1, o monitoramento é a partir do VictronEnergy, através do mesmo foi possível gerar de uma só vez os dados referente aos meses de junho/2024 a maio/2025, conforme Figura 11 abaixo, onde de acordo com a legenda do próprio sistema o que está em amarelo indica uso direto, azul vai para bateria e rosa para rede (Figura 12).

Figura 14 - Geração Fotovoltaica do SGF1 de junho/2024 a maio/2025.



Fonte: Software VictronEnergy, 2025.

Figura 15 - Legenda software Victron Energy para Geração SGF1.



Fonte: Software VictronEnergy, 2025

Contudo, para a realização dos cálculos é considerado o valor de geração total, pois é a quantidade da geração de energia limpa produzida no ano, deste modo é possível calcular o quanto de carbono que a UFPA deixou de emitir ao optar pela produção de energia limpa.

Assim, para o SFG1, o cálculo de carbono evitado ( $CO2_{ev}$ ), pode ser efetuado conforme Equação (4), a partir do produto entre a geração total ( $GT_{anual}$ ) e o fator de emissão da rede elétrica ( $FE_{rede\ elétrica}$ ).

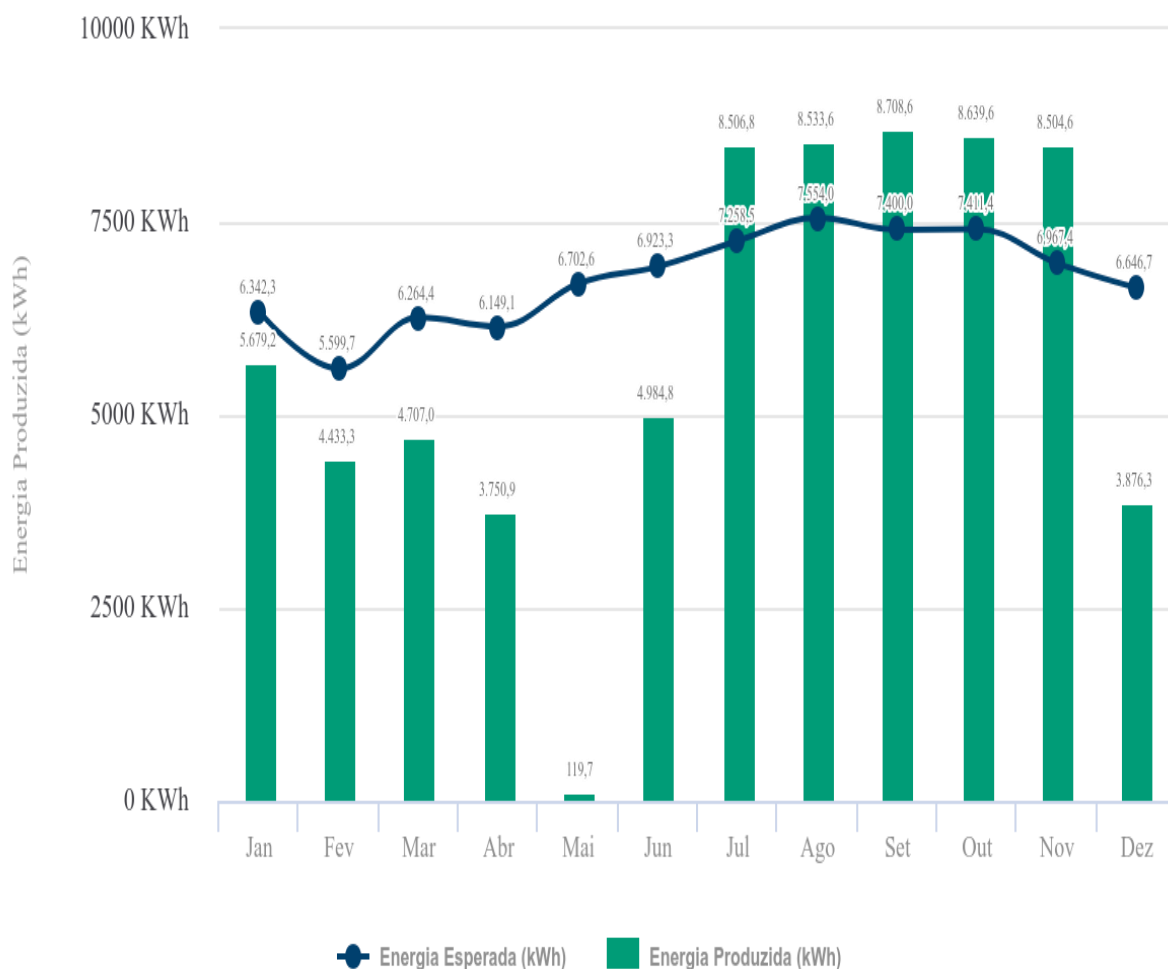
$$CO2_{ev} = GT_{anual} \times FE_{rede\ elétrica} \quad (4)$$

Deste modo, se chega ao valor de 22,238 tCO<sub>2</sub>/ano, para o período de junho de 2024 a maio de 2025, o Sistema Fotovoltaico do CEAMAZON (SFG1) gerou **22 créditos de carbono**.

Para o SGF2, o monitoramento é feito pelo SolarView, onde as informações aparecem anualmente, porém deve ser considerado o mesmo período para cálculo: junho/2024 a maio/2025. Nas Figura 16 e Figura 17 a seguir, é possível ver os valores gerados pelos painéis do prédio Mirante do Rio.

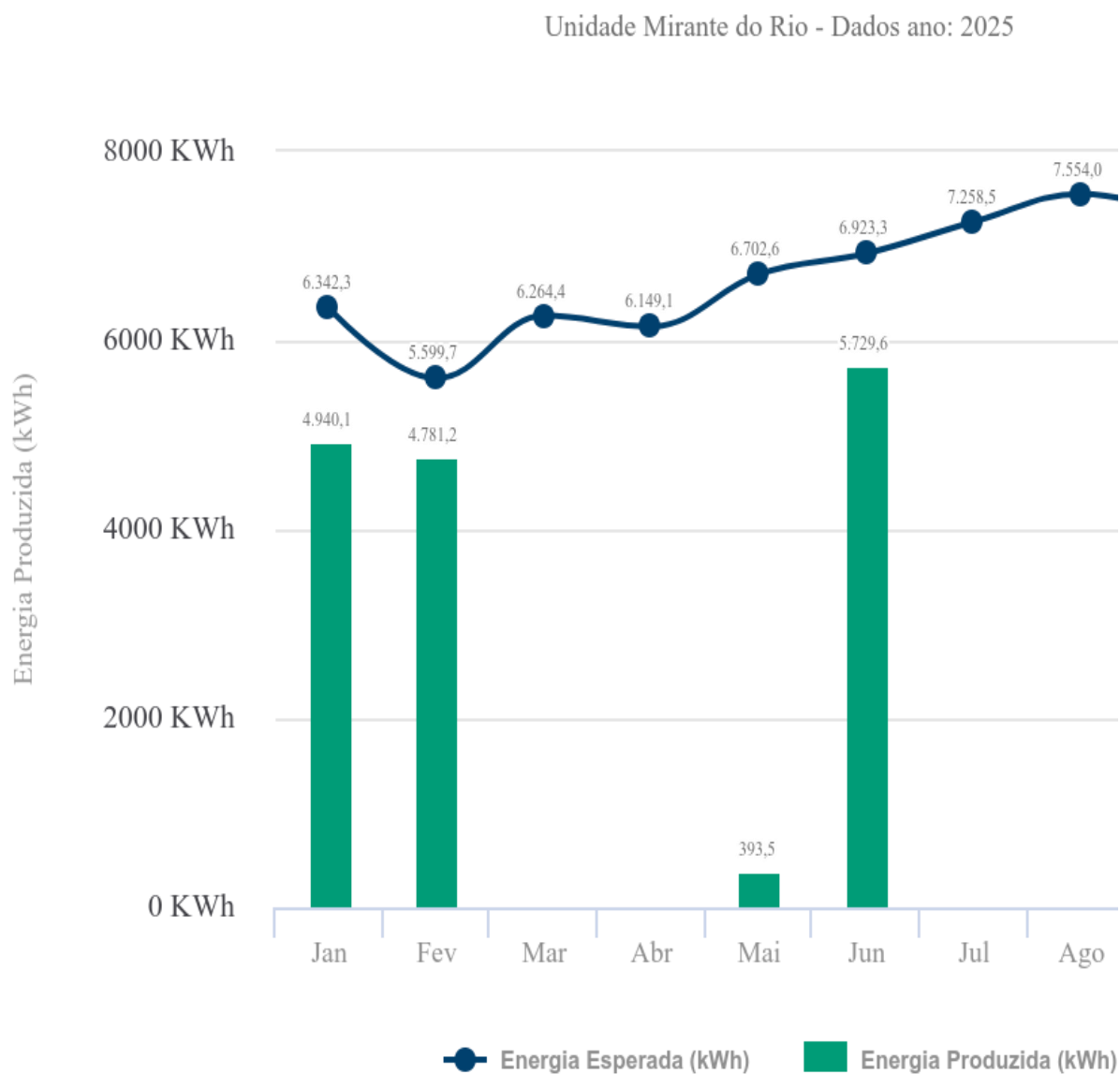
Figura 16 - Geração de energia do SGF2 no ano de 2024

Unidade Mirante do Rio - Dados ano: 2024



Fonte: Software SolarView, 2025.

Figura 17 - Geração de energia do SGF2 até junho de 2025.



Fonte: Software SolarView, 2025.

Contudo, é importante verificar que durante o mês de dezembro/2024 a maio/2025 há uma baixa significativa no valor de energia gerado, se comparado com os meses anteriores, esse problema se deu devido falhas de internet ocorridas na UFPA. Tais falhas resultaram em perda de registro completo dos dados para os meses informados, o que se agravou nos meses de março e abril, que ficaram sem os dados registrados no software.

Para cobrir esta falha e tentar ser o mais fiel aos dados reais que seriam registrados, optou-se por fazer a média aritmética desses meses medidos nos anos anteriores, conforme a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Média da geração do SGF2 dos meses de dez/2024 a mai/2025 nos anos anteriores.

Média da geração do SGF2 dos meses nos anos anteriores (kWh/mês)						
	MÊS					
	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Ano	2021	2022	2022	2022	2022	2022
Medido (kwh)	7.562,80	6.975,50	6.833,30	7.101,00	6.357,60	7.016,70
Ano	2022	2023	2023	2023	2023	2023
Medido (kwh)	7.734,80	7.641,80	5.994,80	6.088,20	6.866,40	6.866,40
Ano	2023	2024	2024	2024	2024	2024
Medido (kwh)	6.030,20	5.679,20	4.433,30	4.707,00	3.750,90	119,70
Ano	2024	2025	2025	2025	2025	2025
Medido (kwh)	3.876,30	4.940,10	4.781,20	<sup>1</sup> NC	<sup>1</sup> NC	393,50
Média	6.796,50	6.327,35	5.388,00	6.088,20	6.357,60	3.629,95

Fonte: Autora, 2025.

<sup>1</sup>NC – Não contabilizado pelo sistema

A partir da Tabela 4, os dados gerados para os meses citados, foram utilizados nos cálculos para a quantidade de carbono evitados a partir da geração de energia por painéis fotovoltaicos. Assim utilizou-se também da Equação (4), onde a Geração total anual do SFG2 foi considerada 82.465,60 kWh/ano.

Então, o Sistema Fotovoltaico do Mirante do Rio poupou cerca de 19,791 tCO<sub>2</sub>/ano, no período equivalente ao SFG1. Valor este que corresponde a **19 créditos de carbono** no ano estudado.

#### 4.4.3 Cálculos Banco de Baterias - BESS

Por fim, o último componente do Projeto SIMA que foi analisado como gerador de créditos de carbono, foi o banco de baterias. Ainda que a metodologia não tenha sido oficialmente aprovada até o momento da redação deste trabalho, sua adoção é justificada pela robustez técnica da proposta e pela aplicabilidade direta ao contexto analisado, sendo reconhecida pela própria VERRA como elegível a um processo de desenvolvimento alternativo com base em pareceres técnicos especializados (VERRA, 2025).

Portanto, para calcular a quantidade de carbono evitada foi utilizada a Equação (5), abaixo:

$$BESS_{redução} = E_{pico} \times (FE_{rede\ elétrica} - FE_{rede\ renovável}) \times \eta \quad (5)$$

Onde:

$E_{pico}$  = Energia utilizada durante o período de pico (18h às 21h)

$FE_{rede\ elétrica}$  = Fator de emissão da rede elétrica

$FE_{rede\ renovável}$  = Fator de emissão da fonte renovável utilizada ( $FE_{rede\ renovável} = 0$ )

$\eta$  = rendimento do banco de baterias (Conforme manuais da BYD, as baterias utilizadas neste projeto possuem rendimento de 96%).

Sabendo que o banco de baterias é composto por 8 baterias de 13,8 kWh, então a  $E_{pico}$ , foi calculada conforme Equação (6) abaixo, a partir da qual se considerou a quantidade de energia de cada bateria ( $E_{bateria}$ ), em kWh, a quantidade de baterias existentes ( $N^o_{bateria}$ ), a taxa de descarga, que nesse caso foi considerada 0,21c, e, por fim, as horas de operação do BESS ( $H_{BESS}$ ).

$$E_{pico} = (E_{bateria} \times N^o_{bateria} \times Taxa\ de\ descarga) \times H_{BESS} \quad (6)$$

Após os cálculos, o valor de  $E_{pico}$  ficou em 69,552 kWh, assim fazendo as substituições necessárias na Equação (5), e, considerando, que o banco de baterias é acionado todos os dias durante um ano (30 x 12), se chega ao valor de 5,768 tCO<sub>2</sub>/ano.

O que quer dizer que o banco de baterias gera, indiretamente, cerca de **5 créditos de carbono** por ano ao abastecer o prédio do CEAMAZON, assim substituindo o consumo da energia da concessionária, no horário de pico (18h às 21h).

#### 4.5 Análise dos resultados encontrados

Para entender melhor de que forma o SIMA contribui para a redução de GEE na UFPA, é importante que os valores gerados sejam analisados e mensurados à luz de outras pesquisas semelhantes, a fim de avaliar se o desempenho do projeto está em conformidade com o que se espera para iniciativas desse porte.

Conforme discutido anteriormente no capítulo 2, os automóveis, especialmente os ônibus, figuram entre os principais emissores de gases de efeito estufa no meio urbano. Um exemplo disso está no estudo de Dallma(Silva; Martins; Azevedo, 2023)nn (2019), desenvolvido para o International Council on Clean Transportation (ICCT), que apontou que a frota de ônibus da cidade de São Paulo emitiu, em 2016, cerca de 1,24 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.

Com base nos resultados obtidos no âmbito do Projeto SIMA, observa-se que a substituição dos ônibus movidos a combustíveis fósseis por veículos elétricos promove uma

expressiva redução das emissões, variando entre 71% e 75%. Embora os ônibus elétricos ainda apresentem emissões indiretas, sobretudo devido à matriz elétrica nacional, essas são consideravelmente inferiores em comparação aos modelos convencionais, representando menos da metade do volume anteriormente emitido.

A operação simultânea dos dois ônibus elétricos permite evitar a emissão de aproximadamente 89.208,78 kgCO<sub>2</sub>/ano, o que corresponde a 89,208 tCO<sub>2</sub>/ano. Considerando que cada tonelada de CO<sub>2</sub> evitada equivale a um crédito de carbono, o potencial de geração anual é de **89 créditos de carbono**, os quais, além de representarem uma possível fonte de receita para a UFPA, reforçam o papel do projeto nas estratégias de mitigação climática.

De modo análogo, a substituição do barco a diesel por um catamarã elétrico resulta em uma economia anual de 43.075,87 kgCO<sub>2</sub>/ano, equivalente a 43,075 tCO<sub>2</sub>/ano, com potencial de geração de **43 créditos de carbono por ano**. Além do aspecto econômico associado à possível comercialização desses créditos, a substituição contribui para a redução de impactos ambientais locais e globais, em consonância com os compromissos climáticos firmados pelo Brasil, como os previstos no Acordo de Paris e na Agenda 2030 da ONU.

Em termos percentuais, a adoção do barco elétrico Poraquê representa uma redução de 94,06% nas emissões de carbono em comparação ao modelo convencional, evidenciando sua relevância para a descarbonização das operações aquaviárias no âmbito da universidade.

O derramamento de óleo diesel em rios e demais corpos hídricos configura uma séria preocupação ambiental, especialmente em regiões de alta sensibilidade ecológica, como a Amazônia. Esse tipo de poluição compromete a qualidade da água, afeta a biodiversidade aquática e pode gerar impactos duradouros nos ecossistemas locais. A formação de uma película oleosa sobre a superfície da água dificulta a oxigenação, afetando diretamente peixes, plânctons e demais organismos, além de prejudicar atividades humanas como pesca e abastecimento (Silva; Martins; Azevedo, 2023)

Nesse contexto, a adoção de modais elétricos pela UFPA, como o catamarã Poraquê, contribui significativamente para a mitigação desses riscos. Ao eliminar a necessidade de combustíveis fósseis para navegação, o projeto reduz a possibilidade de vazamentos e derramamentos de óleo diesel nos rios, reforçando o compromisso institucional com a proteção dos recursos hídricos e com a sustentabilidade ambiental da região (ONU, 2018; BRASIL, 2022).

Com base nos valores calculados e apresentados anteriormente, observa-se que os três modais analisados – ônibus circular, ônibus rodoviário e catamarã elétrico – embora operem

em rotas e distâncias diárias distintas, compartilham o mesmo propósito: garantir o transporte de colaboradores da UFPA em suas atividades institucionais. A adoção dessas tecnologias limpas contribui de forma expressiva para a mitigação das emissões de carbono, tanto no interior do campus quanto no deslocamento entre os municípios de Belém e Castanhal. Quando considerados em conjunto, os modais elétricos possuem o potencial de evitar a emissão de aproximadamente **132,284 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano**, representando um importante avanço nas estratégias de descarbonização da universidade.

A Tabela 5 a seguir, apresenta os dados consolidados de emissões evitadas por cada modal e o total estimado de redução anual de carbono.

Tabela 5 - Valores dos modais elétricos consolidados

<b>Modal</b>	<b>Distância percorrida diária (km)</b>	<b>Emissão evitada (tCO<sub>2</sub>/ano)</b>	<b>Redução percentual</b>
Ônibus Elétrico Urbano (Circular UFPA)	216	55,803	71%
Ônibus Elétrico Rodoviário (UFPA-Castanhal)	156	33,405	75%
Barco Elétrico (modelo catamarã)	40	43,075	94%

Fonte: Autora, 2025.

Segundo o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Belém/PA emitido em 2023, para o ano de 2022, o setor de transporte foi responsável por cerca de 850 mil toneladas de CO<sub>2</sub>, onde 607 mil toneladas de CO<sub>2</sub> foi para o setor rodoviário e 512 toneladas de CO<sub>2</sub>/ano para o setor hidroviário.

Deste modo, ter o Projeto SIMA como fonte de estudo onde com base nos cálculos geram redução da emissão de carbono de 71 a 94% demonstra como a eletrificação do setor é importante no combate a crise climática.

Além dos modais elétricos utilizados para transporte terrestre e aquaviário, o Projeto SIMA também contempla a instalação de duas usinas solares fotovoltaicas e de um banco de baterias de grande capacidade, que desempenham um papel estratégico na mitigação das emissões associadas ao consumo energético da UFPA.

Segundo a ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2024), a utilização de SFV já evitou cerca de 50 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, com mais de 5,5 milhões só no início de 2024, demonstrando o aspecto em escala do setor.

A implantação de um SFV em universidades traz benefícios econômicos e ambientais, resultando em economia nas contas de energia elétrica e diminuição da liberação de gás poluente para a atmosfera (Silva *et al.*, 2021).

Os sistemas de geração fotovoltaica, localizados no CEAMAZON e no Mirante do Rio, possuem capacidades de 70,8 kWp e 59,6 kWp, respectivamente. Juntos, esses sistemas são responsáveis pela geração de energia limpa que evita a emissão de aproximadamente **42,030 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano** (22,238 tCO<sub>2</sub>/ano no CEAMAZON e 19,791 tCO<sub>2</sub>/ano no Mirante do Rio), ao substituir parcialmente a eletricidade proveniente da matriz elétrica nacional, ainda majoritariamente dependente de fontes fósseis em períodos de escassez hídrica.

Outro componente de destaque é o banco de baterias (*Battery Energy Storage System – BESS*), com capacidade de 110,4 kWh, que permite o armazenamento da energia excedente gerada durante o dia e sua utilização em horários de pico ou em momentos de falta de energia no prédio. Essa estratégia de gestão energética inteligente não apenas otimiza o uso da energia renovável, como também evita perdas e reduz a necessidade de suplementação energética da rede convencional. A estimativa é que o banco de baterias contribua para a redução de **5,768 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano**, reforçando o potencial do SIMA como modelo de infraestrutura universitária de baixo carbono.

Dessa forma, quando considerados todos os componentes do projeto – modais elétricos, sistemas fotovoltaicos e banco de baterias – o impacto ambiental evitado é ainda mais expressivo, evidenciando o caráter integrado da proposta e sua contribuição direta para as metas institucionais de sustentabilidade e descarbonização.

A Tabela 6, a seguir, apresenta os dados consolidados de emissões evitadas por cada unidade analisada no Projeto SIMA, bem como o total estimado de redução anual de carbono.

Tabela 6 - Valores dos SFG1, SFG2 e BESS consolidados

Unidade	Capacidade	Emissão evitada (tCO <sub>2</sub> /ano)
Sistema Fotovoltaico CEAMAZON	70,8 kWp	22,238
Sistema Fotovoltaico Mirante do Rio	59,6 kWp	19,791
Banco de Baterias (BESS)	110,4 kWh	5,768

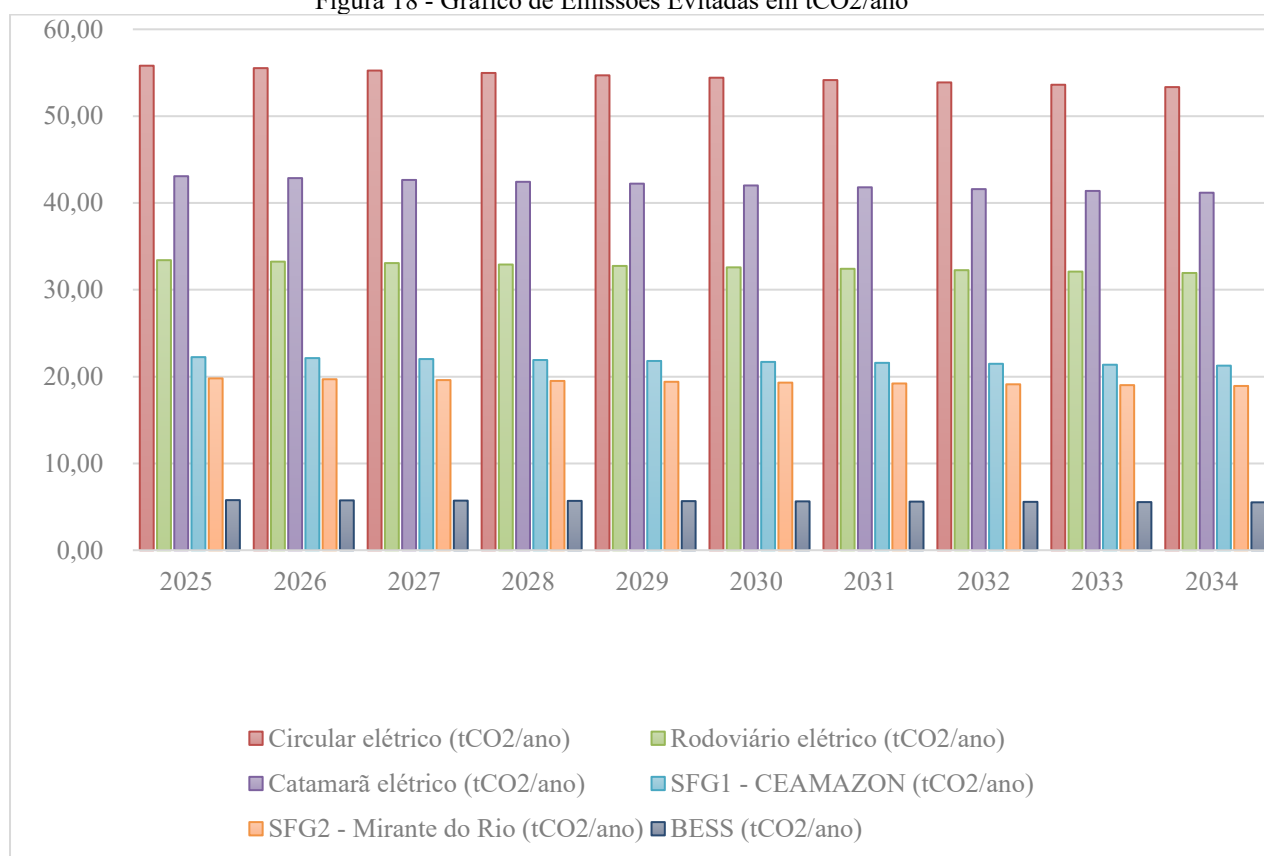
Fonte: Autora, 2025.



<b>2025</b>	55,80	33,41	43,08	22,24	19,79	5,77	180,08	<b>28.903,48</b>
<b>2026</b>	55,52	33,24	42,86	22,13	19,69	5,74	179,18	<b>28.758,96</b>
<b>2027</b>	55,25	33,07	42,65	22,02	19,59	5,71	178,29	<b>28.615,16</b>
<b>2028</b>	54,97	32,91	42,43	21,91	19,50	5,68	177,40	<b>28.472,09</b>
<b>2029</b>	54,70	32,74	42,22	21,80	19,40	5,65	176,51	<b>28.329,73</b>
<b>2030</b>	54,42	32,58	42,01	21,69	19,30	5,63	175,63	<b>28.188,08</b>
<b>2031</b>	54,15	32,42	41,80	21,58	19,21	5,60	174,75	<b>28.047,14</b>
<b>2032</b>	53,88	32,25	41,59	21,47	19,11	5,57	173,87	<b>27.906,90</b>
<b>2033</b>	53,61	32,09	41,38	21,36	19,01	5,54	173,01	<b>27.767,37</b>
<b>2034</b>	53,34	31,93	41,18	21,26	18,92	5,51	172,14	<b>27.628,53</b>

Fonte: Autora, 2025.

Figura 18 - Gráfico de Emissões Evitadas em tCO2/ano



Fonte: Autora, 2025.

Cabe destacar que os valores projetados de emissões evitadas podem ser significativamente ampliados caso a UFPA opte por expandir sua infraestrutura energética limpa. A aquisição de novos ônibus elétricos e a instalação de painéis fotovoltaicos adicionais em outros campi ou unidades administrativas ampliaria substancialmente o volume de carbono evitado, reforçando ainda mais a contribuição institucional da UFPA para a mitigação das mudanças climáticas.

Além dos ganhos diretos em redução de emissões e potencial geração de créditos de carbono, os dados obtidos por meio do Projeto SIMA evidenciam a relevância ambiental e estratégica da iniciativa. A UFPA se consolida como um verdadeiro laboratório vivo, gerando dados aplicáveis à replicação de soluções sustentáveis tanto em nível regional quanto nacional.

Ao estudar e monitorar continuamente os resultados do projeto, a Universidade permite que seus impactos ultrapassem os limites do campus. As informações geradas podem subsidiar políticas públicas, orientar investimentos em mobilidade elétrica e energias renováveis, e inspirar outras instituições de ensino superior a adotar modelos semelhantes. Dessa forma, a UFPA não apenas contribui para a descarbonização da cidade de Belém, como também se posiciona como referência nacional em inovação ambiental e sustentabilidade universitária.

#### *4.7 Considerações finais*

A análise integrada dos componentes do Projeto SIMA demonstra um elevado potencial de mitigação de emissões de gases de efeito estufa no contexto institucional da UFPA. A substituição de modais de transporte movidos a combustíveis fósseis por alternativas elétricas – dois ônibus e um catamarã – possibilita uma redução estimada de 132,284 tCO<sub>2</sub>/ano. Somam-se a esse valor as contribuições das unidades de geração fotovoltaica e do banco de baterias, que juntos evitam a emissão de 47,799 tCO<sub>2</sub>/ano, totalizando um potencial de mitigação anual de 180,08 tCO<sub>2</sub>.

Os resultados obtidos evidenciam não apenas a efetividade do SIMA em termos ambientais, mas também sua relevância como modelo inovador de gestão energética e mobilidade sustentável em instituições públicas. O projeto contribui significativamente para a estratégia de descarbonização da universidade, promovendo sinergias entre tecnologia, sustentabilidade e políticas climáticas.

Além da redução direta das emissões, os dados apresentados reforçam o potencial do projeto para gerar créditos de carbono, o que pode representar uma fonte de receita e reconhecimento institucional no âmbito do mercado voluntário. A integração entre transporte limpo, geração de energia renovável e armazenamento inteligente posiciona a UFPA como um exemplo concreto de aplicação dos princípios do ODS 7 e da Agenda 2030.

Nesse contexto, o Projeto SIMA se destaca por abranger, de forma integrada, os três enfoques propostos por Lucon e Coelho (2002) para a construção de uma matriz energética sustentável:

(a) eficiência energética, por meio do uso racional e inteligente de energia nos modais e no

armazenamento;

(b) novas tecnologias de produção, com a adoção de geração solar fotovoltaica em escala institucional;

(c) renovabilidade das fontes, ao substituir combustíveis fósseis por fontes limpas e renováveis.

Assim, os resultados discutidos neste capítulo sustentam a hipótese de que o Projeto SIMA constitui uma iniciativa efetiva de descarbonização, cujos benefícios ambientais, sociais e econômicos podem ser ampliados por meio de sua replicação em outras instituições e contextos regionais.

## 5. CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo central analisar o potencial de descarbonização da Universidade Federal do Pará (UFPA) a partir da implementação do Projeto SIMA (Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal). Por meio da avaliação integrada de seus componentes – modais elétricos, sistemas fotovoltaicos e banco de baterias – foi possível quantificar a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e verificar a viabilidade de conversão dessas reduções em créditos de carbono.

A metodologia adotada combinou revisão bibliográfica sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, transição energética e mercado de carbono, com cálculos quantitativos baseados em fatores de emissão internacionalmente reconhecidos e nas especificações técnicas dos equipamentos empregados. Essa abordagem permitiu não apenas estimar as emissões evitadas, mas também associá-las às oportunidades de inserção da UFPA no mercado voluntário de créditos de carbono.

Os resultados indicaram que a substituição dos modais convencionais por dois ônibus e um catamarã elétricos pode evitar a emissão de aproximadamente 132,284 tCO<sub>2</sub>/ano. Quando somados os ganhos provenientes dos sistemas fotovoltaicos (42,030 tCO<sub>2</sub>/ano) e do banco de baterias (5,768 tCO<sub>2</sub>/ano), o Projeto SIMA apresenta um potencial de mitigação total de 180,08 tCO<sub>2</sub>/ano, equivalente a cerca de 180 créditos de carbono anuais. Tais valores demonstram que a UFPA não apenas reduz sua pegada de carbono, mas também se posiciona como referência nacional em inovação tecnológica e sustentabilidade aplicada ao contexto amazônico.

Para além da mitigação direta das emissões, o projeto evidencia benefícios ambientais adicionais, especialmente no transporte aquaviário. A substituição do catamarã a diesel por um modelo elétrico reduz riscos de derramamentos de óleo nos rios, contribuindo para a proteção de ecossistemas aquáticos sensíveis e reforçando a importância da navegação sustentável em uma região cuja dinâmica socioeconômica depende fortemente dos recursos hídricos.

As ações desenvolvidas pelo SIMA estão alinhadas ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), ao mesmo tempo em que dialogam com o Acordo de Paris e com a Agenda 2030, que orientam a transição energética como instrumento de inclusão, sustentabilidade e desenvolvimento econômico. Ao assumir o papel de laboratório vivo, a UFPA demonstra como universidades públicas podem ser agentes estratégicos na produção de conhecimento aplicado, na redução de emissões e na proposição de soluções replicáveis para outros centros urbanos e acadêmicos.

Do ponto de vista acadêmico, esta pesquisa reforça a importância de integrar estudos de descarbonização com instrumentos de mercado, como os créditos de carbono, ampliando o escopo de avaliação de projetos de sustentabilidade. Do ponto de vista prático, os resultados oferecem subsídios técnicos para que a UFPA planeje novas etapas de expansão do SIMA, quantifique de forma sistemática suas emissões evitadas e explore economicamente o potencial de comercialização de créditos de carbono.

Além disso, cabe destacar que o Projeto SIMA já tem sido objeto de diversas pesquisas desenvolvidas no âmbito da UFPA, envolvendo trabalhos de conclusão de curso, dissertações (Carvalho, 2023a, 2023b; Lobato, 2022; SÁ, 2022; SILVA, 2023), teses (Andrade, 2021; Paixão Júnior, 2022; Souza, 2024) e artigos científicos (Albuquerque et al., 2024; Ferreira et al., 2024; Souza et al., 2024; Almeida, 2023; Nascimento et al., 2023a, 2023b; Couto et al., 2022a, 2022b; Andrade et al., 2021; Lobato et al., 2021; Tabora et al., 2021a, 2021b; Oliveira et al., 2020) que abordam desde o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos e de armazenamento, até a análise da eficiência dos modais elétricos e o impacto ambiental de sua operação. Esses estudos, disponíveis em bases acadêmicas e no repositório institucional da universidade, complementam e aprofundam diferentes aspectos do projeto, reforçando seu caráter multidisciplinar e sua relevância como plataforma de pesquisa aplicada. Assim, a presente dissertação soma-se a esse conjunto de produções científicas, ampliando a compreensão sobre o potencial de descarbonização e a inserção do SIMA no mercado de créditos de carbono.

Por fim, recomenda-se que trabalhos futuros aprofundem análises de ciclo de vida dos equipamentos utilizados, incorporem estudos de viabilidade econômica da negociação de créditos de carbono, e invistam no desenvolvimento de sistemas inteligentes de monitoramento, capazes de garantir transparência e rastreabilidade às ações de mitigação. Dessa forma, o SIMA poderá evoluir como referência internacional em inovação para a descarbonização universitária, consolidando-se não apenas como um projeto local, mas como um modelo de sustentabilidade aplicável em diferentes contextos institucionais e territoriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar já evitou 50 milhões de toneladas de CO2 no Brasil**. Disponível em: <[https://www.absolar.org.br/energia-solar-ja-evitou-50-milhoes-de-toneladas-de-co2-no-brasil/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.absolar.org.br/energia-solar-ja-evitou-50-milhoes-de-toneladas-de-co2-no-brasil/?utm_source=chatgpt.com)>. Acesso em: 1 jul. 2025.

ALBUQUERQUE, Bruno Santana De *et al.* Use of Distributed Energy Resources Integrated with the Electric Grid in the Amazon: A Case Study of the Universidade Federal do Pará Poraquê Electric Boat Using a Digital Twin. **Machines**, v. 12, n. 11, p. 803, 12 nov. 2024.

ALMEIDA, Lilian Vital Silva De. **Eletricidade na América do Sul: integração energética como alternativa para o cumprimento da agenda 2030**. Tese—São Paulo: Universidade de São Paulo, 5 abr. 2023.

ANDRADE, Vinicius *et al.* Estimativa de impacto na fatura de energia em um prédio comercial utilizando sistemas fotovoltaicos e banco de baterias. *In: ANAIS DA XIV CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA. Anais da XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*. Galoa, 2021. Disponível em: <[https://proceedings.science/proceedings/100186/\\_papers/130669](https://proceedings.science/proceedings/100186/_papers/130669)>. Acesso em: 20 maio. 2025

ANDRADE, Vinicius Borges. **Análise Técnico-Econômica Da Inserção De Geração Distribuída Fotovoltaica Em Redes De Distribuição: Estudo De Caso Do Sistema Elétrico De Uma Cidade Universitária**. Dissertação—Belém: Universidade Federal do Pará, 2021.

BASTOS, Fernanda. **Na COP28, maioria dos países assinam declaração para implementação de energias renováveis**. Revista EXAME. Disponível em: <<https://exame.com/esg/na-cop28-maioria-dos-paises-assinam-declaracao-para-implementacao-de-energias-renovaveis/>>. Acesso em: 29 nov. 2024.

BENNEMANN, C. B.; LIMA, F. P. A.; SILVA, R. F. B. A Evolução Histórica Da Sustentabilidade: Uma Análise Bibliográfica. *In: Sustentabilidade: desafios e impactos*. 1. ed. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2024. p. 8–20.

BOHNERT, Michele Krieger. **Retrato Da Produção Científica Brasileira Relacionada Aos Objetivos De Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise Bibliométrica a Partir Da Scopus (2016 a 2023)**. Dissertação—Porto Alegre: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2024.

BRASIL. 15.042. Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). . 11 dez. 2024.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. DECRETO N° 10.950. Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional. . 27 jan. 2022.

BRASIL, Secretaria de Relações Institucionais. **Brasil cumpriu sete dos oito objetivos de desenvolvimento do milênio**. Oficial da Presidência da República. Disponível em: <<https://www.gov.br/sri/pt-br/backup-secretaria-de-governo/portalfederativo/arquivos-privados/noticias/internacionais/brasil-cumpriu-sete-dos-oito-objetivos-de-desenvolvimento-do-milenio>>. Acesso em: 24 jan. 2025.

BRASIL, Secretaria Geral da República. **A Agenda 2030**. Oficial da Presidência da República. Disponível em: <<https://www.gov.br/secretariageral/pt-br/cnods/agenda-2030/a-agenda-2030>>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BRASIL, Serviço e Informações do Brasil. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira**. Oficial da Presidência da República. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>>. Acesso em: 24 jan. 2025.

BRUMATTI, Dayane Valentina; CHAVES, Gisele De Lorena Diniz; SIMAN, Renato Ribeiro. Proposição De Princípios Orientadores Para Uma Transição Energética Justa. **Latin American Journal of Energy Research**, v. 11, n. 2, p. 231–240, 26 dez. 2024.

CALABRESE, Armando *et al.* Implications for Sustainable Development Goals: A framework to assess company disclosure in sustainability reporting. **Journal of Cleaner Production**, v. 319, p. 128624, out. 2021.

CALVIN, Katherine *et al.* **IPCC, 2023: 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. [S.l.]**: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>. Acesso em: 21 maio. 2025.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Emissões Relativas De Poluentes Do Transporte Motorizado De Passageiros Nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, n. 2078, p. 42, abr. 2011.

CARVALHO, Izidio Sousa de. **Sis2ger E Sisgae2b Formando Um Ecossistema De Soluções Para Gerenciamento De Indicadores Elétricos, Ambientais E Financeiros Em**

**Sistemas De Geração Fotovoltaica E De Armazenamento De Energia.** Dissertação— Belém: Universidade Federal do Pará, 2023a.

CARVALHO, Ian Viana Mira De; PEREIRA, Ricardo Mendes. Impacto Econômico, Social E Político Da Transição Energética No Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 6, p. 715–736, 5 jun. 2024.

CARVALHO, Joel Alison Ribeiro. Proposição De Hardware E Softwares Para Transmissão De Dados Via Lora E Gsm: Estudo De Caso No Smart Campus Da Ufpa. 2023b.

CLIMATIQ. **Emission Factor: Marine diesel oil | Energy | Fuel | European Union | Climatiq.** Research. Disponível em: <<https://www.climatiq.io/data/emission-factor/69361f50-948f-4dbb-9eb3-657879bf3eda>>. Acesso em: 2 set. 2025.

COLUMBIA SIPA. **Global Consensus on Climate Change Is a Good Start.** , 2015.

COPPETEC. **Comparativo De Consumo De Combustível Entre Ônibus Equipados Com Aparelhos De Ar Condicionado E Ônibus Convencionais:** Comparativo de consumo de combustível entre ônibus. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2016. . Acesso em: 25 jun. 2025.

COSTA, Alexandre Sylvio Vieira Da; ANDRADE, Jéssica Rodrigues. Estimativa de receita na geração energética e crédito de carbono do aterro coletivo na microrregião de Teófilo Otoni. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 61, 23 jul. 2020.

COSTA, Ricardo Cunha da; BACELLAR, Rodrigo Matos Huet de. Descarbonização da matriz energética da Amazônia: análise de barreiras e oportunidades para biogás e biodiesel. v. v. 29, n. n. 58, p. 359–422, dez. 2022.

COSTA, Emmanuel Oliveira. As Transferências Voluntárias De Recursos Financeiros Do Governo Federal Às Entidades Públicas No Brasil: Contribuições Para O Acesso À Energia Limpa E Acessível. **São Paulo**, v. 11, n. 3, p. 93–122, dez. 2021.

COSTA, Luciana *et al.* A transição energética e o setor de petróleo e gás brasileiro. **Textos para discussão**, v. 156, n. BNDES, p. 41, 2023.

COUTO, Gabriel A. *et al.* Modelagem de Minirrede com Sistema Fotovoltaico, Diesel e Armazenamento de Energia Utilizando OpenDSS e Python. *In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS. Anais...* Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil: 2022a. Disponível em: <[https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sbse/article/view/3123](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/3123)>. Acesso em: 20 maio. 2025

COUTO, Gabriel Augusto Silva *et al.* Análise E Soluções Para a Qualidade Da Rede De Energia Elétrica Da Ufpa. **Revista Contemporânea**, v. 2, n. 5, p. 578–569, 26 set. 2022b.

CRUZ, Oscar Mendez. **Análisis del costo de mitigación de emisiones de carbono atribuible a la participación integrada de la generación solar, eólica y de biomasa, en el sistema eléctrico interconectado nacional, durante el 2021.** Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con mención en Energía—Lambayeque- Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”, 2024.

DALEI, Narendra N. *et al.* Sustainable Energy Challenges in Realizing SDG 7. *In: LEAL FILHO, Walter et al. (Orgs.). Affordable and Clean Energy.* Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 1–11.

DALLMANN, Tim. Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo. 2019.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL E POSSÍVEIS EFEITOS NO SETOR ELÉTRICO. 2018.

DE LA PEÑA, Lizette *et al.* Accelerating the energy transition to achieve carbon neutrality. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 177, p. 105957, fev. 2022.

DIAS, Reinaldo. O Papel Das Energias Renováveis No Cumprimento Dos Ods: Oportunidades E Desafios. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, v. 5, n. 1, p. 20, 27 jan. 2024.

DIB, Fabio Ribeiro. Pagamento por Serviços Ambientais, Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões e Mercado Voluntário de Carbono adesão do setor econômico do Agro: Mercado Voluntário de Carbono: horizonte de oportunidades. *In: Bioeconomia: conceitos, aplicações e novas tecnologias.* 1. ed. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2025. p. 104–119.

DZEBO, Adis *et al.* Exploring connections between the Paris Agreement and the 2030 Agenda for Sustainable Development. 7 nov. 2017.

EL BOSATY, Amr; KHAFAGY, Shady. **Reducing Greenhouse Gas Emissions in Oil Extraction: A Case Study of Solar Energy Utilization in PetroFarah.** [S.l.: S.n.]. v. Mediterranean Offshore Conference

FERNANDES, Sônia Maria; MAZZOLA, Felipe. Objetivos De Desenvolvimento Sustentável- a Evolução Do Objetivo 7. **ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE**, v. 18, n. 1, p. 16, 2016.

FERRAZ, Beatriz Biaggi; COOKE, Lina Braga Santin. **TRIBUTAÇÃO DOS CRÉDITOS DE CARBONO.** *Revista de Ciências Jurídicas e Sociais da UNIPAR*, v. 27, n. 1, p. 217–232, 4 dez. 2024.

FERREIRA, Isaias *et al.* Charging Strategies for Electric Vehicles from Renewable Hybrid Systems. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. e08380, 12 ago. 2024.

FERREIRA, Lindomayara França; SANTANA, José Ricardo; RAPINI, Márcia Siqueira. O Setor Energético No Brasil: Um Debate Sobre a Potencialidade Das Fontes Renováveis No Contexto Ambiental E Tecnológico. **RDE – Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. 49, p. 226–255, 2021.

FRANZOLIN, Cláudio José; KLINGOR, Bruna Dos Anjos; BROLLO, Maria Eduarda Ardinghi. Pobreza Energética do Cidadão e sua Vulnerabilidade Diante de uma Necessária Transição Energética. **Direito Público**, v. 21, n. 111, 31 out. 2024.

GAERTNER, Elaine Wantroba *et al.* Alinhamento de Pesquisas Científicas com os ODS da Agenda 2030: um Recorte Territorial. v. 10, n. 2, 2021.

GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**. (Mario Monzoni *et al.*, Orgs.)World Resources Institute, , 2008. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/ghg\\_protocol\\_duplas.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/ghg_protocol_duplas.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2025

GÓMEZ, Johana Paola Peña. El sistema de comercio de emisiones y sus limitaciones frente a la crisis climática. 2024.

GONÇALVES, Audrey Novelli. **Análise De Viabilidade De Alternativas Para Transição Energética E Descarbonização Em Uma Fábrica De Chocolates**. Dissertação—Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2024.

GOULARTE, Bruno Silveira; ALVIM, Augusto Mussi. A comercialização de créditos de carbono e seu impacto econômico e social. **A comercialização de créditos de carbono e seu impacto econômico e social**, v. 22, n. 1, p. 17, jun. 2011.

GRANDINI, Guillermo Antonio Cerávolo. Challenges and Strategies for Reforestation in Brazil: Productive Capacity and Carbon Credit Market Post-Paris Agreement. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 4, 2025.

IDAWATI, Wiwi *et al.* Influencing factors on sustainability reporting quality based on sustainable development goals (SDGS) considering COVID-19. **Business: Theory and Practice**, v. 25, n. 2, p. 509–522, 7 out. 2024.

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate Change *et al.* **Climate Change 2023: Synthesis Report**. [S.l.]: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>. Acesso em: 20 maio. 2025.

JARAMILLO, Paulina *et al.* Transport. *In: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2022. p. 112.

KUNZ, Airton *et al.* **Energia limpa e acessível: contribuições da Embrapa**. [S.l.]: Embrapa, 2018.

LEZAK, Stephen *et al.* Frameworks for conflict mediation in international infrastructure development: A comparative overview and critical appraisal. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 118099, 2019.

LIMA, Viviane Freitas Perdigão; REIS, Renata Caroline Pereira. ENQUANTO A REGULAÇÃO DORME: BENEFÍCIOS DO REDD+ E ATUAÇÃO DE ESTATAL FRENTE AO MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO. **ARACÊ**, v. 7, n. 2, p. 8905–8928, 1 fev. 2025.

LOBATO, Elen Priscila De Souza *et al.* Smart City: application of the ABNT NBR ISO 37122:2020 Standard in the University City of UFPA. *In: 2021 14TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APPLICATIONS (INDUSCON)*. **2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)**. São Paulo, Brazil: IEEE, 15 ago. 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9529522/>>. Acesso em: 20 maio. 2025

LOBATO, Elen Priscila de Souza. **Implantação de um middleware IoT escalável para aplicações de Mobilidade Elétrica Multimodal**. Dissertação—Belém: Universidade Federal do Pará, 2022.

LU, Mingxuan *et al.* A bi-level optimization strategy of electricity-hydrogen-carbon integrated energy system considering photovoltaic and wind power uncertainty and demand response. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 18, 2 jan. 2025.

LUCON, Oswaldo; COELHO, Suani. Depois da Rio+10: as lições aprendidas em Johannesburgo. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 11–18, 2002.

MARTINS, Ana Luisa Jorge *et al.* A Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como estratégia para equidade em saúde e territórios sustentáveis e saudáveis. **Saúde em Debate**, v. 48, n. spe1, p. e8828, ago. 2024.

MATA, Antônio Lucas dos Santos da; MONT'ALVERNE, Tarin Cristino Frota. Transição justa e desenvolvimento sustentável na União Europeia: o plano de investimento do Pacto Ecológico e o ODS 7. v. 15, n. 3, 2024.

MCTI. **Fator Médio - Inventários Corporativos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao/page>>. Acesso em: 3 set. 2025.

MOITA NETO, José Machado; SILVA, Mairton Celestino Da; OLIVEIRA JUNIOR, Geraldo Barboza De. Tecnologias energeticamente sustentáveis no semiárido brasileiro: potencialidades físicas e desafios socioambientais para uma transição energética justa e responsável. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 14, p. 601–616, 26 ago. 2024.

MONTEIRO, Ariane Maria Castro. **Análise Do Cenário Político Brasileiro Frente Às Mudanças Climáticas**. MaceióUNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, , 2023.

MORAIS, Fabrício Higo Monturil De *et al.* Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 4, p. 723–734, dez. 2021.

MORI, Robson Luis. As Mudanças Na Política Energética Dos Países Europeus E Os Seus Impactos Na Transição Energética Global: Uma Revisão Da Literatura a Partir De 2022. **Revista Contemporânea**, v. 5, n. 3, p. e7794, 27 mar. 2025.

NASCIMENTO, Ayrton L. Lisboa Do *et al.* Battery Energy Storage Systems Operation in a Hybrid Renewable System. *In: 2023 IEEE COLOMBIAN CARIBBEAN CONFERENCE (C3). 2023 IEEE Colombian Caribbean Conference (C3)*. Barranquilla, Colombia: IEEE, 22 nov. 2023a. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10436267/>>. Acesso em: 20 maio. 2025

NASCIMENTO, Ayrton Lucas Lisboa Do *et al.* Electric Mobility Study Using Digital Twin for an Electric Boat: Case Study of UFPA Poraquê Boat. *In: 2023 15TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APPLICATIONS (INDUSCON). 2023 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*. São Bernardo do Campo, Brazil: IEEE, 22 nov. 2023b. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10374959/>>. Acesso em: 20 maio. 2025

NESPOLO, Sabrina *et al.* Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade rural. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 3, p. 1–17, 1 jul. 2022.

NEW CLIMATE ECONOMY. **Better growth, better climate: the new climate economy report : the synthesis report**. Washington, DC: New climate economy, 2014.

NOGUEIRA, Matheus Lira *et al.* O mercado de carbono no Brasil: evolução regulatória e implicações contábeis. **Revista de Administração e Contabilidade da Faculdade Anísio Teixeira**, v. 17, n. 1, p. 1–16, 2025.

OLIVEIRA JÚNIOR, Marcos Antonio Cavalcante de; COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida. Políticas Públicas E Instrumentos Para Transição Energética: Uma Revisão Sistemática Da Literatura. *In:* 2023. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/378920881\\_POLITICAS\\_PUBLICAS\\_E\\_INSTRUMENTOS\\_PARA\\_TRANSICAO\\_ENERGETICA\\_uma\\_revisao\\_sistemica\\_da\\_literatura](https://www.researchgate.net/publication/378920881_POLITICAS_PUBLICAS_E_INSTRUMENTOS_PARA_TRANSICAO_ENERGETICA_uma_revisao_sistemica_da_literatura)>. Acesso em: 4 jun. 2025

OLIVEIRA, Rafael R. G. De *et al.* Desenvolvimento e aplicação de software de gerenciamento energético para comparação da demanda no período de pandemia do COVID-19. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA - 2020. **Anais do Congresso Brasileiro de Automática 2020**. sbabra, 7 dez. 2020. Disponível em: <[https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sba/article/view/1618](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sba/article/view/1618)>. Acesso em: 20 maio. 2025

OLIVEIRA, Tarsis Barreto; STAKOVIK JÚNIOR, Paulo Beli Moura. O Mercado De Carbono No Contexto Do Acordo De Paris. **Singular. Sociais e Humanidades**, v. 1, n. 6, p. 154–168, 28 jun. 2024.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Oficial da ONU. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 29 maio. 2025.

ONU, PNUMA. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. **Ambientalmente sustentável**, v. 25, n. 1, p. 171–190, 1 jan. 2018.

OSMAN, Ahmed I. *et al.* Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 2, p. 741–764, abr. 2023.

PAIXÃO JÚNIOR, Ulisses Carvalho. **Metodologia Para Desenvolvimento E Gestão De Comunidades De Energia, Com Estudo De Caso Na Universidade Federal Do Pará**. Tese—Belém: Universidade Federal do Pará, 2022.

PERES, Luiz Artur Pecorelli *et al.* Análise Energética e Ambiental da Utilização de Ônibus Elétrico em Serviços Turísticos. 2016.

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 271–283, abr. 2017.

POWER, Katherine; LU, Zhengyao; ZHANG, Qiong. Impacts of large-scale Saharan solar farms on the global terrestrial carbon cycle. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 10, p. 104009, 1 out. 2023.

PRATES, Juliana Costa Ribeiro *et al.* Afinal, vale a pena divulgar emissões de carbono no Brasil? **Enfoque: Reflexão Contábil**, v. 42, n. 1, p. 17–32, 10 fev. 2023.

REBOUÇAS, Ana Beatriz *et al.* **Análise operacional de ônibus elétricos a bateria em São Paulo: Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator**. São Paulo, Brazil: Heloant de Souza, nov. 2022.

REGO, Nuno; CASTRO, Rui; LAGARTO, João. Sustainable energy trading and fair benefit allocation in renewable energy communities: A simulation model for Portugal. **Utilities Policy**, v. 96, p. 101986, out. 2025.

RODRIGUES, Josivane Costa; SILVA, Cid Cunha Da. As perspectivas do setor energético brasileiro até 2030 à luz do ODS 7. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 3, p. e4368, 10 mar. 2025.

SÁ, Joiner dos Santos. **Desenvolvimento de Softwares e Algoritmo Baseado em Redes Neurais Artificiais para Suporte à Gestão da Mobilidade Urbana em Smart Campus com Característica Multimodal**. , 20 jul. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/16590>>

SANTIN, Maria Fernanda Cavaliéri De Lima. **Os Impactos Da Demanda Por Crédito De Carbono Sobre O Mercado De Certificações De Reduções De Emissões No Brasil, No Âmbito Do Protocolo De Quioto**. , 2007.

SANTOS, Antonio Nacílio Sousa Dos *et al.* Transição energética e preservação: integração de fontes renováveis, biodiversidade e economia verde em tempos de crise climática. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 23, n. 3, p. e9234, 14 mar. 2025.

SANTOS, Daniel Odilio dos *et al.* Transição Energética Em Redes Isoladas: Papel Da Geração Fotovoltaica E Do Armazenamento De Energia Na Descarbonização De Fernando De Noronha. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. **Anais CBENS 2024**. Natal: 2024.

SAUAIA, Andreia Ferreira De Assis. As Contribuições Da Transição Energética Para Os Objetivos De Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise Jurídico-Ambiental. **Periódicos LATTICE**, v. 2, n. 1, 12 mar. 2025.

SCOVAZZI, Tullio. Do Protocolo De Kyoto Ao Acordo De Paris. **Revista da Faculdade de Direito da UFMG**, n. 78, 22 dez. 2021.

SHABALOV, M. Yu. *et al.* The influence of technological changes in energy efficiency on the infrastructure deterioration in the energy sector. **Energy Reports**, v. 7, p. 2664–2680, nov. 2021.

SILVA, Beatriz Lorrane Farias Da *et al.* DIMENSIONAMENTO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: UM ESTUDO DE CASO NA UFRA/PARAUAPEBAS. *In: ENEGEP 2021 - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais...* Online: 30 out. 2021. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2021&c=42277>>. Acesso em: 17 jun. 2025

SILVA, Enid Rocha Andrade da (ORG.). **Agenda 2030 - ODS - Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** , 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8855?mode=simple>>. Acesso em: 3 jun. 2025

SILVA, EDINHO DO NASCIMENTO DA. **Sistema Web de Suporte A Mobilidade Multimodal em Smart Campus Usando Algoritmos Baseados em Inteligência Artificial e Análise Estatística.** , 16 ago. 2023.

SILVA, Karla Jarlita de Moura *et al.* Agenda 2030 e os desafios para a garantia de acesso à energia limpa e renovável. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 3, p. 7, 2019.

SILVA, Matheus Nunes Da; MARTINS, Raphaela Moura; AZEVEDO, Alexandre Reis De. Estudo de impactos ambientais no modal marítimo - revisão bibliográfica e análise bibliométrica. v. 1, n. 11, p. 13, 2023.

SILVA, Vladimir Olegovich Evskin Pinto Da. **Descarbonização em Processos de Elevada Intensidade Energética na Indústria. Estudo de Alternativas.** Dissertação— Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2024.

SOARES, Diogo da Fonseca; NORAT, Markus Samuel Leite. LIFE CYCLE ANALYSIS OF SOLAR PANELS AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACT. **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PAINÉIS SOLARES E SEU IMPACTO AMBIENTAL**, v. 4, n. 7, dez. 2024.

SOUZA, Ana Carolina Dias Barreto De. **Metodologia De Avaliação Do Desempenho Energético Da Integração De Carros Elétricos Em Edificações**. Tese—Belém: Universidade Federal do Pará, 2024.

SOUZA, Ana Carolina Dias Barreto De *et al.* Impact of Electric Vehicles Consumption on Energy Efficient and Self-Sufficient Performance in Building: A Case Study in the Brazilian Amazon Region. **Energies**, v. 17, n. 16, p. 4060, 16 ago. 2024.

TABORA, Jonathan Muñoz *et al.* Power Quality Assessment in E-Bus Charging Cycle. *In: ANAIS DA XIV CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA. Anais da XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*. Galoa, 2021a. Disponível em: <[https://proceedings.science/proceedings/100186/\\_papers/130606](https://proceedings.science/proceedings/100186/_papers/130606)>. Acesso em: 20 maio. 2025

TABORA, Jonathan Muñoz *et al.* Análise de Engenharia Ex-Ante aplicada a uma Edificação com Operação em Horário de Ponta. *In: ANAIS DA XIV CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA. Anais da XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*. Galoa, 2021b. Disponível em: <[https://proceedings.science/proceedings/100186/\\_papers/130605](https://proceedings.science/proceedings/100186/_papers/130605)>. Acesso em: 20 maio. 2025

TOMADON, Ana Paula. Mercado de carbono como mecanismo de mitigação às mudanças climáticas: análise da produção científica brasileira. 17 set. 2024.

TURCI, Luiz Felipe Ramos; ROA, Yull Heilordt Henao; MUNIZ, Anderson. ODS 7 - energia acessível e limpa: o cenário peculiar de Poços de Caldas-MG. **Expressa Extensão**, v. 28, n. 1, p. 5–16, 30 dez. 2022.

UFPA, Universidade Federal do Pará; NORTE ENERGIA. **Projeto SIMA - Relatório Final - UFPA\_29.07.2024**. , 29 jul. 2024.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-second session, held in Marrakech from 7 to 18 November 2016**. , 2016.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change (ORG.). **Report of the Conference of the Parties on its twenty-fourth session, held in Katowice from 2 to 15 December 2018. Part one: Proceedings**. , 2018. Disponível em: <<https://unfccc.int/event/cop-24>>. Acesso em: 21 maio. 2025

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-sixth session, held in Glasgow.** , 2021.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-seventh session, held in Sharm el-Sheikh.** , 2022.

UNICAMP, Instituto de Geociências. **Rumo a um sistema de mobilidade de baixo carbono** | **Instituto de Geociências.** Disponível em: <<https://portal.ige.unicamp.br/news/2019-02/rumo-um-sistema-de-mobilidade-de-baixo-carbono>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

UNITED NATIONS. **UN Climate Change Conferences.** Disponível em: <<https://www.un.org/en/climatechange/un-climate-conferences>>. Acesso em: 24 jan. 2025.

VALADÃO, Giovana Franco. **Potencial do sistema fotovoltaico como uma alternativa ao suprimento energético em irrigação no Brasil.** Mestre em Engenharia Agrícola—Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 21 fev. 2022.

VAN DER WAAL, Johannes W. H.; THIJSSSENS, Thomas; MAAS, Karen. The innovative contribution of multinational enterprises to the Sustainable Development Goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 125319, fev. 2021.

VERRA. **Methodology for Grid-Connected Energy Storage Systems.** Disponível em: <<https://verra.org/methodologies/methodology-for-grid-connected-energy-storage-systems/>>. Acesso em: 26 maio. 2025.

VIANA, Frederico Campos; QUEIROZ, Vitor Carvalho. E Se O Mercado De Carbono Fosse Acessível Para Todo Mundo? Relato De Um Experimento. *In*: 2023.

VIEIRA, Michael Raphael Soares. **Energia Acessível E De Qualidade: Os Desafios Para a Garantia De Acesso À Energia Renovável No Amazonas.** Dissertação—Manaus: UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, 2022.

WEI, Yongmei *et al.* The carbon reduction effects of stepped carbon emissions trading and carbon capture and storage on hybrid wind-PV-thermal- storage generation operating systems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 38, p. 88664–88684, 13 jul. 2023.

YANG, Xiaodong *et al.* Interval Estimation Method for Uncertainties in Capacity Factors to Calculate the Capacity Credit of Renewable Energy Sources. *In*: 2022 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING AND CONTROL TECHNOLOGIES (CEECT). **2022 4th International Conference on Electrical Engineering**

**and Control Technologies (CEECT)**. Shanghai, China: IEEE, dez. 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10030276/>>. Acesso em: 20 maio. 2025

ZHAO, Zicheng. Quantification of Carbon Emission Technologies Based on Knowledge Graph Bert-BiLSTM-Attention-CRF Model. *In: 2023 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS AND DEVICES, COMPUTATIONAL SCIENCE (ICEDCS)*. **2023 International Conference on Electronics and Devices, Computational Science (ICEDCS)**. Marseille, France: IEEE, 22 set. 2023. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10361660/>>. Acesso em: 20 maio. 2025

ZHUANG, Wanling *et al.* A Multi-Time Scale Dispatch Strategy Integrating Carbon Trading for Mitigating Renewable Energy Fluctuations in Virtual Power Plants. **Energies**, v. 18, n. 10, p. 2624, 19 maio 2025.