



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Tese de Doutorado

USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS INTEGRADOS  
COM A REDE ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE  
MOBILIDADE ELÉTRICA NA AMAZÔNIA.

BRUNO SANTANA DE ALBUQUERQUE

**TD 09/2025**

BELÉM

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO SANTANA DE ALBUQUERQUE

USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS INTEGRADOS  
COM A REDE ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE  
MOBILIDADE ELÉTRICA NA AMAZÔNIA.

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de doutor em Engenharia Elétrica, sob orientação da Profa. Dr. Maria Emília de Lima Toste.

**TD 09/2025**

BELÉM  
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)**

---

S231u Santana De Albuquerque, Bruno.  
Uso de Recursos Energéticos Distribuídos Integrados com a Rede Elétrica: Estudo De Caso do Sistema de Mobilidade Elétrica na Amazônia. / Bruno Santana De Albuquerque, . — 2025.  
135 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Maria Emília de Lima Tostes  
Coorientador(a): Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2025.

1. Recursos Energéticos Distribuídos. 2. Sistemas Fotovoltaicos. 3. Mobilidade Elétrica Sustentável. 4. Armazenamento de Energia. 5. Amazônia. I. Título.

CDD 621.31

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

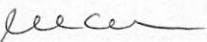
**"USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS INTEGRADOS COM A REDE ELÉTRICA:  
ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE MOBILIDADE ELÉTRICA NA AMAZÔNIA"**

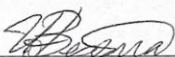
AUTOR: **BRUNO SANTANA DE ALBUQUERQUE**

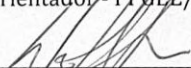
TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

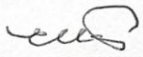
APROVADA EM: 13/05/2025

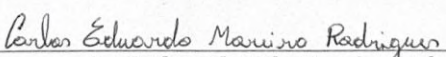
**BANCA EXAMINADORA:**

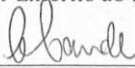
  
\_\_\_\_\_  
**Prof.ª Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes**  
(Orientadora - PPGEE/ITEC/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra**  
(Coorientador - PPGEE/ITEC/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca**  
(Avaliador Interno - PPGEE/ITEC/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Edson Ortiz de Matos**  
(Avaliador Externo ao Programa - FEEB/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Carlos Eduardo Moreira Rodrigues**  
(Avaliador Externo ao Programa - ITEC/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Cláudio Luciano da Rocha Conde**  
(Avaliador Externo - NGTM)

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Rogério Diogne de Souza e Silva**

**VISTO:**

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso**  
(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa, Lia, que se faz fortaleza em meus momentos de fragilidade, sendo apoio, inspiração e amor constante em cada passo da minha caminhada.

Agradeço imensamente aos meus pais, Djalma e Elen, e aos meus irmãos, Breno e Bianca, por todo seu apoio, ajuda e incentivo nos momentos difíceis.

Aos irmãos dos “Brothers” que compartilharam comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

A minha orientadora Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> M<sup>a</sup> Emília de Lima Tostes e ao Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra pela colaboração, paciência e seus conhecimentos repassados durante todo o desenvolvimento do trabalho, além da grande amizade formada.

Aos membros da banca por terem aceitado o convite e por suas contribuições a este trabalho e por todos os conselhos e pela ajuda com a qual guiou o meu aprendizado.

E por fim, a todos os amigos, professores, pesquisadores e colaboradores do CEAMAZON, pelo ambiente amistoso no qual convivemos o que foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa e a realização deste trabalho.

Os agradecimentos são uma pequena forma de retribuí-los e reconhecer tudo o que fizeram por mim. Muito obrigado.

## RESUMO

Esta tese investiga a integração de Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) com a rede elétrica no contexto amazônico, por meio da análise empírica de um sistema real de mobilidade elétrica multimodal implantado na Universidade Federal do Pará (UFPA). O sistema, denominado SIMA (Sistema Inteligente Multimodal da Amazônia), combina geração fotovoltaica (conectada e isolada), armazenamento de energia, veículos elétricos terrestres e fluviais, eletropostos e infraestrutura digital de monitoramento. Adotando uma abordagem sistêmica e aplicada, o trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho energético integrado desses subsistemas em diferentes cenários operacionais e climáticos, próprios da região amazônica. A partir de dados reais de operação, foram desenvolvidas ferramentas digitais e indicadores técnicos que permitem monitoramento em tempo real, balanço energético e avaliação de eficiência e autossuficiência. Essas ferramentas foram concebidas com foco na interoperabilidade, de modo a garantir compatibilidade com diferentes tipos, modelos e fabricantes de equipamentos presentes no sistema, viabilizando sua replicação e integração em ambientes heterogêneos. Além disso, o trabalho realiza uma avaliação crítica do quanto o sistema atende ao conceito de Energia Zero, com base no balanço entre geração e consumo ao longo do período analisado. O estudo contribui com subsídios técnicos para a replicação de soluções sustentáveis em regiões remotas, propondo um modelo de referência para projetos que busquem aliar mobilidade elétrica, energias renováveis e resiliência energética em contextos tropicais.

**PALAVRAS-CHAVES:** Recursos Energéticos Distribuídos, Sistemas Fotovoltaicos, Mobilidade Elétrica Sustentável, Armazenamento de Energia, Amazônia.

## ABSTRACT

This doctoral thesis investigates the integration of Distributed Energy Resources (DERs) with the electrical grid in the Amazonian context through the empirical analysis of a real-world multimodal electric mobility system implemented at the Federal University of Pará (UFPA). The system, named SIMA (Intelligent Multimodal System of the Amazon), combines photovoltaic generation (both grid-connected and off-grid), energy storage systems, land and river electric vehicles, charging stations, and a digital monitoring infrastructure. Adopting a systemic and application-oriented approach, the main objective is to assess the integrated energy performance of these subsystems under different operational and climatic scenarios specific to the Amazon region. Based on real operational data, digital tools and technical indicators were developed to enable real-time monitoring, energy balancing, and the evaluation of efficiency and self-sufficiency. These tools were designed with a focus on interoperability, ensuring compatibility with various types, models, and manufacturers of equipment used in the system, thus facilitating integration and replication in heterogeneous environments. Furthermore, the study includes a critical assessment of the extent to which the system meets the concept of Zero Energy, based on the balance between energy generation and consumption over the analyzed period. The research provides technical insights for replicating sustainable solutions in remote regions, proposing a reference model for projects that aim to integrate electric mobility, renewable energy, and energy resilience in tropical contexts.

**Keywords:** Distributed Energy Resources (DERs), Photovoltaic Systems, Electric Mobility, Energy Storage, Amazon Region.

## Sumário

Capítulo 1 - Introdução .....	14
1.1 Objetivos .....	16
1.2 Estrutura da Teses .....	17
Capítulo 2 - Tendências atuais e novas perspectivas .....	18
2.1 Panorama Cienciométrico da Área de Estudo.....	18
2.2 Geração distribuída no Brasil.....	23
2.3 Sistemas Fotovoltaicos.....	27
2.4 Sistemas de Armazenamento .....	31
2.5 Veículos elétricos .....	40
Capítulo 3 - Objeto de estudo: Projeto SIMA.....	46
3.1 Sistema Fotovoltaico do Mirante do Rio .....	47
3.2 Minirrede Híbrida do CEAMAZON.....	48
3.3 Mobilidade Elétrica.....	49
Capítulo 4 - Metodologia.....	54
4.1 Análise de dados .....	55
4.2 Simulação Barco .....	58
4.3 Sistemas Desenvolvidos.....	59
Capítulo 5 - Resultados.....	67
5.1 Programas desenvolvidos.....	67
5.2 Análise Meteorológica .....	88
5.3 Balanço Energético .....	90
5.4 Análise de cenários .....	104
5.5 Análise de eficiência do projeto.....	112
Capítulo 6 - Conclusão .....	115
Referência Bibliográfica .....	117
Apêndice I - Requisitos iniciais do SGGER e SISGAE2B .....	123
Apêndice II - Resultados do desenvolvimento do SGGER e do SISGAE2B.....	128
Apêndice III - Sistema SIMA.....	143
Apêndice IV - Irradiação global de Belém.....	153
Apêndice V - Caracterização da curva de geração dos Sistema Fotovoltaicos.....	156

Anexo I – Folha de dados de equipamentos.....	173
Anexo II – Especificações dos Modais Elétricos .....	174
Anexo III – Especificações dos Carregadores Elétricos .....	175

## Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de Palavras-Chave.....	20
Figura 2 – Mapa de Palavras-Chave por tempo. ....	21
Figura 3 – Análise de cienciografia: informações gerais. ....	21
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira. ....	26
Figura 5 – Crescimento anual dos sistemas fotovoltaicos no Brasil. ....	26
Figura 6 – Principais componentes de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. ....	28
Figura 7 - Principais componentes de um Sistema Fotovoltaico Isolado. ....	29
Figura 8 – Principais componentes de um Sistema Fotovoltaico Híbrido. ....	30
Figura 9 – Acréscimo da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo. ....	31
Figura 10 – Aplicações para sistema de armazenamento de energia. ....	33
Figura 11 – Projeção do crescimento mundial de SA integrados a edificações.....	34
Figura 12 – Backup de energia.....	35
Figura 13 – Redução de demanda de pico.....	36
Figura 14 - Redução de consumo no horário de ponta.....	36
Figura 15 – Comercialização de veículos elétrico no mundo. ....	40
Figura 16 – Quantidade de eletropostos públicos disponíveis no mundo: (a) Carga lenta; (b) Carga rápida. ....	41
Figura 17 – Pinagem do Conector SAE-J1772 .....	42
Figura 18 - Modos de operação para o sistema de carregamento de VE conectado à rede e a sistema FV. (a) FV para bateria; (b) rede para bateria; (c) FV e rede para bateria; (d) FV para rede; (e) veículo para rede. ....	44
Figura 19 - Descrição gráfica da metodologia de execução do projeto .....	47
Figura 20 – Vista superior do sistema fotovoltaico do Mirante do Rio. ....	47
Figura 21 – Esquemático da minirrede do CEAMAZON.....	49
Figura 22 - Ônibus Rodoviário.....	50
Figura 23 - Trajeto Belém – Castanhal. ....	50
Figura 24 – Ônibus Urbano.....	50
Figura 25 - Percurso no Campus Guamá – Belém. ....	51
Figura 26 – Vista renderizada do barco elétrico.....	51
Figura 27 - Esquema resumido do projeto do Barco Elétrico. ....	52
Figura 28 - Eletroposto BYD modelo EVA080KI/01 do Ginásio. ....	52
Figura 29 - Eletroposto ABB modelo TERRA 54HV CJG – 3P639901000 do Ginásio.....	53

Figura 30 - Eletroposto ABB modelo EVLunic Pro M W22 G6 R C do CEAMAZON. ....	53
Figura 31 - Eletroposto BYD modelo EVA080KI/01 do CEAMAZON. ....	53
Figura 32 - Característica externas que podem impactam na geração de energia pelo SF. ....	56
Figura 33 - Fatores que impactam no consumo de energia dos VEs. ....	56
Figura 34 - Fatores que impactam no consumo de energia do prédio. ....	56
Figura 35 - Fatores que impactam no consumo de energia gerida pelo SA. ....	57
Figura 36 – Diagrama de fluxo da tese. ....	58
Figura 37 – Exemplo de sistema de controle do barco elétrico. ....	59
Figura 38 – Fluxograma das atividades realizadas. ....	61
Figura 39 – Arquitetura geral do SGGER. ....	62
Figura 40 – Arquitetura da Dojot. ....	63
Figura 41 – Arquitetura geral do SISGAE2B. ....	64
Figura 42 – Arquitetura Computacional do Sistema SIMA. ....	66
Figura 43 – Tela de Login. ....	68
Figura 44 - Tela de Login com Menu de Aplicação em evidência. ....	68
Figura 45 – Tela de Login com Menu de Ferramentas em evidência. ....	69
Figura 46 - Tela de Cadastro do software. ....	69
Figura 47 – Tela de Edição de Perfil de Usuário. ....	70
Figura 48 - Tela inicial do software. ....	71
Figura 49 – Tela de Grandezas elétricas. ....	71
Figura 50 – Tela de grandezas com duas grandezas diferentes. ....	72
Figura 51 – Eixos habilitados e desabilitados para serem inseridos na tela de grandezas. ....	72
Figura 52 - Gráficos de barras da tela de grandezas com integralização de 1 dia. ....	73
Figura53 – Tela de indicadores. ....	73
Figura 54 – Tela de análise financeira. ....	74
Figura 55 – Tela de análise financeira com a opção única de custo. ....	74
Figura 56 – Tela de medidores. ....	75
Figura 57 – Tela de medidores com a edição de um medidor. ....	75
Figura 58 – Tela de edição de medidores com pop-up de seleção de local de instalação. ....	76
Figura 59 – Tela de gerenciamento de agrupamentos. ....	76
Figura 60 – Tela de alertas. ....	77
Figura 61 – Tela de Sobre. ....	77
Figura 62 – Tela de Logs. ....	78
Figura 63 – Tela de Logs com filtro por usuário. ....	78

Figura 64 – Tela de Configurações e gerenciamento de usuários.....	79
Figura 65 – Tela de Configurações com gerenciamento de posto tarifário.....	79
Figura 66 – Tela de Login.....	80
Figura 67 – Tela inicial do software.....	81
Figura 68 – Tela de detalhes da tela inicial do software. ....	81
Figura 69 – Tela de Grandezas.....	82
Figura 70 - Gráficos de barras da tela de grandezas com integralização de 1 dia.....	82
Figura 71 – Tela de indicadores. ....	83
Figura 72 - Tela de análise financeira. ....	83
Figura 73 – Tela de medidores.....	84
Figura 74 – Tela de Login.....	85
Figura 75 – Tela de Cadastro. ....	86
Figura 76 – Tela inicial do software.....	86
Figura 77 – Tela de dispositivos. ....	87
Figura 78 – Tela de configuração.....	87
Figura 79 – Histórico de radiação global e precipitação para a cidade de Belém.....	90
Figura 80 – Gráfico de geração de energia mensal dos SFV do projeto SIMA de 2021 a 2024. .....	93
Figura 81 - Curva de geração de energia mensal anual dos SFV do projeto SIMA, sendo: (a) Controlador de Carga, (b) Fronius, (c) SMA (d) Mirante do Rio. ....	94
Figura 82 - Consumo de energia mensal dos ônibus elétricos do projeto SIMA.....	95
Figura 83 - Consumo médio diário de energia elétrica do OE rodoviário. ....	97
Figura 84 - Consumo médio diário de energia elétrica do OE urbano.....	98
Figura 85 - Variação do CMD em relação à média anual. ....	99
Figura 86 – Histórico de consumo real e estimado dos ônibus elétricos. ....	99
Figura 87 – Sistema fotovoltaico do barco elétrico.....	100
Figura 88 – Sistema para representação dos parâmetros físicos do barco. ....	101
Figura 89 – Consumo de energia elétrica mensal do barco elétrico.....	102
Figura 90 – Consumo de energia elétrica mensal do prédio do CEAMAZON.....	103
Figura 91 – Balanço energético do SIMA de 2022-2024.....	104
Figura 92 – Autonomia média diária mensal dos ônibus elétricos.....	105
Figura 93 - Autonomia média diária mensal dos OE rodoviário e urbano desde a sua entrada em operação.....	105
Figura 94 – Operação do Sistema de Armazenamento no dia 15/03/2022. ....	108

Figura 95 – Funcionamento do SA no dia 25/10/2022. ....	108
Figura 96 – Funcionamento do SA no dia 14/08/2022. ....	109
Figura 97 – Funcionamento do SA no dia 10/10/2022. ....	110
Figura 98 – Funcionamento do SA no dia 23/03/2022. ....	110
Figura 99 - Funcionamento do SA no dia 23/12/2022. ....	111
Figura 100 - Funcionamento do SA no dia 16/09/2022. ....	112
Figura 101 – Gráfico de Eficiência Energética: Caso real. ....	113
Figura 102 – Gráfico de Eficiência Energética: Caso estimado.....	114
Figura 103 – Bibliotecas Pyhton instaladas. ....	128
Figura 104 – Fluxograma da API Flash. ....	129
Figura 105 – Fluxo de Cálculo Instantâneo do SGGER e do SISGAE2B. ....	130
Figura 106 - Bloco de esperar publicação em dispositivo.....	130
Figura 107 – Bloco de captura de Payload.....	131
Figura 108 – Bloco de requisição HTTP.....	131
Figura 109 – Modelos dos Sistemas Fotovoltaicos criados na Dojot. ....	139
Figura 110 – Modelos dos Sistemas Fotovoltaicos criados na Dojot. ....	140
Figura 111 – Fluxo de Cálculo Instantâneo do SGGER criado na Dojot. ....	141
Figura 112 – Fluxo de Cálculo Instantâneo criado na Dojot.....	141
Figura 113 – Blocos do Fluxo de Decifragem LoRa ....	142
Figura 114 – Diagrama do Banco de Dados do projeto SIMA. ....	143
Figura 115 – Curva de geração dos SFV no dia 15/03/2022. ....	156
Figura 116 – Curva de carga CEAMAZON 15/03/2022. ....	157
Figura 117 – Curva de geração dos SFV no dia 25/10/2022. ....	158
Figura 118 – Curva de carga CEAMAZON do dia 15/03/2022 ....	159
Figura 119 – Curva de geração dos SFV no dia 14/08/2022. ....	160
Figura 120 – Curva de carga CEAMAZON 14/08/2022. ....	161
Figura 121 – Curva de geração dos SFV no dia 15/08/2022. ....	161
Figura 122 – Curva de carga CEAMAZON 15/08/2022. ....	163
Figura 123 – Curva de geração dos SFV no dia 10/10/2022. ....	163
Figura 124 – Curva de carga CEAMAZON 10/10/2022 ....	165
Figura 125 – Curva de geração dos SFV no dia 23/03/2022. ....	165
Figura 126 – Curva de geração dos SFV no dia 23/03/2022. ....	167
Figura 127 – Curva de carga CEAMAZON 23/03/2022 ....	168
Figura 128 – Curva de geração dos SFV no dia 23/12/2022. ....	168

Figura 129 – Curva de carga CEAMAZON 23/12/2022 .....	170
Figura 130 – Curva de geração dos SFV no dia 16/09/2022. ....	170
Figura 131 – Curva de carga do CEAMAZON no dia 16/09/2022. ....	172

## Capítulo 1 - Introdução

A história do fornecimento de energia elétrica remonta a aproximadamente dois séculos, com o primeiro suprimento público registrado em 1881, na cidade de Godalming, Inglaterra. Desde então, a consolidação de padrões técnicos — como a adoção da corrente alternada — estabeleceu as bases para os sistemas centralizados de geração, transmissão e distribuição que prevaleceram ao longo do século XX.

Nas últimas décadas, contudo, o setor elétrico tem enfrentado transformações profundas, impulsionadas por demandas ambientais, sociais e tecnológicas. A crescente penetração de fontes renováveis intermitentes, a necessidade de descarbonização e o avanço das tecnologias de informação e comunicação têm promovido a transição para uma rede elétrica mais ativa, descentralizada e digitalizada (Escobar, Matamoros, Padilla, & Ixchel Lina Reyes, 2021); (Ibrahim, Dong, & Yang, 2020).

Nesse contexto, a geração distribuída (GD), especialmente a fotovoltaica, tem ganhado destaque em todo o mundo. Segundo a International Energy Agency (IEA, 2022), a capacidade global de fontes renováveis deve crescer 8% ao ano até 2027, com a energia solar desempenhando papel central na matriz elétrica. A crise energética recente na Europa reforçou a importância de fontes locais, limpas e seguras como alternativa ao gás natural.

Paralelamente, os sistemas de armazenamento de energia (SAE) têm se consolidado como elementos estratégicos para garantir a confiabilidade da rede e a integração eficiente das fontes renováveis. A tecnologia de baterias de íon-lítio lidera esse movimento, sendo aplicada tanto em sistemas conectados à rede quanto em instalações isoladas (Shaqsi, Sopian, & Al-Hinai, 2020; IEA, 2024). Países como Alemanha, China e Estados Unidos já operam soluções híbridas combinando GD e SAE em larga escala.

Outro vetor relevante da transição energética é a mobilidade elétrica. A crescente adoção de veículos elétricos (VEs) está redefinindo a dinâmica de consumo e armazenamento de energia. Além do papel como carga, os VEs podem atuar como recursos de apoio à rede elétrica, por meio do conceito Vehicle-to-Grid (V2G), já testado em projetos-piloto e normas técnicas (Aviles, Trivedi, & Williamson, 2020; Bhatti, Salam, & Ashique, 2016).

A convergência dessas tecnologias — geração renovável, armazenamento, mobilidade elétrica e digitalização — dá origem às redes elétricas inteligentes (smart grids). Essas redes permitem o gerenciamento em tempo real de fluxos de energia, integração de consumidores ativos (prosumidores) e otimização da operação elétrica, promovendo eficiência, resiliência e sustentabilidade (Ibrahim, Dong, & Yang, 2020).

Apesar desses avanços, a implementação prática dessas tecnologias varia consideravelmente conforme o contexto local. Regiões periféricas ou isoladas, como a Amazônia brasileira, ainda enfrentam importantes limitações em infraestrutura, logística e dados técnicos. Segundo a IRENA (2020), políticas públicas e soluções energéticas descentralizadas adaptadas à realidade local são essenciais para garantir uma transição energética inclusiva. Iniciativas como o programa “Mais Luz para a Amazônia” exemplificam o uso de sistemas fotovoltaicos isolados como alternativa ao diesel em comunidades remotas (Salomão & Almeida, 2022).

Na Amazônia, a complexidade climática e territorial impõe desafios específicos à adoção de sistemas tecnológicos. A alta umidade, a presença constante de nuvens e o difícil acesso físico impactam diretamente o desempenho e a manutenção de sistemas fotovoltaicos, de armazenamento e de recarga elétrica (Pinho & Galdino, 2014; Shaqsi et al., 2020). Além disso, os modais fluviais requerem infraestrutura de recarga adaptada, considerando aspectos como tempo de navegação e disponibilidade elétrica em pontos de ancoragem.

Nesse cenário, os Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) surgem como eixo integrador das soluções tecnológicas necessárias para viabilizar sistemas sustentáveis em regiões tropicais. Os REDs incluem, entre outros, a geração fotovoltaica, os sistemas de armazenamento, os veículos elétricos e mecanismos de resposta à demanda. A literatura aponta que a integração eficiente desses recursos exige novas arquiteturas de controle, modelos operacionais e infraestrutura de comunicação robusta (Lund et al., 2015; Lopes, Moreira & Madureira, 2020).

No entanto, ainda são escassas as pesquisas que abordam, de forma sistêmica, o desempenho de REDs em ambientes tropicais úmidos, com dados reais de operação. A maior parte dos estudos existentes limita-se a análises computacionais ou demonstrações em laboratório, sem considerar aspectos climáticos e operacionais da Amazônia.

Esta tese visa preencher essa lacuna ao analisar um sistema real de mobilidade elétrica multimodal implantado na Universidade Federal do Pará (UFPA), composto por ônibus e barco elétricos, sistemas fotovoltaicos (conectados e isolados), baterias de armazenamento e infraestrutura de monitoramento. O objetivo principal é avaliar o desempenho energético do sistema e propor indicadores que orientem futuras implementações em regiões de características similares. A originalidade da proposta reside na abordagem integrada e empírica, aliando dados históricos de operação a ferramentas digitais de apoio à decisão. Além disso, o estudo busca desenvolver métricas de eficiência, autossuficiência e confiabilidade energética específicas para contextos amazônicos, considerando variáveis como topografia, sazonalidade solar,

logística de recarga e perfis de uso. Ao apresentar um modelo replicável, baseado em dados reais e adaptado às condições brasileiras, esta tese contribui não apenas com a literatura técnica sobre REDs, mas também com os esforços nacionais e internacionais voltados à universalização do acesso à energia e à mobilidade sustentável.

## **1.1 Objetivos**

O presente trabalho tem como propósito central apoiar a concepção, implementação e avaliação de sistemas elétricos sustentáveis que integrem Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) e mobilidade elétrica multimodal no contexto da Região Amazônica. Para isso, adota-se uma abordagem sistêmica e aplicada, baseada na análise de dados reais de operação de um sistema piloto implantado na Universidade Federal do Pará (UFPA), combinando geração fotovoltaica, armazenamento de energia, veículos elétricos e infraestrutura de monitoramento inteligente.

### **1.1.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho energético de um sistema de apoio à mobilidade elétrica multimodal, composto por ônibus e embarcação elétrica, integrados a sistemas fotovoltaicos, unidades de armazenamento, eletropostos, redes de comunicação e ferramentas de gestão inteligente, considerando as especificidades climáticas e logísticas da Região Amazônica.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

O sistema de transporte inteligente aqui desenvolvido é denominado de Sistema Inteligente Multimodal da Amazônia (SIMA) e foi estruturado em seis subsistemas interligados, que consistem nos objetivos mensuráveis descritos a seguir:

- a. Desenvolver ferramentas digitais de monitoramento e visualização que subsidiem a tomada de decisão energética em tempo real;
- b. Estruturar uma base de dados histórica consolidada para análise do desempenho técnico-operacional dos componentes do sistema;
- c. Realizar o balanço energético integrado dos subsistemas (geração, armazenamento, recarga e consumo veicular);
- d. Verificar as particularidades do funcionamento do sistema de mobilidade elétrica multimodal e do seu sistema de apoio energético funcionando em diferentes cenários de operação, como os que sofrem influência por estarem em operação na região amazônica.

## 1.2 Estrutura da Teses

Esta tese está organizada em seis capítulos, estruturados conforme a sequência lógica do desenvolvimento da pesquisa:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Apresenta o contexto energético global e regional, a motivação do estudo, o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa da tese, além de destacar as contribuições esperadas.
- **Capítulo 2 – Tendências Atuais e Novas Perspectivas:** Realiza uma revisão do estado da arte sobre geração distribuída, sistemas fotovoltaicos, armazenamento de energia, veículos elétricos, redes inteligentes e integração de REDs em contextos tropicais e remotos.
- **Capítulo 3 – Objeto de Estudo: Projeto SIMA:** Descreve o sistema piloto estudado, detalhando os modais elétricos utilizados (ônibus e barco), os sistemas de geração e armazenamento, os eletropostos e a infraestrutura de comunicação implantada no campus da UFPA.
- **Capítulo 4 – Metodologia:** Apresenta os procedimentos adotados para coleta e tratamento dos dados, desenvolvimento de ferramentas de monitoramento, cálculo do balanço energético e definição dos indicadores de desempenho.
- **Capítulo 5 – Resultados:** Traz a análise dos dados obtidos, incluindo a avaliação dos fluxos energéticos, desempenho dos sistemas ao longo do tempo, cenários simulados e análise crítica das limitações e potencialidades da solução.
- **Capítulo 6 – Conclusão:** Sintetiza os principais achados do estudo, discute suas contribuições para o campo da engenharia elétrica e aponta direções para trabalhos futuros, incluindo recomendações para replicação em outras regiões amazônicas ou tropicais.

## **Capítulo 2 - Tendências atuais e novas perspectivas**

O presente capítulo apresenta as principais características das tecnologias que serão abordadas neste estudo. Dessa forma, serão evidenciados os principais parâmetros que influenciam no desempenho na geração de energia, de sistemas fotovoltaicos, na gestão de energia de sistemas de armazenamento e no consumo de energia por veículos elétricos e outros.

Além disso, evidenciar conceitos e características sensíveis aos diferentes sistemas estudado, para no decorrer deste trabalho possa se verificar a influência de características locais no desempenho de cada um deles.

### **2.1 Panorama Cienciométrico da Área de Estudo**

A análise cienciométrica foi realizada a partir de um conjunto de artigos científicos extraídos da base Web of Science, abrangendo publicações dos últimos seis anos (2019–2025), com foco nas temáticas centrais desta pesquisa: Recursos Energéticos Distribuídos (REDs), geração fotovoltaica, sistemas de armazenamento de energia, mobilidade elétrica, integração com smart grids e desafios em regiões tropicais ou isoladas, como a Amazônia.

Os dados bibliográficos foram exportados no formato BibTeX, permitindo a extração de informações relevantes como palavras-chave, autores, instituições, países e periódicos de maior incidência. A amostra obtida contém estudos de diferentes enfoques — desde simulações computacionais, análises experimentais e revisões sistemáticas — refletindo a natureza multidisciplinar do campo.

Principais palavras-chave:

A análise das palavras-chave revelou a forte recorrência de termos como:

- Distributed Energy Resources (DER)
- Photovoltaic systems
- Battery energy storage
- Smart grid
- Electric vehicles
- Vehicle-to-grid (V2G)
- Renewable energy integration
- Microgrid
- Energy management
- Decentralized energy

Estes termos aparecem de forma combinada em diversos trabalhos, indicando o interesse da comunidade científica na integração coordenada de tecnologias energéticas limpas com mobilidade elétrica e digitalização da rede. Também se destacam temas como otimização de sistemas híbridos, resiliência energética em comunidades remotas e gestão de demanda em smart grids, reforçando a relevância do escopo proposto nesta tese.

#### Autores e instituições de destaque

Entre os autores mais citados e prolíficos aparecem nomes como H. Lund, J. A. Peças Lopes, Z. Salam, S. S. Williamson, e D. Connolly, que frequentemente publicam sobre smart energy systems, integração de REDs e V2G.

Em termos institucionais, destacam-se universidades e centros de pesquisa da Europa (Dinamarca, Portugal, Alemanha), Estados Unidos, e China, que lideram as publicações na área. Países da América Latina ainda aparecem com menor frequência, sendo o Brasil um dos poucos que apresentam contribuições relevantes, embora majoritariamente voltadas a estudos de caso localizados.

#### Periódicos mais recorrentes

Os artigos da amostra estão concentrados em periódicos de alto fator de impacto na área de energia e engenharia elétrica, como:

- Renewable and Sustainable Energy Reviews
- Energy
- IEEE Transactions on Smart Grid
- Applied Energy
- Electric Power Systems Research

Tais periódicos evidenciam a maturidade científica do tema e sua consolidação como área estratégica para o setor elétrico global.

#### Tendências e lacunas identificadas

A análise também permite identificar duas grandes tendências no campo:

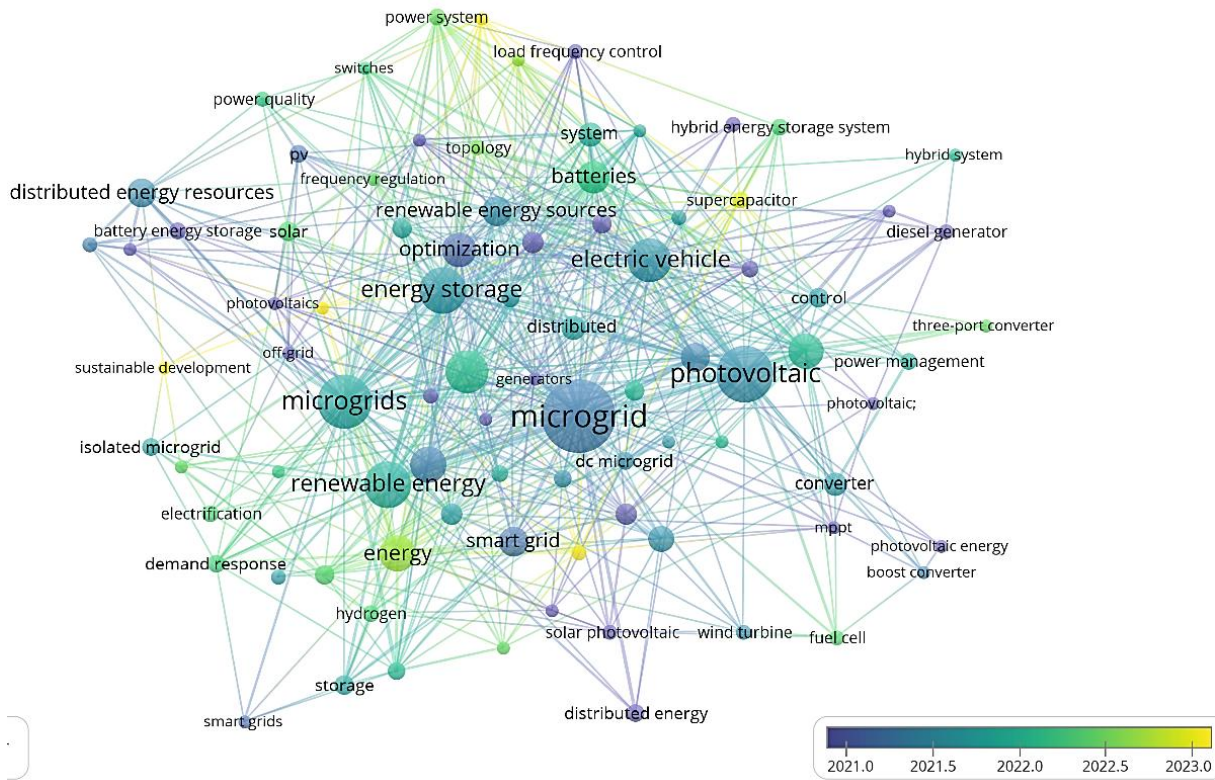
1. Integração técnica entre geração distribuída, armazenamento e mobilidade elétrica, especialmente com uso de baterias e redes inteligentes;
2. Expansão de estudos em contextos urbanos densos, com baixa representatividade de regiões isoladas, tropicais ou com infraestrutura limitada.

Nesse sentido, observa-se uma lacuna relevante na literatura relacionada à aplicação real de REDs em regiões tropicais úmidas, como a Amazônia. Os poucos estudos que abordam esse tipo de cenário costumam ser exploratórios ou baseados em simulações, sem validação empírica



“stability” e “sustainable development” as palavras-chave novas mais recentes encontradas nos artigos dos últimos anos, o que indica a tendência do desenvolvimento dessas tecnologias e técnicas para os próximos anos em pesquisa e desenvolvimento.

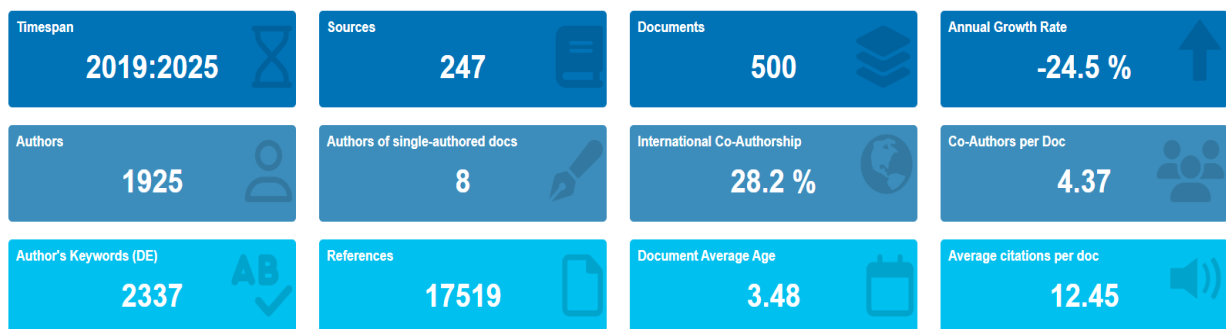
Figura 2 – Mapa de Palavras-Chave por tempo.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Desse modo, foi feito uma análise de cienciografia desses trabalhos, apresentado na Figura 3, onde foi possível verificar o tempo de análise, fontes, quantidade de documentos, médias de citações por documento e o tempo de publicação dos trabalhos. A Tabela 1 apresenta a produção científica anual dos trabalhos analisados, sendo possível verificar que em 2019 e 2020 apresentam um maior número de publicações sobre essas temáticas.

Figura 3 – Análise de cienciografia: informações gerais.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Tabela 1 – Produção Científica Anual.

Ano	Produção Científica
2019	81
2020	95
2021	79
2022	79
2023	76
2024	75
2025	15
Total	500

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A Tabela 2 apresenta as dez fontes de trabalhos mais relevantes, demonstrando as revistas, jornais e periódicos e a quantidade de trabalhos analisados por fonte de trabalhos. É possível verificar que a revista Energies do MDPI apresenta 43 artigos, e é a revista que mais contém publicações, enquanto o IEEE Access, ocupa o segundo lugar, com 17 artigos publicados, enquanto o Journal of Energy Storage, do Elsevier ocupa a terceira colocação com 15 artigos publicados.

Tabela 2 – Fontes mais relevantes (2019 – 2025).

Nº	Fontes	Artigos
1	ENERGIES	43
2	IEEE ACCESS	17
3	JOURNAL OF ENERGY STORAGE	15
4	APPLIED ENERGY	13
5	ENERGY REPORTS	12
6	ELECTRONICS	10
7	ENERGY	10
8	IET RENEWABLE POWER GENERATION	10
9	INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS	10
10	IEEE Transactions on Sustainable Energy	9

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Além disso, a Tabela 3 apresenta as referências com mais citações encontradas na base dos 500 artigos trabalhados. É possível verificar que o artigo Nº 1, com título “Optimal Scheduling of an Isolated Microgrid with Battery Storage Considering Load and Renewable Generation Uncertainties” apresenta 329 citações, sendo o artigo mais citado dentro os quais foi pesquisado, enquanto o artigo Nº 2, com título “Energy Management in Microgrids with Renewable Energy Sources: A Literature Review”, apresenta 195 citações. É possível destacar na análise feita na Tabela 3 que as temáticas correlacionadas ao desenvolvimento do trabalho são muito atuais e muito interessantes para as pesquisas futuras.

Tabela 3 – Referências mais relevantes (2019 – 2024).

Nº	Autores	Título do artigo	Citações
1	Yang Li; Zhen Yang; Guoqing Li; Dongbo Zhao; Wei Tian	Optimal Scheduling of an Isolated Microgrid with Battery Storage Considering Load and Renewable Generation Uncertainties	329
2	Yimy E. García Vera; Rodolfo Dufo-López; José L. Bernal-Agustín	Energy Management in Microgrids with Renewable Energy Sources: A Literature Review	195
3	Mark Kipnetich Kiptoo; Mohammed Elsayed Lotfy; Oludamilare Bode Adewuyi; Abdul Conteh; Abdul Motin Howlader; Tomonobu Senjyu	Integrated approach for optimal techno-economic planning for high renewable energy-based isolated microgrid considering cost of energy storage and demand response strategies	158
4	Vitor Fernão Pires; Armando Cordeiro; Daniel Foito; Jose Fernando Silva	High Step-Up DC–DC Converter for Fuel Cell Vehicles Based on Merged Quadratic Boost–Ćuk	131
5	Yang Li; Kang Li; Zhen Yang; Yang Yu; Runnan Xu; Miaosen Yang	Stochastic optimal scheduling of demand response-enabled microgrids with renewable generations: An analytical-heuristic approach	119
6	Juan S. Giraldo; Jhon A. Castrillon; Juan Camilo López; Marcos J. Rider; Carlos A. Castro	Microgrids Energy Management Using Robust Convex Programming	108
7	Ahmadreza Abazari; Hassan Monsef; Bin Wu	Coordination strategies of distributed energy resources including FESS, DEG, FC and WTG in load frequency control (LFC) scheme of hybrid isolated micro-grid	106
8	Mohammad Hassan Khooban; Meysam Gheisarnejad	A Novel Deep Reinforcement Learning Controller Based Type-II Fuzzy System: Frequency Regulation in Microgrids	101
9	Gautham Ram Chandra Mouli; Jos Schijffelen; Mike van den Heuvel; Menno Kardolus; Pavol Bauer	A 10 kW Solar-Powered Bidirectional EV Charger Compatible with Chademo and COMBO	96
10	Sayed Mohamed; Mostafa F. Shaaban; Muhammad Ismail; Erchin Serpedin; Khalid A. Qaraqe	An Efficient Planning Algorithm for Hybrid Remote Microgrids	91

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 2.2 Geração distribuída no Brasil

A Geração Distribuída (GD) refere-se à produção de energia elétrica realizada próxima ao ponto de consumo, comumente conectada à rede de distribuição e, em grande parte, baseada em fontes renováveis. Embora não exista uma definição única para GD, diversos autores apontam abordagens complementares baseadas em critérios técnicos, funcionais, comerciais e sociais. (Ackermann, Andersson, & Söder, 2001) definem GD como qualquer geração elétrica conectada à rede de distribuição, cuja operação é geralmente coordenada com as cargas locais.

No Brasil, o marco regulatório da geração distribuída teve início com a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012), que estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeradores à rede de distribuição, viabilizando o sistema de compensação de energia elétrica. A partir da crescente adesão de

consumidores, a norma foi revisada em 2015 por meio da Resolução Normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2015), que ampliou os limites de potência, incluiu novas modalidades de geração compartilhada e flexibilizou os critérios de acesso.

Em 2022, o país avançou significativamente com a promulgação da Lei nº 14.300/2022, conhecida como o Marco Legal da Geração Distribuída, que estabeleceu um novo regime de compensação de créditos de energia, ao mesmo tempo em que se introduziu a possibilidade da integração de sistemas de armazenamento com os geradores. Essa inovação, anteriormente ausente no arcabouço legal, amplia as funcionalidades da GD e permite maior controle sobre a energia gerada e consumida, sobretudo no contexto da intermitência das fontes renováveis.

Um avanço importante introduzido pela nova lei foi o reconhecimento dos sistemas de armazenamento de energia como parte integrante das instalações de geração distribuída, ampliando a flexibilidade operacional e permitindo maior autonomia dos consumidores. A legislação permite que esses sistemas armazenem excedentes e auxiliem na gestão da energia produzida localmente, promovendo maior eficiência e segurança no fornecimento.

A Tabela 4 apresenta um resumo comparativo entre os principais aspectos das regulamentações citadas, evidenciando a evolução normativa da GD no país.

Tabela 4 – Principais diferenças entre as normativas.

Aspecto	REN 482/2012	REN 687/2015	REN 786/2017	Lei 14.300/2022	REN 1.059/2023	REN 1.098/2024
<b>Direito adquirido</b>	Não previsto	Não previsto	Não previsto	Mantido para projetos protocolados até 2023	Mantido	Mantido
<b>Valoração dos créditos</b>	100% de compensação	Mantido	Mantido	Redução gradual da compensação até 2029	Definição de critérios para compensação	Ajustes nos cálculos e prazos de compensação
<b>Demanda das usinas</b>	TUSD C	Mantido	Mantido	TUSD G (até 70% menor)	Mantido	Mantido
<b>Potência máxima</b>	Até 5 MW para todas as fontes	Mantido	Mantido	3 MW para solar e 5 MW para demais fontes	Mantido	Mantido
<b>Geração compartilhada</b>	Via consórcio ou cooperativa	Mantido	Mantido	Expansão para condomínios e associações	Mantido	Mantido
<b>Custo de disponibilidade</b>	Cobrado em duplicidade	Mantido	Mantido	Deixa de ser cobrado em duplicidade	Mantido	Mantido
<b>Troca de titularidade</b>	Permitida a qualquer momento	Mantido	Mantido	Permitida sem perda de benefícios anteriores	Mantido	Mantido
<b>Garantia de fiel cumprimento</b>	Não exigida	Mantido	Mantido	2,5% do investimento	Mantido	Mantido

				(500 kW - 1.000 kW) e 5% (> 1.000 kW)		
<b>Prazo de análise da distribuidora</b>	60 dias	Mantido	Mantido	Redução para 30 dias	Mantido	Mantido
<b>Programa para GD de baixa renda</b>	Não previsto	Mantido	Mantido	Vedação expressa à comercialização de pareceres de acesso	Mantido	Mantido
<b>Comercialização de energia excedente</b>	Vedada	Mantido	Mantido	Permitida via chamada pública	Mantido	Mantido
<b>Atributos ambientais</b>	Não valorizados	Mantido	Mantido	Passam a ser remunerados a partir de 2022	Mantido	Mantido
<b>Prazos para adaptação</b>	Não especificado	Mantido	Mantido	Distribuidoras devem se adequar em até 180 dias	Mantido	Mantido

Fonte: Adaptado pelo autor.

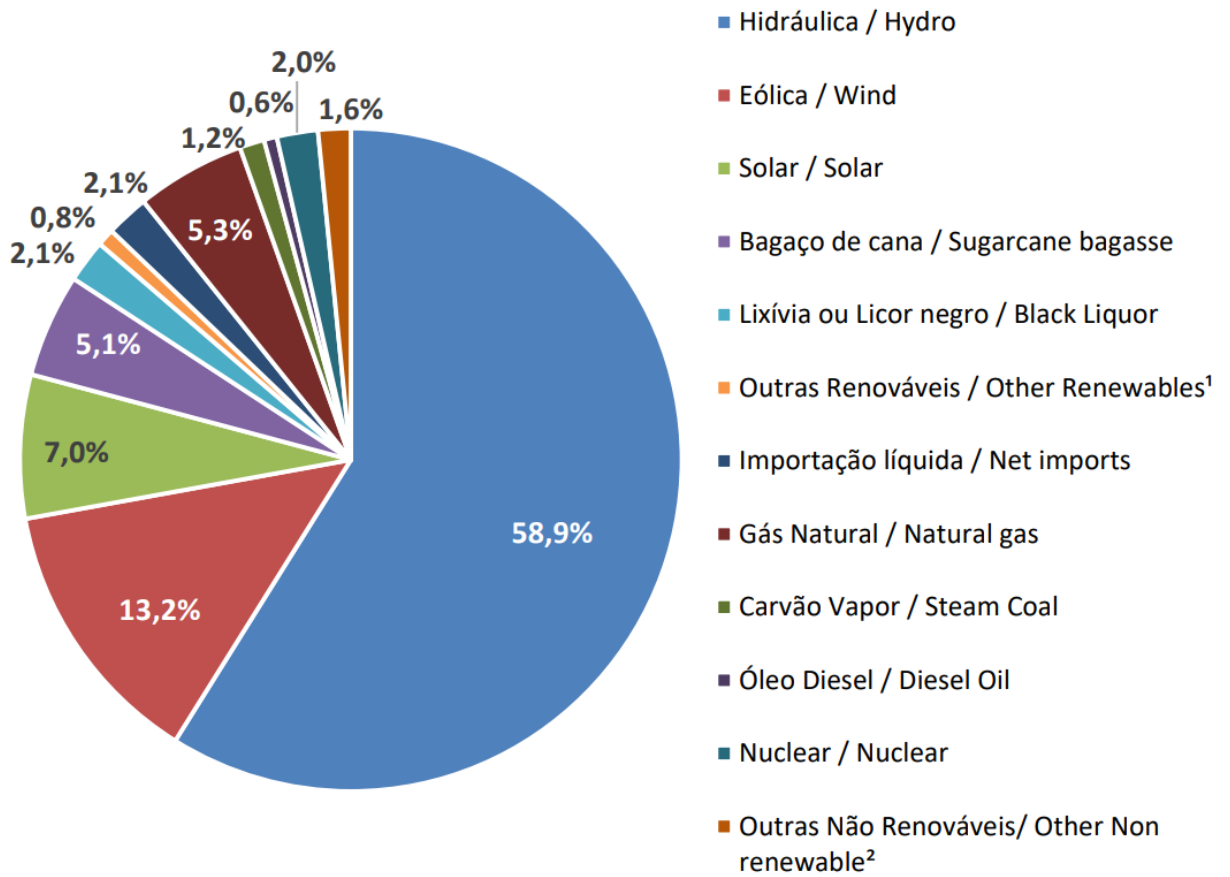
Como resultado dessas políticas de incentivo e avanços regulatórios, a GD tem se consolidado como uma das principais frentes de expansão da matriz elétrica brasileira. Embora ainda represente uma fração modesta do total de energia gerada no país, seu crescimento acelerado tem desempenhado um papel significativo na descentralização da produção elétrica.

A Figura 4 apresenta a composição da matriz elétrica brasileira em 2023, destacando a predominância das fontes hidráulicas e o avanço gradual de outras fontes renováveis, como a solar e a eólica. A geração distribuída, embora não esteja representada de forma segregada no gráfico, encontra-se incorporada nos segmentos de energia solar e outras fontes renováveis conectadas à rede de distribuição, refletindo seu papel emergente no sistema elétrico nacional.

Segundo dados do Banco de Informações de Geração Distribuída (BIGD) da ANEEL, até janeiro de 2025, mais de 3,1 milhões de sistemas GD estavam em operação no Brasil, totalizando uma potência instalada superior a 35 GW — sendo mais de 95% dessa capacidade proveniente de sistemas fotovoltaicos residenciais e comerciais (ANEEL, 2025).

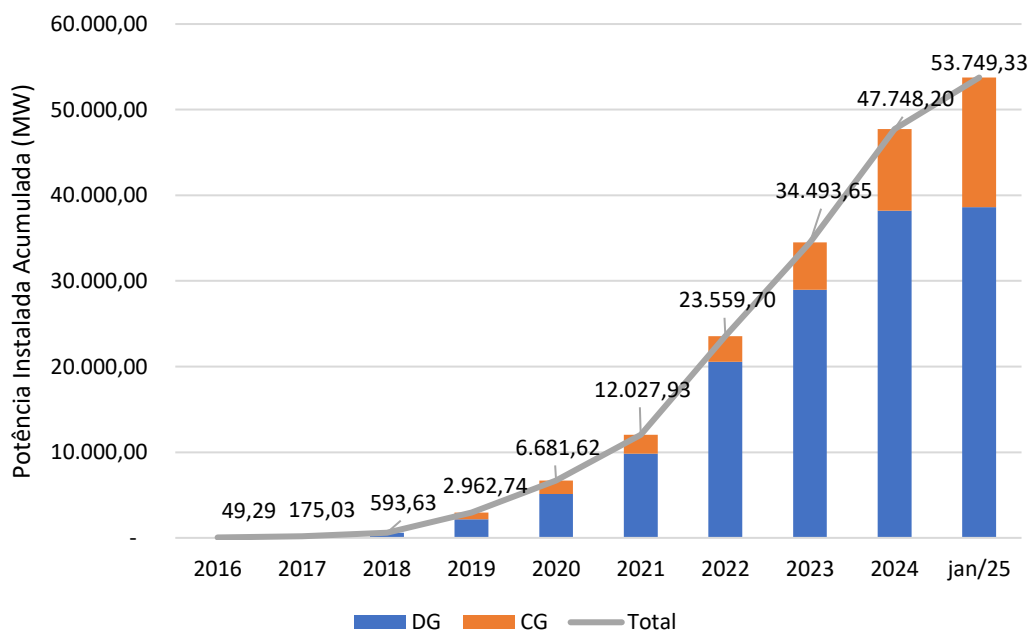
A Figura 5 apresenta a evolução da potência instalada anual de sistemas fotovoltaicos no Brasil entre 2016 e janeiro de 2025, distinguindo os acréscimos nos segmentos de Geração Distribuída (GD) e Geração Centralizada (GC). Observa-se um crescimento sustentado em ambos os modelos, com destaque para a GD a partir de 2019, impulsionado pela ampliação do acesso, pela redução dos custos tecnológicos e pelo fortalecimento do ambiente regulatório.

Figura 4 – Matriz elétrica brasileira.



Fonte: (EPE, 2024).

Figura 5 – Crescimento anual dos sistemas fotovoltaicos no Brasil.



Fonte: (Brasil, 2025).

Apesar de seus benefícios, a GD também traz desafios operacionais, principalmente relacionados à intermitência das fontes renováveis, como a solar. Por serem não despacháveis, essas fontes geram energia de forma concentrada em determinados períodos do dia e com baixa previsibilidade, o que impacta diretamente o planejamento e a operação do sistema elétrico (Andrade et al., 2020; Brasil, 2015).

Por outro lado, a proximidade entre geração e consumo contribui para a redução de perdas técnicas, alívio da carga em equipamentos de distribuição e possível adiamento de investimentos na ampliação da rede. Tais benefícios tornam a GD especialmente estratégica para comunidades remotas e regiões de difícil acesso, como a Amazônia Legal, onde o fornecimento por meios convencionais é limitado por restrições técnicas e logísticas.

Nesses contextos, sistemas fotovoltaicos isolados ou híbridos, integrados a unidades de armazenamento e dispositivos de gestão inteligente, podem garantir o fornecimento contínuo e confiável de energia, promovendo inclusão energética, autonomia local e redução da dependência de combustíveis fósseis, como o óleo diesel. Ao mesmo tempo, demandam novos desafios em termos de regulação, proteção e controle das redes, especialmente em ambientes com infraestrutura limitada e topologia complexa.

A seguir, serão apresentados os conceitos básicos e as principais características dos sistemas de geração distribuída utilizados na realização deste trabalho, sendo eles os sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento.

## **2.3 Sistemas Fotovoltaicos**

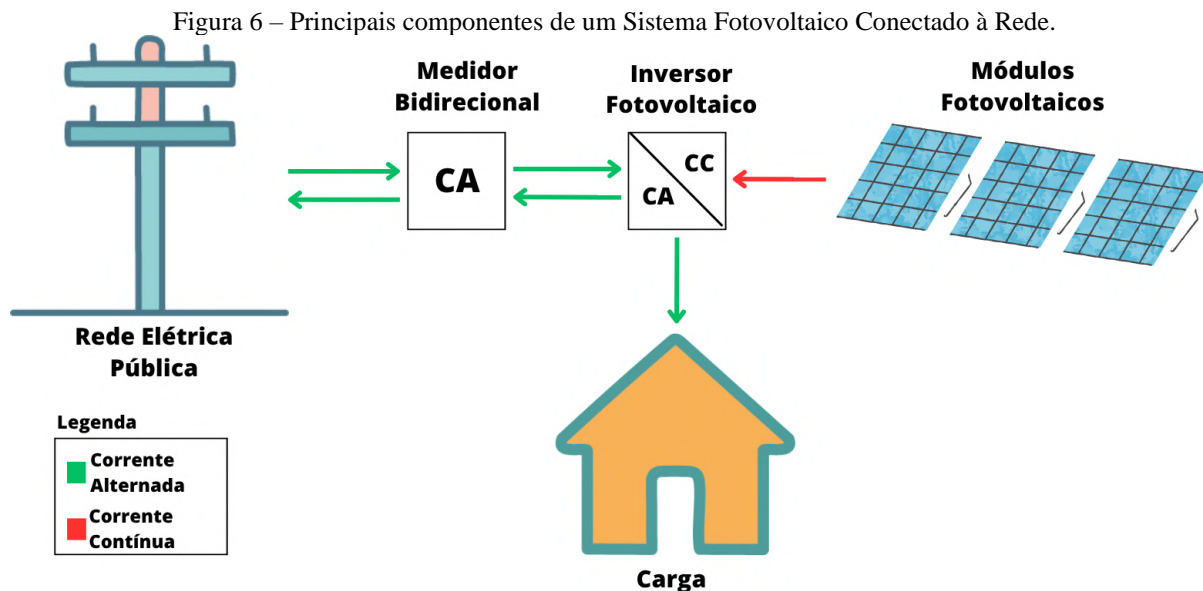
Os sistemas fotovoltaicos (SFV) têm se consolidado como uma das principais tecnologias de geração renovável distribuída, destacando-se por sua modularidade, escalabilidade, baixos impactos ambientais e capacidade de integração com diferentes perfis de carga e infraestrutura elétrica. A eficiência e a viabilidade desses sistemas dependem de fatores como irradiação solar, temperatura ambiente, tecnologias de células fotovoltaicas e topologias de conexão à rede (Green, et al., 2021). De forma geral, esses sistemas podem ser classificados em três categorias principais: conectados à rede, isolados e híbridos, conforme mostrado nas subseções a seguir

### **2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR)**

Os SFCR são os sistemas mais amplamente difundidos na geração distribuída no Brasil, sendo responsáveis por mais de 95% da potência instalada em micro e minigeração (ANEEL, 2025). Eles funcionam conectados diretamente à rede elétrica de distribuição,

possibilitando o uso instantâneo da energia gerada pelas cargas locais e a injeção de excedentes na rede, conforme previsto no sistema de compensação regulado pela Lei nº 14.300/2022.

Esses sistemas são compostos basicamente por módulos fotovoltaicos e inversores, que convertem a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) compatível com a rede (Lund, Østergaard, Connolly, & Mathiesen, 2017), como mostrado na Figura 6.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A dependência da rede para sua operação significa que, em caso de ausência de tensão na rede pública, os SFCR são automaticamente desligados por questões de segurança, a menos que integrem sistemas de armazenamento ou funcionalidades específicas de operação ilhada.

Estudos recentes destacam que a eficiência dos SFCR está diretamente relacionada à qualidade dos inversores e ao alinhamento entre a geração e o perfil de carga local. Além disso, a integração de sistemas de monitoramento em tempo real tem se mostrado essencial para maximizar o aproveitamento energético e reduzir perdas (IEA-PVPS, 2022)

### 2.3.2 Sistemas Isolados (SI)

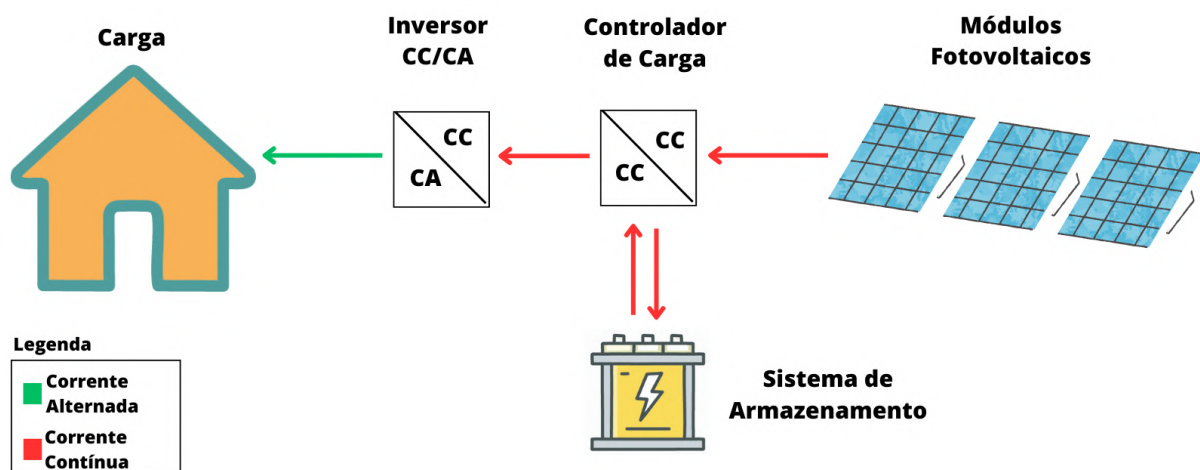
Os Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI) operam de forma independente da rede elétrica, sendo dimensionados para atender a totalidade da carga local com base em fontes renováveis e unidades de armazenamento (Kariuki & Ndiritu, 2021). Esse tipo de sistema é comum em regiões remotas ou de difícil acesso, como comunidades ribeirinhas, áreas rurais e estações de monitoramento.

De acordo com (Dingyue, Lihao, Jianchao, Lifeng, & Yu, 2013), os SFI são frequentemente aplicados como solução para eletrificação de pequena escala, seja por meio de sistemas individuais ou minirredes autônomas. A Resolução ANEEL nº 493/2012 regulamenta

o uso de Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia (MIGDI) e de Sistemas Individuais de Geração com Fontes Intermitentes (SIGFI) em domicílios sem acesso à rede convencional.

Esses sistemas são compostos por módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de baterias e inversores, como representado na Figura 7, garantindo o suprimento contínuo de energia mesmo na ausência de irradiação solar (Shaqsi, Sopian, & Al-Hinai, 2020). Seu uso é crescente em programas de acesso universal à energia, como o Mais Luz para a Amazônia, que tem promovido a implantação de soluções autônomas de geração solar para populações vulneráveis (Salomão & Almeida, 2022). No entanto, desafios como a alta umidade e a presença de poeira podem afetar o desempenho dos módulos, exigindo manutenção periódica (Fuke, De, Shiradkar, & Kottantharayil, 2024).

Figura 7 - Principais componentes de um Sistema Fotovoltaico Isolado.



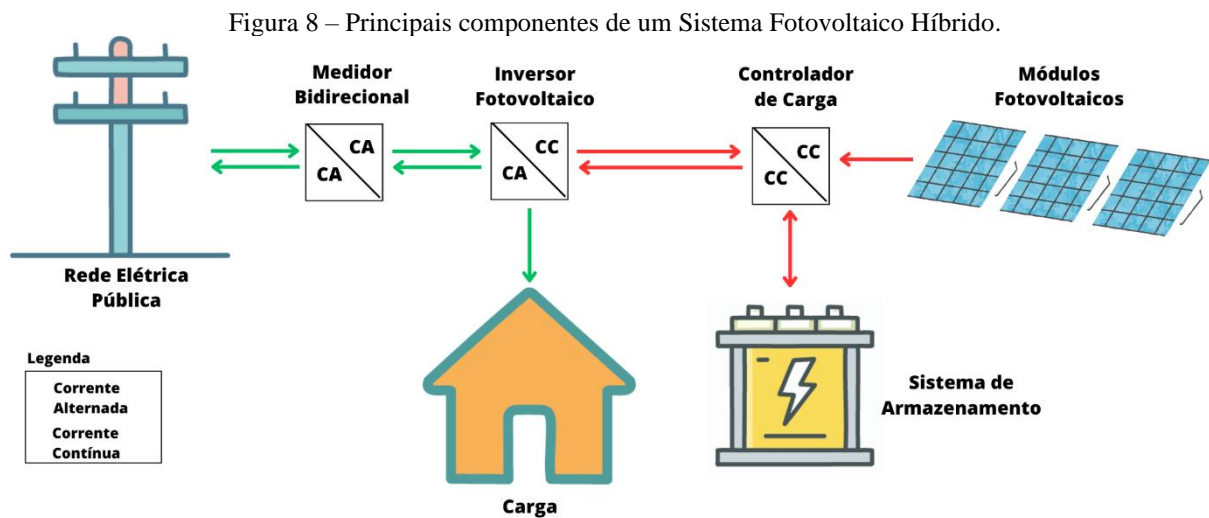
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 2.3.3 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos (SFH)

Os Sistemas Fotovoltaicos Híbridos (SFH) combinam características de sistemas conectados à rede e sistemas isolados, integrando módulos fotovoltaicos, inversores híbridos, sistemas de armazenamento e, em alguns casos, fontes auxiliares como geradores a diesel (Niccolai, et al., 2023).

Esses sistemas são capazes de operar tanto em paralelo com a rede quanto em modo ilhado, alternando dinamicamente entre os modos conforme a disponibilidade da rede e o estado do armazenamento. Essa flexibilidade é especialmente útil em contextos em que a rede apresenta baixa confiabilidade ou em sistemas críticos que não podem sofrer interrupções.

A Figura 8 apresenta os principais componentes de um SFH, cuja popularização tem sido impulsionada pela redução nos custos das baterias e pela evolução dos sistemas de controle e inversores inteligentes.



### 2.3.4 Aplicações e Perspectivas Tecnológicas

O avanço dos sistemas fotovoltaicos nas últimas décadas tem sido impulsionado pelo desenvolvimento de células de alta eficiência, como as de silício monocristalino e as tecnologias de filme fino (Green et al., 2021). Além disso, a incorporação de rastreadores solares e sistemas de limpeza automatizada tem aumentado significativamente a geração energética em regiões com alta incidência de poeira (Fuke et al., 2024).

Os SFV ampliaram significativamente sua gama de aplicações. Atualmente, além do uso residencial e comercial, os SFV são amplamente utilizados em zonas rurais, sistemas de bombeamento de água, veículos elétricos, transporte fluvial, micro-redes e soluções de mobilidade sustentável.

No contexto amazônico, os SFI e SFH ganham relevância pela capacidade de levar energia a regiões isoladas, superar barreiras logísticas e promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável. O Projeto SIMA, desenvolvido na UFPA, é exemplo prático da aplicação integrada de sistemas fotovoltaicos em embarcações e ônibus elétricos, operando em sinergia com sistemas de armazenamento, eletropostos e infraestrutura de monitoramento.

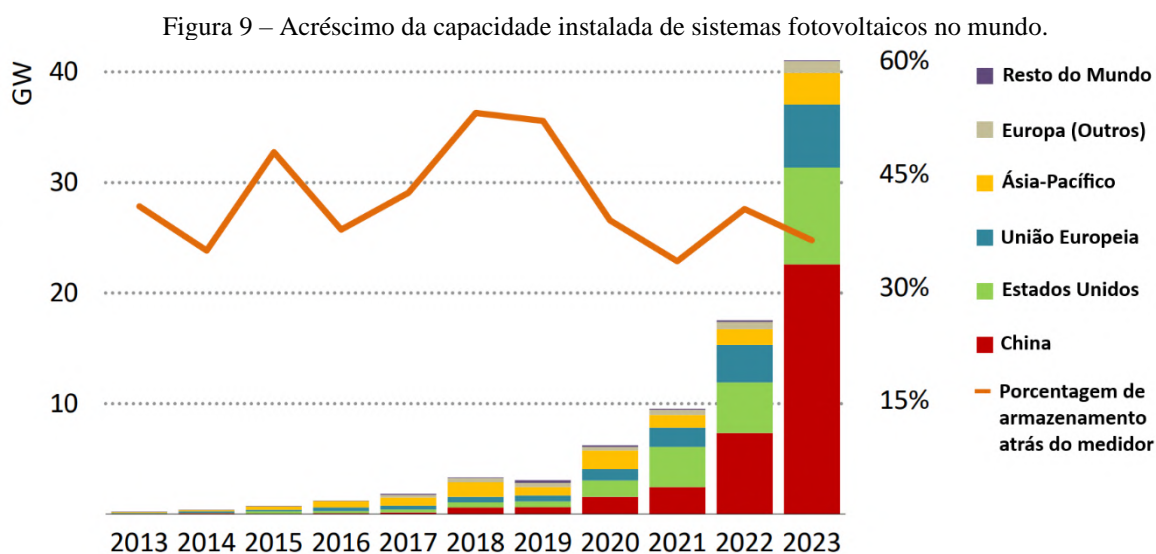
Além disso, a tendência de acoplamento com tecnologias digitais e inteligência artificial tem possibilitado o uso de estratégias avançadas de previsão solar, gerenciamento da carga e operação otimizada de inversores (Luo, Wang, Dooner, & Clarke, 2015). Essas inovações fortalecem o papel dos sistemas fotovoltaicos como pilares de uma matriz energética mais resiliente, descentralizada e sustentável.

## 2.4 Sistemas de Armazenamento

O crescimento acelerado dos sistemas fotovoltaicos (SFV) ao redor do mundo tem trazido desafios importantes à estabilidade e flexibilidade dos sistemas elétricos, especialmente por se tratar de uma fonte de energia intermitente e não despachável. Nesse cenário, os sistemas de armazenamento de energia (SAE) emergem como soluções estratégicas para mitigar as flutuações de geração, maximizar o autoconsumo, garantir a continuidade do fornecimento e possibilitar o acoplamento com novas formas de consumo, como os veículos elétricos (IEA, 2024).

A adoção global de sistemas de armazenamento, principalmente com baterias de íon-lítio, tem experimentado uma forte expansão. A China, por exemplo, registrou um crescimento de 55% em sua capacidade instalada em 2023, alcançando cerca de 23 GW. Os Estados Unidos, segundo maior mercado, ultrapassaram os 8 GW no mesmo ano, com crescimento concentrado em grandes usinas renováveis e projetos de suporte à rede. Já na União Europeia, o destaque foi o crescimento do armazenamento “behind the meter” (atrás do medidor), que representou cerca de 90% dos novos sistemas instalados, especialmente na Alemanha e Itália, onde altos preços da energia e incentivos governamentais (subsídios, isenções e financiamentos) têm impulsionado a combinação entre geração solar e armazenamento doméstico (IEA, 2024); (IRENA, 2023); (Díaz-González, Sumper, Gomis-Bellmunt, & Villafáfila-Robles, 2012).

A Figura 9 apresenta o crescimento anual da capacidade instalada de sistemas de armazenamento nas principais regiões do mundo, destacando a participação de sistemas atrás do medidor, alternativa cada vez mais estratégica no contexto de geração distribuída.



Fonte: (IEA, 2024)

Além de atender à intermitência da geração renovável, os SAE têm sido impulsionados globalmente pelo avanço da mobilidade elétrica, que demanda soluções robustas de armazenamento para ampliar a autonomia e a eficiência energética dos veículos. A sinergia entre sistemas fotovoltaicos e baterias é considerada uma das mais promissoras no contexto de edificações inteligentes, micro-redes e infraestrutura de carregamento veicular (Luo, Wang, Dooner, & Clarke, 2015).

O crescimento também está associado à redução progressiva dos custos das baterias, especialmente as de tecnologia íon-lítio, cujo preço por kWh caiu mais de 85% entre 2010 e 2022, segundo dados da (BloombergNEF, 2023). Esse fator tem impulsionado o uso doméstico, comercial e industrial, abrindo novas possibilidades de participação do consumidor na operação do sistema elétrico (prosumers).

Em termos operacionais, os SAE podem ser implantados de forma:

- Centralizada, com controle por agentes do sistema (transmissoras, distribuidoras ou operadores independentes);
- Integrados a usinas geradoras, como forma de suavizar a curva de geração e modular a injeção de potência;
- Ou atrás do medidor, próximos à carga, com uso direto por consumidores finais — modelo que tem se tornado predominante no contexto da geração distribuída.

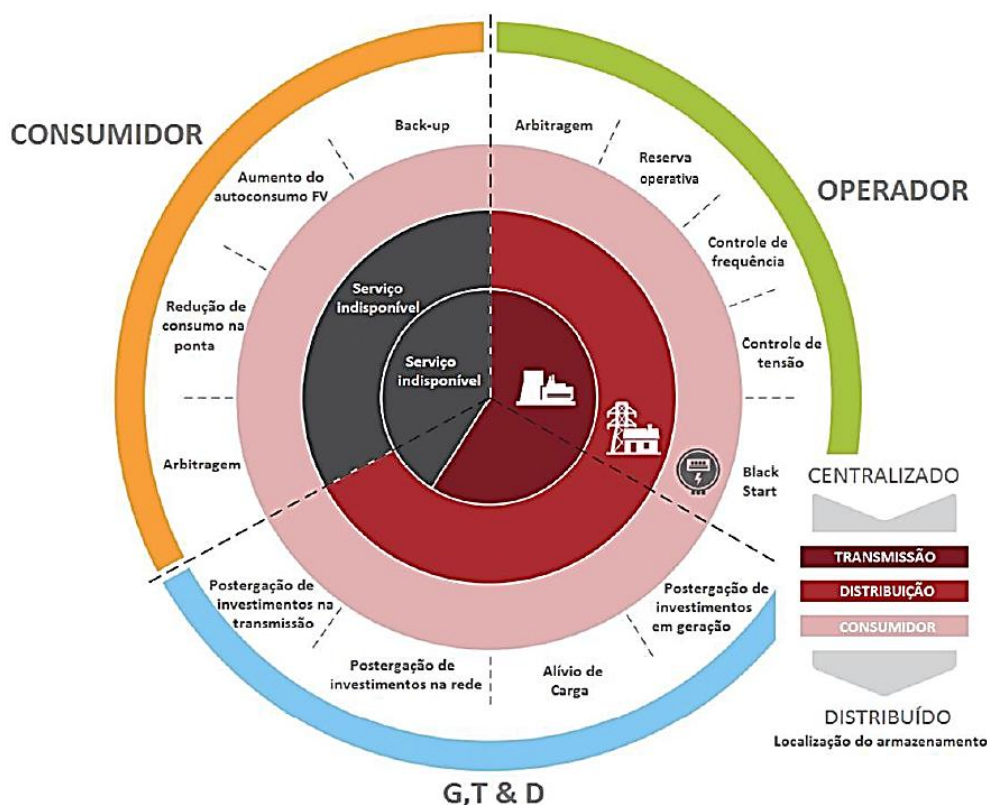
A Figura 10 apresenta as principais aplicações possíveis para sistemas de armazenamento, como back-up de energia, aumento do autoconsumo, redução da demanda na ponta e arbitragem de energia.

Neste trabalho, destaca-se o foco no modelo **atrás do medidor**, no qual o sistema de armazenamento atua diretamente com o gerador local e as cargas da instalação. Essa configuração é essencial para:

- Manter o fornecimento em casos de falhas da rede;
- Otimizar o uso da energia solar gerada localmente;
- Reduzir picos de demanda e custos tarifários;
- E permitir flexibilidade no uso da energia ao longo do dia.

Sistemas armazenadores operando atrás do medidor também se mostram essenciais para o contexto amazônico, onde infraestruturas isoladas e sazonalidade de geração solar demandam soluções autônomas e resilientes. No escopo do Projeto SIMA, essas aplicações são demonstradas de forma prática em veículos elétricos, eletropostos e micro-redes híbridas, integrando energia renovável, mobilidade sustentável e gestão inteligente.

Figura 10 – Aplicações para sistema de armazenamento de energia.



Fonte: (EPE, 2019).

### 2.4.1 Sistema de Armazenamento atrás do medidor

Devido à variabilidade temporal das fontes renováveis, especialmente solar e eólica, o uso de sistemas de armazenamento atrás do medidor se torna uma alternativa técnica cada vez mais relevante para garantir a confiabilidade do suprimento energético local (Shaqsi, Sopian, & Al-Hinai, 2020). Essa configuração permite o acoplamento direto entre o gerador e a carga, sem depender exclusivamente da rede pública, conferindo maior autonomia ao consumidor.

Entre os benefícios observados nessa modalidade, destacam-se:

- A capacidade de manter o fornecimento durante interrupções na rede elétrica;
- A otimização do autoconsumo da energia fotovoltaica, armazenando excedentes para uso posterior;
- A redução de demanda nos horários de pico tarifário;
- E a possibilidade de arbitragem energética, utilizando a energia armazenada nos momentos de maior custo (Luo, Wang, Dooner, & Clarke, 2015); (IRENA, 2023).

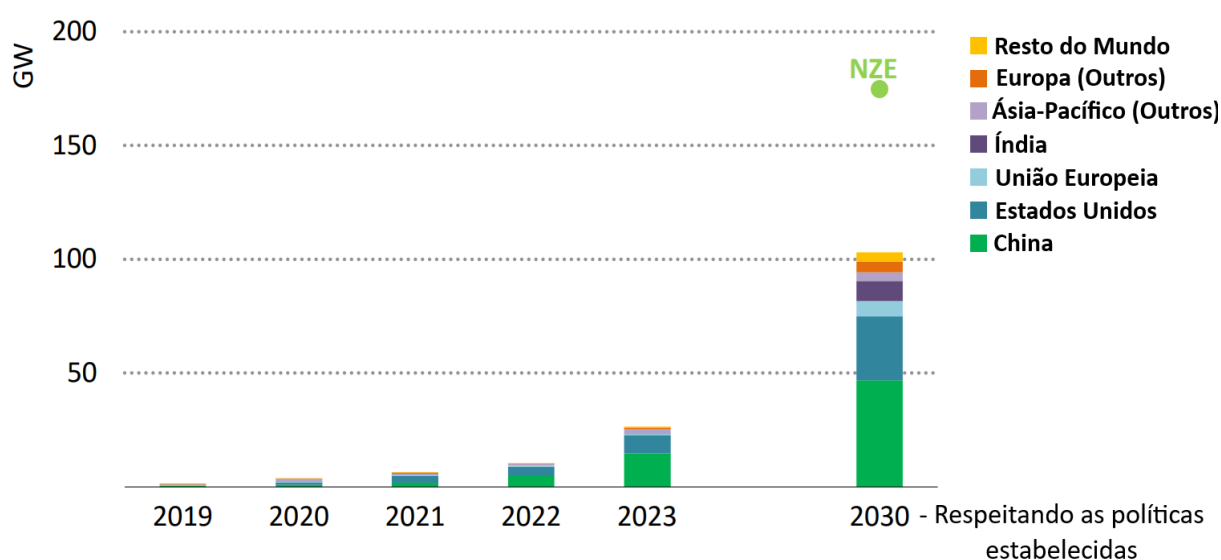
Apesar das vantagens técnicas e econômicas, a adoção desse tipo de solução ainda é restrita a países com alta penetração de geração distribuída fotovoltaica e políticas públicas de estímulo. Em 2023, a capacidade instalada global de armazenamento atrás do medidor

ultrapassou os 15 GW, com previsão de dobrar até 2030 (IEA, 2024). Esse crescimento tem sido impulsionado por:

- Incentivos regulatórios (subsídios, descontos tarifários, créditos fiscais);
- Alta volatilidade dos preços da energia elétrica;
- Adoção crescente de sistemas solares em edificações residenciais e comerciais (IEA, 2024).

A Figura 11 apresenta a evolução da capacidade instalada de sistemas de armazenamento atrás do medidor entre 2019 e 2023, bem como a projeção para 2030, com destaque para os principais mercados mundiais.

Figura 11 – Projeção do crescimento mundial de SA integrados a edificações.



Fonte: (IEA, 2024).

Diversos estudos têm evidenciado que o armazenamento atrás do medidor também desempenha papel fundamental na descarbonização do setor de edificações e na infraestrutura de recarga de veículos elétricos. Sistemas híbridos que integram geração solar, armazenamento e recarga bidirecional (V2G) têm sido propostos como soluções viáveis para reduzir a sobrecarga da rede, melhorar a eficiência energética local e ampliar a autonomia das instalações.

No contexto brasileiro, e particularmente na Amazônia Legal, a adoção de sistemas de armazenamento atrás do medidor mostra-se ainda mais estratégica. A natureza isolada de muitas comunidades, aliada às dificuldades logísticas e à baixa confiabilidade das fontes fósseis locais (como o diesel), torna esses sistemas ideais para garantir resiliência energética, redução de emissões e inclusão socioeconômica. A Tabela 5 apresenta, algumas aplicações que podem ser utilizadas a fim de beneficiar o consumidor, por grupo tarifário.

Tabela 5 – Aplicações de armazenamento possíveis no Brasil.

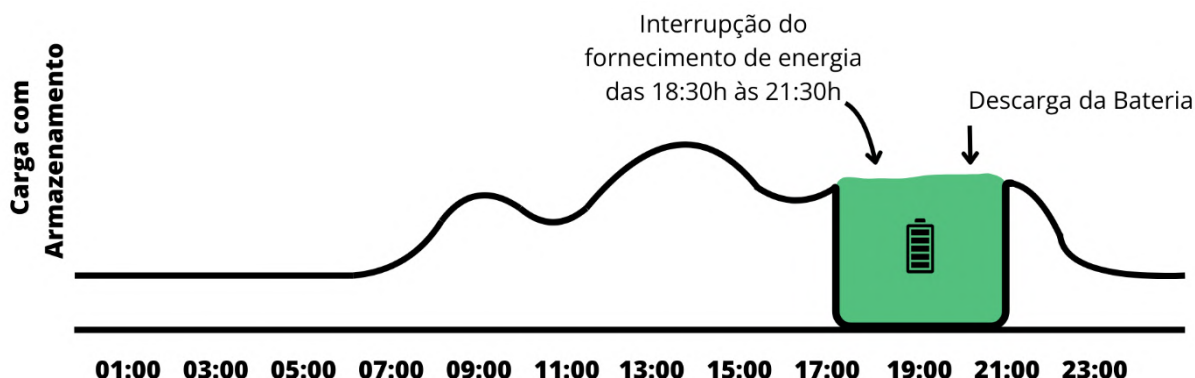
Aplicação	Média e Alta Tensão (Grupo A)	Baixa Tensão (Grupo B)		
		Tarifa Convencional	Tarifa Branca	Tarifa Binômia
Backup	✓	✓	✓	✓
Redução de demanda de pico	✓	✗	✗	✓
Gestão de horário de consumo	✓	✗	✓	✓
SFCR sem injeção na rede	✓	✓	✓	✓

Fonte: (Grenner, 2021), adaptada pelo autor.

#### 2.4.1.1 Backup energético

A interrupção no fornecimento de energia ainda é uma realidade recorrente em certas regiões do Brasil. Além desse tipo de falta, existe também as oscilações da rede que não entram em dados estatísticos, porém também podem causar danos aos consumidores. Nessas condições, a utilização do SA como *Backup* de energia permite mitigar esses impactos ao consumidor, além de ser especialmente relevante em edificações críticas, como unidades de saúde, centros de dados. A Figura 12 apresenta uma forma de uso do SA como backup de energia, onde o fornecimento de energia passa a ser das baterias quando as 17h há a interrupção da energia da rede.

Figura 12 – Backup de energia.



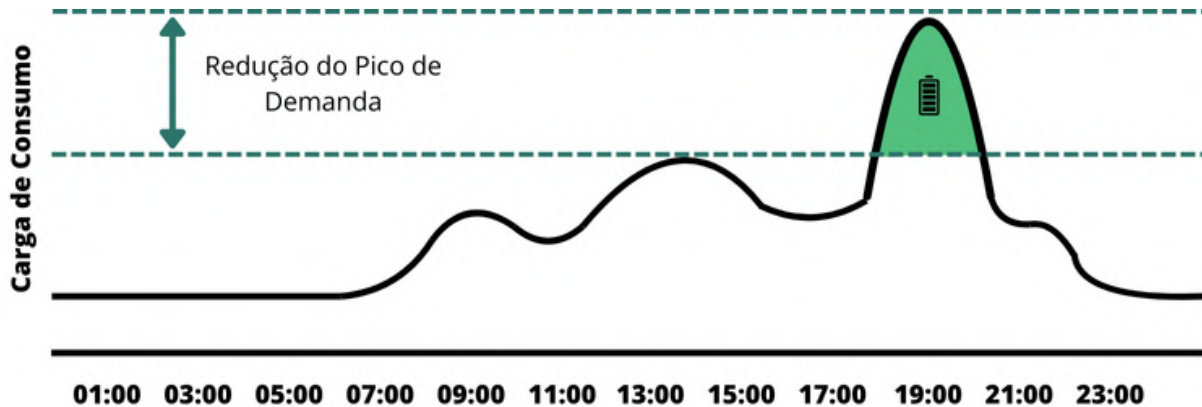
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

#### 2.4.1.2 Redução da demanda de pico

A redução da Demanda de pico, comumente conhecida do inglês como '*PeakShaving*', permite economias significativas aos consumidores com intervalos de pico de carga. Durante o período de alta demanda, o SA pode atender a carga permitindo a redução pico registrado, e consequentemente a demanda contratada. Consumidores que apresenta recorrentemente muitas por ultrapassagem de demanda podem recorrer a essa técnica, entretanto ela não é tão atrativa para demandas médias muito próximas a contratada. Vale ressaltar que nessa modalidade, quanto maior o preço da demanda maior a economia financeira. A Figura 13 apresenta uma

operação de redução de pico por um SA, sendo a região verde da curva de carga a região de potência que deixa de ser atendida pela rede e é abastecida pela energia armazenada nas baterias.

Figura 13 – Redução de demanda de pico.

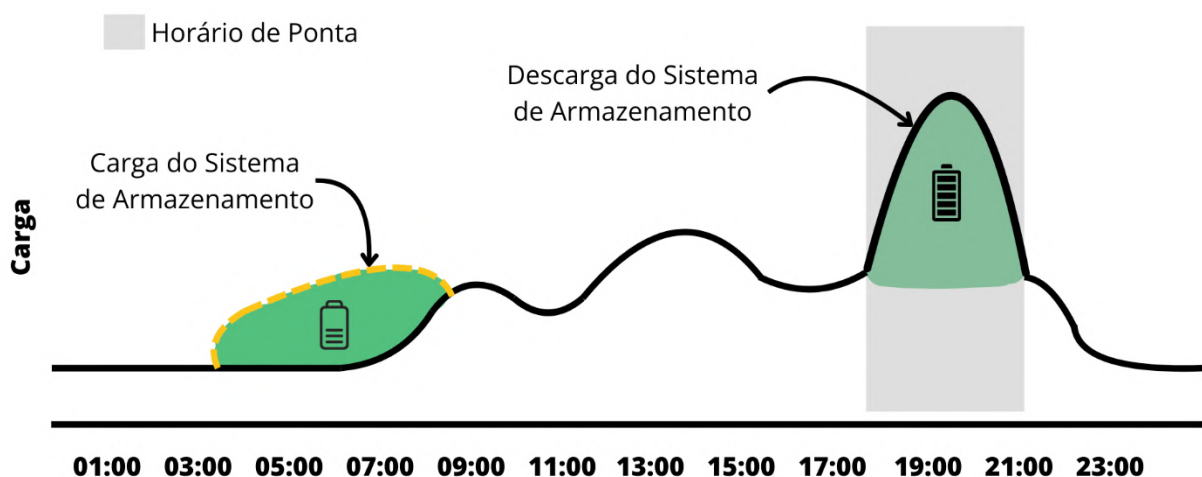


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 2.4.1.3 Redução do consumo no horário de ponta

A utilização do SA para a redução de consumo de energia no Horário de Ponta (HP) está entre as aplicações de maior atratividade. Isto ocorre devido a algumas distribuidoras de energia praticarem uma grande diferença entre o preço da energia no HP e na Fora Ponta (FP). Quanto maior essa diferença, maior a economia que se pode obter com a redução de consumo no período mais caro do dia. Assim, o SA pode armazenar energia no horário FP, quando está mais barata, e consumir no HP, quando está mais cara. A Figura 14 Apresenta a utilização do SA para redução de consumo no HP.

Figura 14 - Redução de consumo no horário de ponta



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 2.4.2 Tecnologias de armazenamento

A escolha da tecnologia de armazenamento mais adequada depende diretamente das exigências específicas de cada aplicação, tais como densidade energética, tempo de recarga, profundidade de descarga, segurança operacional, vida útil e custo por ciclo (Díaz-González, Sumper, Gomis-Bellmunt, & Villafáfila-Robles, 2012) e (Luo, Wang, Dooner, & Clarke, 2015). No contexto da geração distribuída, onde há forte penetração de sistemas fotovoltaicos, as soluções de armazenamento devem ser otimizadas para interagir eficientemente com a intermitência solar e os perfis de carga dos usuários finais.

As tecnologias mais amplamente difundidas incluem baterias de íons de lítio, íons de sódio, estado sólido e lítio-enxofre, cada qual com vantagens e limitações técnicas. A Tabela 6 apresenta uma comparação das principais características desses tipos de baterias disponíveis comercialmente, considerando parâmetros como densidade energética, ciclos de vida, custo estimado por kWh, tempo de recarga e segurança.

A bateria de Fosfato de Ferro-Lítio (LFP) tem se destacado no mercado de geração distribuída por sua elevada vida útil, segurança térmica e custo competitivo. Essas características a tornam especialmente atrativa para aplicações atrás do medidor e integração com veículos elétricos, sobretudo em mercados com temperaturas elevadas ou ambientes operacionais exigentes (IEA, 2024).

Em paralelo, tecnologias emergentes como baterias de estado sólido e lítio-enxofre vêm recebendo grande atenção em centros de pesquisa e empresas do setor, dadas suas promessas de maior densidade energética, segurança intrínseca e redução de impactos ambientais. No entanto, essas tecnologias ainda enfrentam barreiras técnicas e econômicas significativas para sua comercialização em larga escala (Jose, et al., 2025).

A adoção progressiva de materiais menos críticos, como o sódio, também ganha relevância frente às pressões ambientais e geopolíticas associadas à mineração de metais como cobalto e lítio. As baterias de íons de sódio são promissoras para sistemas estacionários de armazenamento, embora apresentem menor densidade energética e estejam em fase inicial de desenvolvimento industrial.

Portanto, o cenário atual aponta para uma convivência tecnológica entre soluções maduras (LFP, NCM) e alternativas em desenvolvimento (sódio, estado sólido), cabendo ao projetista técnico avaliar o compromisso ideal entre desempenho, custo e requisitos operacionais específicos da aplicação.

No âmbito deste trabalho, o sistema de armazenamento analisado é do tipo íon-lítio modular, com uso de uma bateria BYD B-Box 13.8, conectada a um inversor híbrido e acoplada a um sistema fotovoltaico com monitoramento e lógica de operação programável.

Tabela 6 – Dados técnicos de baterias disponíveis comercialmente.

Tipo de Bateria	Densidade Energética (Wh/kg)	Ciclos de Vida	Custo (US\$/kWh)	Tempo de Recarga	Segurança	Materiais Principais	Vantagens	Desvantagens
Íons de Lítio (NCM/NCA)	200-250	1.000-2.000	128-151	30-60 minutos	Moderada	Lítio, Níquel, Cobalto, Manganês	Alta densidade energética, amplamente utilizada em veículos elétricos.	Alto custo, impacto ambiental do cobalto e níquel.
Fosfato de Ferro-Lítio (LFP)	160-210	5.000-6.000	126-151	30-60 minutos	Alta	Lítio, Ferro, Fósforo	Maior segurança, vida útil prolongada, menor custo.	Densidade energética inferior às NCM/NCA.
Íons de Sódio	Até 200	2.000+	Dados não especificados	Dados não especificados	Alta	Sódio, Níquel, Ferro	Uso de materiais abundantes e de baixo custo, bom desempenho em baixas temperaturas.	Menor densidade energética comparada às baterias de lítio.
Estado Sólido	300-400 (estimado)	3.000-10.000	Dados não especificados	15-30 minutos	Muito alta	Lítio, Eletrólito Sólido	Maior densidade energética, maior segurança, maior vida útil.	Tecnologia ainda em desenvolvimento, alto custo inicial.
Lítio-Enxofre	Até 500 (teórico)	1.000+	Dados não especificados	Dados não especificados	Moderada	Lítio, Enxofre	Alta densidade energética, custo reduzido pelo uso de enxofre.	Baixa estabilidade, vida útil limitada.
Sal Fundido	Até 290	2.000+	Dados não especificados	Dados não especificados	Alta	Sais Fundidos	Alta densidade energética, uso de materiais não inflamáveis.	Necessidade de operação em altas temperaturas (~300°C).
Fluxo Redox	40-70	10.000+	Dados não especificados	Rápido	Muito alta	Vanádio, Outros Metais	Longa vida útil, fácil escalabilidade para armazenamento estacionário.	Baixa densidade energética, grande volume necessário para armazenamento.
Nanofios	Potencialmente alta	Dados não especificados	Dados não especificados	Dados não especificados	Moderada	Lítio, Silício	Rápido carregamento, maior capacidade, maior estabilidade.	Tecnologia emergente, desafios com durabilidade e custo de produção.
Nióbio	Dados não especificados	Até 3x superior às convencionais	Dados não especificados	Cerca de 10 minutos	Alta	Lítio, Nióbio	Recarga ultrarrápida, maior vida útil, maior segurança.	Tecnologia emergente, disponibilidade limitada de níobio pode afetar os custos.

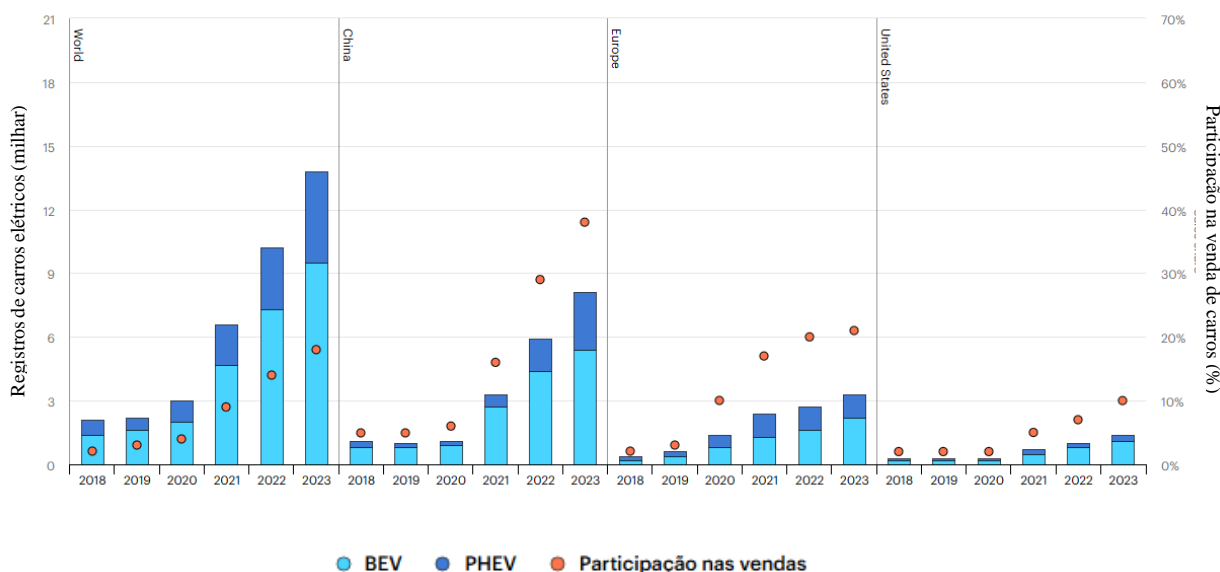
Fonte: Adaptado de IRENA (2022), Wang et al. (2021), e dados dos fabricantes.

## 2.5 Veículos elétricos

A transição energética global tem impulsionado mudanças significativas no setor de transporte, com destaque para a substituição progressiva dos veículos a combustão interna por veículos elétricos (VEs). Essa transformação, além de representar uma revolução tecnológica, responde a exigências ambientais, econômicas e energéticas que pressionam governos e indústrias em direção a soluções mais limpas e eficientes (IEA, 2024); (Egbue & Long, 2012).

A China é o principal motor dessa mudança. Em 2021, o país triplicou as vendas de veículos elétricos em relação ao ano anterior, totalizando aproximadamente 3,3 milhões de unidades. Já em 2023, o volume saltou para 8,1 milhões, consolidando a liderança chinesa no setor. A União Europeia e os Estados Unidos também registraram avanços significativos. A Figura 15 apresenta a evolução da comercialização mundial de VEs, destacando o crescimento da participação na venda total de veículos.

Figura 15 – Comercialização de veículos elétrico no mundo.



Fonte: (IEA, 2024).

No Brasil, embora o avanço ocorra em ritmo mais moderado, os números também são promissores. Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), somente no primeiro quadrimestre de 2024 as vendas de veículos elétricos cresceram 88% em relação ao mesmo período de 2023 (ABVE, 2025). Essa tendência tem estimulado consumidores a adotar modelos de geração distribuída para alimentar seus veículos com energia renovável — especialmente a solar fotovoltaica —, contribuindo para a descentralização do setor elétrico.

A popularização dos VEs, no entanto, traz desafios substanciais à infraestrutura elétrica. Um deles é o aumento da demanda por energia em horários específicos, o que pode

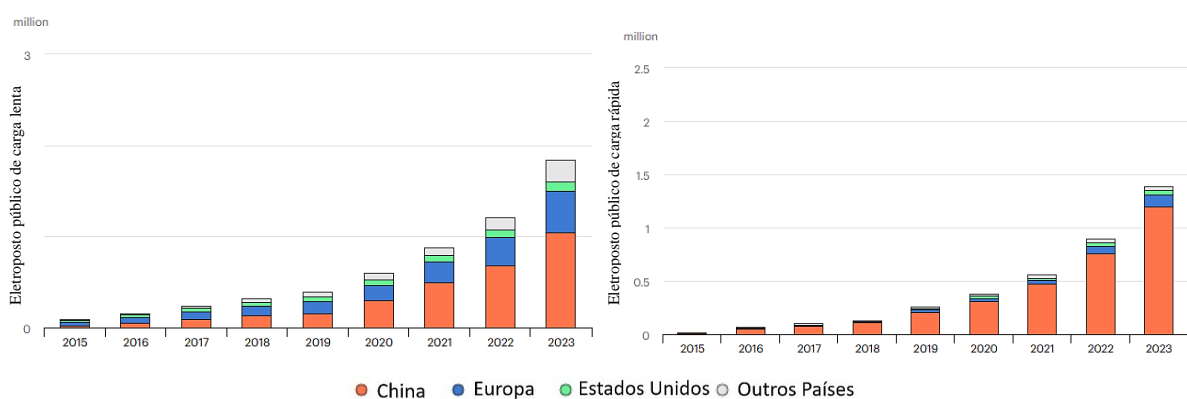
provocar picos de carga, sobrecarga da rede e necessidade de reforços na infraestrutura elétrica urbana. Por outro lado, com uma gestão inteligente do carregamento, essa demanda pode ser distribuída de forma eficiente ao longo do dia, inclusive com uso de tarifação diferenciada, reduzindo o estresse sobre o sistema (Lunz, Yan, Gerschler, & Sauer, 2012); (Sovacool, Jonn, & Kempton, 2017).

Outro aspecto relevante é o potencial dos veículos elétricos como elementos ativos do sistema energético, por meio de tecnologias Vehicle-to-Grid (V2G). Nessa configuração, os veículos podem não apenas consumir energia, mas também fornecê-la de volta à rede, agindo como unidades de armazenamento distribuído. Isso cria oportunidades para o balanceamento da geração intermitente renovável, contribuindo para a resiliência do sistema (Breetz, Mildenerger, & Stokes, 2018).

Além disso, a mobilidade elétrica é um vetor importante de redução das emissões globais. Em 2019, o setor de transporte foi responsável por cerca de 8,4 GtCO<sub>2e</sub>, o equivalente a 17,5% das emissões globais de gases de efeito estufa (Climate Watch, s.d.). A substituição da frota por veículos elétricos conectados a fontes renováveis pode, portanto, exercer papel central no cumprimento das metas de descarbonização estabelecidas no Acordo de Paris.

Por fim, é essencial destacar que a infraestrutura de carregamento é parte crítica desse ecossistema. A Figura 16 apresenta o número de eletropostos públicos disponíveis no mundo, categorizados em carga lenta e carga rápida. A expansão dessas estações é vital para garantir a conveniência, a confiança dos usuários e a viabilidade técnica da mobilidade elétrica em larga escala.

Figura 16 – Quantidade de eletropostos públicos disponíveis no mundo: (a) Carga lenta; (b) Carga rápida.



Fonte: (IEA, 2024).

## 2.5.1 Estações de Recarga

A infraestrutura de recarga é um elemento essencial para a consolidação da mobilidade elétrica, atuando como elo entre a matriz energética e a demanda crescente por veículos elétricos

(VEs). A diversidade de modelos veiculares, perfis de uso e especificações técnicas requer uma infraestrutura compatível com diferentes níveis de potência, conectores e padrões de operação (Sprei, 2017); (IEA, 2024)

As estações de recarga, conhecidas como eletropostos, são classificadas segundo os níveis de potência de carregamento que oferecem, influenciando diretamente o tempo de recarga e o perfil de conexão. A seguir, são descritas as principais categorias:

- Nível 1: voltado para recargas lentas, com potência até 2 kW, compatível com tomadas residenciais de 120 V em corrente alternada. O tempo médio de recarga varia entre 8 a 14 horas para carga total do veículo
- Nível 2: operando entre 208 V e 240 V em corrente alternada, com potência de até 20 kW, são aplicáveis tanto em residências quanto em ambientes públicos, com tempo de recarga entre 4 e 8 horas.
- Nível 3 (ou recarga rápida): utiliza corrente contínua e opera em faixas de 400 V ou superiores, com potências que podem ultrapassar 60 kW, permitindo o carregamento de até 80% da bateria em 15 a 30 minutos (Liu et al., 2022; BNEF, 2023).

Além da classificação por potência, as estações de recarga também se diferenciam pelo padrão de conectores utilizados, conforme o mercado e a arquitetura do veículo. Os principais padrões são:

- 1) **SAE J1772 (Tipo 1)**: amplamente utilizado na América do Norte e Ásia, opera em corrente alternada com potência limitada, sendo ideal para recargas lentas. A Figura 17 apresenta a estrutura de pinagem desse conector.

Figura 17 – Pinagem do Conector SAE-J1772



Fonte: (Lenz, 2012).

- 2) **SAE J1772 CCS Combo (Tipo 1)**: extensão do padrão anterior, adiciona dois pinos para permitir recargas em corrente contínua com potências de até 600 V e 163 A, compatível com recarga rápida (nível 3).

- 3) **Tipo 2 (Mennekes)**: padrão europeu, permite operação trifásica em corrente alternada, com potência de até 43 kW. É compatível com os modos 1, 2 e 3 de recarga.
- 4) **CCS Combo Tipo 2**: versão adaptada do conector Tipo 2 com suporte para corrente contínua, permitindo potência de até 50 kW.
- 5) **CHAdeMO**: desenvolvido no Japão, é um dos primeiros padrões para recarga rápida, operando em corrente contínua até 50 kW (400 V, 125 A).

A diversidade de conectores reflete os esforços de padronização regional e internacional, bem como as exigências técnicas de segurança, eficiência e compatibilidade. No Brasil, a Resolução Normativa nº 1.000 da ANEEL reforça a necessidade de interoperabilidade entre modelos de veículos e infraestrutura de recarga, promovendo segurança elétrica e proteção aos usuários (Brasil, 2025).

Nesse contexto, torna-se essencial que a expansão da mobilidade elétrica ocorra de forma coordenada com a modernização da rede elétrica, a integração de sistemas de armazenamento e a gestão inteligente da recarga — temas aprofundados nas próximas seções.

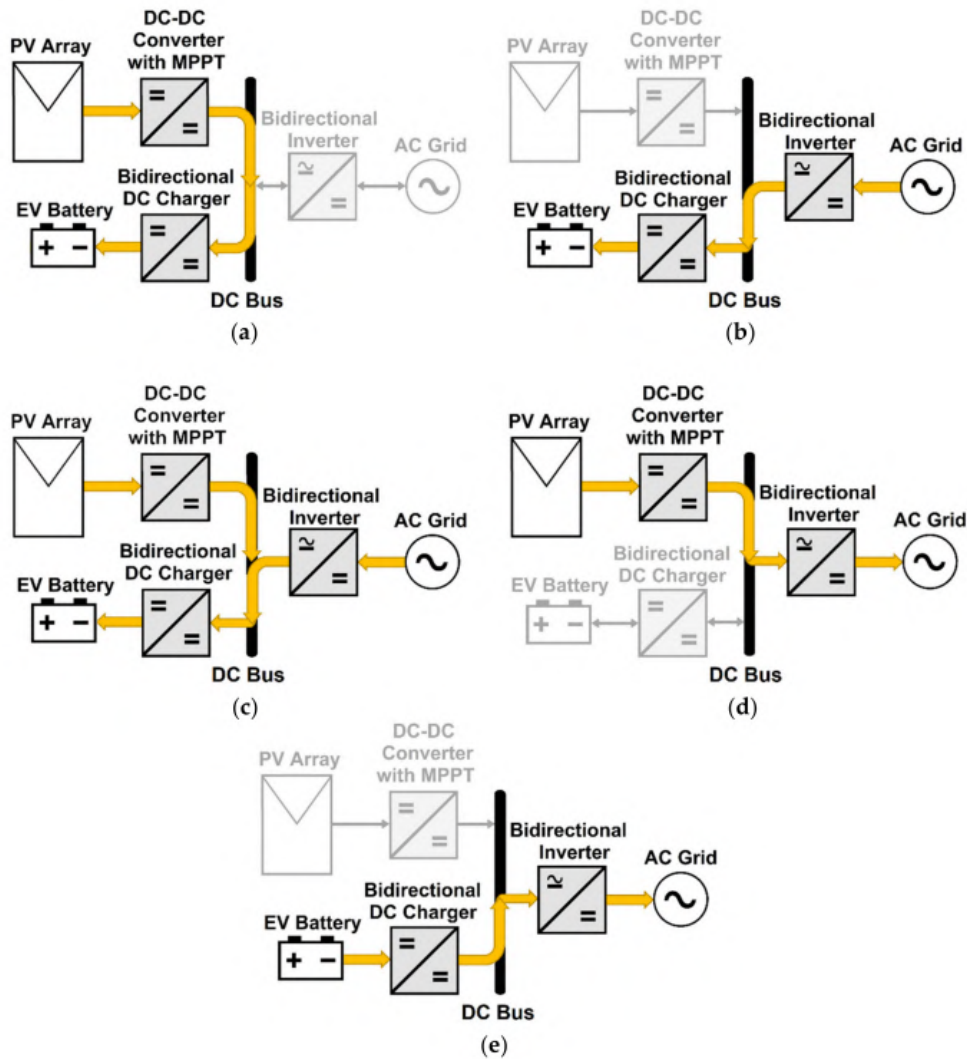
### **2.5.2 Gestão de carregamento**

A gestão do carregamento de veículos elétricos (VEs) é um dos pilares estratégicos para garantir a eficiência e a sustentabilidade da mobilidade elétrica. Com o aumento do número de VEs conectados à rede, surgem desafios relacionados à demanda concentrada, à infraestrutura elétrica disponível e aos custos associados ao consumo em horários de pico. Neste cenário, sistemas de carregamento inteligente tornam-se essenciais para mitigar impactos na rede elétrica e otimizar economicamente o uso da energia (Fachrizal, Shepero, Meer, Munkhammar, & Widen, 2020) (Lopes, Soares, & Almeida, 2010).

O carregamento em horários de pico, por exemplo, tende a ser mais oneroso, tanto para o usuário quanto para o sistema elétrico como um todo. Tarifas horo-sazonais e modelos com preços dinâmicos por tempo de uso (TOU) vêm sendo utilizados para incentivar a migração da demanda para horários de menor carregamento da rede (Luo, Wang, Dooner, & Clarke, 2015). Além disso, eletropostos públicos podem adotar esquemas tarifários próprios, baseados no tempo de permanência, potência de carregamento ou modelos de assinatura.

Nesse contexto, surgem diferentes estratégias de gestão, que combinam algoritmos de controle, previsão de demanda, armazenamento de energia e integração com fontes renováveis, como a solar fotovoltaica. A Figura 18 ilustra os principais modos de operação de um sistema híbrido, onde a energia pode fluir de diferentes origens (rede, sistema fotovoltaico – FV – e veículo) para diferentes destinos (bateria do veículo ou rede), de forma coordenada.

Figura 18 - Modos de operação para o sistema de carregamento de VE conectado à rede e a sistema FV. (a) FV para bateria; (b) rede para bateria; (c) FV e rede para bateria; (d) FV para rede; (e) veículo para rede.



Fonte: (Aviles, Trivedi, & Williamson, 2020).

Para maximizar a eficiência desses fluxos, tem-se adotado controladores centrais conectados a conversores CC-CC e CC-CA, que atuam de forma autônoma segundo variáveis como:

- estado de carga (SoC) da bateria,
- energia solar disponível,
- preço da energia na rede,
- e perfil de demanda da edificação ou instalação.

Essas abordagens estão alinhadas aos conceitos de smart charging e Vehicle-to-Everything (V2X), que promovem a participação ativa dos veículos elétricos como elementos de resposta à demanda e suporte ao sistema elétrico. A gestão inteligente de carregamento não apenas reduz os custos operacionais do usuário, como também auxilia na flexibilização do

sistema elétrico, evitando picos e reduzindo investimentos em expansão da infraestrutura de rede (IEA, 2024).

Estudos aplicados têm demonstrado os benefícios da integração entre fontes renováveis, armazenamento e estações de recarga em microrredes. (Bhatti A. R., Salam, Aziz, Yee, & Ashique, 2016) modelaram uma microrrede com sistema fotovoltaico, baterias, geradores a diesel e estação de recarga, obtendo redução de 58% nos custos diários com energia por meio de um controlador centralizado. Em um estudo nacional, Tabora et al. (2021) analisaram a gestão energética de um sistema híbrido com três usinas FV, armazenamento e geração a diesel, integrado a uma edificação. A operação otimizada permitiu redução da demanda contratada e uso de créditos de energia para compensar o carregamento de VEs no horário de ponta.

Outros trabalhos similares, como os de Mohammad et al. (2020) e Costa e Villalva (2020), reforçam o potencial técnico e econômico de sistemas híbridos com controle inteligente na gestão do carregamento veicular e no suporte à rede elétrica.

Do ponto de vista regulatório, a Resolução Normativa nº 1.000 da ANEEL reforça a importância da gestão eficiente do uso da energia elétrica e incentiva soluções que promovam o uso racional de energia, como é o caso do carregamento programado e controlado de VEs.

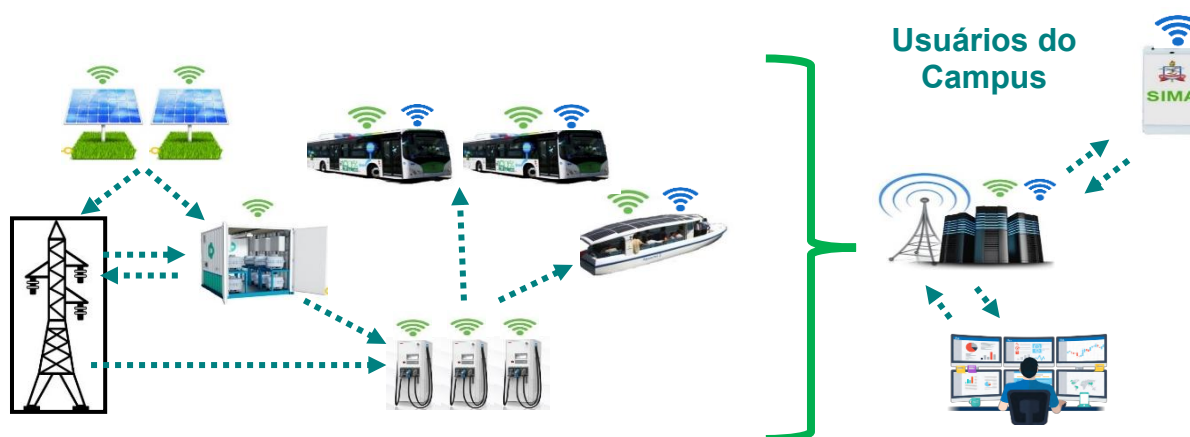
### **Capítulo 3 - Objeto de estudo: Projeto SIMA**

O projeto SIMA tem como premissa o desenvolvimento de uma solução realizável, energeticamente eficiente e sustentável, para o transporte multimodal envolvendo ônibus e barco elétricos, empregando tecnologias de mobilidade elétrica, com a implantação de um projeto piloto para o Campus Guamá, da Universidade Federal do Pará, em Belém - PA, de modo a gerar modelos para a posterior utilização econômica, em outras localidades com características similares.

No caso específico do presente projeto, a solução proposta envolveu o uso dos modais ônibus elétricos urbano e rodoviário, adquiridos no mercado, e barco elétrico com geração fotovoltaica própria, projetado e construído durante a execução do projeto, constituindo-se uma das inovações geradas pelo projeto. E, integrando a infraestrutura energética de suporte aos referidos modais, foram projetados e implantados os sistemas de geração fotovoltaica (FV), o Sistema de Armazenamento (SA) de energia em baterias, e os eletropostos. Além disso, para viabilizar modelos de negócios com base na operação deste sistema, foi desenvolvido um sistema de monitoração em tempo real da operação dos modais, envolvendo a aquisição de dados dos modais, a transmissão e o processamento desses dados em nuvem, e a disponibilização dessas informações para os gestores.

Essa questão, por si, inclui uma nova dimensão ao problema inicial dos modais, que é a obtenção via sensores, dos parâmetros que serão utilizados na gestão da operação eficiente do sistema. A aquisição de dados de variáveis elétricas, como corrente, tensão e potência de pontos específicos como da geração FV, do armazenamento de energia, das baterias dos ônibus elétricos, dos eletropostos, do barco elétrico, foi feita por módulos de coleta/aquisição de dados desenvolvidos pelo projeto, de forma customizada para as aplicações específicas. Por sua vez, estes dados deram suporte para a criação e utilização do software de gestão, que supervisiona e monitora a operação dos modais. A Figura 19 apresenta a descrição gráfica da metodologia de execução do projeto.

Figura 19 - Descrição gráfica da metodologia de execução do projeto



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 3.1 Sistema Fotovoltaico do Mirante do Rio

O SFV do Mirante do Rio apresenta um gerador de 59,29 kWp, composto por 177 módulos fotovoltaicos de 335 W, da fabricante BYD, e um inversor de 60 kW, da fabricante Huawei, apresentados respectivamente na Tabela 28 e Tabela 30 do anexo I. Esse sistema é do tipo conectado à rede e está conectado à rede da universidade por meio do circuito elétrico do prédio do Mirante do Rio. A Figura 20 apresenta uma vista superior do sistema fotovoltaico do Mirante do Rio.

Além de gerar energia para o projeto SIMA, o sistema fotovoltaico do Mirante do Rio contribui para o balanço energético desse prédio, tornando-a uma Edificação NZEB (*Near Zero Energy Building*).

Figura 20 – Vista superior do sistema fotovoltaico do Mirante do Rio.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 3.2 Minirrede Híbrida do CEAMAZON

A minirrede do CEAMAZON é composta por sistemas de geração de energia, sistema de armazenamento, um sistema de gestão de energia e as cargas. Os sistemas de geração são constituídos principalmente por tecnologia de sistemas fotovoltaicos, mas possui um gerador a biodiesel como back-up de geração, para casos extremos. O sistema de armazenamento utiliza tecnologia de baterias íon lítio.

O sistema fotovoltaico do prédio CEAMAZON é um sistema híbrido composto por 234 módulos fotovoltaicos, cada um com uma potência de 335 Wp. Esse sistema é composto por três sistemas fotovoltaicos, sendo dois de modelo conectado à rede, um utilizando um inversor da marca SMA e o outro utilizando o inversor da marca Fronius, e um modelo isolado, utilizando um controlador de carga da fabricante Victron. A Tabela 7 apresenta a potência do gerador fotovoltaicos de cada um dos sistemas.

Tabela 7 – Potência dos geradores dos sistemas fotovoltaicos do CEAMAZON.

<b>Tipo</b>	<b>Potência (kWp)</b>
Sistema SMA	54,94
Sistema Fronius	18,09
Sistema Isolado Victron	5,36

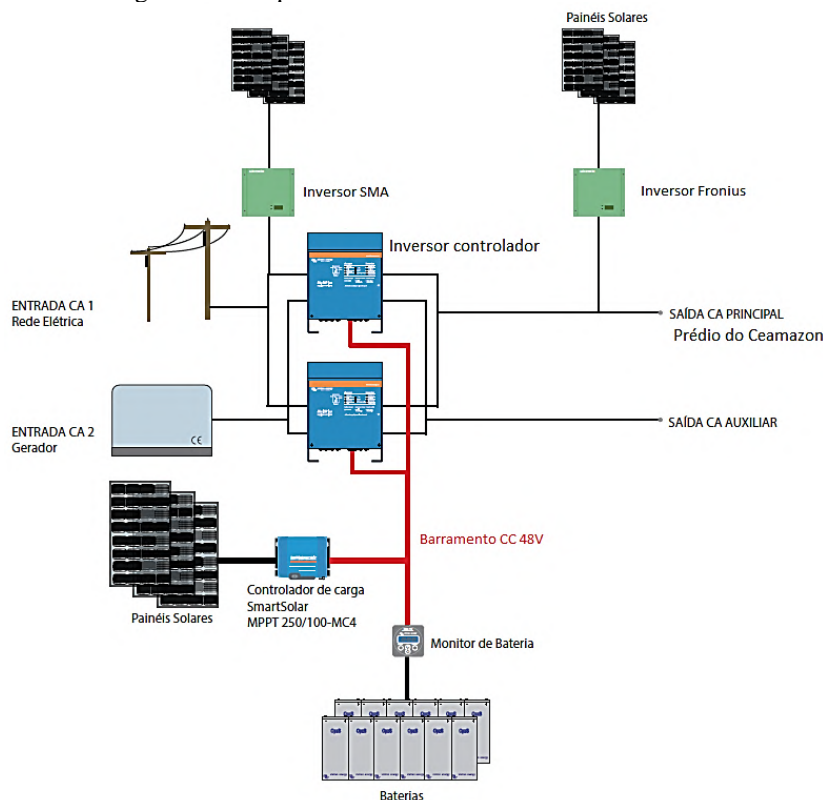
Fonte: Desenvolvida pelo autor.

Dentre os SFCR, o sistema com inversor SMA está ligando a rede da UFPA que chega ao CEAMAZON, porém está conectado fora da minirrede, estando seu funcionamento vinculado ao funcionamento da rede externa. Já o sistema com inversor Fronius está ligado à rede interna da minirrede, com isso sua operação está vinculará ao funcionamento da minirrede. O sistema fotovoltaico isolado está conectado ao barramento de corrente contínua do Sistema de Armazenamento.

O sistema de armazenamento é composto por oito baterias BYD conectadas em paralelo, que juntas fornecem uma capacidade total de armazenamento de 110,4 kWh e uma capacidade de carga de 2160 Ah, conforme detalhado na ficha técnica apresentada no Anexo I. A programação do Sistema de Armazenamento do estudo de caso é discutida no Item 5.4.2 e segue as recomendações do fabricante para manter uma profundidade de descarga de 80% enquanto respeita o limite inferior de carga de 20%. Se este limite for excedido, o gerador a biodiesel pode ser ativado.

Este sistema gestão é composto por 6 inversores controladores interconectado, 2 por fase, que controlam o fluxo de potência, seja os sistemas de correntes alternadas ou contínuas, gerenciando o sistema isolado, sistema conectado à rede, sistema de armazenamento e as cargas. A Figura 21 apresenta um esquema de conexão simplificado da minirrede do CEAMAZON

Figura 21 – Esquemático da minirrede do CEAMAZON.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 3.3 Mobilidade Elétrica

O SIMA apresenta três modais de mobilidade elétrica que atendem a comunidade universitária da UFPA, sendo divididos em terrestres e aquático. Dentre os modais terrestres, um deles é o Ônibus Rodoviário Chassi BYD D9F-20410 Marcopolo Viaggio 1050, Figura 22, com algumas especificações sobre motor, sistema de direção, bateria e carregamento, apresentados na Tabela 31 no Anexo II. Este ônibus, funcionando de segunda à sexta, faz viagem UFPA campus Belém – Castanhal, Figura 23, aproximadamente 75 km, pela manhã e retorna pela tarde, para a demanda de transporte da comunidade acadêmica à UFPA.

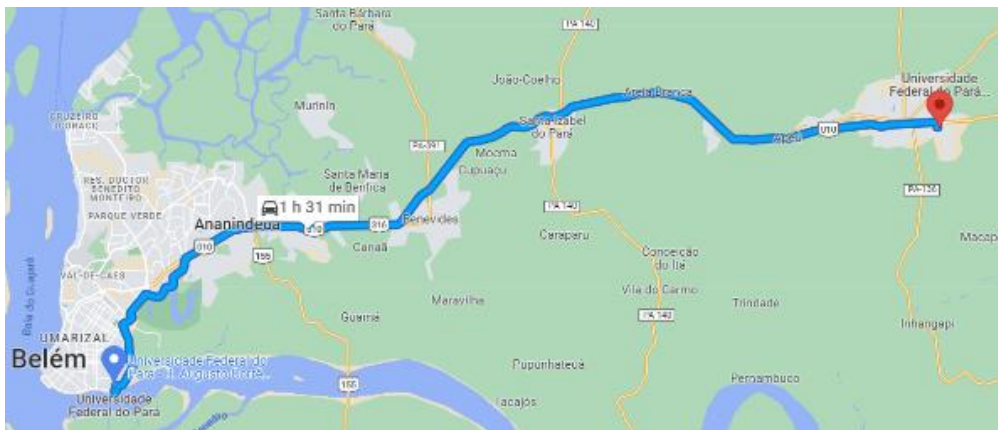
Além do rodoviário, há o Ônibus Urbano Elétrico Piso Baixo BYD chassi D9W 20410 e Carroceria Marcopolo Torino-E, Figura 24, com suas especificações sobre motor, sistema de direção, bateria e carregamento, apresentados na Tabela 32 presente no Anexo II. Este ônibus, também funcionando de segunda à sexta, faz a locomoção da comunidade acadêmica dentro do campus UFPA, com um trajeto definido, Figura 25, iniciando às 7h até 18-19h, aproximadamente 12h diárias.

Figura 22 - Ônibus Rodoviário.



Fonte: Portal UFPA

Figura 23 - Trajeto Belém – Castanhal.



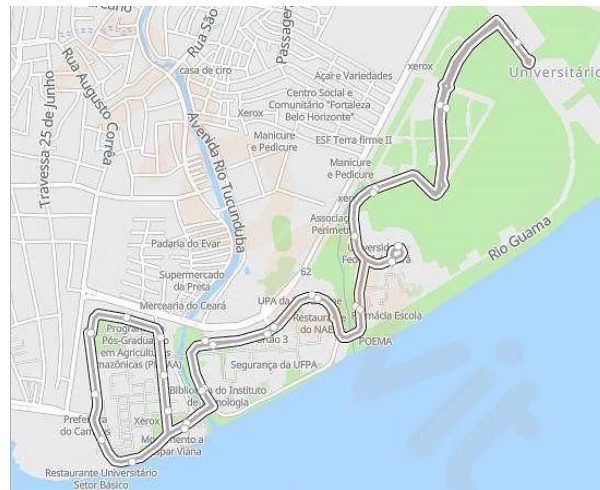
Fonte: Google Maps.

Figura 24 – Ônibus Urbano.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 25 - Percurso no Campus Guamá – Belém.



Fonte: Aplicativo Moovit.

Para o modal aquático, está sendo construído um barco elétrico, do tipo catamarã, para transporte de até 20 passageiros. O barco contará com um sistema fotovoltaico, para a geração de energia, e poderá ser recarregado em terra, por meio de um eletroposto. A Figura 26 apresenta uma vista renderizada do projeto do barco elétrico.

Figura 26 – Vista renderizada do barco elétrico.

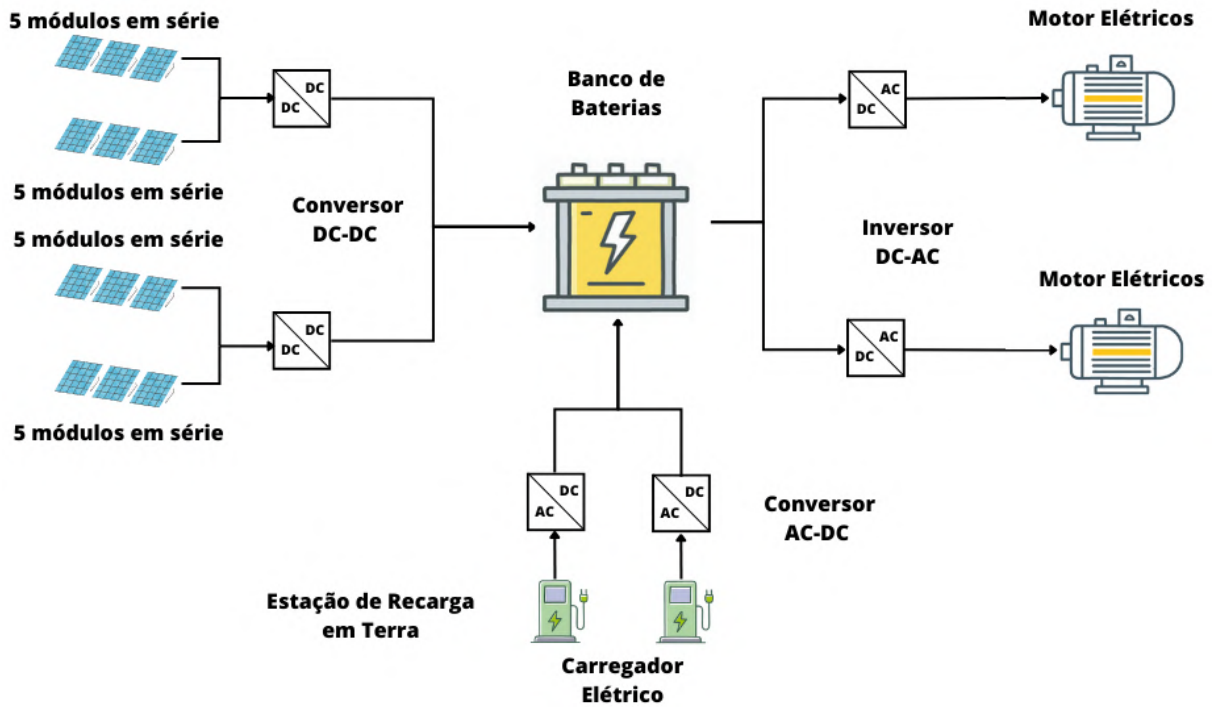


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O barco conta com 20 módulos fotovoltaicos, sendo dois arranjos de 5 módulos em série, para cada um dos dois conversores abaixadores de tensão DC-DC, totalizando uma potência máxima de geração de 6,7 kWp utilizando a tecnologia silício policristalino. O conversor está conectado a um banco de baterias, que é formado por 3 pacotes de 24 células, totalizando uma capacidade de descarga de 615 Ah.

Para a parte propulsiva são utilizados dois inversores DC-AC fornecendo energia da bateria para dois motores gaiola de esquilo de 12 kW e que funcionam a uma tensão nominal de 51 V, e dois conversores AC-DC para a recarga das baterias quando o barco estiver em terra. A Figura 27 apresenta um esquema resumido do barco elétrico.

Figura 27 - Esquema resumido do projeto do Barco Elétrico.



Fonte: Desenvolvida pelo autor.

Quanto aos eletropostos para recarga desses ônibus elétricos, há quatro dentro do campus Guamá disponíveis, são eles: dois localizados ao lado do Ginásio Poliesportivo da UFPA, um BYD modelo EVA080KI/01, Figura 28, e um ABB modelo TERRA 54HV CJG – 3P639901000A, Figura 29. Além desses, há mais dois localizados no CEAMAZON, um ABB modelo EVLunic Pro M W22 G6 R C, Figura 30, e outro BYD modelo EVA080KI/01, Figura 28. As Tabela 33, Tabela 34 e Tabela 35 presentes no Anexo III apresentam mais detalhes sobre os modelos EVA080KI/01, EVLunic Pro e TERRA 54HV, respectivamente.

Figura 28 - Eletroposto BYD modelo EVA080KI/01 do Ginásio.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 29 - Eletroposto ABB modelo TERRA 54HV CJG – 3P639901000 do Ginásio.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 30 - Eletroposto ABB modelo EVLunic Pro M W22 G6 R C do CEAMAZON.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 31 - Eletroposto BYD modelo EVA080KI/01 do CEAMAZON.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Capítulo 4 - Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho parte da premissa que para que um sistema possa ser gerenciado de forma adequada e eficiente, ele precisa ser medido. A partir de dados de medição é possível que esses sistemas sejam analisados e identificados padrões que evidenciem as principais características de uso sob determinadas condições e direcionem para uma forma de uso mais eficiente.

Dentro desse contexto, neste trabalho foram desenvolvidos programas que são utilizados para o monitoramento das principais características elétricas e parâmetros de funcionamento para os principais sistemas, objetos de estudo, além de fornecer parâmetros de eficiência energética que direcionam a tomada de decisão do operador dos sistemas.

Os programas de monitoramento existentes no mercado são na grande maioria pertencentes as fabricantes desses equipamentos e sistemas, não permitindo o monitoramento de múltiplos equipamentos de diferentes fabricantes. Esse fato dificulta o desenvolvimento de projetos de sistemas mais ajustados as condições e características locais, utilizando os diversos modelos de equipamentos existentes no mercado. Nesse contexto, muitas vezes o operador de um sistema precisa utilizar vários programas para analisar o funcionamento de um sistema e quanto mais complexo o sistema, maior a quantidade de programas de monitoramento. Dessa forma, faz-se necessário a existência de programas de monitoramento que sejam flexíveis a escolha do equipamento, assim como programas que possam integrar outros programas, de forma modular. Esse contexto pode ser aplicado a projetos de sistemas de geração de energia renovável, sistemas de armazenamento de energia, sistemas de mobilidade elétrica e, em um grau maior de complexibilidade, projetos de sistemas que englobe a integração de todos os outros sistemas citados anteriormente.

Com isso, foi concebido o programa de gestão de Sistemas Fotovoltaicos, denominado Gestão da Geração de Energia Renovável, tendo Registro de Software INPI N° BR512021003140-7, o programa de gestão para Sistemas de Armazenamento, denominado Gestão do Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica, tendo o Registro de Software INPI N° BR512021003139-3, e o programa de gestão de sistema de mobilidade elétrica, denominado Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal, que possui Registro de Software INPI N° BR512024000965-5. Dessa forma, os programas serão apresentados fazendo um resgate dos seus resultados dados monitorados ao longo do período de funcionamento dos sistemas em questão.

Vale salientar que os sistemas citados anteriormente pertencem a um projeto de mobilidade elétrica, que é objeto de estudo dessa tese e será detalhado nos próximos capítulos. Com isso, farão parte desse estudo VEs, terrestres e aquáticos, e um prédio educacional, tidos como as principais cargas elétricas a serem supridas pelo SF e o SA. Isto posto, este trabalho contempla ainda um programa que está em desenvolvimento e integrará aspectos de todos os sistemas citados anteriormente e dados de veículos elétricos a fim de fornecer informações sobre a gestão de energia para operadores de projetos de mobilidade elétrica.

#### **4.1 Análise de dados**

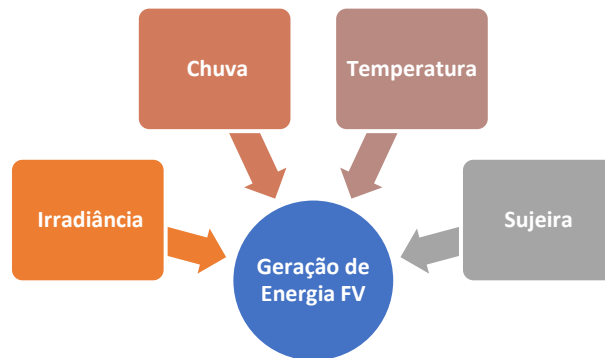
Ainda neste trabalho, será realizada uma análise dos dados monitorados, a fim de identificar e evidenciar características de funcionamento dos sistemas estudados sob diferentes cenários de funcionamento. Os cenários analisados serão baseados em características locais que influenciam o funcionamento de cada sistema, estando eles instalados e em funcionamento na Região Amazônica, de forma mais específica no Pará. Isto posto, é esperado que sejam evidenciadas as particularidades de funcionamento dos sistemas em função de características meteorológicas locais, períodos de maior quantidade de pessoas utilizando os veículos elétricos e as edificações, assim como diferentes modos de uso e gestão de energia utilizada.

No caso dos sistemas fotovoltaicos, o gerador fotovoltaico possui uma capacidade de geração de energia diretamente ligada as condições meteorológicas locais, em especial irradiância e temperatura (Zielińska, Skowron, & Bień, 2018) (Fuke, De, Shiradkar, & Kottantharayil, 2024). Com isso, o trabalho explorará o desempenho do sistema fotovoltaico em cenários como o inverno amazônico e o verão amazônico, devido as particularidades das características meteorológicas típicas da Região Amazônica. As respostas obtidas podem ser utilizadas para direcionar o planejamento e ações sob sistemas fotovoltaicos instalados na região, como limpezas e manutenção em períodos de menor eficiência ou direcionar o planejamento energético para o atendimento de uma carga. A Figura 32 apresenta os principais fatores externos que impactam na geração de energia de um SF em operação.

Para os Veículos Elétricos, estes apresentam como principais características que influenciam seu consumo o peso que será transportado, que no caso de veículos de transporte coletivos está ligado principalmente a quantidades de passageiros, e o modo de condução do veículo, que está diretamente relacionado ao tipo de trajeto que será percorrido. Esse estudo utilizará como objeto de análise um ônibus urbano, circulando em um ambiente de cidade, um ônibus rodoviário, circulando em um ambiente de rodovia, e um barco elétrico, navegando em um rio. Assim, os cenários estudados evidenciarão as características energéticas para os

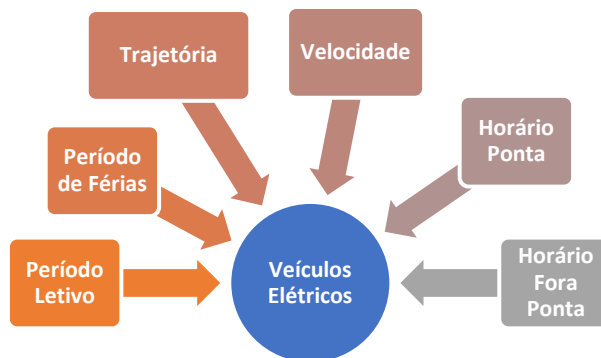
cenários de maior e menor uso de sistema sob as particularidades de onde irão transitar. A Figura 33 apresenta os principais fatores que impactam no consumo de energia de um VE.

Figura 32 - Característica externas que podem impactam na geração de energia pelo SF.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

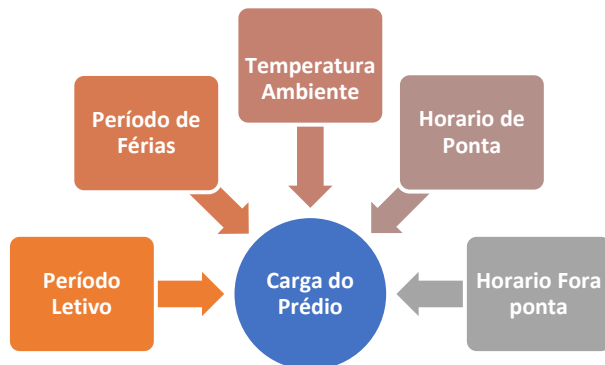
Figura 33 - Fatores que impactam no consumo de energia dos VEs.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Além das cargas dos VEs o estudo contempla a carga de uma edificação educacional com fluxo de pessoas variados de acordo com o período do ano. A Figura 34 apresenta fatores que impactam no consumo de energia do prédio.

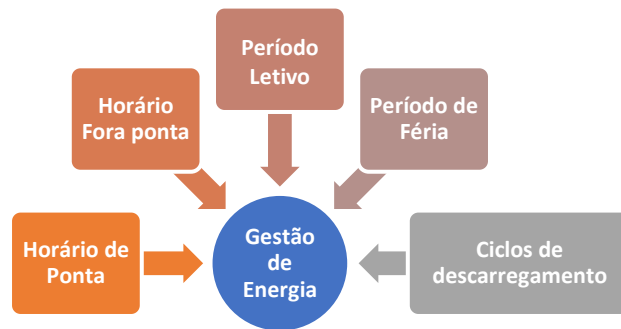
Figura 34 - Fatores que impactam no consumo de energia do prédio.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

No caso do SA, este sistema tem como função gerenciar a energia gerada pelos SF e atender a necessidade energética dos sistemas em estudo de forma eficiente, tanto economicamente quanto energeticamente. A gestão de energia é diretamente impactada pelos aspectos que influenciam a geração de energia pelos SF e pelos que influenciam no consumo de energia pelas cargas. Assim, os cenários estudados para o SA serão em períodos semelhante aos do SF e de VE, entretanto evidenciando a forma como essa energia foi gerida. A Figura 35 apresenta alguns fatores externos que influenciam na gestão da energia pelo SA.

Figura 35 - Fatores que impactam no consumo de energia gerida pelo SA.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

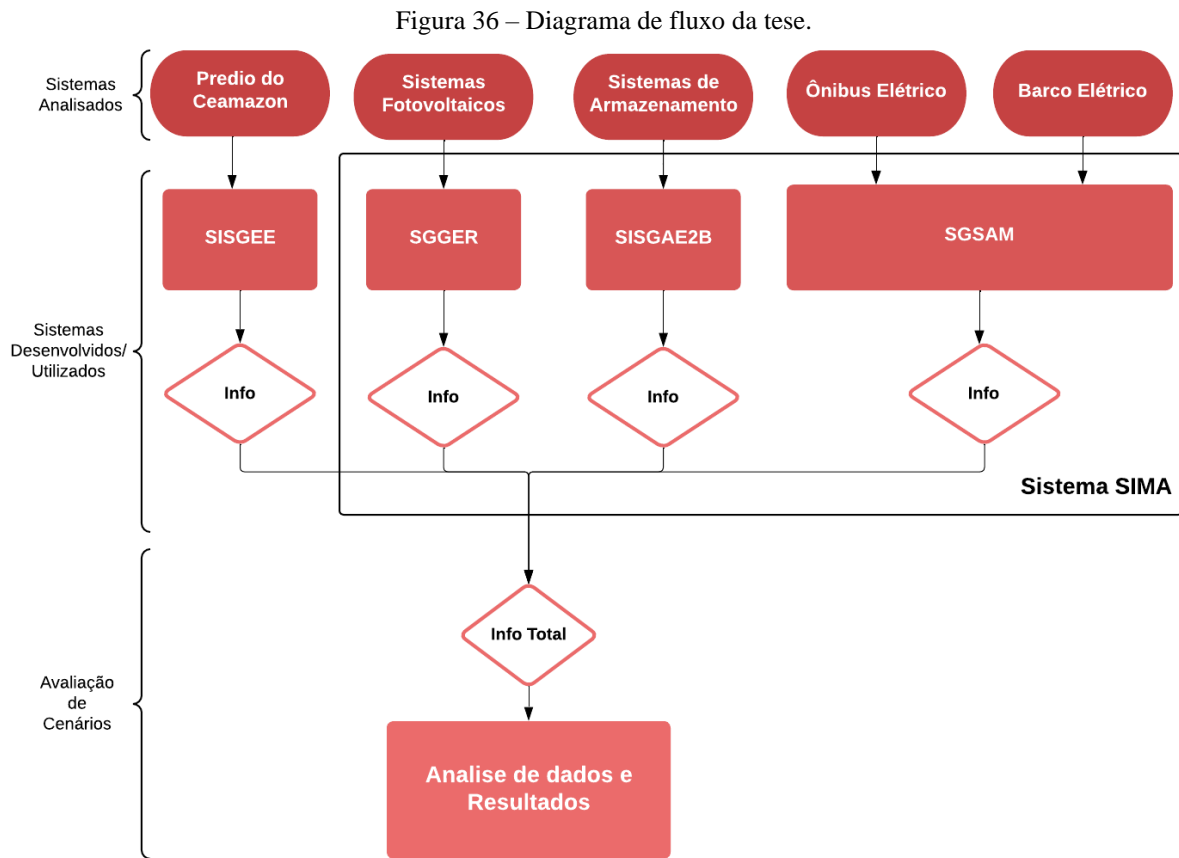
Com isso, os resultados da avaliação dos cenários propostos serão importantes, pois servirão para direcionar projetos de Mobilidade Elétrica, Sistemas Fotovoltaicos, Sistemas de Armazenamento e suas integrações na Região Amazônica. A Tabela 8 apresenta um resumo dos cenários que serão analisados neste trabalho.

Tabela 8 – Tabela de cenários analisados.

Sistemas	Cenários	Comentário
Sistemas Fotovoltaicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inverno Amazônico</li> <li>• Verão Amazônico</li> </ul>	Avaliar as particularidades da geração de energia ao longo do ano, dando destaque aos períodos de interesse.
Veículos Elétricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de maior carga</li> <li>• Período de menor carga</li> </ul>	Avaliar as particularidades da variação do consumo de energia ao longo do ano, dando destaque aos períodos de interesse.
Prédio Educacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Período de maior carga</li> <li>• Período de menor carga</li> </ul>	Avaliar as particularidades da variação do consumo de energia ao longo do ano, dando destaque aos períodos de interesse.
Sistema de Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inverno Amazônico</li> <li>• Verão Amazônico</li> <li>• Período FP</li> <li>• Período HP</li> <li>• Período de maior carga</li> <li>• Período de menor carga</li> </ul>	Avaliar a gestão energética do SA, considerando: Variações da geração dos FV nos cenários; variações da carga dos VE em cada cenário; variações da carga da edificação em cada cenário; Despacho de energia considerando os períodos HP e FP.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A Figura 36 apresenta o diagrama de fluxo da tese, especificando os sistemas analisados, os sistemas desenvolvidos e utilizados e a avaliação de cenários em relação a análise de dados e resultados.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Serão apresentados nos próximos Itens as técnicas e os programas utilizados para a realização desse estudo.

## 4.2 Simulação Barco

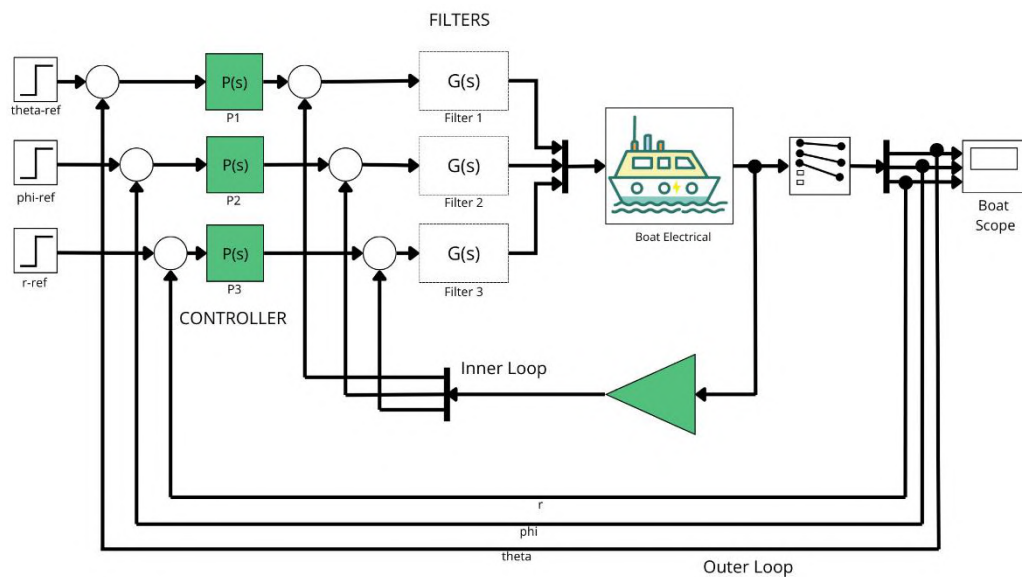
A fim de avaliar e analisar o desempenho do barco elétrico em diferentes condições de operação, foi realizada uma simulação de sua operação. Para isso, foi desenvolvido um modelo computacional que representa seu funcionamento, permitindo a análise do comportamento do sistema em diversos cenários de uso. Esse modelo foi implementado no software MATLAB/Simulink, possibilitando simulações detalhadas do sistema elétrico do barco. A Figura 37 demonstra um modelo de sistemas de controle para a simulação de um barco qualquer.

Uma vez que o uso do MATLAB/Simulink envolve a criação de modelo detalhados dos componentes elétricos e mecânicos do barco elétrico, é necessário definir de forma detalhada os componentes presentes no sistema, isto é, modelos elétrico e mecânicos de simulação, isto é, o modelo elétrico inclui o sistema fotovoltaico, o sistema de armazenamento

e também o sistema de propulsão, enquanto que o modelo mecânico incorpora aspectos construtivos, como a estrutura, a hidrodinâmica e forças resultantes que interagem diretamente com a inércia do barco (Albuquerque, 2024).

Considerando as características de funcionamento do barco, é necessário um sistema de armazenamento para suprir seu consumo médio de 47,23 kWh. Para operar plenamente, requer um total de 75,43 kWh, dos quais 28,2 kWh são gerados pelo sistema fotovoltaico instalado na superfície do catamarã.

Figura 37 – Exemplo de sistema de controle do barco elétrico.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O artigo desenvolvido foi publicado na revista *Machines* do MDPI, com o título: “*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*”, que possui o DOI: 10.3390/machines12110803.

### 4.3 Sistemas Desenvolvidos

Para a realização das análises, foram desenvolvidos programas de gerenciamento dos REDs, contemplando os sistemas fotovoltaicos, os sistemas de armazenamento e os ônibus elétricos. Esses programas foram projetados com foco na interoperabilidade, permitindo a integração com diferentes tipos, modelos e fabricantes de equipamentos presentes no sistema SIMA. Essa característica assegura maior flexibilidade e adaptabilidade, tornando os sistemas desenvolvidos aplicáveis em ambientes heterogêneos e facilitando sua replicação em outros contextos. Nos próximos itens, serão apresentadas as técnicas e os programas utilizados para a realização deste estudo.

### 4.3.1 Gestão da Geração de Energia Renovável

O Sistema de Gestão de Geração de Energia Renovável (SGGER) é um dos softwares computacionais que compõem o Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal do Projeto SIMA. O objetivo do SGGER é realizar a gestão e o monitoramento dos Sistemas Fotovoltaicos do Projeto SIMA. Para alcançar tal objetivo, este software foi desenvolvido sendo composto por três módulos principais, são eles:

1. **SIMA CORE:** é o back-end do software. Ele corresponde a toda a parte de lógica, programação e cálculo do software. Este módulo é constituído por três processos principais, são eles:
  - **SIMA Snapshot:** processo responsável por utilizar as informações de grandezas (variáveis) armazenadas na plataforma Dojot pelos modais, as quais possuem intervalos de amostragem distintos e assíncronos, e calcular a integralização deles em intervalos regulares.
  - **SIMA Monthly:** processo responsável por calcular as grandezas (variáveis) mensais, como potência mensal, o consumo mensal, entre outras grandezas (variáveis).
  - **SIMA Error Finder:** processo responsável por detectar erros em amostras dos medidores.
2. **SIMA WEB:** é o front-end do software. Este software é acessível via web, o qual contém componentes gráficos como telas, janelas, botões, mapas e gráficos, ou seja, é a parte do software com a qual o usuário interage.
3. **SIMA DOJOT:** é o middleware do software. Ele corresponde a plataforma intermediária entre o front-end, back-end e os sistemas e modais físicos do projeto. A Dojot recebe, processa, salva e persiste os dados medidos e outros tipos de dados do projeto.

É importante deixar claro que por motivos de segurança todos os IP e portas informados neste relatório técnico não são os mesmos do servidor do projeto SIMA.

Para o desenvolvimento desse programa, foi utilizada a metodologia Scrum, adotando as seguintes etapas: inicia-se pelo levantamento de todos os requisitos, posteriormente realiza-se a prototipação dos requisitos levantados na etapa anterior, após essa etapa é dado o início do desenvolvimento em si e, por fim, são realizados os testes de funcionamento eficiente do software. Todas essas etapas podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 38.

Figura 38 – Fluxograma das atividades realizadas.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

1ª Etapa: levantamento de requisitos e variáveis

Na Etapa 1 são levantados todos os requisitos funcionais, requisitos não funcionais, e as variáveis, verificar Apêndice I - que este software deveria ter. Os requisitos funcionais são funcionalidades e serviços que o software oferece, enquanto os requisitos não funcionais: são aqueles que não apresentam uma relação direta com funcionalidades/ finalidade do sistema.

O levantamento se deu por meio das necessidades e demandas da equipe técnica do projeto SIMA do CEAMAZON, sendo eles os gerentes de cada um dos modais/sistemas e os possíveis usuários do software.

2ª Etapa: prototipação

Nesta etapa foram criados os protótipos das telas com todos os requisitos levantados na etapa anterior. Para a criação dos protótipos foi utilizado o software Adobe XD (Experience Design). Após a finalização dos protótipos, foram realizadas novas reuniões, para receber o feedback com alguns membros da equipe do projeto. Com base nas sugestões apresentadas por eles, foram feitas algumas alterações nos protótipos e posteriormente a nova versão foi novamente apresentada a eles para a validação final.

3ª Etapa: desenvolvimento

Na Etapa 3 dá-se início à implementação do software. Inicialmente foi configurado o servidor, foram criados os usuários, foi feita a configuração de acesso via SSH (Secure Shell), entre outras configurações. Após essa configuração inicial do servidor, deu-se início paralelamente ao desenvolvimento do SIMA Web, SIMA Core e SIMA Dojot.

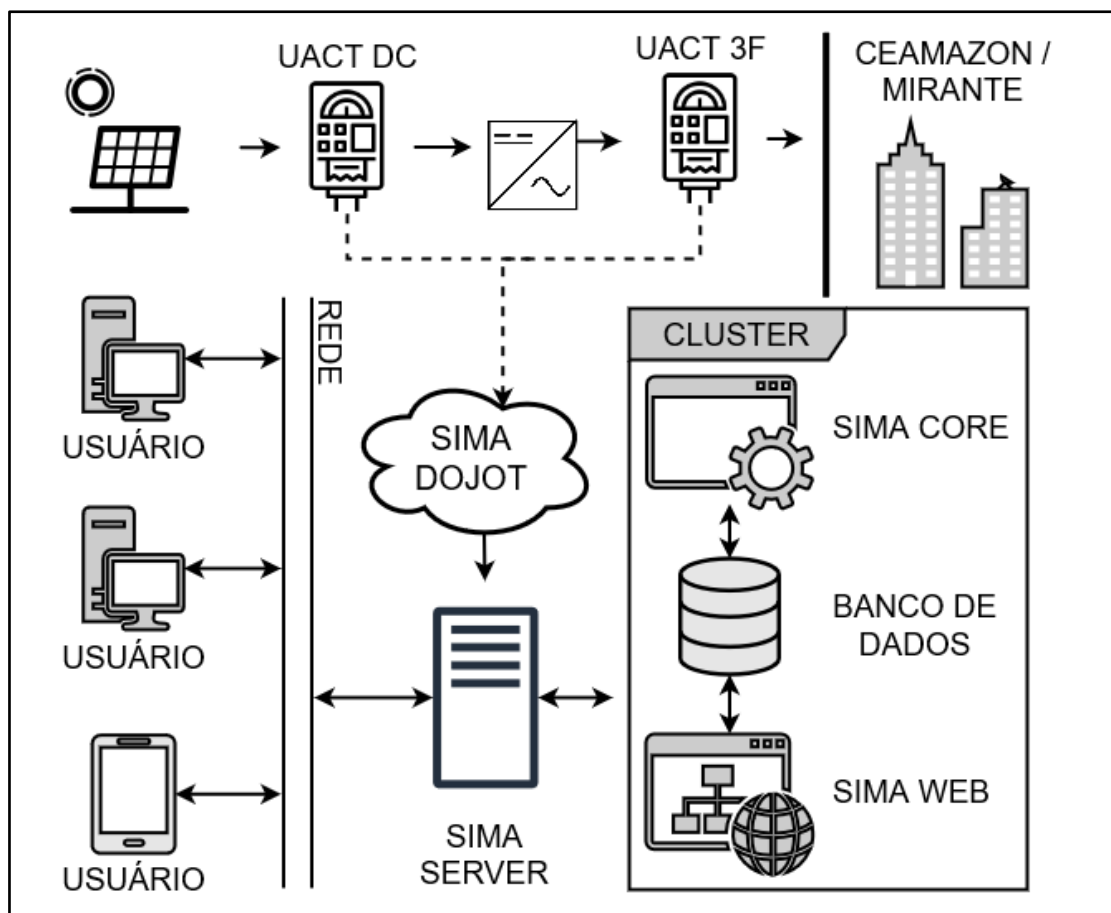
4ª Etapa: testes

Nesta etapa realizam-se os testes do software. Onde, o SGGER é testado pelos próprios desenvolvedores e posteriormente disponibiliza-se para teste por alguns membros do projeto e potenciais usuários do software.

O SGGER foi elaborado para uma arquitetura web e é baseado, principalmente, em Interface de Programação de Aplicações (APIs, sigla em inglês) e requisições. A Figura 39

apresenta uma visão geral da arquitetura do software. O processo se inicia na camada com os dispositivos físicos, composta pelos sistemas fotovoltaicos e os medidores nomeados de UACT DC (Unidade de Aquisição de Corrente e Tensão Direta) e UACT 3F (Unidade de Aquisição de Corrente e Tensão Trifásica). Esses medidores são responsáveis por capturar as informações referentes a geração de energia pelos SFVs presentes nos prédios do CEAMAZON e do Mirante do Rio. Essas informações são enviadas para a plataforma Dojot customizada para o projeto SIMA. A Dojot encontra-se hospedada no servidor do projeto, o qual também hospeda as outras partes do sistema.

Figura 39 – Arquitetura geral do SGGER.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

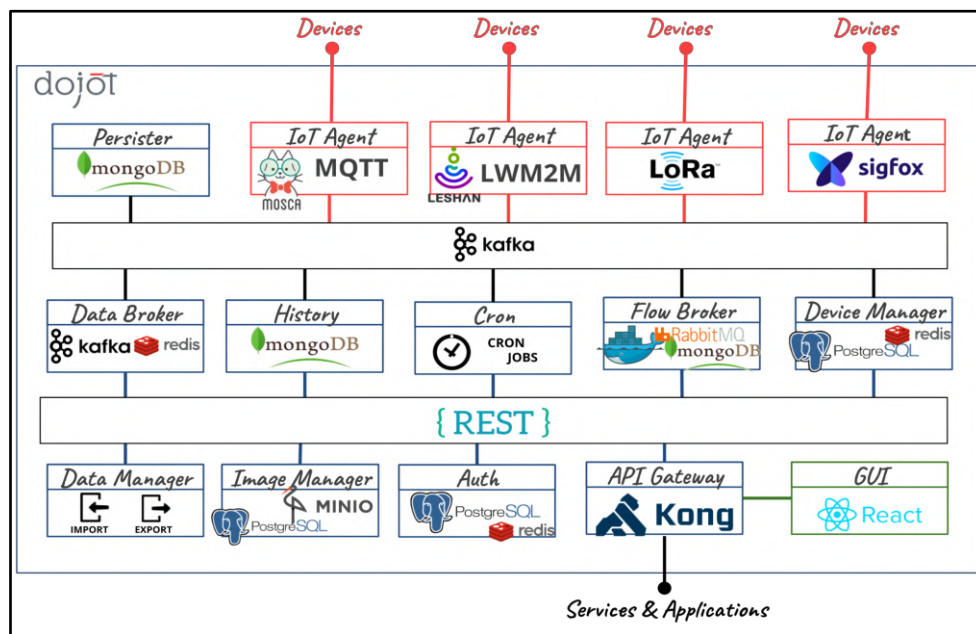
O servidor do projeto SIMA também aloca outras aplicações do projeto, além do SGGER. Em relação mais especificamente ao SGGER, este está alocado em um cluster exclusivo para esta aplicação, contendo as suas três principais aplicações: SIMA Core, SIMA Web e SIMA Dojot. A primeira é o SIMA Core, responsável pela parte de lógica, programação e cálculo. O SIMA Core interage com o banco de dados do sistema e o SIMA Dojot, para armazenar informações. A terceira aplicação, o SIMA Web, interage também com o SIMA

Dojot é mais diretamente com o usuário por meio de uma interface web. Essa interação pode ser por meio de um dispositivo desktop ou mobile.

#### 4.3.1.1 Plataforma Dojot

A Dojot é uma plataforma brasileira open source que nasceu com o objetivo de desenvolver e demonstrar tecnologias para as cidades inteligentes e tem sido bastante utilizada em aplicações de Internet das Coisas. Com ela utiliza tecnologias no estado da arte e adota uma arquitetura de micro serviços, ela possibilita uma implantação funcional customizada e escalável de acordo com a necessidade da aplicação. Além disso, ela possui fácil integração com outros sistemas baseados em serviços (CPQD, 2021). Na Figura 40 é possível visualizar a arquitetura com os componentes (micro serviços) da Dojot.

Figura 40 – Arquitetura da Dojot.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para maiores informações sobre cada um dos componentes basta consultar a documentação oficial da Dojot, disponível neste [link](#).

#### 4.3.2 Sistema de Gestão do Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica

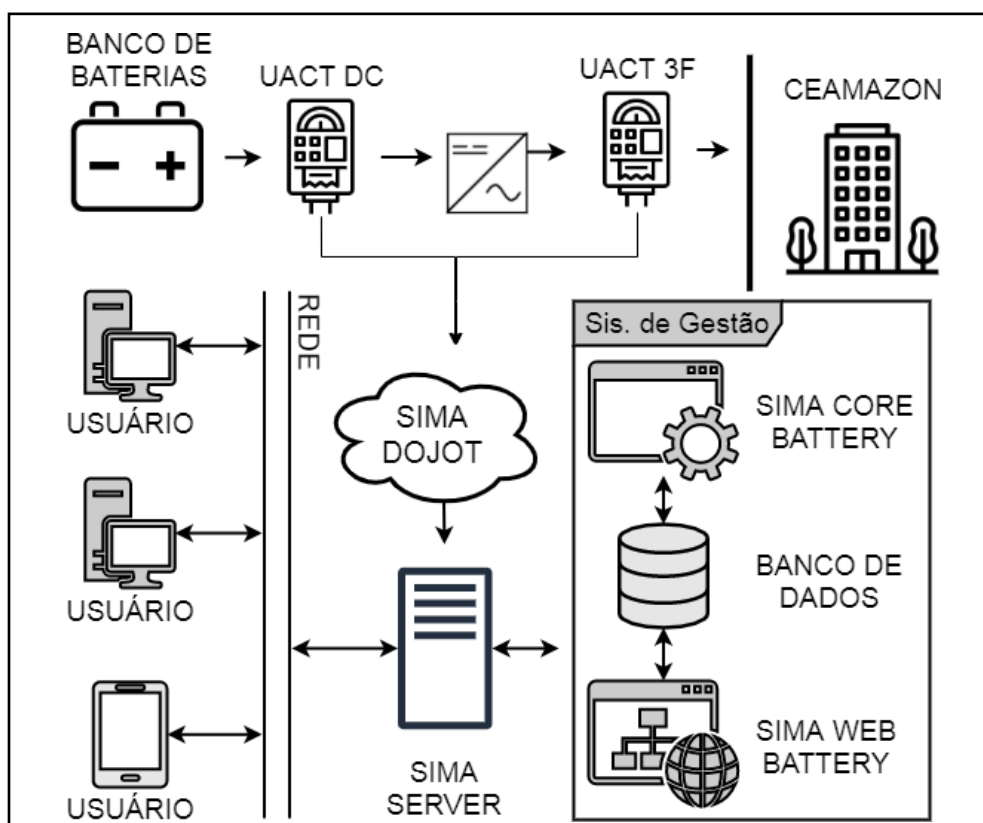
O Sistema de Gestão de Armazenamento de Energia Elétrica (SISGAE2B) é mais um dos módulos desenvolvidos para monitorar os sistemas do SIMA. O objetivo deste módulo é realizar a gestão e o monitoramento de Sistemas de Armazenamento, em especial os que armazenam a energia elétrica em bancos de baterias. Este programa tem uma estrutura de funcionamento semelhante ao do programa SGGGER, sendo também composto por três módulos principais, o SIMA Core, SIMA Web Battery e SIMA Dojot.

A metodologia de desenvolvimento do programa SISGAE2B também se assemelha ao SGGER, de Scrum, agora considerando o sistema de armazenamento como objeto principal. As etapas de desenvolvimento seguem: levantamento de todos os requisitos, posteriormente realiza-se a prototipação dos requisitos levantados na etapa anterior, após essa etapa é dado o início do desenvolvimento em si e, por fim, são realizados os testes de funcionamento do programa. O fluxograma de trabalho deste programa é semelhante ao apresentado na Figura 39.

No Apêndice I - pode ser encontradas mais informações como as tabelas de requisitos funcionais, requisitos não funcionais, e as variáveis utilizadas para o desenvolvimento do SISGAE2B.

O SISGAE2B também foi elaborado para uma arquitetura web. Na Figura 41 é apresentada uma visão geral da arquitetura do SISGAE2B, sendo o início do processo na camada com os dispositivos físicos, composta pelo banco de baterias e os medidores nomeados de UACT DC, este apesar de possuir a mesma nomenclatura que no SGGER operará com características elétricas diferentes, específicas do AS e UACT 3F. Esses medidores capturam as informações referentes à energia que entra e sai do banco de baterias para suprir as cargas do prédio do CEAMAZON e dos veículos elétricos. Essas informações são enviadas para a plataforma Dojot, que se encontra hospedada no servidor do projeto SIMA.

Figura 41 – Arquitetura geral do SISGAE2B.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Dessa forma, este item apresentou a estrutura principal do programa SISGAE2B, composto substancialmente por três módulos principais: SIMA CORE, SIMA WEB BATTERY e SIMA DOJOT. Mais informações do programa desenvolvido serão apresentadas no capítulo de resultados.

#### **4.3.3 Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal**

A plataforma computacional completa implementada para o projeto SIMA, corresponde ao Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal, a qual será chamada neste trabalho como Sistema SIMA. O Sistema SIMA é um software web modular composto por outros softwares (módulos) também desenvolvidos durante o projeto, um Banco de Dados (BD), um middleware de Internet das Coisas (IoT, sigla em inglês) em nuvem e utiliza diversas tecnologias já existentes no mercado. O objetivo deste software é realizar a gestão e o monitoramento de forma inteligente de uma infraestrutura física de mobilidade elétrica multimodal.

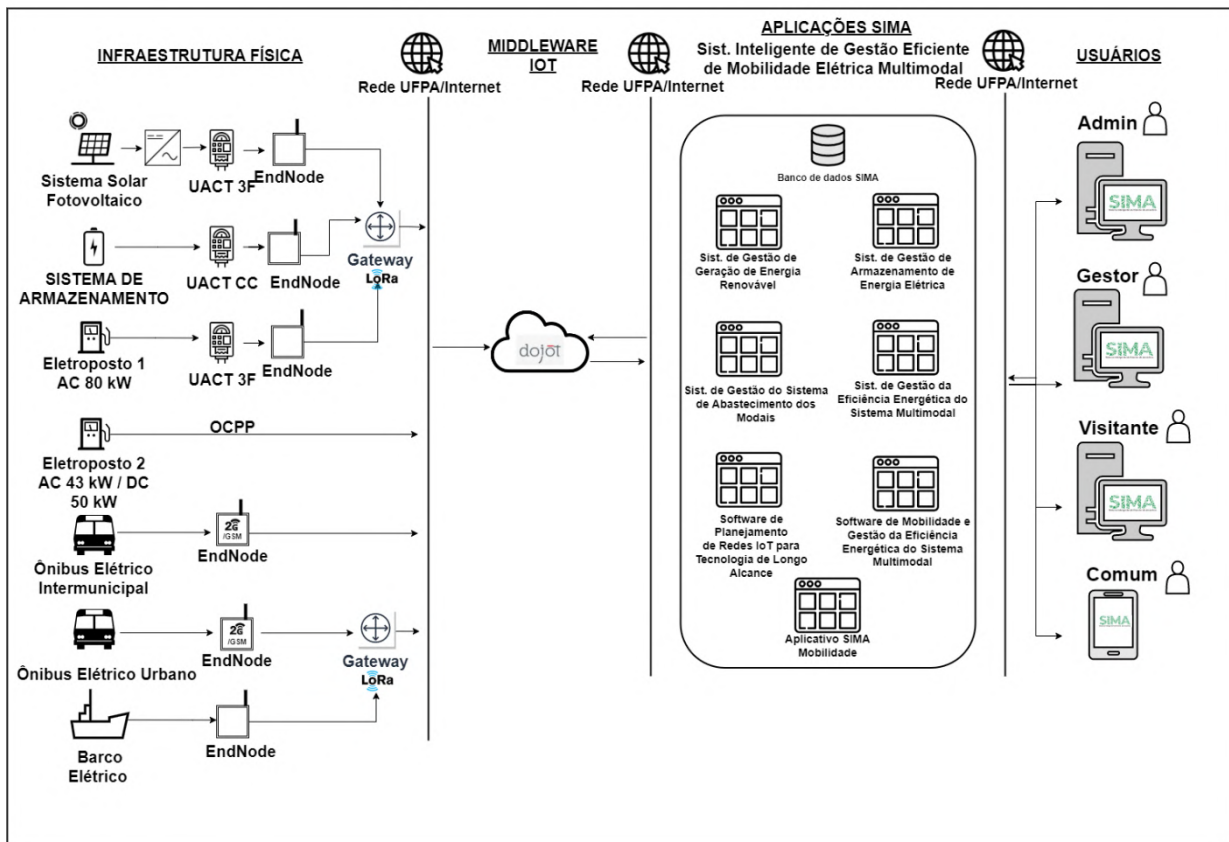
Por ser um software modular, é possível realizar a instalação de todos os módulos ou apenas alguns, de acordo com a necessidade do local onde ele está sendo implantado. Dentre os softwares (módulos) que compõem o sistema SIMA, tem-se estão:

1. Sistema de Gestão de Geração de Energia Renovável;
2. Sistema de Gestão de Armazenamento de Energia Elétrica;
3. Sistema de Gestão do Sistema de Abastecimento dos Modais;
4. Sistema de Gestão da Eficiência Energética do Sistema Multimodal;
5. Software de Planejamento de Redes IoT para Tecnologia de Longo Alcance;
6. Software de Mobilidade e Gestão da Eficiência Energética do Sistema Multimodal;
7. Aplicativo SIMA Mobilidade; e
8. Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal.

Na Figura 42 é possível ter uma visão geral de todas as camadas da arquitetura do sistema SIMA, onde na camada de infraestrutura física, estão os ônibus elétricos, eletropostos, sistemas fotovoltaicos, sistema de armazenamento de energia elétrica (banco de baterias), gateways e rede Lora, os medidores de energia, nomeados de UACT-CC (Unidade de Aquisição de Corrente e Tensão Contínua) e UACT-3F (Unidade de Aquisição de Corrente e Tensão Trifásica) e os endnodes. Na camada de middleware IoT está a plataforma Dojot, recebendo, processando e persistindo os dados. Na camada das aplicações estão todos os softwares (módulos) de gestão e monitoramento do SIMA. Na última camada, estão os diversos tipos de

usuários fazendo o uso dos softwares. Toda essa estrutura, forma uma típica arquitetura computacional de IoT.

Figura 42 – Arquitetura Computacional do Sistema SIMA.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O fluxo de dados dentro desta arquitetura ocorre da seguinte forma: camada física, os dados e informações dos sistemas e modais (fotovoltaicos, banco de baterias, eletropostos, ônibus elétrico) são aferidos através de medidores, endnodes, ou até mesmo dos seus próprios sistemas embarcados. Tais dados são enviados para plataforma Dojot na nuvem, através da rede IoT LoRa - implantada no Campus Guamá da UFPA - ou através de alguma outra tecnologia, como 2G/GSM e/ou internet. Após chegarem na Dojot tais dados são processados e persistidos no BD da própria Dojot e alguns também vão para o BD SIMA. À medida que as aplicações precisam dos dados e informações para o seu funcionamento, elas requisitam os dados a Dojot, ou BD SIMA, através de Interface de Programação de Aplicação (API, sigla em inglês). Por fim, na última camada, os usuários podem usufruir das aplicações de acordo com o seu perfil (admin, gestor, comum, visitante etc.).

## Capítulo 5 - Resultados

### 5.1 Programas desenvolvidos

Neste item, serão apresentados os resultados do desenvolvimento dos programas propostos por esta tese, sendo destacadas as principais características dos módulos do SIMA WEB para cada um dos programas.

A outra parte do resultado do desenvolvimento computacional será apresentado nos Apêndices I a IV, referentes aos módulos do SIMA CORE e SIMA DOJOT, que compartilham parte da estrutura desses módulos.

#### 5.1.1 Gestão do Sistema de Gestão da Geração de Energia Renovável

##### 5.1.1.1 SIMA Web Fotovoltaico

O SIMA Web Fotovoltaico foi desenvolvido com base no framework Laravel, uma vez que este possui uma ampla documentação, facilitando assim o processo de desenvolvimento e a manutenção da estabilidade do sistema. O Laravel faz uso dos quesitos de Model, View, Controller (MVC), fazendo com que haja mais escalabilidade do software, através do reuso de métodos e classes. Os aspectos de segurança também são implementados por meio do cumprimento de diversas diretrizes do OWASP (Open Web Application Security Project), tais como encriptação e utilização de tokens de acesso.

O SIMA Web Fotovoltaico pode ser instalado de duas formas: com o Docker, para que os seus componentes sejam instalados automaticamente, ou manualmente, com cada um dos seus componentes (PHP, banco de dados e outros) sendo instalados de forma manual.

O SIMA Web Fotovoltaico foi desenvolvido para funcionar segundo o modelo de software WEB, assim, para acessá-lo se faz necessário apenas o endereço IP do servidor. Após o usuário realizar o login, ele tem acesso às diversas telas do software agrupadas de acordo com as suas funcionalidades e que podem ser acessadas em um menu lateral esquerdo.

##### 5.1.1.1.1 Telas e Funcionalidades

Nesta seção serão apresentadas as principais telas desenvolvidas para o programa SGGER e descritas suas funcionalidades. Será feita uma breve apresentação de como o usuário pode interagir com essas telas.

- Telas de login, cadastro e perfil

A primeira tela apresentada ao usuário é a tela de login, conforme mostrado na Figura 43. Por meio dela é possível realizar o acesso com as suas credenciais: e-mail e senha, ou por

meio da conta de e-mail da Google. Caso o usuário não possua credenciais de acesso ele pode solicitar por meio do botão CADASTRE-SE.

Figura 43 – Tela de Login.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Nesta tela também é possível visualizar a “Barra de Menu”, responsável por mostrar outras telas e funcionalidade do SGGER. A Barra de Menu permanece fixa em todas as telas do SGGER. Nela há o Menu de Aplicações, no canto superior direito da tela, no qual é possível transitar para os outros programas que serão desenvolvidos no projeto, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44 - Tela de Login com Menu de Aplicação em evidência.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Além do Menu de Aplicação, há o Menu de Ferramentas, localizado no canto superior esquerdo da tela. Através desse Menu de Ferramentas é possível navegar entre as ferramentas e funcionalidades do SGGER. A Figura 45 mostra esse menu.

Figura 45 – Tela de Login com Menu de Ferramentas em evidência.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Conforme mencionado anteriormente, é possível solicitar acesso ao software por meio do botão CADASTRE-SE, que pode ser visualizado na Figura 45. Ao clicar nesse botão uma nova tela é aberta, onde o usuário pode preencher os seguintes campos para solicitar o seu acesso: nome, sobrenome, e-mail, CPF, senha e confirmação da senha, conforme mostra a Figura 46 abaixo que representa a tela de cadastro (solicitação de acesso).

Figura 46 - Tela de Cadastro do software.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Vale ressaltar que após realizar o cadastro solicitando o acesso ao SGGER, um usuário com permissão de administrador precisa aprovar ou não a solicitação desse novo usuário. Esta medida é tomada como ação de segurança para evitar que usuários não autorizados ou até mesmo maliciosos tenham acesso ao software. Também é importante ressaltar que o SGEER gera logs descrevendo quais usuários fizeram login e as suas respectivas ações. Outra medida de segurança implementada é a confirmação do e-mail. Após o usuário solicitar o cadastro ele recebe um e-mail de confirmação para confirmar se o seu e-mail é válido ou não.

Uma vez que o login foi realizado, é possível que o usuário altere o seu perfil, podendo editar: Nome, Sobrenome, CPF e senha. O campo E-mail não pode ser alterado, e mesmo que este seja editado por meio de alguma ferramenta o campo submetido não será atualizado no usuário. Além das edições, também é possível que o usuário clique em ‘SAIR’ para sair do sistema ou em ‘EXCLUIR CONTA’ para que as suas informações sejam permanentemente excluídas da base de dados. A Figura 47 representa a tela descrita.

Figura 47 – Tela de Edição de Perfil de Usuário.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Home

Após realizar o login no SGEER, será exibida a tela principal do programa, denominada “Home”. Essa tela está configurada para exibir um mapa do campus UFPA e a geolocalização de cada dispositivo fotovoltaico salvo na DOJOT, bem como o seu estado de funcionamento. Além disso, é possível verificar a geração de energia ao longo do dia e informações de produção do sistema. A Figura 48 representa a tela descrita.

Figura 48 - Tela inicial do software.

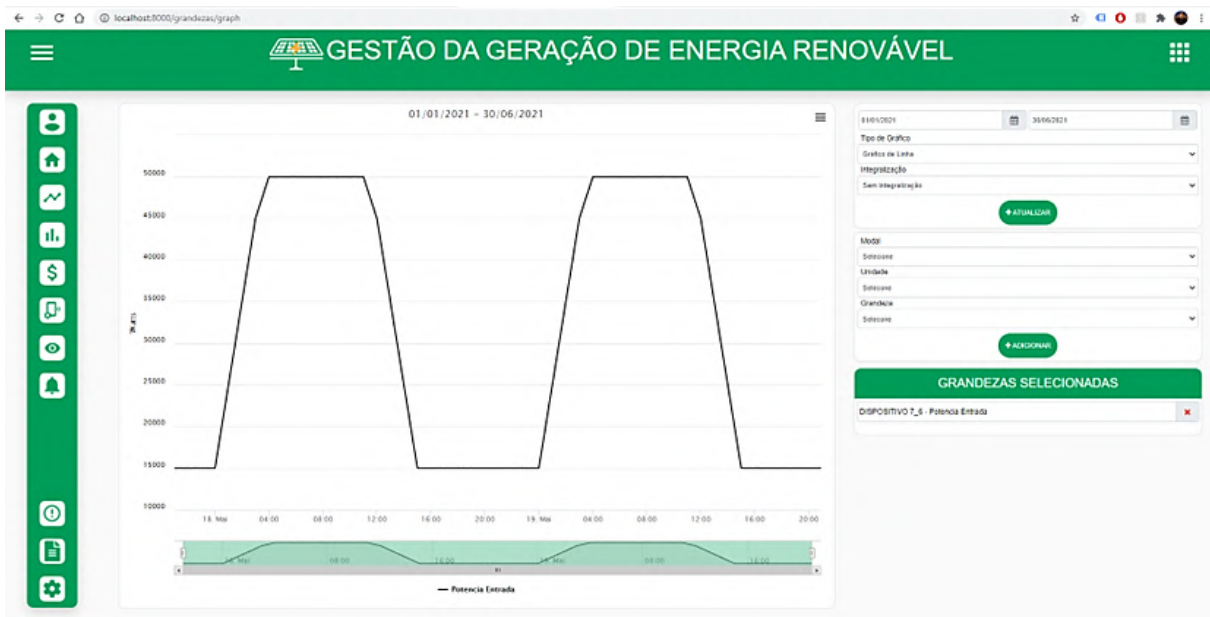


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### Tela de Grandezas

Na tela de grandezas é possível gerar gráficos das grandezas aferidas, como tensão, corrente, potência, entre outras. Esses gráficos podem correlacionar as informações coletadas e calculadas no software. Além disso, nessa tela é possível selecionar um intervalo entre datas para a consulta, o tipo de gráfico (Barra ou Linha) e o tipo de integralização (Nenhuma, Diária, Mensal, Anual). A Figura 49 representa a tela de grandezas.

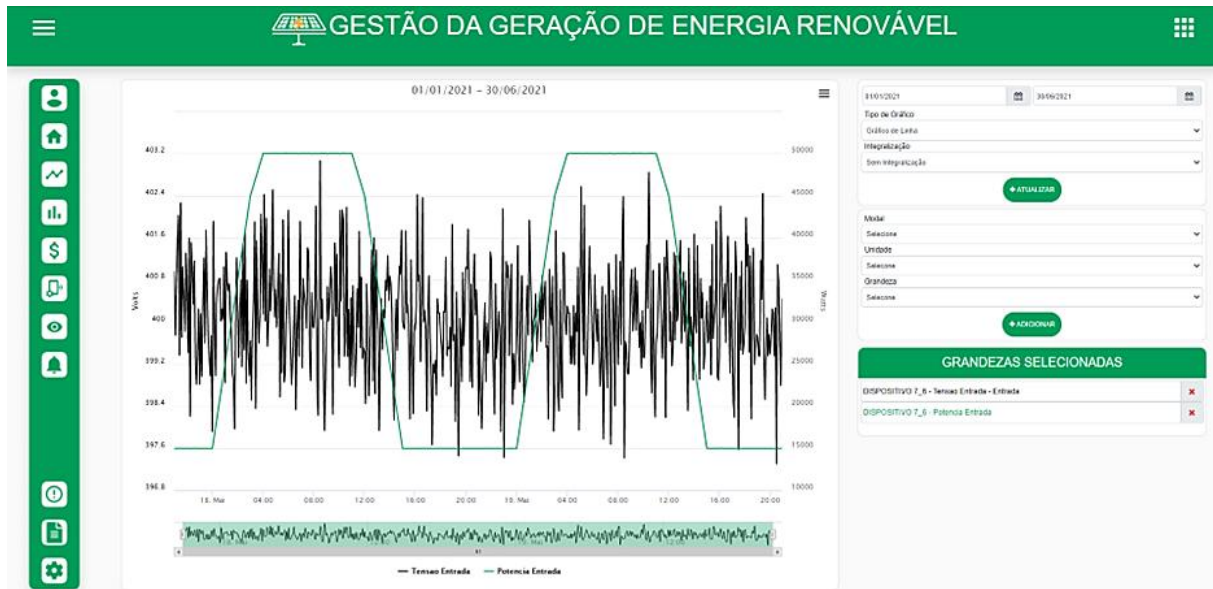
Figura 49 – Tela de Grandezas elétricas.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Ainda na tela de grandezas, os gráficos gerados possuem 2 eixos, sendo eles X e Y. Além disso, é possível relacionar em um mesmo gráfico várias grandezas, desde que sejam no máximo 2 unidades diferentes no eixo Y. Com isso, é possível realizar uma análise com mais informações. A Figura 50 representa um gráfico com duas grandezas diferentes.

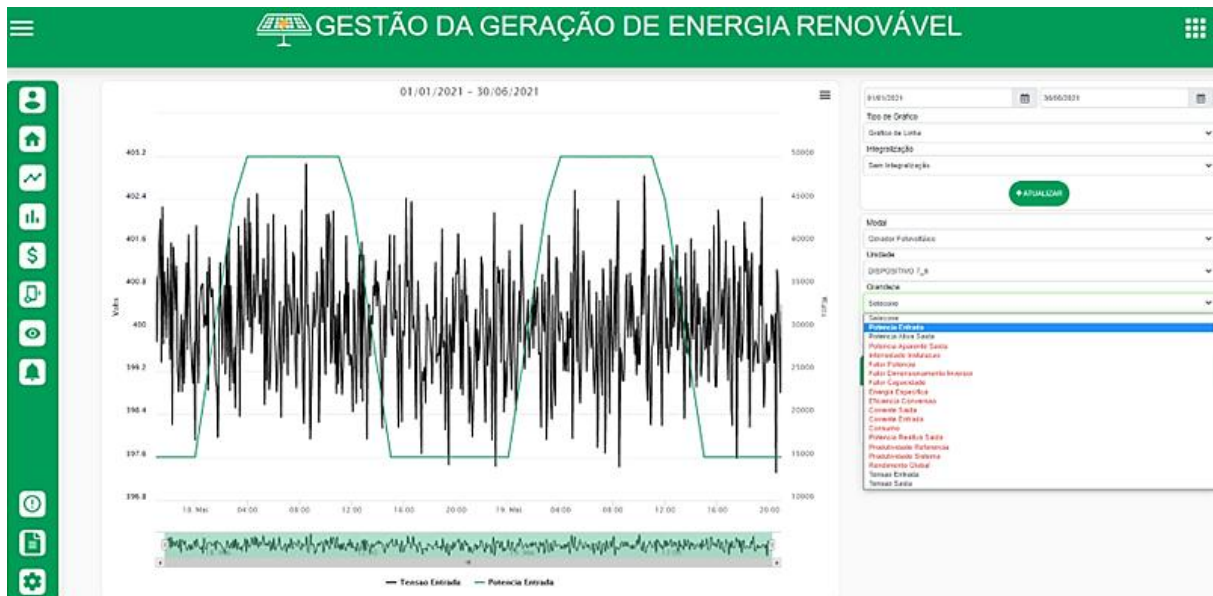
Figura 50 – Tela de grandezas com duas grandezas diferentes.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Ainda no que tange a tela de grandezas, uma vez que o eixo Y só pode receber 2 unidades a serem exibidas, as grandezas que não podem mais ser inseridas no gráfico ficam desabilitadas, conforme pode ser visto na Figura 51.

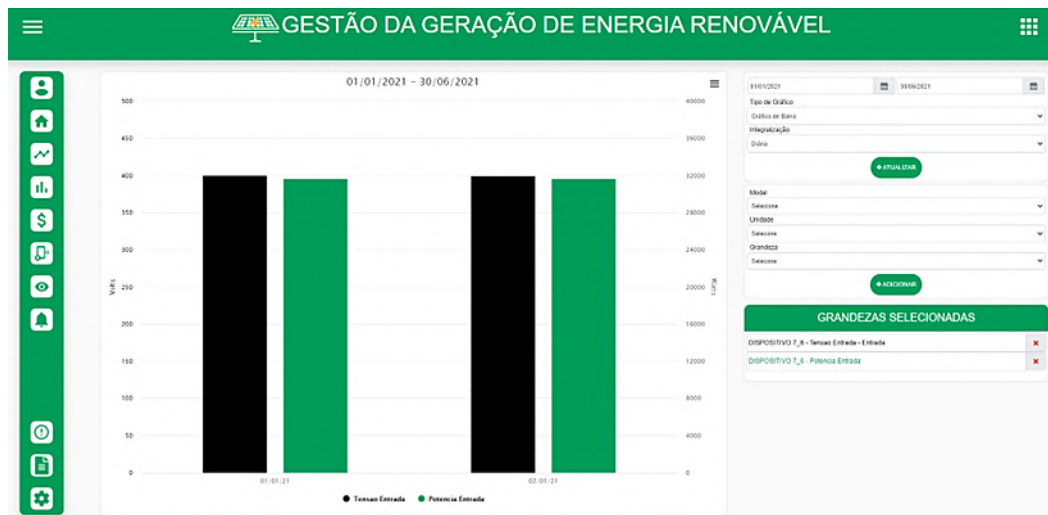
Figura 51 – Eixos habilitados e desabilitados para serem inseridos na tela de grandezas.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Como mencionado, também é possível comparar as informações por meio de um gráfico de barras e diferentes tipos de integralizações (Nenhuma, Diária, Mensal, Anual), conforme mostra a Figura 52 que representa um gráfico em barras com integralização dos dados de 1 dia.

Figura 52 - Gráficos de barras da tela de grandezas com integralização de 1 dia.

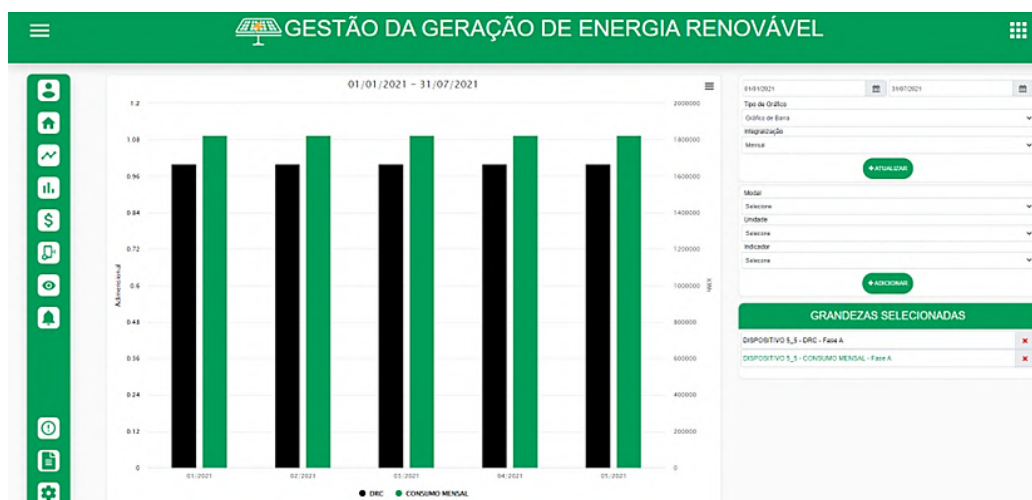


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### Tela de Indicadores

De modo similar ao visto na tela de grandezas, a tela de indicadores é responsável por exibir os indicadores monitorados nos sistemas fotovoltaicos, e possui a possibilidade de inserção de dois indicadores em um mesmo gráfico e desabilita os indicadores que não podem mais ser inseridos, como pode ser visto na tela de grandezas. A Figura 53 representa a tela de indicadores. Os indicadores calculados e o detalhamento do seu cálculo são apresentados no Item 4.3.

Figura 53 – Tela de indicadores.



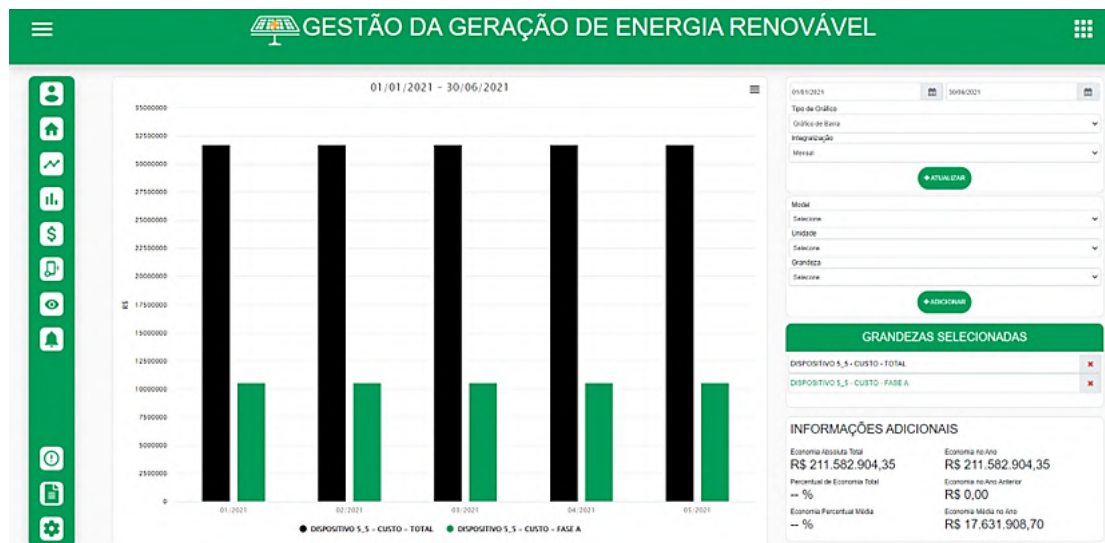
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Análise Financeira

Para esta tela, é possível realizar a análise financeira de cada sistema fotovoltaico implementado, conforme mostra a Figura 54. Essa tela tem por objetivo apresentar o balanço entre o valor pago de energia elétrica de acordo com o consumo de uma edificação e o valor da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos de um determinado grupo de dispositivos.

Conhecendo os valores do consumo da edificação nos diferentes horários de tarifação e a energia produzida pelo dispositivo, faz-se o cálculo dos preços totais. Esses preços são apresentados por períodos de integralização diferentes e em porcentagem de economia.

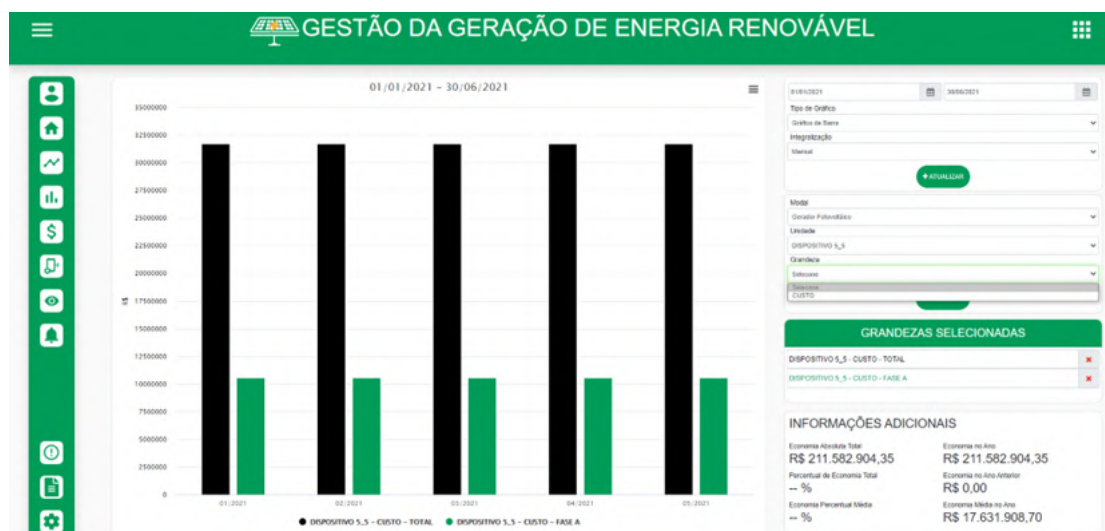
Figura 54 – Tela de análise financeira.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para a tela de análise financeira, foi dedicada a consulta do valor de custo, este pode ser analisada por fases (A, B e C) ou total, como pode ser visto na Figura 55 .

Figura 55 – Tela de análise financeira com a opção única de custo.

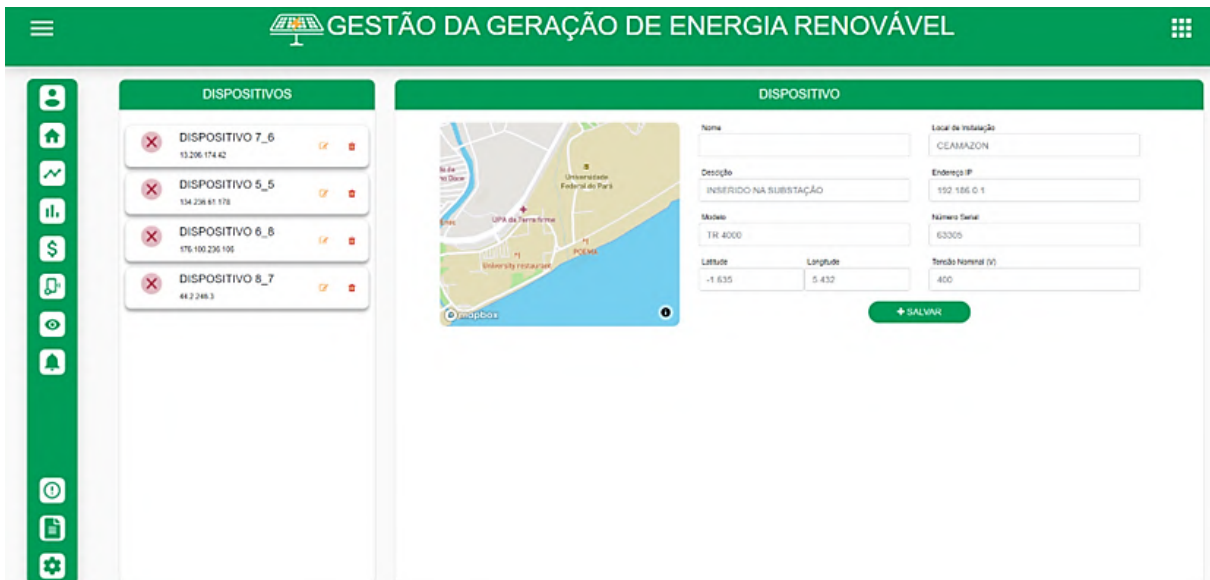


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Medidores

Nesta tela é possível cadastrar os medidores de energia elétrica UACT DC e UACT 3F com as suas respectivas informações, como: Nome, Local de Instalação, Descrição, Endereço IP, Modelo do medidor, Número Serial, Latitude, Longitude e Tensão Nominal. A Figura 56 apresenta a tela de medidores.

Figura 56 – Tela de medidores.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Após cadastrar um medidor e este ser selecionado, as informações descritas podem ser editadas. Também é possível verificar algumas informações recentes de Tensão e Corrente do medidor selecionado, conforme pode ser visto na Figura 57.

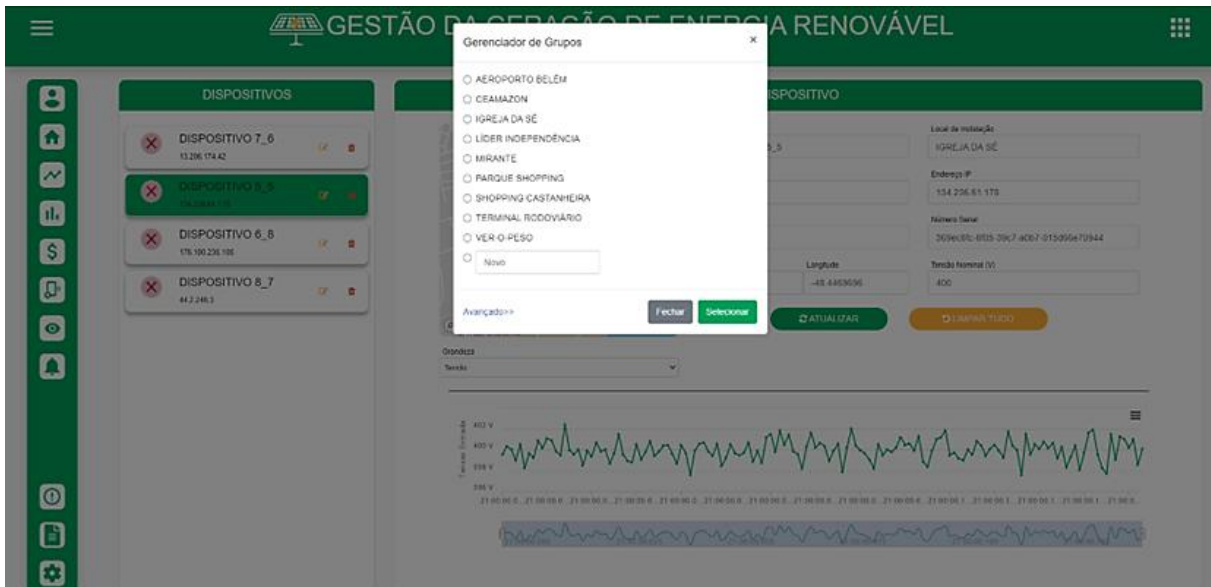
Figura 57 – Tela de medidores com a edição de um medidor.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Uma particularidade da seleção de um Local de Instalação de um medidor, é que este local está vinculado a um grupo de medidores, para que seja possível cadastrar individualmente cada medidor que compõe uma determinada edificação, após clicar para inserir um local, é aberto um pop-up para: a) seleção de um local já cadastrado, b) Cadastrar de forma rápida um novo local ou c) ir para as opções avançadas, conforme pode ser visto na Figura 58.

Figura 58 – Tela de edição de medidores com pop-up de seleção de local de instalação.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Caso seja necessário realizar alguma ação avançada nos grupos de medidores, é aberta uma nova tela, com a exibição de todos os grupos e os medidores associados ao grupo em questão, é possível editar o nome do grupo ou excluir o grupo, porém, todos os medidores associados ao grupo serão excluídos. É possível verificar a tela na Figura 59.

Figura 59 – Tela de gerenciamento de agrupamentos.

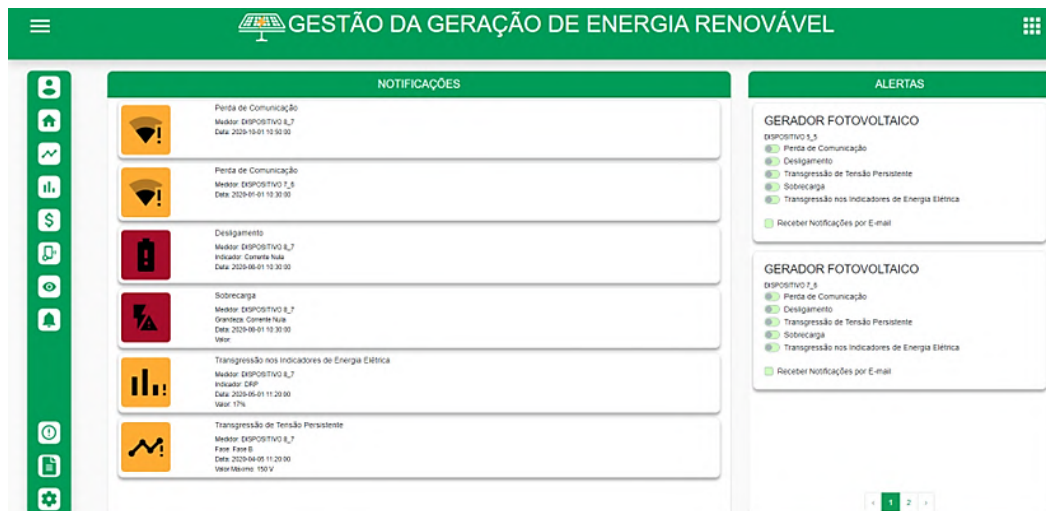


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Gerenciamento de Alertas

Por meio desta tela cada usuário do sistema pode habilitar ou desabilitar o recebimento de alertas de um determinado medidor, como também escolher entre os tipos de alertas, podendo ser: Perda de comunicação, Desligamento, Transgressão de Tensão Persistente, Sobrecarga, Transgressão de Indicadores de Energia Elétrica. Também é possível optar por receber esses alertas via e-mail. A Figura 60 representa a tela descrita.

Figura 60 – Tela de alertas.

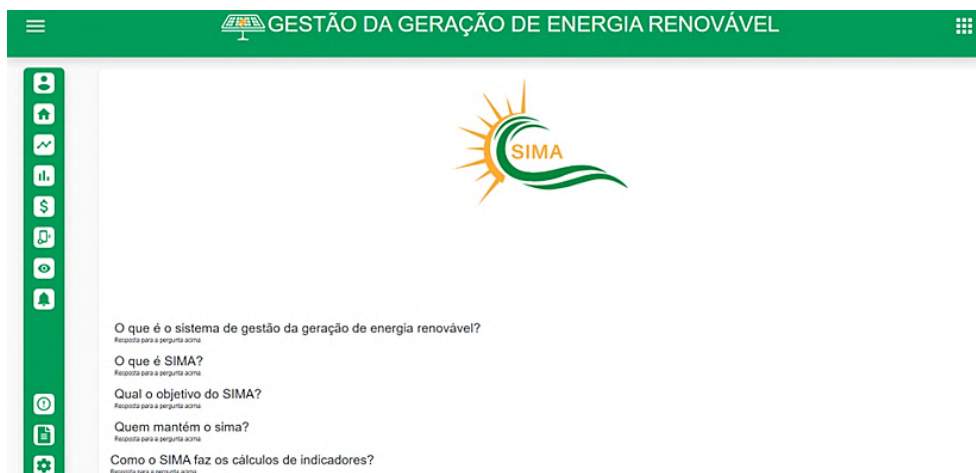


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Sobre

Esta tela é utilizada para descrever informações gerais do sistema, como pode ser visto na Figura 61 abaixo. Essas informações correspondem ao que é o SIMA, quais seus objetivos, qual o financiamento que permitiu a realização do projeto e de que forma é calculado os indicadores de qualidade de energia e eficiência energética.

Figura 61 – Tela de Sobre.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Logs

Visando a segurança do sistema, foi implementada uma tela de logs, mostrada na Figura 62 . Através dela onde é possível verificar as mudanças e logins realizados no sistema, aumentando a confiabilidade da informação e o garantindo que as mudanças realizadas no sistema possam ser reversíveis.

Figura 62 – Tela de Logs.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Também é possível utilizar a tela de logs para filtrar as informações por um usuário específico, para que seja possível perceber qualquer tipo de comportamento fora do comum, conforme pode ser visto na Figura 63.

Figura 63 – Tela de Logs com filtro por usuário.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Configurações

Esta tela é utilizada para conceder acesso ao sistema para usuários e configurar os postos tarifários de energia no software. A autorização de acesso acontece por meio da coluna status, ao clicar no ícone este muda de estado (de ativo para inativo, e inativo para ativo). Também é possível verificar se o usuário confirmou o e-mail (ícone em verde) ou não (ícone em vermelho), para garantir que o e-mail informado é válido. A mudança de um usuário com perfil de administrador ocorre por meio da coluna Admin. A Figura 64 mostra os recursos descritos.

Figura 64 – Tela de Configurações e gerenciamento de usuários.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Os postos tarifários também podem ser gerenciados na tela de Configurações, ao clicar no ícone de editar (lápis laranja) ao lado um posto tarifário as informações de um posto são carregadas no sistema e pode ser atualizada. A Figura 65 representa essa funcionalidade.

Figura 65 – Tela de Configurações com gerenciamento de posto tarifário.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 5.1.2 Sistema de Gestão de Armazenamento de Energia Elétrica

### 5.1.2.1 SIMA Web Battery

O SIMA Web Battery de forma semelhante utilizou o framework Laravel a fim de facilitar o processo de desenvolvimento e a manutenção da estabilidade do sistema, conforme explicado no Item 5.1.1.1.

#### 5.1.2.1.1 Telas e Funcionalidades

Nesta seção serão apresentadas as principais telas desenvolvidas para o programa SGGER e descritas suas funcionalidades. Para acessá-lo o SIMA Web Battery se faz necessário apenas o endereço IP do servidor (ou o seu domínio).

- Telas de login, cadastro e perfil

Como o SISGAE2B foi desenvolvido utilizando a mesma base do SGGER, suas telas iniciais de Login, Cadastro, Menu de Aplicação, Menu de Ferramentas e Edição de Perfil de Usuário são semelhantes e apresentam as mesmas funcionalidades já apresentadas no Item 5.1.1.1.1. A Figura 66 apresenta a Tela de Login do programa SISGAE2B.

Figura 66 – Tela de Login.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### Tela de Home

Após realizar o login no sistema, a tela Home do SISGAE2B será exibida. Essa tela está configurada para exibir um mapa do campus do Guamá da UFPA e a geolocalização de cada dispositivo de armazenamento salvo na Dojot, bem como o seu estado de funcionamento. Informações sobre o estado de carga ao longo do dia, energia injetada, potência instantânea, entre outras características da bateria. A Figura 67 apresenta a tela Home.

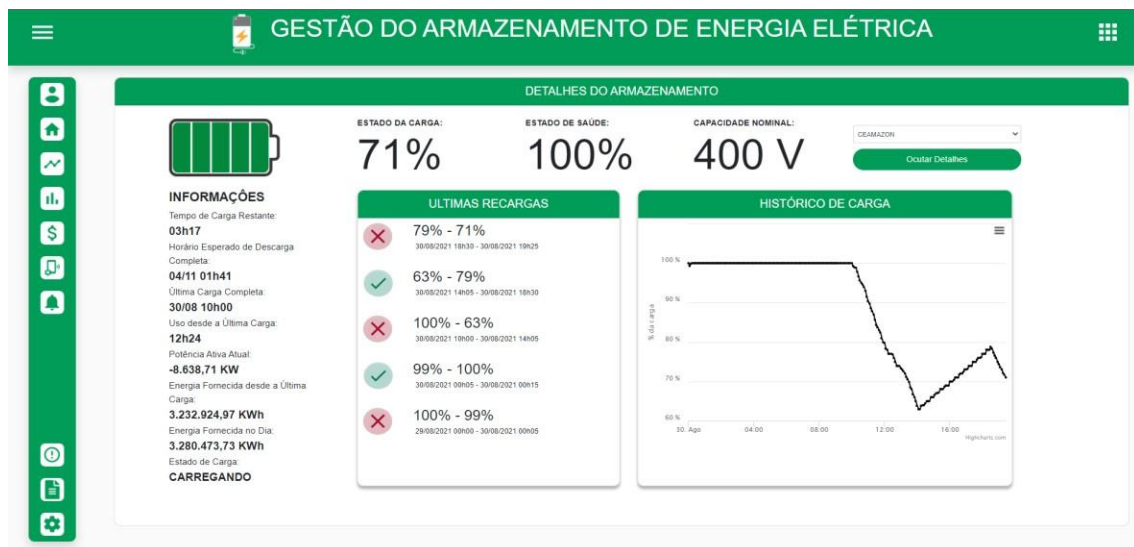
Figura 67 – Tela inicial do software.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A tela de Home também possui a opção de verificar mais detalhamentos a respeito de um sistema de baterias escolhido, tais como últimos ciclos de carga/descarga. A Figura 68 representa a tela descrita.

Figura 68 – Tela de detalhes da tela inicial do software.



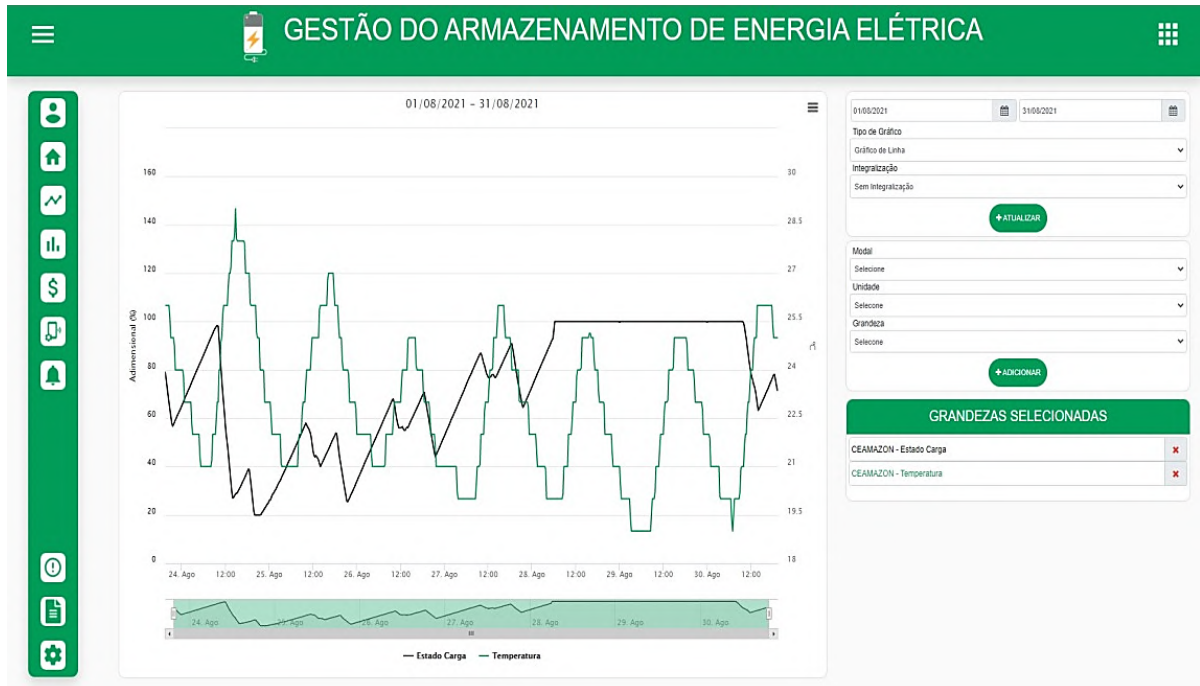
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### Tela de Grandezas

Na tela de grandezas é possível gerar gráficos das grandezas aferidas, como tensão, corrente, potência, entre outras. Esses gráficos podem correlacionar as informações coletadas e calculadas no SISGAE2B. Além disso, nessa tela é possível selecionar um intervalo entre datas para a consulta, o tipo de gráfico (Barra ou Linha) e o tipo de integralização (Nenhuma, Diária, Mensal, Anual). Ainda na tela de grandezas, os gráficos gerados possuem 2 eixos, sendo eles

X e Y. Além disso, é possível relacionar em um mesmo gráfico várias grandezas, desde que sejam no máximo 2 unidades diferentes no eixo Y. Com isso, é possível realizar uma análise com mais informações, conforme mostra a Figura 69.

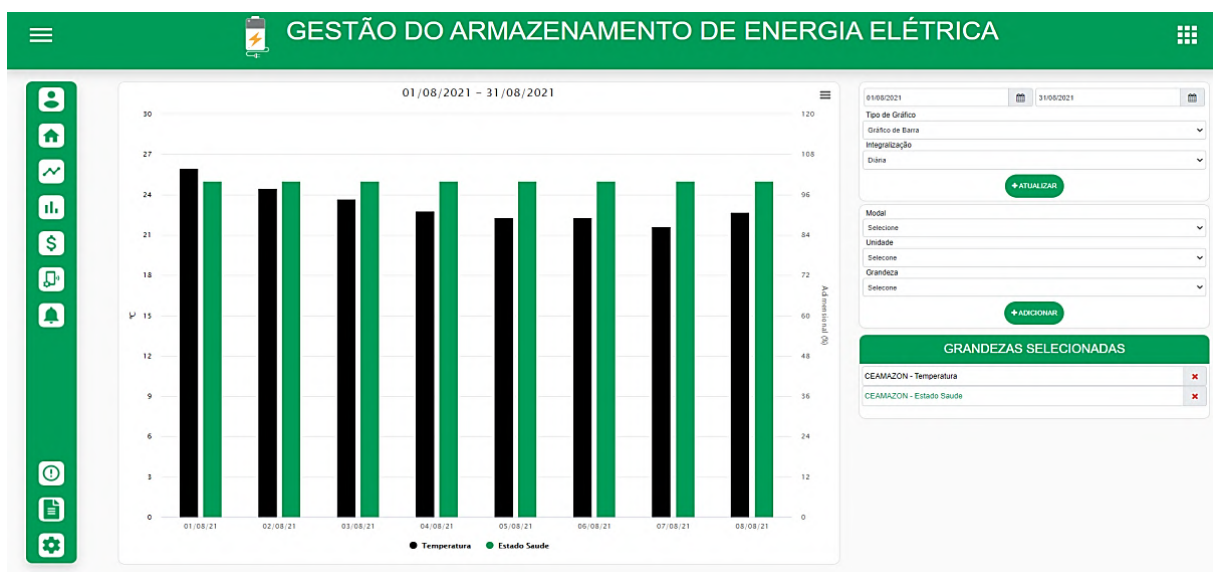
Figura 69 – Tela de Grandezas.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Como mencionado, também é possível comparar as informações por meio de um gráfico de barras, com diferentes tipos de integralizações (Nenhuma, Diária, Mensal, Anual), conforme mostra a Figura 70.

Figura 70 - Gráficos de barras da tela de grandezas com integralização de 1 dia.

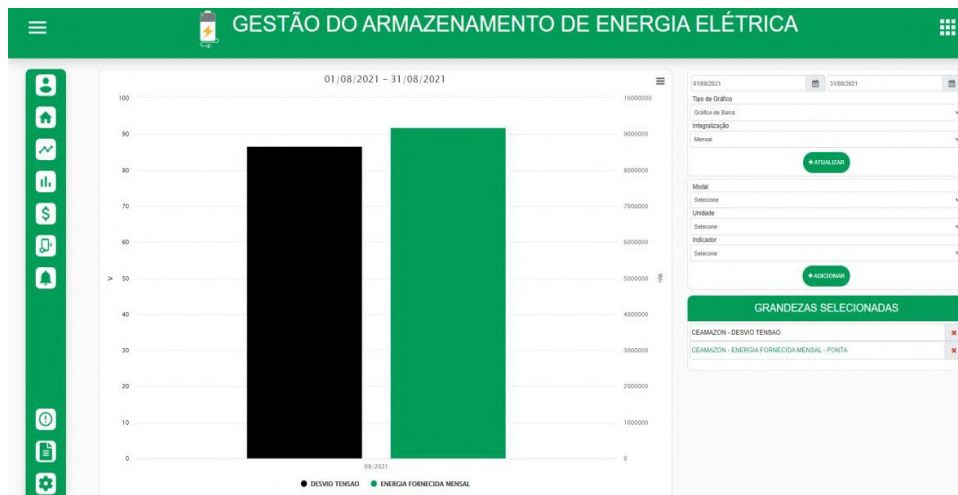


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Indicadores

De modo similar ao visto na tela de grandezas, a tela de indicadores é responsável por exibir os indicadores monitorados no banco de baterias, e possui a possibilidade de inserção de dois indicadores em um mesmo gráfico e desabilita os indicadores que não podem mais ser inseridos, como pode ser visto na tela de grandezas. A Figura 71 representa a tela de indicadores. Os indicadores calculados e o detalhamento do seu cálculo são apresentados na Item 4.3.2.

Figura 71 – Tela de indicadores.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Análise Financeira

Para esta tela, é possível realizar a análise financeira do banco de bateria implementado, conforme mostra a Figura 72. Nessa tela, é possível visualizar, por exemplo, o valor em reais da energia produzida e consumida do banco de bateria.

Figura 72 - Tela de análise financeira.

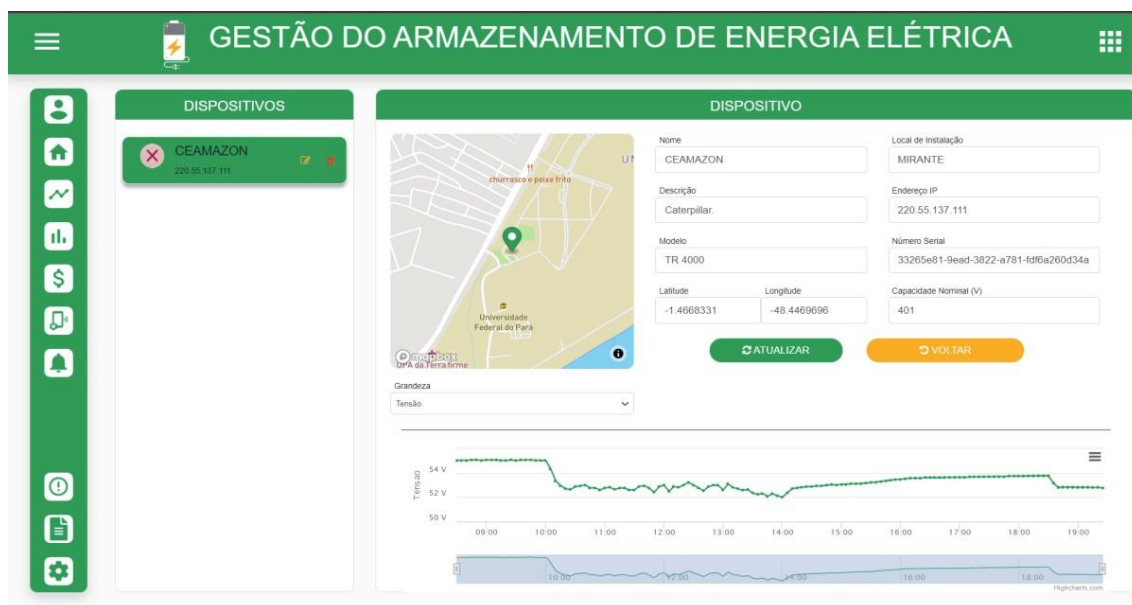


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Tela de Medidores

Nesta tela é possível cadastrar os sistemas de baterias com as suas respectivas informações, como: Nome, Local de Instalação, Descrição, número do IP, Modelo do medidor, Número Serial, Latitude, Longitude e Capacidade Nominal. Após cadastrar uma bateria as suas informações podem ser editadas. Também é possível verificar algumas informações recentes de Tensão e Corrente do sistema selecionado. A Figura 73 apresenta a tela descrita.

Figura 73 – Tela de medidores.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

De forma semelhante ao SGGER, este sistema possui a Tela de Gerenciamento de Alertas permite habilitar ou desabilitar o recebimento de alertas de uma determinada bateria do sistema, como também escolher entre os tipos de alertas, podendo ser: Perda de comunicação, Desconexão, Transgressão de Tensão Persistente, Sobrecarga, Transgressão de Indicadores de Energia Elétrica, Descarregada, Carregando, Carregada, Nível de Carga Abaixo de uma determinada percentagem, como 20%, 40%, 60%, 80% e 100%.

Outra tela presente no programa é a Tela Sobre e a Tela de Logs. Na Tela Sobre é utilizada para descrever informações gerais do sistema, enquanto a Tela de Logs é possível verificar as mudanças e logins de usuários realizados no sistema, aumentando a confiabilidade da informação e o garantindo que as mudanças realizadas no sistema possam ser reversíveis.

### 5.1.3 Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal

O sistema SIMA foi desenvolvido para ser uma opção completa de software de gerenciamento de projetos de mobilidade elétrica. A partir dele, o gestor pode ter acesso desde

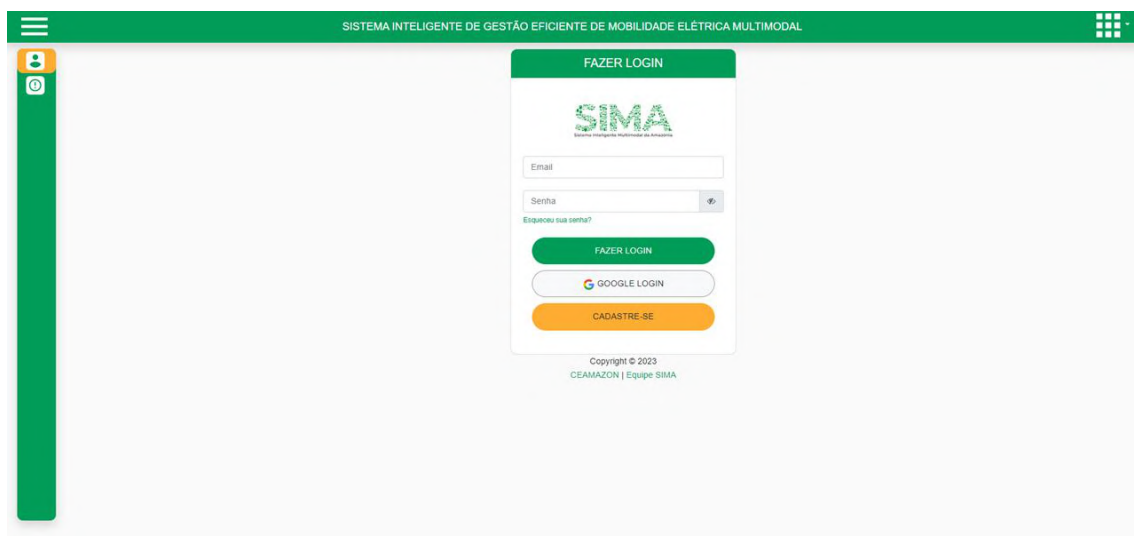
as informações de rotas e estado de funcionamento dos veículos elétricos, até as características de geração e uso da energia elétrica

Seguindo uma tendência de mercado, o Sistema SIMA foi desenvolvido em módulos, através de containers Docker. Com isso, é possível instalar todo o sistema ou apenas alguns módulos, facilitando a sua instalação e sua manutenção, além de evitar conflito entre os softwares (módulos).

Os programas SGGER e SISGAE2B, apresentados nos Itens 5.1.1 e 5.1.2, são dois módulos importantes que funcionam integrados ao Sistema SIMA. Essa característica modular permite que o programa se adapte a diferentes projetos, sejam eles de geração fotovoltaica, de gestão de armazenamento de energia, de mobilidade elétrica ou todos juntos, como é o caso projeto SIMA.

De tal como que serão apresentadas as funcionalidades do Sistemas Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal, sendo a tela de Login apresentada na Figura 74, onde é possível realizar o login com as credenciais de acesso, e-mail e senha, por via conta Google. Caso o usuário não possua as credenciais de acesso, é possível solicitar um cadastro por meio do botão “Cadastre-se”.

Figura 74 – Tela de Login.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A tela de cadastro é apresentada na Figura 75, onde é solicitado o preenchimento de informações de nome, sobrenome, e-mail, CPF, senha e confirmação de senha. Vale ressaltar que o cadastro deve ser aprovado por um administrador, de tal forma que essa medida tomada é uma ação de segurança, para que usuários não autorizados ou até mesmo maliciosos tenham acesso ao SIMA. Além disso, outra medida de segurança adotada pelo software são os usos de logs, que descrevem quais usuários fizeram login e suas respectivas ações no software.

Figura 75 – Tela de Cadastro.

SISTEMA INTELIGENTE DE GESTÃO EFICIENTE DE MOBILIDADE ELÉTRICA MULTIMODAL

CADASTRO

SIMA

Nome Sobrenome

Email CPF

Senha Confirmar

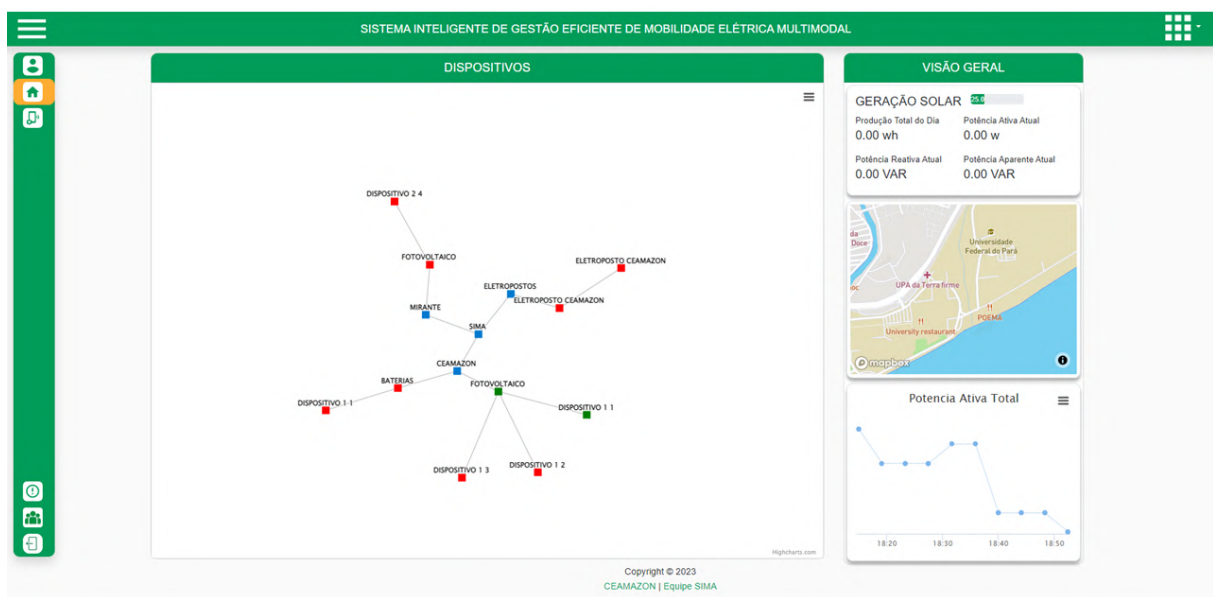
CADASTRAR-SE

Copyright © 2023  
CEAMAZON | Equipe SIMA

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Uma vez já conectado, a tela exibida a tela presente na Figura 76, que é a tela inicial principal do software a ser exibida. A tela está configurada para exibir uma visão geral de todos os sistemas modais monitorados pelo SIMA.

Figura 76 – Tela inicial do software.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Os dispositivos cadastrados no sistema SIMA são os sistemas fotovoltaicos, o banco de baterias, o eletroposto, os medidores UACT-3F e UACT-CC. Esses dispositivos são demonstrados na Figura 77, onde é possível selecionar o dispositivo e verificar a atuação ao longo do tempo.

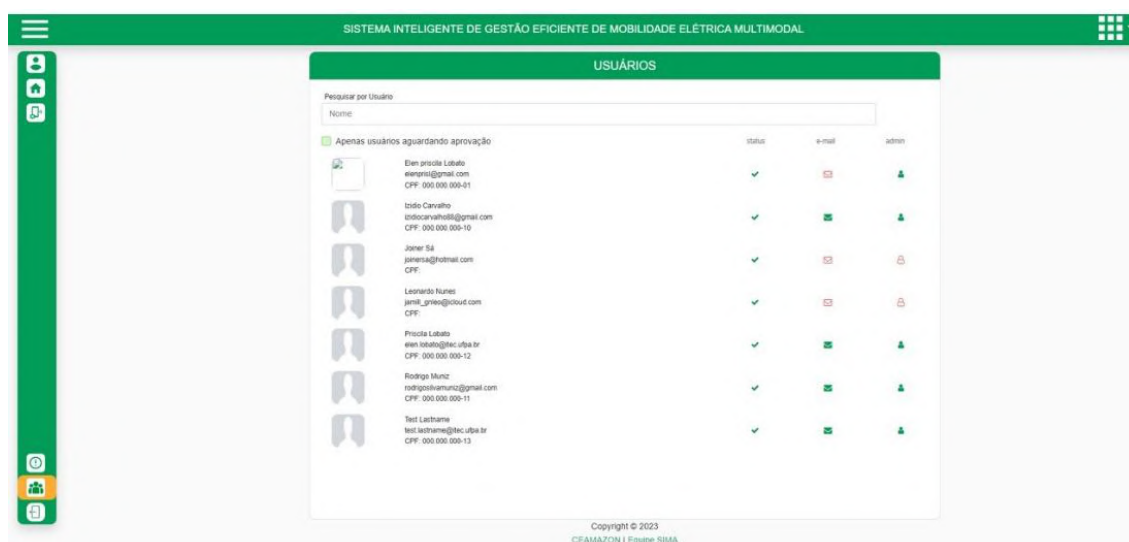
Figura 77 – Tela de dispositivos.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A tela de configuração é utilizada para conceder acesso ao sistema para os usuários e para a configuração dos postos tarifários de energia presentes no software. A autorização de acesso acontece por meio da coluna status, e ao clicar no ícone, este muda de estado (de ativo para inativo, ou inativo para ativo). Além disso, é possível verificar se o usuário confirmou o e-mail cadastrado (ícone em verde) ou não (ícone em vermelho). A mudança de um usuário com o perfil de administrador ocorre por meio da coluna Admin. A tela de configuração está na Figura 78.

Figura 78 – Tela de configuração.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Por fim, na Tabela 9 são apresentados todos os módulos que compõe o Sistema SIMA e os seus respectivos domínios de acesso. Os três primeiros módulos apresentados podem ser

encontrados nos itens 5.1.1 e, 5.1.2 5.1.3, deste trabalho, enquanto aos demais são fornecidas informações no Apêndice III - .

Tabela 9 – Módulos do Sistema SIMA e domínios de acesso.

Nº	Módulo	Domínio
1	Sistema de Gestão de Geração de Energia Renovável	<a href="http://projetosimafotovoltaicos.ufpa.br:8010">http://projetosimafotovoltaicos.ufpa.br:8010</a>
2	Sistema de Gestão de Armazenamento de Energia Elétrica	<a href="http://projetosimaarmazenamento.ufpa.br:8011">http://projetosimaarmazenamento.ufpa.br:8011</a>
3	Sistema de Gestão do Sistema de Abastecimento dos Modais	<a href="http://projetosimaeletropostos.ufpa.br:8014">http://projetosimaeletropostos.ufpa.br:8014</a>
4	Software de Planejamento de Redes IoT para Tecnologia de Longo Alcance	<a href="http://projetosimaredeiot.ufpa.br:8013">http://projetosimaredeiot.ufpa.br:8013</a>
5	Software de Mobilidade e Gestão da Eficiência Energética do Sistema Multimodal	<a href="http://projetosimamobilidade.ufpa.br:8012">http://projetosimamobilidade.ufpa.br:8012</a>
6	Aplicativo SIMA Mobilidade	Aplicativo ainda não lançado na Play Store.
7	Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal (SIMA integrador)	<a href="http://projetosima:8013">http://projetosima:8013</a>

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 5.2 Análise Meteorológica

Para realizar as análises dos impactos causados pelos fatores meteorológicos característicos da Região Amazônica, foram utilizados dados referentes a cidade de Belém obtidos por meio do banco de dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB). As duas instituições disponibilizam informações meteorológicas de diferente locais, como valores médios mensais de temperatura, precipitação e irradiação solar. A Tabela 10 apresenta valores médios, máximos e mínimos e mensal de temperatura, além de valores históricos de precipitação (mm) e irradiação (kWh/m<sup>2</sup>) da cidade de Belém.

Devido sua proximidade a linha do Equador, a região amazônica apresenta as estações do ano não definidas, sendo tipicamente divididas em inverno amazônico e verão amazônico. O inverno amazônico ocorre entre os meses de dezembro e maio, esse período apresenta elevados índices de precipitação. Na Tabela 10 são apresentados valores de precipitação ultrapassando os 500 mm durante o período, indicando, portanto, um período muito intenso de chuvas. Além disso, a irradiação durante o período apresenta valores baixos durante o período de janeiro a maio, o que indica um período desfavorável para a geração de energia solar. A temperatura durante o período é semelhante sendo a maior variação entre os meses de janeiro e dezembro, que estão correlacionados também com a alta da irradiação no mês de dezembro.

Já o verão amazônico, ele se estende de junho a novembro, é caracterizado por uma significativa redução das chuvas. Na Tabela 10, os meses de julho e agosto apresentam os menores valores de precipitação, sendo 113 mm e 157 mm respectivamente. Desse modo, durante o período a irradiação é historicamente alta e apresenta uma constância para a geração

de energia solar. Além disso, é possível observar que a temperatura média mensal desse período é superior à temperatura média durante o inverno amazônico.

Portanto, é possível observar que a variação de temperatura ao longo do ano é bastante reduzida. Isso ocorre porque a região está inserida em um clima equatorial, caracterizado por temperaturas elevadas e alta umidade durante todo o ano.

Tabela 10 – Dados Meteorológicos da cidade de Belém.

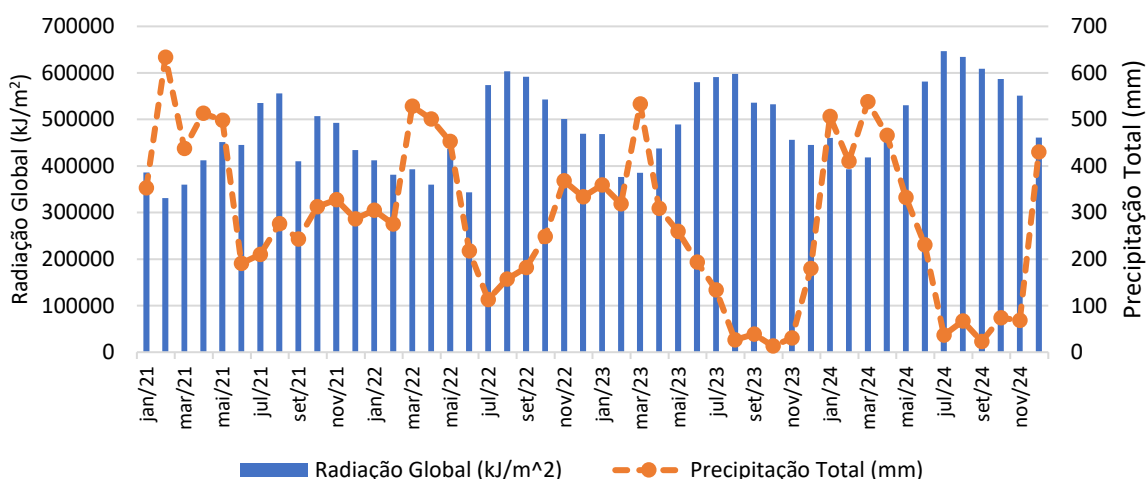
<b>Data</b>	<b>Temp. média máxima (°C)</b>	<b>Temp. média mínima (°C)</b>	<b>Temp. média mensal (°C)</b>	<b>Precipitação mensal total (mm)</b>	<b>Irradiação (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
Janeiro	31,5	22,7	25,9	304,8	4,5
Fevereiro	32,6	24,0	26,7	275,6	4,43
Março	31,7	23,6	26,2	528,8	4,24
Abril	31,7	23,1	25,9	501,0	4,26
Maiο	32,3	22,9	26,2	452,6	4,29
Junho	33,4	22,9	26,7	452,8	4,53
Julho	33,7	22,9	27,4	113,0	4,79
Agosto	34,3	22,7	27,8	157,0	4,88
Setembro	34,5	23,0	27,8	182,0	5,09
Outubro	34,3	23,2	27,7	248,4	5,23
Novembro	33,3	23,7	27,2	368,0	5,13
Dezembro	33,0	23,8	26,9	333,8	5,04

Fonte: (Brasil, 2025) e (CRESESB, 2025).

O gráfico presente na Figura 79 apresenta um histórico da variação da radiação e da precipitação em função do tempo, onde o período analisado é de janeiro de 2021 até dezembro de 2024. É possível observar que há uma variação na radiação ao longo do tempo, em barras azuis, enquanto a precipitação, em linhas tracejadas laranjas.

A radiação solar ao longo dos últimos anos apresenta picos principalmente nos meses de julho, agosto e setembro. Esse comportamento é oposto ao observado na precipitação, que registra valores mais baixos nesses mesmos meses. Dessa forma, os períodos com maior incidência de radiação são mais favoráveis para a geração de energia solar, pois há mais disponibilidade de luz solar e menos cobertura de nuvens. Por outro lado, nos meses em que a precipitação é mais intensa e a radiação solar é reduzida, as condições se tornam menos adequadas para a geração fotovoltaica.

Figura 79 – Histórico de radiação global e precipitação para a cidade de Belém.



Fonte: (Brasil, 2025).

### 5.3 Balanço Energético

Neste item, utilizando os programas apresentados, será feito um resgate de todas as informações energéticas medidas dos sistemas do projeto SIMA, a fim de analisar suas particularidades e desempenho durante os seus funcionamentos dentro dos cenários estudados.

#### 5.3.1 Geração de Energia

O projeto SIMA busca ser um projeto de mobilidade elétrica autossuficiente energeticamente. A geração de energia fotovoltaica visa atender a necessidade energética de todas as cargas do projeto, entretanto cada sistema apresenta uma particularidade de consumo tendo períodos de maior e menor demanda energética.

Desde que os SFV entraram em operação em janeiro de 2021, com exceção do controlador de carga que teve início em fevereiro de 2021, estes sistemas foram capazes de gerar 804,87 MWh, sendo 202,95 MWh em 2021, 206,15 MWh em 2022, 195,58 MWh em 2023 e 200,19 em 2024. A Tabela 11 apresenta a geração mensal de energia para cada SFV.

Tabela 11 – Geração de energia mensal dos SFV.

SIMA	Controlador de Carga (kWh) CEAMAZON	Fronius (kWh) CEAMAZON	SMA (kWh) - CEAMAZON	WEG (kWh) - Mirante do Rio	Total (kWh)
jan-21	-	1.980,34	6.285,00	3.838,75	12.104,09
fev-21	39,49	1.616,76	5.246,21	6.211,44	13.113,90
mar-21	385,17	1.804,71	5.987,88	7.235,11	15.412,87
abr-21	470,18	2.210,71	6.919,72	7.632,02	17.232,63
mai-21	705,20	2.322,23	6.924,40	7.527,98	17.479,81
jun-21	696,58	2.269,26	6.868,32	7.442,59	17.276,75
jul-21	768,13	2.250,11	7.597,58	8.225,10	18.840,92

ago-21	788,15	2.651,24	7.993,63	8.640,00	20.073,02
set-21	698,68	2.284,65	6.820,08	8.090,00	17.893,41
out-21	735,43	2.381,37	7.394,07	8.701,30	19.212,17
nov-21	674,00	2.188,26	6.845,96	8.271,70	17.979,92
dez-21	609,00	1.984,44	6.173,94	7.562,80	16.330,18
jan-22	598,90	1.910,33	5.947,82	6.975,50	15.432,55
fev-22	575,43	1.886,56	5.855,42	6.833,30	15.150,71
mar-22	575,43	2.041,24	6.257,18	7.101,00	15.974,85
abr-22	578,25	1.928,29	5.907,73	6.357,60	14.771,87
mai-22	667,90	2.211,96	6.745,58	7.016,70	16.642,14
jun-22	667,90	2.504,29	7.635,28	7.757,60	18.565,07
jul-22	778,11	2.568,00	7.851,11	8.049,70	19.246,92
ago-22	793,15	2.611,17	8.023,45	7.412,90	18.840,67
set-22	734,67	2.555,19	7.897,52	8.845,60	20.032,98
out-22	704,58	2.208,26	6.875,83	8.381,60	18.170,27
nov-22	627,47	1.966,42	6.281,09	7.834,30	16.709,28
dez-22	628,58	1.964,36	6.289,19	7.734,80	16.616,93
jan-23	621,11	1.935,27	6.187,40	7.641,80	16.385,58
fev-23	504,34	1.581,34	5.055,94	5.994,80	13.136,42
mar-23	510,75	1.587,81	5.080,80	6.088,00	13.267,36
abr-23	542,35	1.566,72	5.531,48	6.380,20	14.020,75
mai-23	686,55	2.267,10	6.834,99	6.863,50	16.652,13
jun-23	682,24	2.386,78	7.251,80	7.103,40	17.424,22
jul-23	773,12	2.409,06	7.724,35	7.681,40	18.587,92
ago-23	790,65	2.631,21	8.008,54	7.833,00	19.263,40
set-23	716,68	2.419,92	7.358,80	7.598,00	18.093,40
out-23	720,01	2.294,82	7.134,95	7.833,10	17.982,87
nov-23	633,58	2.154,23	6.419,25	6.929,80	16.136,87
dez-23	602,80	1.954,52	6.041,64	6.030,20	14.629,16
jan-24	610,01	1.922,80	6.067,61	5.679,20	14.279,62
fev-24	539,89	1.733,95	5.455,68	5.680,20	13.409,72
mar-24	543,09	1.814,53	5.668,99	6.594,50	14.621,10
abr-24	530,26	1.901,91	6.119,64	6.368,90	14.920,71
mai-24	686,55	2.267,10	6.834,99	6.940,10	16.728,73
jun-24	682,24	2.386,78	7.251,80	7.430,50	17.751,32
jul-24	773,12	2.259,08	6.755,92	8.506,80	18.294,92
ago-24	790,65	2.718,84	8.155,89	8.533,60	20.198,98
set-24	640,42	2.562,86	6.601,95	8.708,60	18.513,83
out-24	720,01	2.406,99	7.134,95	8.639,60	18.901,54
nov-24	599,28	2.308,02	6.130,71	8.504,60	17.542,61
dez-24	570,82	1.914,77	5.661,78	6.882,50	15.029,87
TOTAL	29.971	103.687	319.094	352.125,69	804.876,93

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

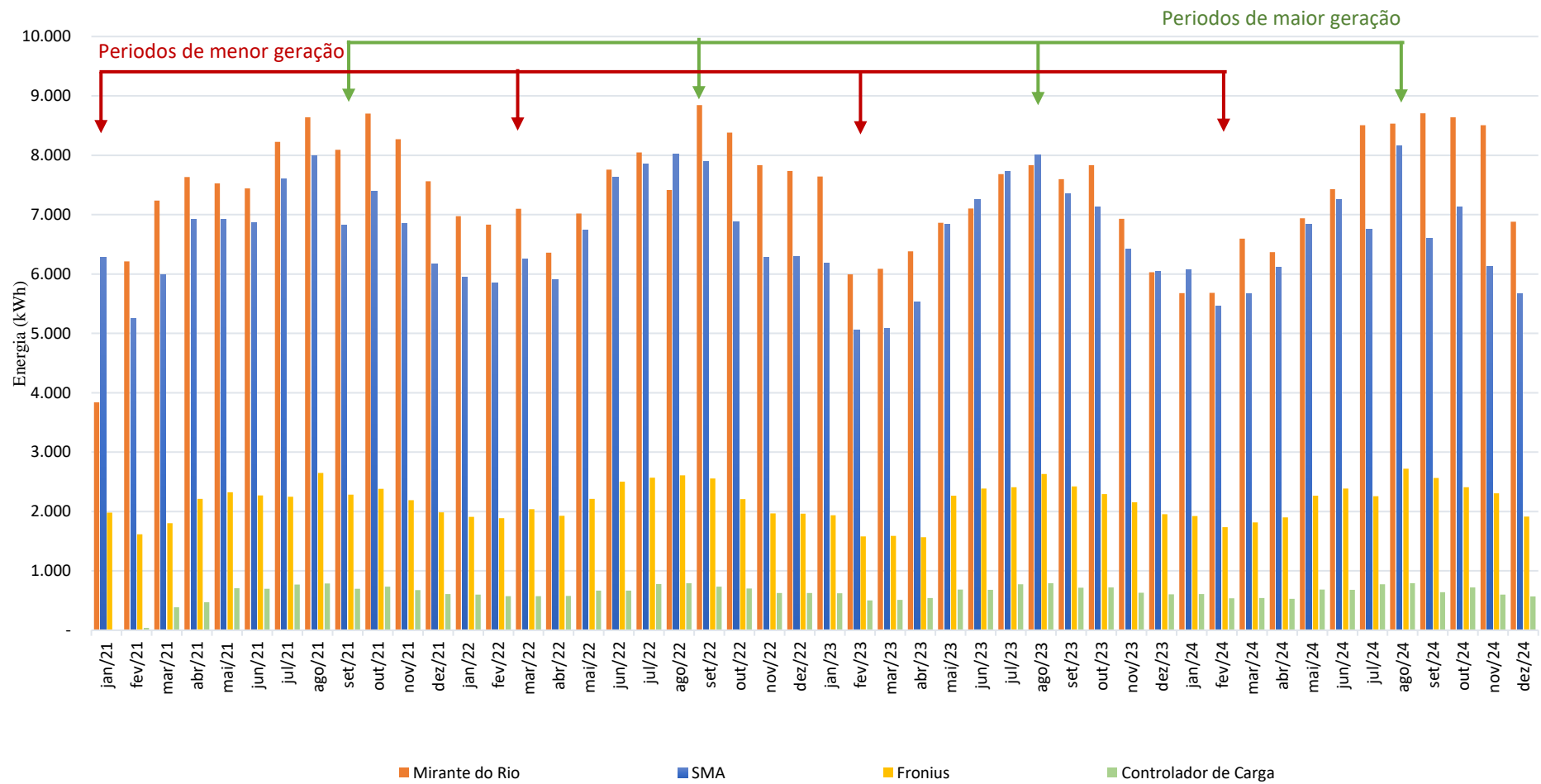
Quando colocados os dados da Tabela 11 no gráfico de barras apresentado na Figura 80 é possível verificar que a geração de energia mensal dos SFVs apresenta uma variação ondulatória e periódica ao longo de um ano. Essa característica exprime a existência de fenômenos meteorológicos que influenciam a geração de energia e que se repetem anualmente, como é o caso das estações do ano.

Ainda sobre a Figura 80 é possível observar que, para todos os anos, os meses de menor geração vão de dezembro a maio, enquanto os meses de maior geração vão de junho a novembro. Conforme já apresentado no Item 5.2, os meses de maior geração energia fotovoltaica são correspondentes ao período do Verão Amazônico, com maior disponibilidade do recurso solar e menor índices de precipitação. Quando se trata do período de menor geração, este é concordante com o período do Inverno Amazônico, onde são verificados altos índices de precipitação de chuva e baixa disponibilidade do recurso solar.

Colocando as curvas de geração de energia dos anos de 2021, 2022, 2023 e 2024 sobrepostas em um gráfico mensal de um ano, é possível verificar que embora os valores de geração mensal sejam diferentes, a tendência de aumento e redução da energia gerada são correspondentes nos mesmos períodos do ano, para as duas curvas. A Figura 81 apresenta a curva de geração de energia mensal anual de cada um dos SFV.

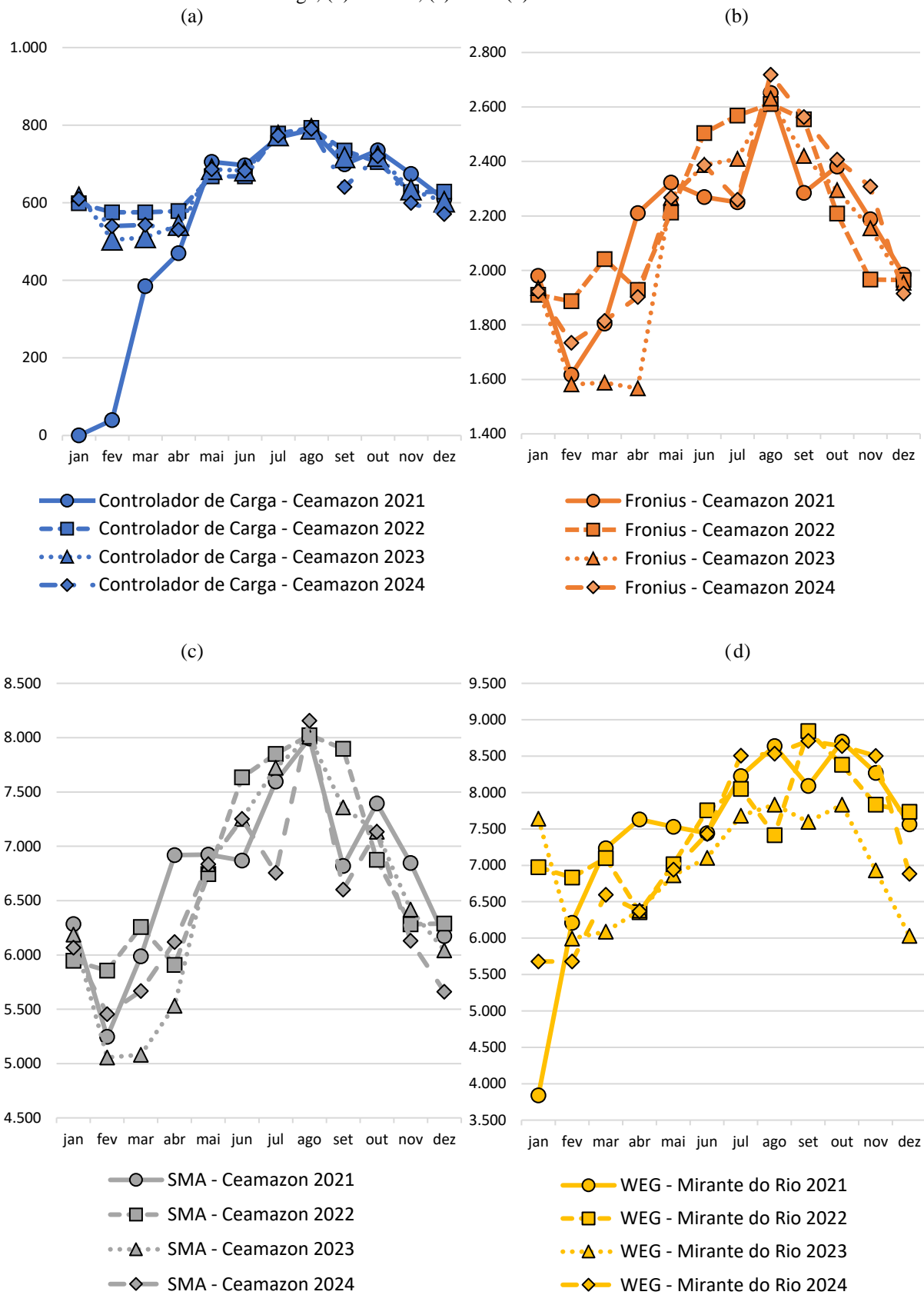
É interessante perceber que o sistema com controlador de carga apresenta uma tímida variação na geração de energia ao longo de todo o ano. Isso ocorre devido a sua geração ser dependente do modo de operação da bateria, pois, mesmo que exista a disponibilidade do recurso solar, quando a bateria está carregada o sistema não gera energia.

Figura 80 – Gráfico de geração de energia mensal dos SFV do projeto SIMA de 2021 a 2024.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 81 - Curva de geração de energia mensal anual dos SFV do projeto SIMA, sendo: (a) Controlador de Carga, (b) Fronius, (c) SMA (d) Mirante do Rio.

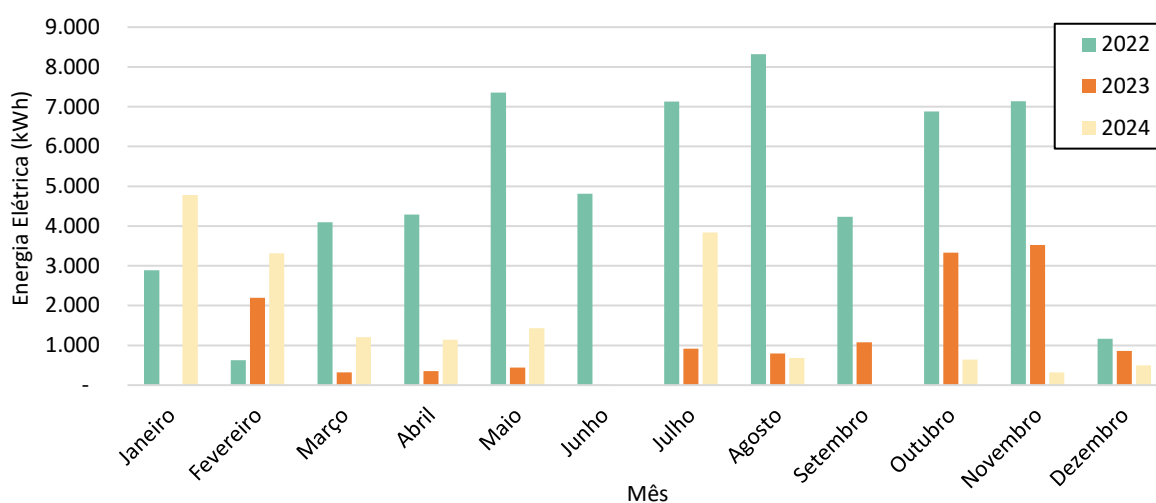


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 5.3.2 Ônibus Elétrico

Durante o período de coleta de dados para esse estudo, os ônibus elétricos apresentaram grandes variações, como pode ser visualizado na Figura 82, referente aos consumos dos ônibus elétricos de 2021 a 2024. A variação verificada ocorre devido a utilização dos ônibus não apresentarem uma constância ao longo dos anos. Diversos foram os motivos relacionados à parada de operação dos ônibus, sendo os principais: frequentes paradas para manutenção programadas e não programadas, longos atrasos na atualização da documentação de circulação dos ônibus e as paradas por alagamento do campus em período de maré alta.

Figura 82 - Consumo de energia mensal dos ônibus elétricos do projeto SIMA.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Nesse contexto, se faz necessário ressaltar a importância da compreensão pelos gestores e corpo técnico dos custos de operação, a carência existente na cadeia de prestação de serviços e as características do trajeto que será percorrido, ainda durante a fase de desenvolvimento de projeto. A adoção dessa tecnologia em projetos de mobilidade, sem um estudo prévio completo, pode ser frustrante e/ou levar à completa inviabilidade do projeto. No caso da UFPA, as paradas de operação dos OE impactavam pouco a prestação do serviço, pois eram atendidas pelos ônibus a combustão, flexibilidade essa que pode não ocorrer em outros projetos. No entanto, essa substituição leva a piora dos índices de emissão e custo de energia para a universidade.

No projeto SIMA, o OE rodoviário entrou em operação em janeiro de 2022, enquanto o urbano apenas em março. Durante o ano de 2022, os OEs consumiram aproximadamente 60,9 MWh. Entretanto, para os anos consecutivos os OEs apresentaram uma drástica redução do número de dias em operação, cerca de 70%, em relação a 2022. Foram consumidos 15,8 MWh em 2023 e 19,7 MWh em 2024.

Durante os períodos de parada de funcionamento do OE urbano e funcionamento do OE rodoviário, a prestação de serviço no campus Guamá era priorizada. Dessa forma, muitas vezes OE rodoviário era destinado a fazer o percurso do interno do campus Guamá, deixando a rota Belém – Castanhal inoperante. Isso por sua vez impacta na análise dos dados do ônibus elétricos uma vez que o seu perfil de funcionamento muda totalmente, assumindo o do outro. Não foi identificada nenhuma situação em que o OE urbano realizou a rota do rodoviário.

As interrupções e mudanças no funcionamento do ônibus geraram vários dados ruidosos. Com isso, para realização das análises, apenas os dados de consumo de dias que se enquadravam em parâmetros pré-estabelecidos como aceitáveis foram utilizados.

O processo de filtragem de dados, para a análise de consumo de energia elétrica do ônibus rodoviário, considerou a distância do seu percurso de ida e volta do campus Belém-Castanhal sendo de 140 km, assim foram descartados os dias com marcação de distância percorrida abaixo desse valor. De forma semelhante foi feito para o ônibus urbano, entretanto, como não há um número fixo de voltas que ele realiza no campus, considerou-se a distância mínima encontrada para um dia inteiro de funcionamento, ou seja, das 7h às 18h 30min, sendo de 115km.

O número de dias de funcionamento por mês após a filtragem estão presentes na Tabela 12. A Tabela 12 apresenta a quantidade de dias mensal que cada um dos ônibus elétricos rodou nos anos de 2022 a 2024. A tabela ainda apresenta de forma simplificada as variações do calendário da universidade ao longo dos meses e anos, por meio de cores. A universidade possui quatro períodos acadêmicos por ano, sendo: dois intensivos, indicados em verde, e dois extensivos, em azul. No entanto, em 2024, entre os dias 15 de abril e 29 de junho, ocorreu um período de greve, evidenciado em amarelo, onde o serviço de transporte costuma ser reduzido ou parado. Já nos meses de agosto, setembro, outubro e nos quatro primeiros dias de novembro de 2024, houve um período de sobreposição de períodos intensivo e extensivo, representado em cinza, em que eles coexistiram no calendário universitário.

Vale ressaltar que em decorrência da seleção de dados e descarte de dias atípicos que poderiam prejudicar os resultados esperados, somados as questões de parada de manutenção, alguns meses apresentam-se sem dias de funcionamento.

Tabela 12 - Dias de funcionamento.

Mês/Ano	Rodoviário	Urbano	Mês/Ano	Rodoviário	Urbano	Mês/Ano	Rodoviário	Urbano
jan/22	18	-	jan/23	-	1	jan/24	7	17
fev/22	4	-	fev/23	5	11	fev/24	2	14
mar/22	21	2	mar/23	3	2	mar/24	-	5
abr/22	16	5	abr/23	-	2	abr/24	-	6

mai/22	22	15	mai/23	2	3	mai/24	2	9
jun/22	21	4	jun/23	2	-	jun/24	-	-
jul/22	20	18	jul/23	-	4	jul/24	6	11
ago/22	20	18	ago/23	1	4	ago/24	-	4
set/22	21	-	set/23	-	5	set/24	-	-
out/22	17	16	out/23	2	17	out/24	2	1
nov/22	15	18	nov/23	2	17	nov/24	2	-
dez/22	-	5	dez/23	2	7	dez/24	2	-
Total	195	101	Total	17	73	Total	23	67
Total Geral		476						

Período intensivo	Período extensivo	Período de greve	Período intensivo e extensivo
-------------------	-------------------	------------------	-------------------------------

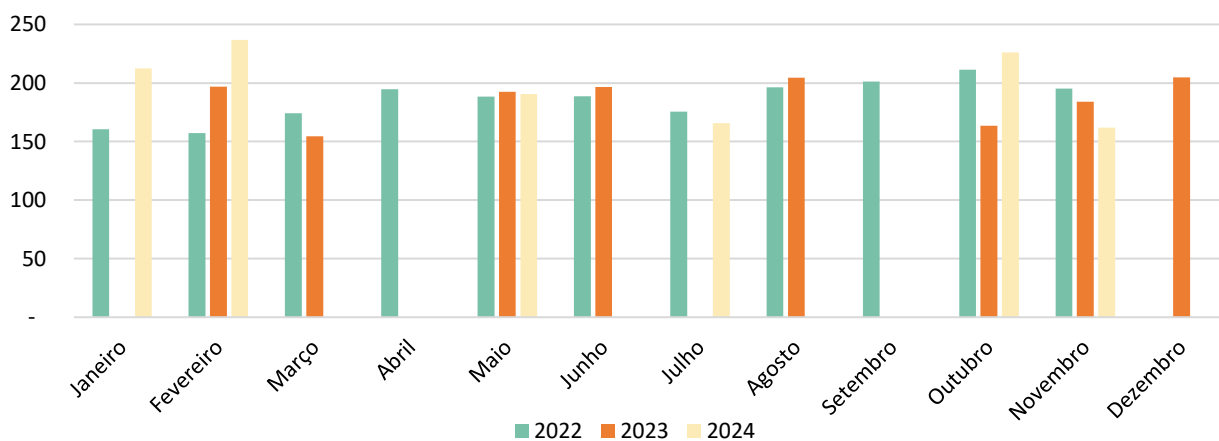
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

De posse dos dados filtrados, calculou-se utilizando a Equação 1 o consumo médio diário mensal de cada uma dos OEs. A Equação 1 apresenta o cálculo do consumo médio diário mensal dos ônibus elétricos, onde: Consumo Médio Diário (CMD), número de dias de funcionamento no mês ( $n^{\circ}_d$ ), consumo de energia elétrica no dia x ( $CE_x$ ).

$$CMD = \frac{\sum CE_x}{n^{\circ}_d} \quad (1)$$

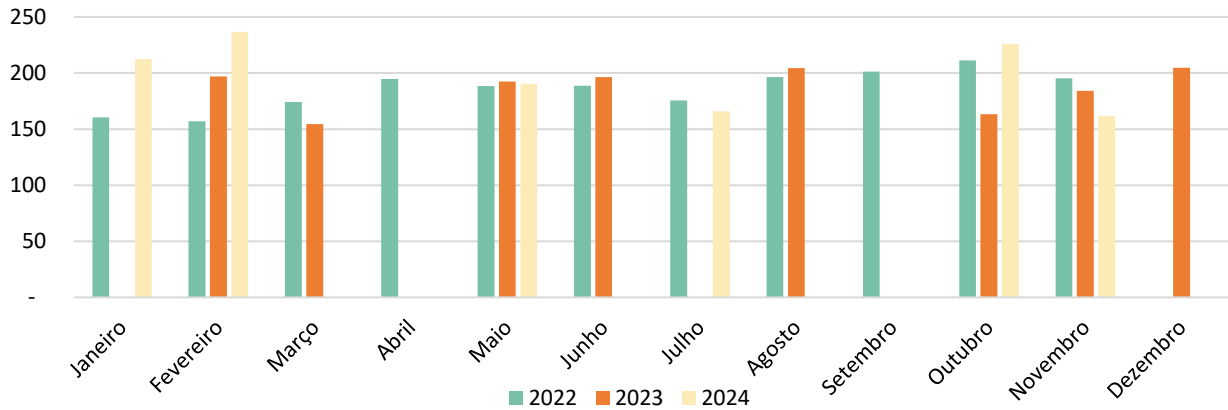
A Figura 83 e Figura 84 apresentam os valores de consumo médio diário para os anos de 2022, 2023 e 2024 dos OEs rodoviário e urbano, respectivamente. Embora os valores entre os OE sejam bem próximos, o CMD do ônibus urbano foi maior que o rodoviário na maioria dos meses. Isso pode ser explicado pelo fato de o ônibus rodoviário percorrer aproximadamente uma distância média diária de 150 km/dia, enquanto o urbano percorre 140 km/dia. Outro fator que pode influenciar na eficiência, e consequentemente no consumo, é a velocidade de condução do veículo, já que o urbano é conduzido em até 50km/h e o rodoviário chega entorno de 90km/h, porém não será discutida essa análise.

Figura 83 - Consumo médio diário de energia elétrica do OE rodoviário.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 84 - Consumo médio diário de energia elétrica do OE urbano.



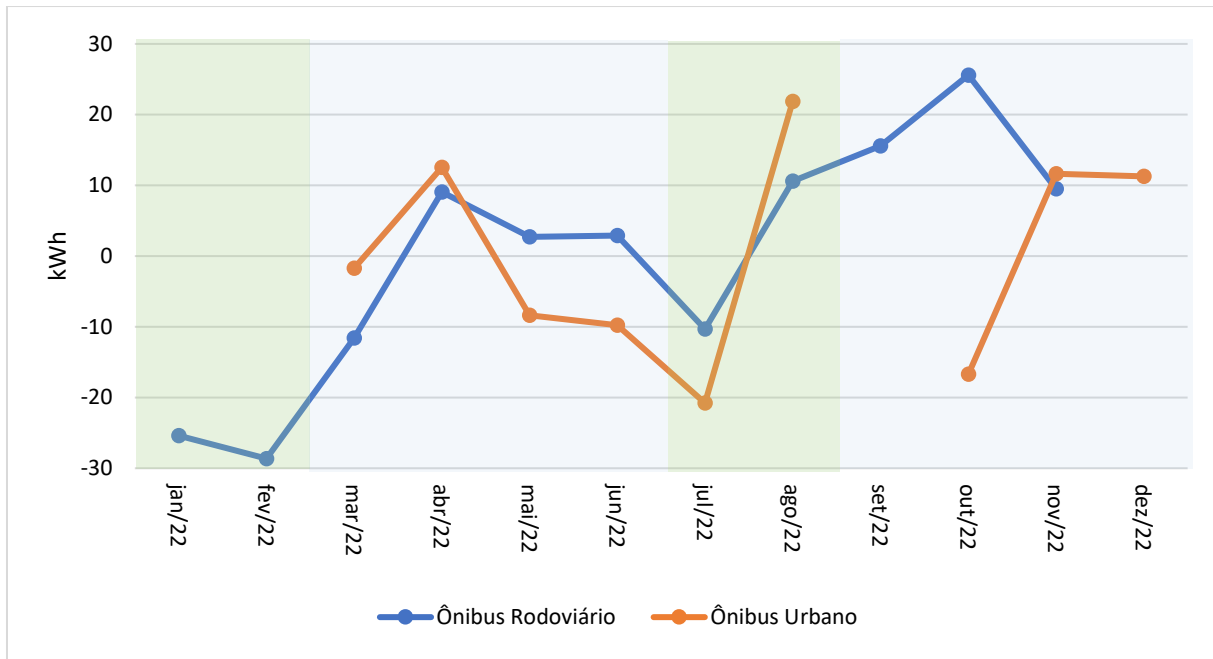
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Devido a quantidade de dias em que os ônibus elétricos estiveram inoperantes em 2022 e 2023, as informações de consumo de energia elétrica se tornam ineficientes para caracterizarem meses ou períodos. Dessa forma, para a analisar variação do CMD de acordo com o período do ano foram considerados apenas os dados referentes ao ano de 2022. A Figura 85 apresenta a tendencia de variação do CMD em relação à média anual, além de destacar em verde o período intensivo e em azul o período extensivo da universidade nesse mesmo ano.

A partir da Figura 85 é possível identificar que as maiores quedas de consumo ocorrem nos meses de janeiro, fevereiro e julho, período intensivo da universidade, enquanto os picos de valores são nos meses de março e outubro, período extensivo. Uma vez que no período extensivo todos os cursos estão em aulas normais, supõe-se que mais pessoas estão utilizando os ônibus elétricos, enquanto no período intensivos muitos cursos apresentam redução em suas atividades, reduzindo assim a demanda por transporte local. Essas características reforçam o impacto de períodos de baixa e alta temporada no planejamento energético de projetos de mobilidade elétrica.

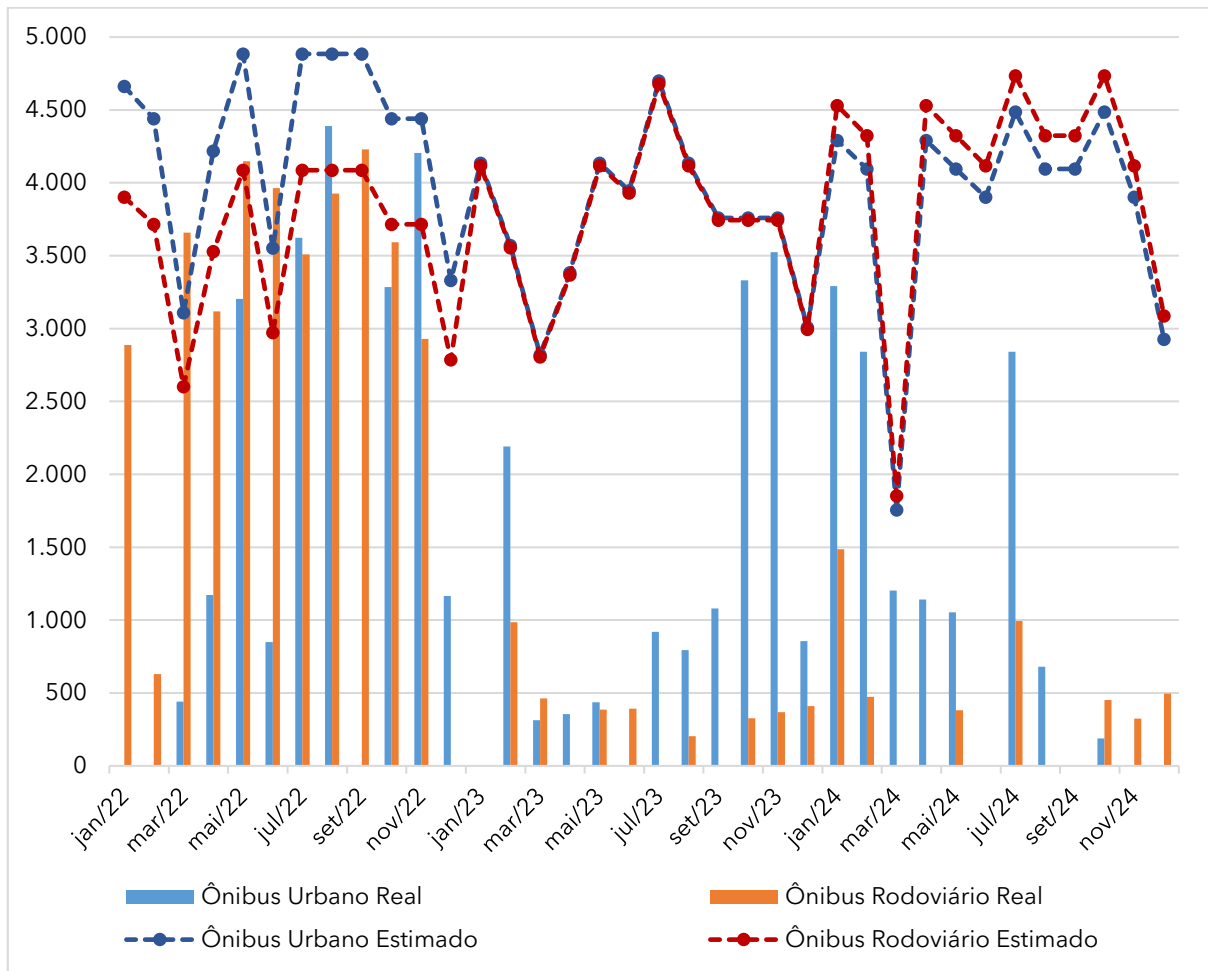
Apesar da deficiência de dados para um planejamento anual do consumo do projeto, foi realizado um consumo estimado mensal para cada ônibus elétrico de 2022 a 2024. Foi utilizado o valor de consumo médio diário anual de cada ônibus, multiplicado pela quantidade de dias de cada mês, de acordo com o calendário acadêmico. A Figura 86 apresenta o consumo real e o estimado para um ano de funcionamento dos ônibus elétricos.

Figura 85 - Variação do CMD em relação à média anual.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 86 – Histórico de consumo real e estimado dos ônibus elétricos.



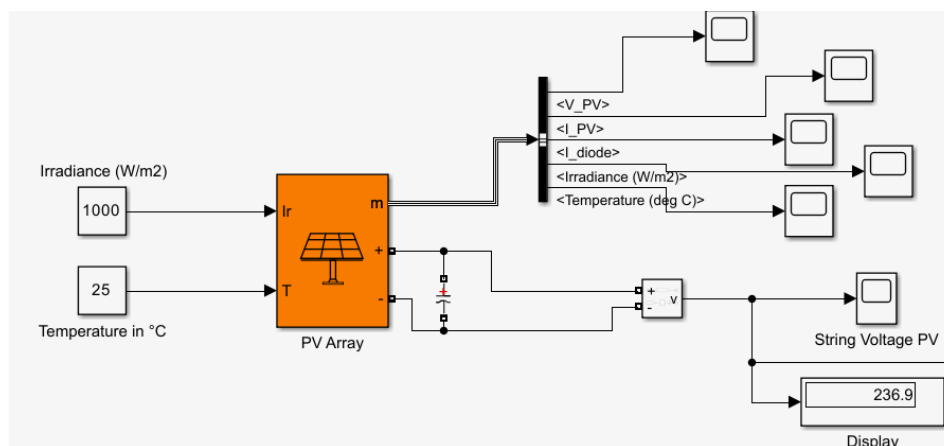
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 5.3.3 Barco Elétrico

Em setembro de 2024, o barco elétrico foi inaugurado, porém ainda não está em operação regular devido às infraestruturas dos pieres de atracação na UFPA ainda estarem em processo de construção. Assim, para o desenvolvimento desse trabalho foi realizado uma simulação para o barco. A partir do modelo desenvolvido foi possível estimar o consumo do barco elétrico para um dia típico de funcionamento da embarcação, mesmo antes de sua operação plena.

Na Figura 87 são apresentados os blocos utilizados na modelagem do sistema fotovoltaico instalado na embarcação. O bloco principal do SFV apresenta duas variáveis de entrada: a irradiação em ( $W/m^2$ ) e a Temperatura em graus celsius ( $^{\circ}C$ ), além disso é possível observar os parâmetros que estão sendo mensurados em “m”, como tensão, corrente, irradiância e temperatura, e a tensão do grupo fotovoltaico, que no display apresenta a tensão de 236,9 V.

Figura 87 – Sistema fotovoltaico do barco elétrico.



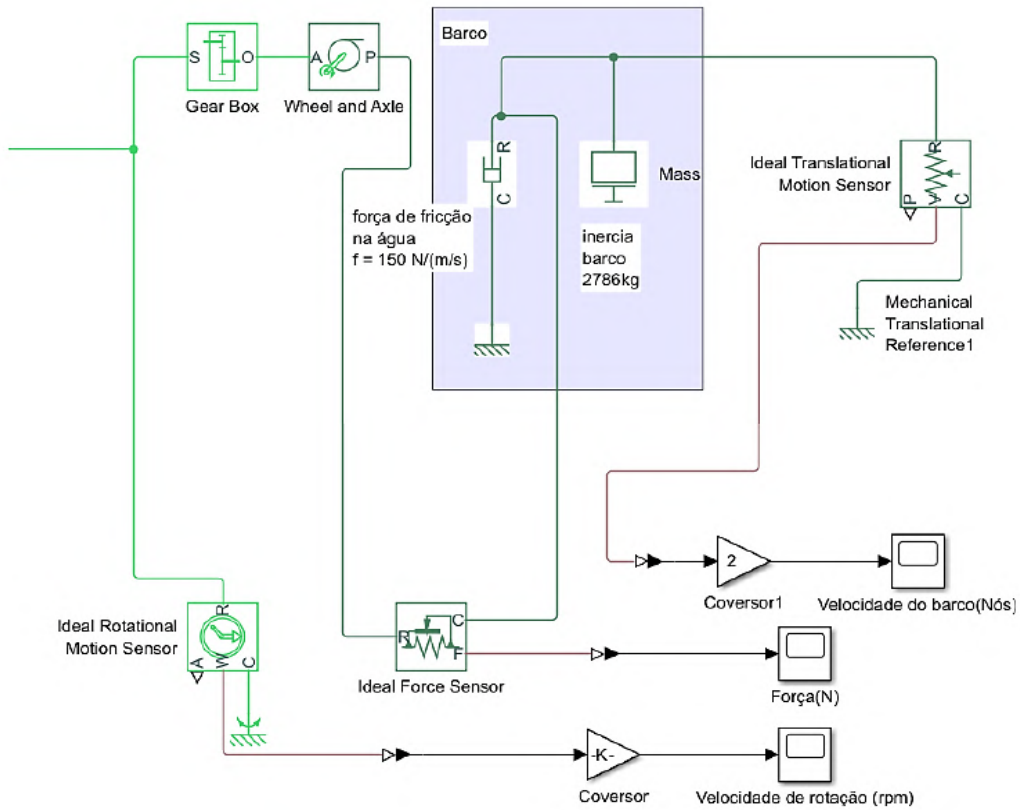
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O sistema apresentado na Figura 88 representa a parte física do barco elétrico, composta pelos motores e quatro blocos de representação do sistema, além de três blocos de medição. Os blocos de representação do sistema consistem em uma caixa de engrenagens para aumentar o torque e a propulsão, um bloco de roda e eixo que converte o tamanho da roda e do eixo, juntamente com a velocidade de rotação angular. Além disso, há blocos que representam a inércia do barco, sendo considerada uma massa de 1.389 kg; o barco suporta o total de 20 passageiros, levando em consideração o peso médio de 70 kg, o bloco totaliza com 2.789 kg. E por fim, há um bloco que simula o atrito entre o barco e a água, definida em 150 N/(m/s).

Seu funcionamento segue o calendário acadêmico da UFPA e, para 2024, estava prevista uma operação de 65 dias a partir da sua inauguração. Para esse período, foi estimado que o consumo total de energia consumida da rede elétrica seria de 18.419,7 kWh. A Tabela 13

apresenta a distribuição do tempo de operação do barco por mês, juntamente com o respectivo consumo estimado de energia elétrica. Já a Figura 89 ilustra graficamente a relação entre o período de funcionamento e o consumo estimado de energia elétrica nos últimos quatro meses de 2024.

Figura 88 – Sistema para representação dos parâmetros físicos do barco.



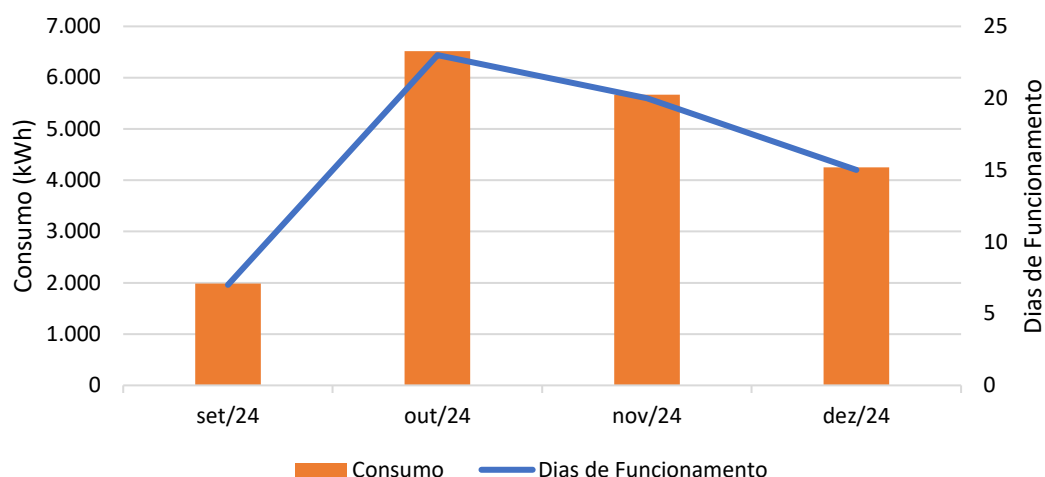
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Tabela 13 – Operação do Barco Elétrico.

Mês	Operação (Dias)	Consumo Estimado (kWh)
set/24	7	1.983,66
out/24	23	6.517,74
nov/24	20	5.667,60
dez/24	15	4.250,70

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 89 – Consumo de energia elétrica mensal do barco elétrico.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

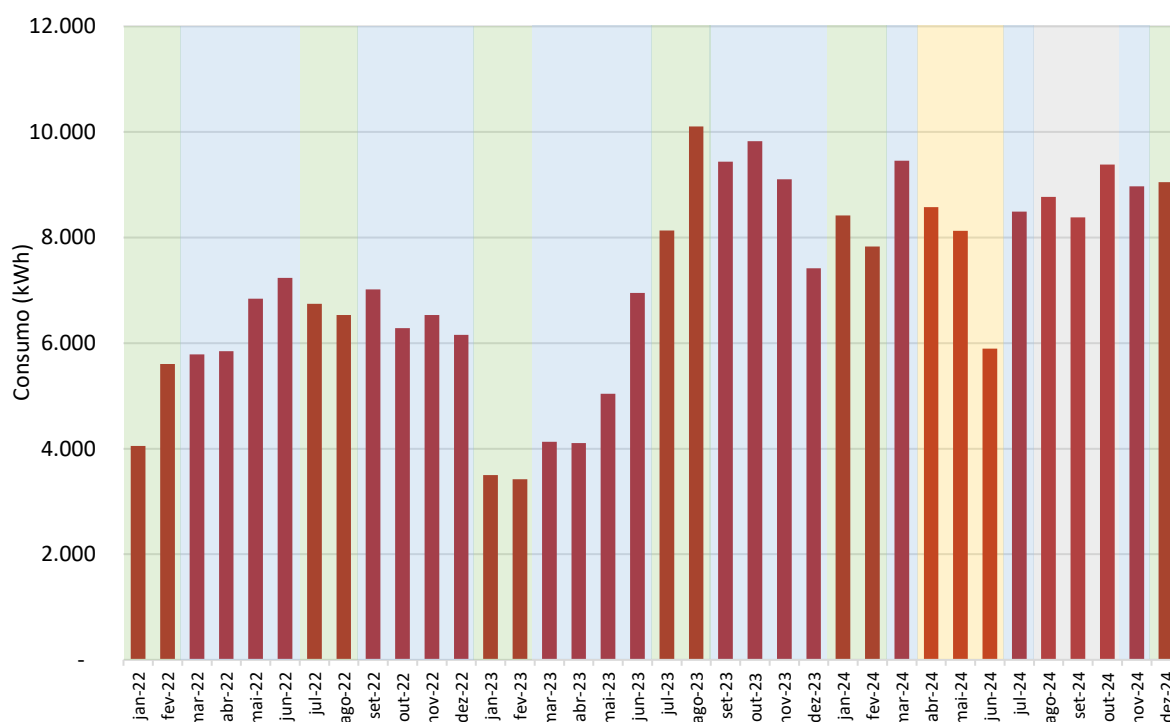
### 5.3.4 CEAMAZON

O perfil de consumo de energia do prédio do CEAMAZON está principalmente relacionado ao uso de cargas do sistema de iluminação, refrigeração e computadores. Ao longo dos anos, o CEAMAZON apresentou um consumo de aproximadamente 74.629 kWh em 2022, aproximadamente 81.168 kWh em 2023 e 101.348 kWh em 2024.

A partir da Figura 90 é possível verificar que o prédio do CEAMAZON apresenta um consumo mensal com grande variação ao longo do ano. Historicamente, o mês de janeiro, pertencente ao período intensivo, em verde, apresenta o menor consumo energético, com exceção o ano de 2024. Os meses de maior consumo foram junho e setembro em 2022, março e outubro em 2024, enquanto em 2023 agosto e setembro apresentaram os maiores consumos já vistos no CEAMAZON.

É importante destacar que dia 15 de junho de 2023, entrou em operação no CEAMAZON o supercomputador Ubiratan, após o fato o consumo médio mensal do prédio subiu, consequentemente causando mudanças em seu perfil de carga. Outro fator de impacto foi a greve ocorrida em abril a junho de 2024.

Figura 90 – Consumo de energia elétrica mensal do prédio do CEAMAZON.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 5.3.5 SIMA

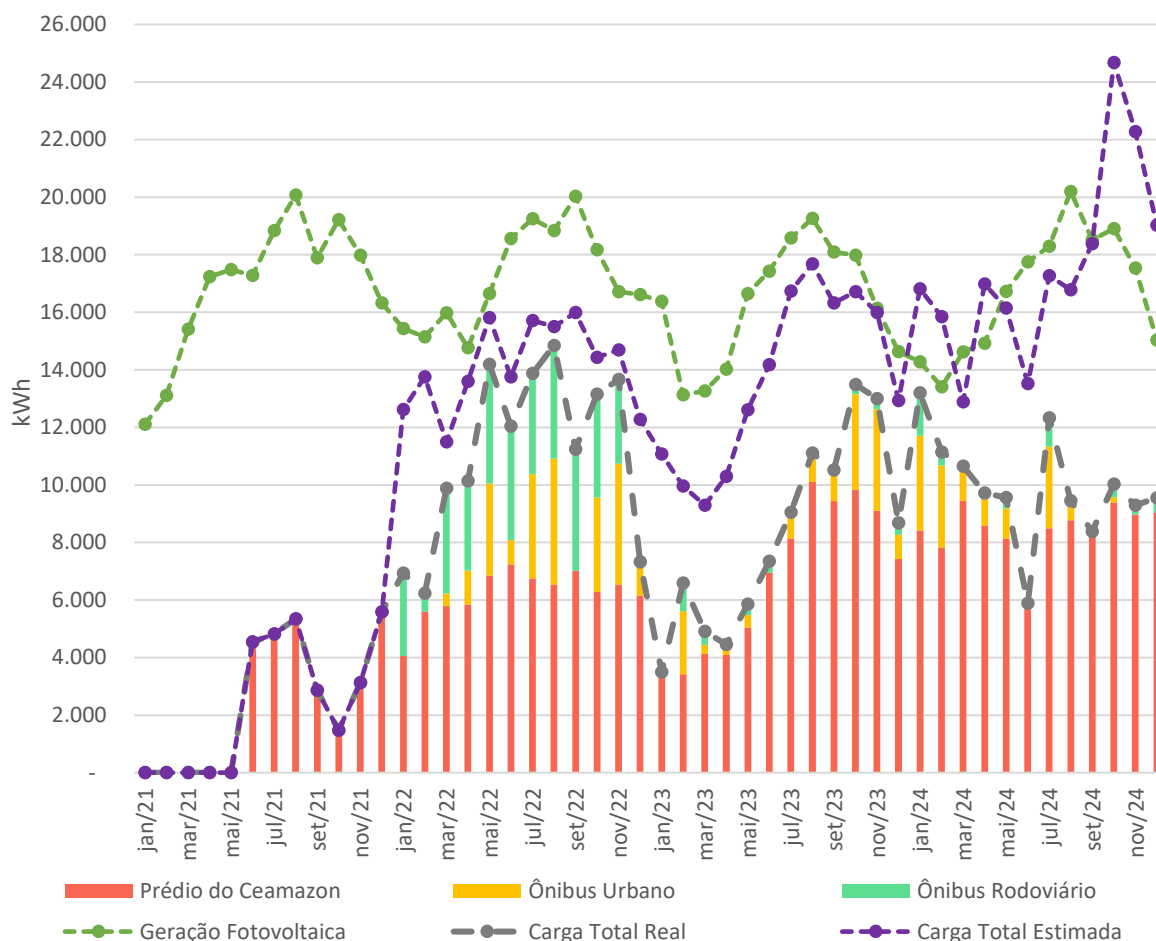
Desde que o projeto SIMA entrou em operação, as cargas já consumiram o total de 369,67 MWh, sendo 70% para abastecer o CEAMAZON e os outros 30% consumidos pelos veículos elétricos. Quando considerado o consumo estimado para VE do SIMA, é esperada uma proporção de consumo de 49% para o CEAMAZON e 51% para os VE. No entanto, com o aumento de carga do CEAMAZON, a não operação do barco elétrico e a redução dos dias de funcionamento dos ônibus, corroboraram para esse cenário.

A Figura 91 apresenta o gráfico do balanço energético do projeto SIMA, onde é possível ver que as cargas reais ainda estão bem abaixo da quantidade de energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos. No entanto, quando considerado o consumo das cargas estimadas dos VEs o cenário de 2024 já não apresenta o mesmo conforto dos anos iniciais de operação do SIMA. Em vários meses, o consumo estimado mensal supera a geração mensal, caracterizando a necessidade do consumo de energia da rede.

Embora o cenário estimado para 2024 não seja dos mais confortáveis, a carga estimada para o projeto não supera a energia gerada, devido aos longos períodos em que a geração foi superior a carga, criando um crédito de energia para o projeto. No entanto, por se tratar de um

cenário estimado, ele traz um alerta para o futuro do projeto, quando os veículos elétricos apresentarem plena operação ao longo de anos.

Figura 91 – Balanço energético do SIMA de 2022-2024.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 5.4 Análise de cenários

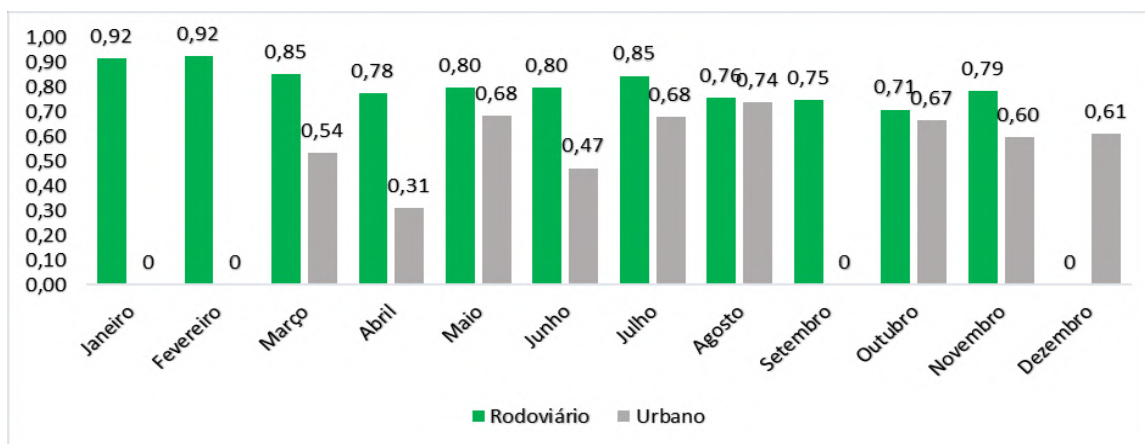
Neste item o trabalho inicia a análise do funcionamento dos sistemas do SIMA buscando definir os padrões de comportamento de cada um, dentro das particularidades de cada cenário que será estudado.

### 5.4.1 Ônibus Elétrico

Para avaliar a eficiência mensal dos ônibus elétricos em operação, foi calculada a autonomia de cada ônibus em cada mês rodado de 2022. No gráfico da Figura 92 é apresentada a autonomia de cada um dos ônibus, nota-se que o mês com melhor autonomia do OE urbano foi em agosto, apresentando 0,74 km/kWh e para o OE rodoviário foram os meses de janeiro e fevereiro apontando 0,92 km/kWh. Para os valores com menor autonomia se tem no mês de abril para o urbano com 0,31 km/kWh e 0,71 km/kWh no mês de outubro para o ônibus

rodoviário. A Tabela 14 apresenta a distância percorrida pelos OEs no período de 2022 até 2024.

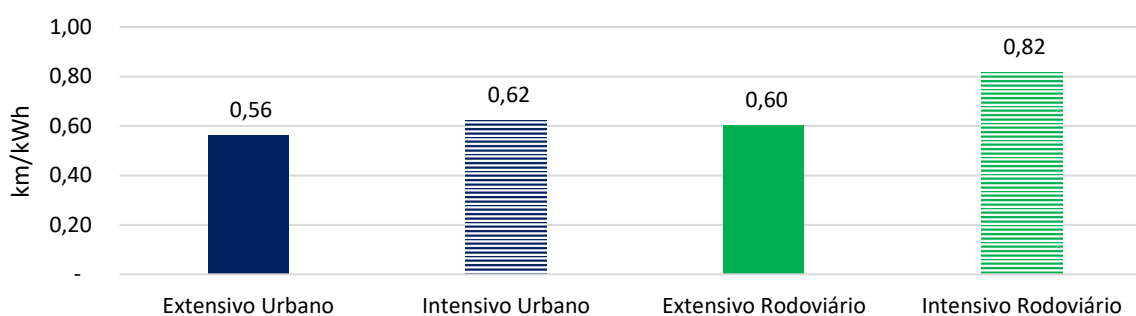
Figura 92 – Autonomia média diária mensal dos ônibus elétricos.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Embora os anos de 2023 e 2024 tenham apresentado uma carência de dados, impedindo a realização de uma análise de autonomia média diária mensal para esses anos, os dados obtidos são válidos e podem ser utilizados para outros tipos de análises, que demonstrem o desempenho dos OEs. Dessa forma, foi calculado a autonomia média diária para os períodos de alta e baixa demanda desse serviço, desde o início da operação dos OEs. A Figura 93 apresenta a autonomia média diária mensal dos OE rodoviário e urbano para os períodos extensivos e intensivos, desde a sua entrada em operação. A Tabela 14 apresenta a distância percorrida pelos ônibus elétricos no período 2022 a 2024.

Figura 93 - Autonomia média diária mensal dos OE rodoviário e urbano desde a sua entrada em operação.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

É possível afirmar que os OE apresentam maior autonomia no período intensivo do que no extensivo. Essa característica pode estar relacionada a menor quantidade de pessoas utilizando esses meios de transportes, que por sua vez, quando rodando com um peso menor podem apresentar uma melhor performance de autonomia.

As informações de autonomia em condições de alta e baixa demanda de uso, apresentadas na Figura 93 são de extrema relevância, pois são obtidas de um estudo de caso

real e em operação. Assim, essa informação é fundamental para o desenvolvimento de novos projetos de mobilidade elétrica, permitindo uma projeção da demanda energética para a operação de OEs em outras cidades, dentro e fora da Região Amazônica.

Tabela 14 - Distância percorrida pelos ônibus elétricos no período 2022 - 2024.

Mês	Urbano (km)	Rodoviário (km)
jan/22	-	2.652
fev/22	-	601
mar/22	250	3.129
abr/22	648	2.418
mai/22	2.040	3.318
jun/22	540	3.167
jul/22	2.495	2.978
ago/22	3.247	2.992
set/22	-	3.178
out/22	2.185	2.561
nov/22	2.518	2.304
dez/22	713	-
jan/23	-	-
fev/23	1.939	834
mar/23	194	272
abr/23	230	-
mai/23	304	301
jun/23	-	300
jul/23	702	-
ago/23	507	150
set/23	607	-
out/23	1.651	229
nov/23	2.305	261
dez/23	551	293
jan/24	2.819	1.260
fev/24	2.748	367
mar/24	1.056	-
abr/24	885	-
mai/24	1.006	301
jun/24	-	-
jul/24	2.339	668
ago/24	525	-
set/24	-	-
out/24	137	342
nov/24	-	194
dez/24	-	391
Total	35.141,03	35.459,84

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 5.4.2 Sistema Híbrido

Três cenários diferentes para a operação do banco de baterias foram analisados neste estudo. Esses cenários incluíram operação regular, operação irregular e uma falha na rede elétrica durante todo o dia.

Durante a operação regular, foi observado que o banco de baterias era carregado durante o dia e descarregado durante a noite, conforme esperado. A análise do cenário de operação irregular mostrou que o banco de baterias estava sendo carregado e descarregado em intervalos irregulares, indicando instabilidade no fornecimento de energia da rede elétrica. Por fim, o cenário de falha na rede elétrica durante o dia mostrou que o banco de baterias foi capaz de fornecer energia para o prédio durante todo o período de falha, sem interrupção no fornecimento de energia. Isso demonstrou a eficácia do sistema de armazenamento como fonte de energia de backup durante emergências. Em geral, a análise desses cenários permitiu uma melhor compreensão do comportamento do banco de baterias em diferentes condições, fornecendo ideias valiosas sobre o desempenho e a confiabilidade do sistema.

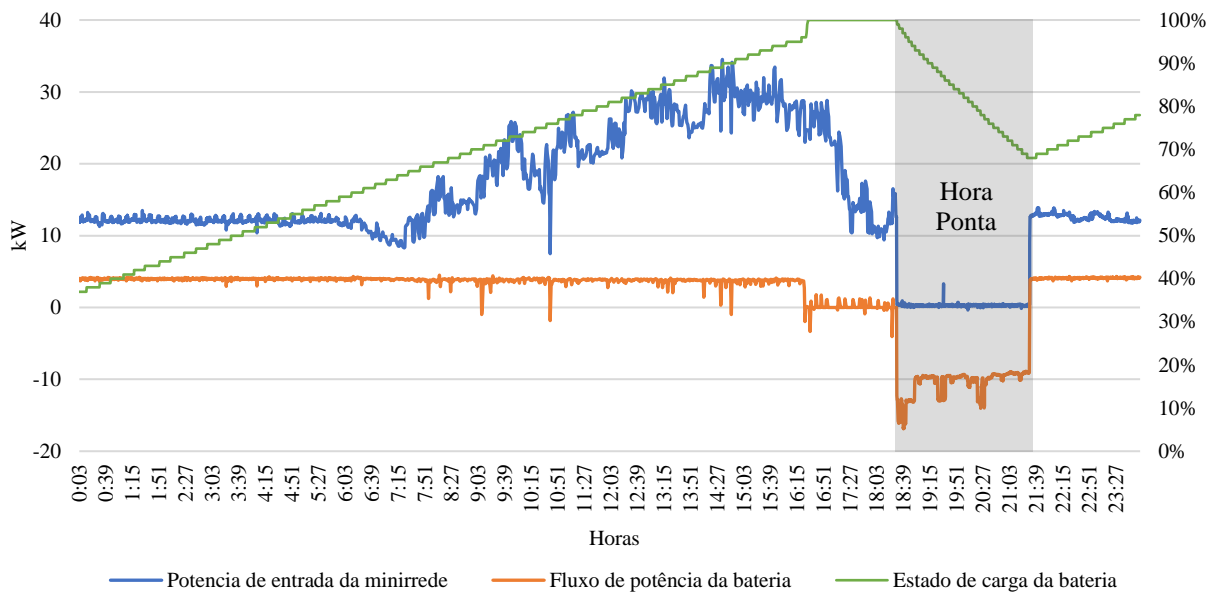
### 5.4.2.1 Primeiro cenário: operação normal

A análise do cenário de operação normal considera quatro variáveis: tempo, potência de entrada na minirrede, operação da bateria e porcentagem de carga do sistema. A partir da Figura 94 é possível observar pela curva em laranja o funcionamento do SA, onde se verifica que sua energia é utilizada durante todo o Horário de Ponta para suprir completamente a carga da minirrede. Valores negativos representam injeção de energia na rede elétrica, enquanto valores positivos de energia do banco de baterias indicam o seu carregamento.

A curva em azul apresenta o fluxo de potência da rede elétrica na entrada da minirrede, portanto essa curva é caracterizada pela interação entre a demanda do prédio do CEAMAZON, SA e os SFV. É possível verificar que ela vai à próximo de zero quando o SA assume o atendimento da carga, pois o sistema deixa de consumir energia da rede elétrica e passa a operar de forma ilhada.

Por meio da curva em laranja também é possível observar que o carregamento do SA ocorreu durante o período da manhã, até por volta das 16:30, e continuou carregando após o descarregamento ocorrido no HP. É importante entender que quando o carregamento do SA ocorre durante o período de consumo do prédio, a demanda de potência aumenta na entrada da minirrede, podendo causar impactos na rede como o estresse de transformadores e outros. Essa dinâmica de carregamento e descarregamento do SA também pode ser vista na curva verde, com seu valor de estado de carga determinado pelo eixo do lado direito.

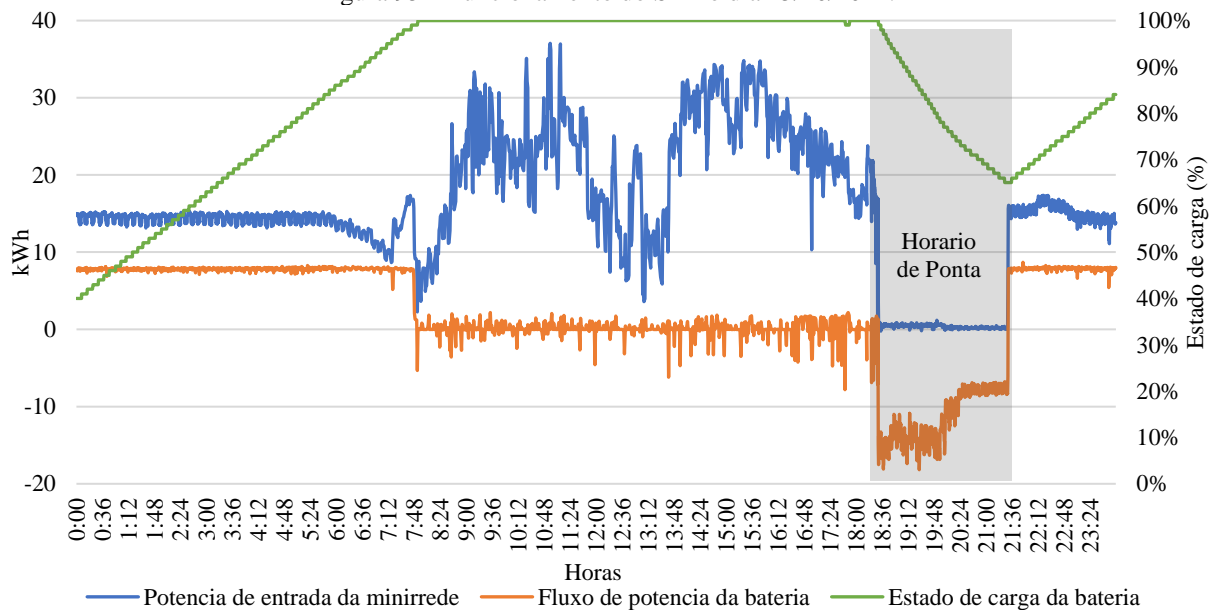
Figura 94 – Operação do Sistema de Armazenamento no dia 15/03/2022.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A Figura 95 demonstra um outro cenário de operação do SA, durante um dia ensolarado com grande variabilidade de irradiação solar. A partir da curva em verde é possível observar que o sistema de armazenamento carrega durante os horários em que não há expediente no prédio, com isso melhora o aproveitamento do sistema elétrico em momentos que ele está ocioso. Devido a essa ociosidade da rede, o SA pode demandar uma potência maior e carregar mais rapidamente. No entanto, o SA é descarregado durante os horários de pico, indicando operação normal, uma vez que o foco do sistema é o uso da energia elétrica em um horário de maior valor comercial da energia elétrica.

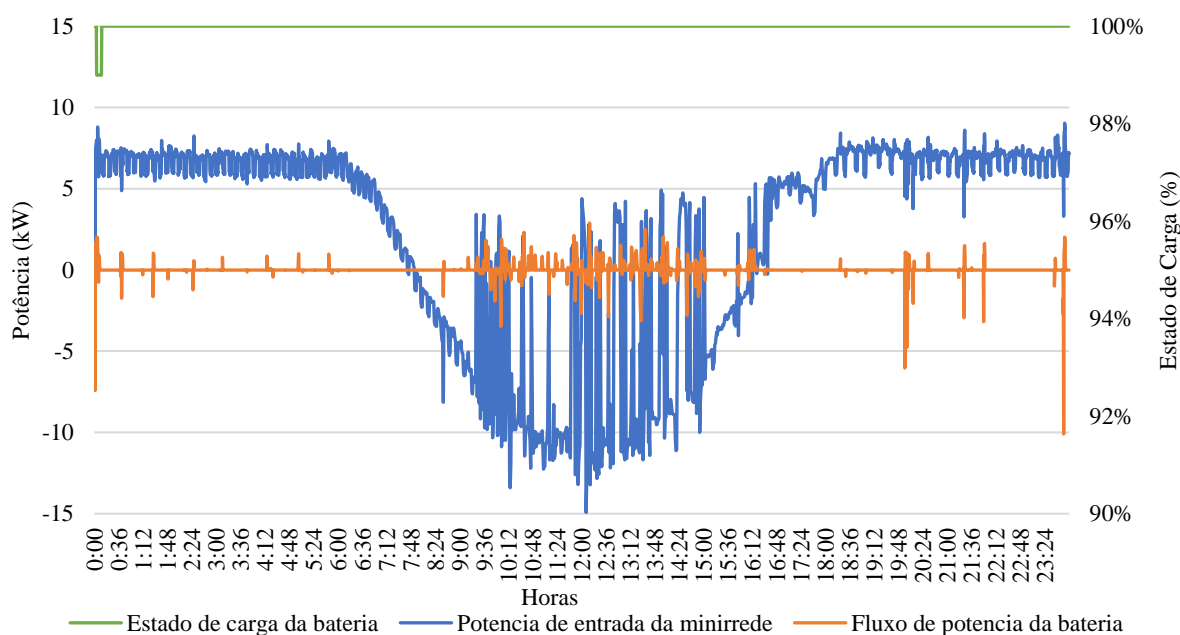
Figura 95 – Funcionamento do SA no dia 25/10/2022.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A Figura 96 ilustram operações típicas dos finais de semana e feriados, onde a carga da minirrede, pois não há expediente no prédio, o sistema de armazenamento permanece com seu estado de carga em 100% praticamente o dia inteiro. É possível verificar que a curva de carga da minirrede, em azul, começa a reduzir a partir das 6h, quando o sol nasce e o sistema fotovoltaico no interior da minirrede passa a produzir energia. A partir das 8h da manhã a curva em azul passa a ser negativa pois a minirrede passa a injetar o excedente de energia dos sistemas fotovoltaicos na rede elétrica da UFPA, até por volta das 14 h e passa ser negativa.

Figura 96 – Funcionamento do SA no dia 14/08/2022.

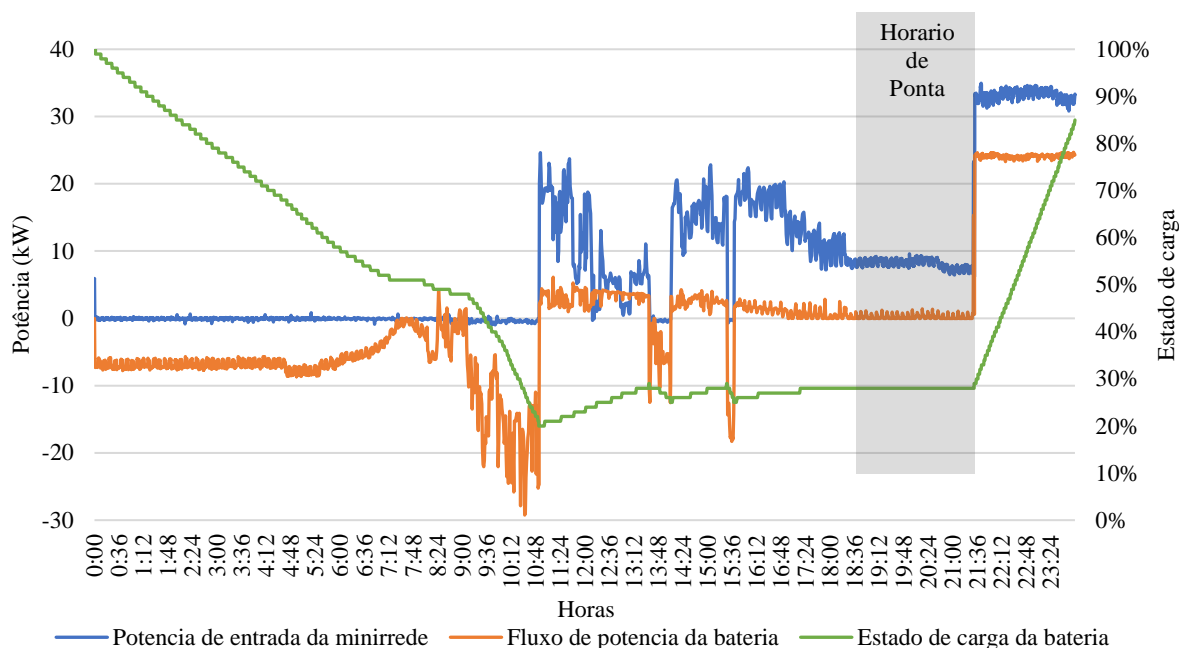


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

#### 5.4.2.2 Segundo cenário: operações específicas

É importante conhecer capacidade de atendimento do SA para um dia inteiro de carga da minirrede. A Figura 97 apresenta um dia de operação completa do sistema de armazenamento, em um período de alta disponibilidade solar na região Amazônica. Na curva em laranja, é possível observar que na madrugada desse dia o SA começa a suprir totalmente a carga, estando 100% carregado, como pode ser observado na curva verde. Por volta das 8h, começa o expediente no CEAMAZON e a curva de carga da minirrede começa a aumentar, com isso o consumo de energia do SA também aumenta muito a ponto de, por volta das 11h, ele atinge seu patamar de carga mínima, de 25% e para de suprir a demanda da minirrede. Como o SA estava programado para não carregar durante o período de carga da minirrede, ele permaneceu descarregado ao longo do dia e não pode suprir a demanda no horário de ponta. O SA voltou a recarregar após o horário de ponta.

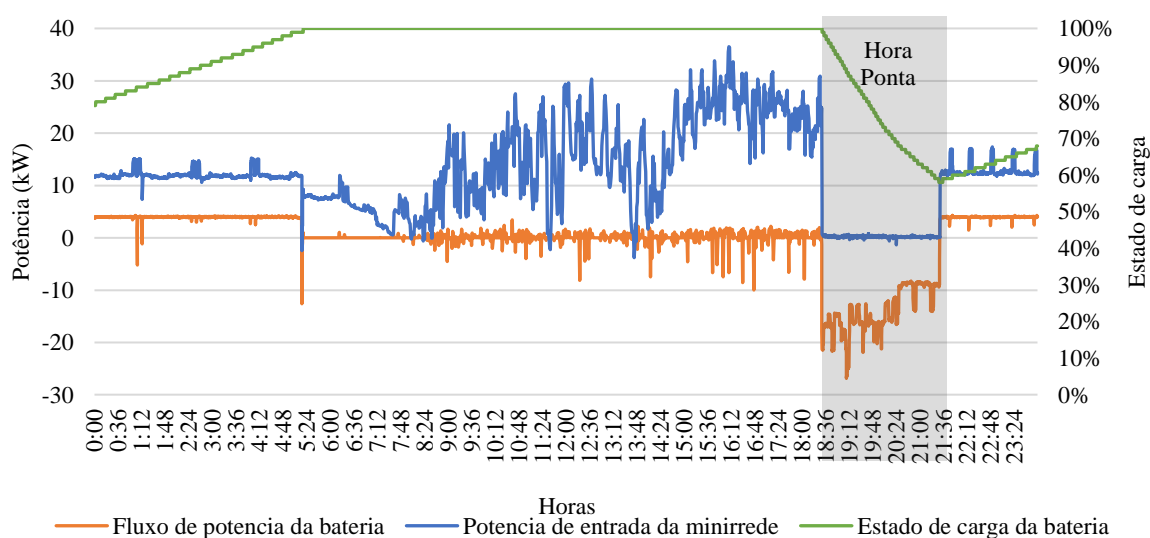
Figura 97 – Funcionamento do SA no dia 10/10/2022.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A Figura 98 apresenta o funcionamento do sistema de armazenamento em um período chuvoso na região amazônica, como pode ser verificado nos Apêndice IV - e Apêndice V - . O carregamento do Sistema de Armazenamento começa ao longo da madrugada, chegando em 100% próximo às 5h e descarrega no horário de ponta, quando assume a carga total, até próximo a 60%. Por volta das 11:30h e 13:45 a curva azul passa a ser negativa durante um curto espaço de tempo, caracterizando um excedente de energia pois a geração do sistema fotovoltaico foi maior que carga.

Figura 98 – Funcionamento do SA no dia 23/03/2022.

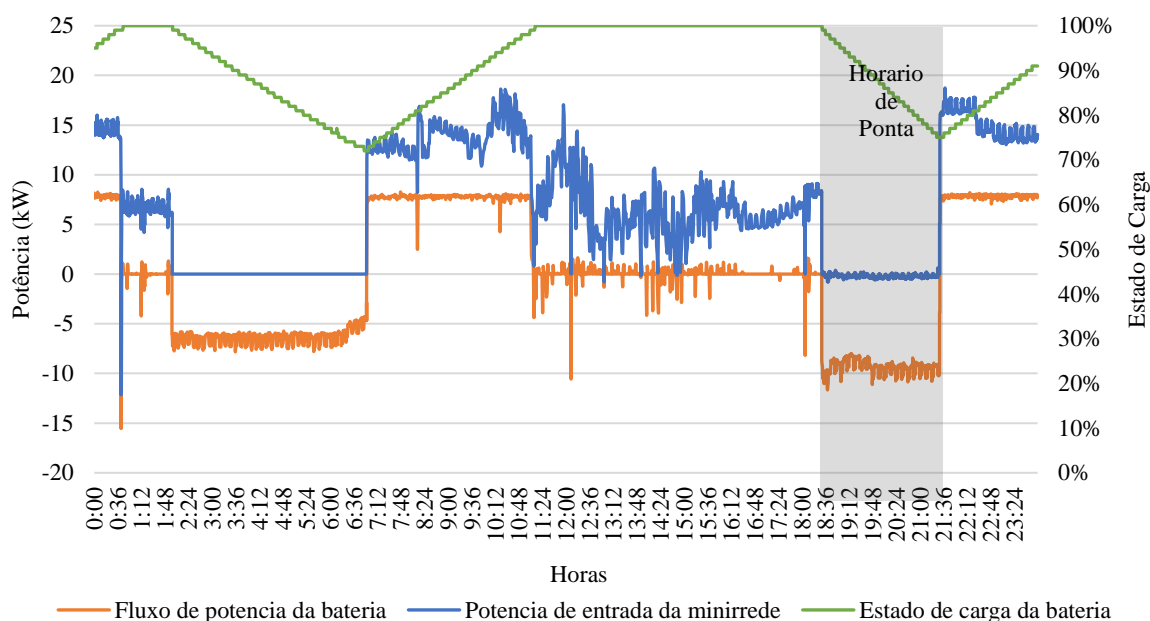


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 5.4.2.3 Terceiro Cenário: Interrupção da rede elétrica

No dia 23/12/2022, dia em que houve uma queda de energia durante a madrugada, o SA se torna crucial para manter o fornecimento de energia estável. A Figura 99 mostra na curva em azul o momento de queda de energia quando os valores permaneceram constantemente em 0 durante a madrugada e início da manhã. Uma vez que a energia foi restaurada, o SA foi capaz de recarregar e atender a carga durante todo o horário de ponta, portanto, descarregando duas vezes no mesmo dia.

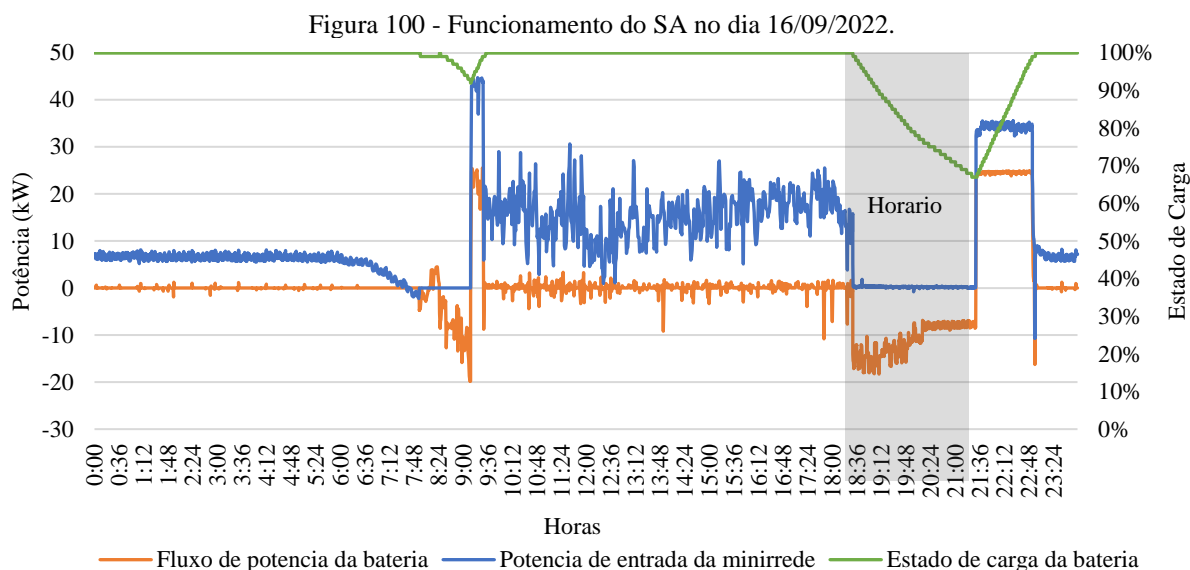
Figura 99 - Funcionamento do SA no dia 23/12/2022.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Outro cenário de queda de energia é apresentado na Figura 100, onde ocorreu uma queda de energia curta de aproximadamente uma hora e meia entre as 7h30 e as 9h00. Em ambos os dias, a queda de energia causou diferentes quedas e profundidades de descarga, mas o sistema foi capaz de manter sua operação durante o respectivo horário de pico. A tabela a seguir apresenta os valores de carga e descarga compilados do banco de baterias para os três cenários analisados durante cinco dias.

A Tabela 15 a seguir apresenta um resumo dos valores de carga e descarga compilados do banco de baterias para os 9 dias de análise do sistema fotovoltaico híbrido considerando os três cenários analisados verificados, tal como a análise das influências meteorológicas demonstrada no APÊNDICE IV, a variação de carga da minirrede e a utilização da energia em horário ponta e fora ponta.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Tabela 15 - Valores de carga e descarga em kWh.

	Carregamento (kWh)		Descarregamento (kWh)		Energia
	NP	FP	NP	FP	Início
2022	NP	FP	NP	FP	Início
15/03	0.00	73.62	-31.50	-0.29	37%
25/10	0.01	84.06	-34.18	-2.88	40%
14/08	0.11	1.64	-0.16	-1.07	100%
15/08	0.00	97.74	-27.84	-66.24	100%
10/10	0.62	75.19	0.00	-84.12	100%
23/03	0.65	27.88	0.00	-92.55	100%
23/12	0.00	58.48	-28.14	-32.65	95%
16/09	0.00	44.44	-32.96	-10.07	100%

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 5.5 Análise de eficiência do projeto

A inserção das análises acerca da eficiência energética nos recursos energéticos distribuídos envolve o comparativo entre as cargas de consumo e os meios de geração de energia renovável, seja ela micro ou minigeração distribuída. É importante pontuar que o consumo depende de fatores sazonais, como o clima e o uso da carga (EPE, 2022).

A presente análise de eficiência energética leva em consideração a energia gerada pelos sistemas de geração renovável do projeto no período de 2022 até 2024. Para as cargas do projeto são realizadas análises em dois cenários, o cenário real e o estimado. Uma vez que o cenário real apresenta os valores obtidos por meio dos programas de gestão ao longo do ano de 2022 até 2024; a análise com valores estimados reflete as cargas operando em totalidade, isto é, sem possíveis intercorrência durante o período. Desse modo, as cargas do sistema são o

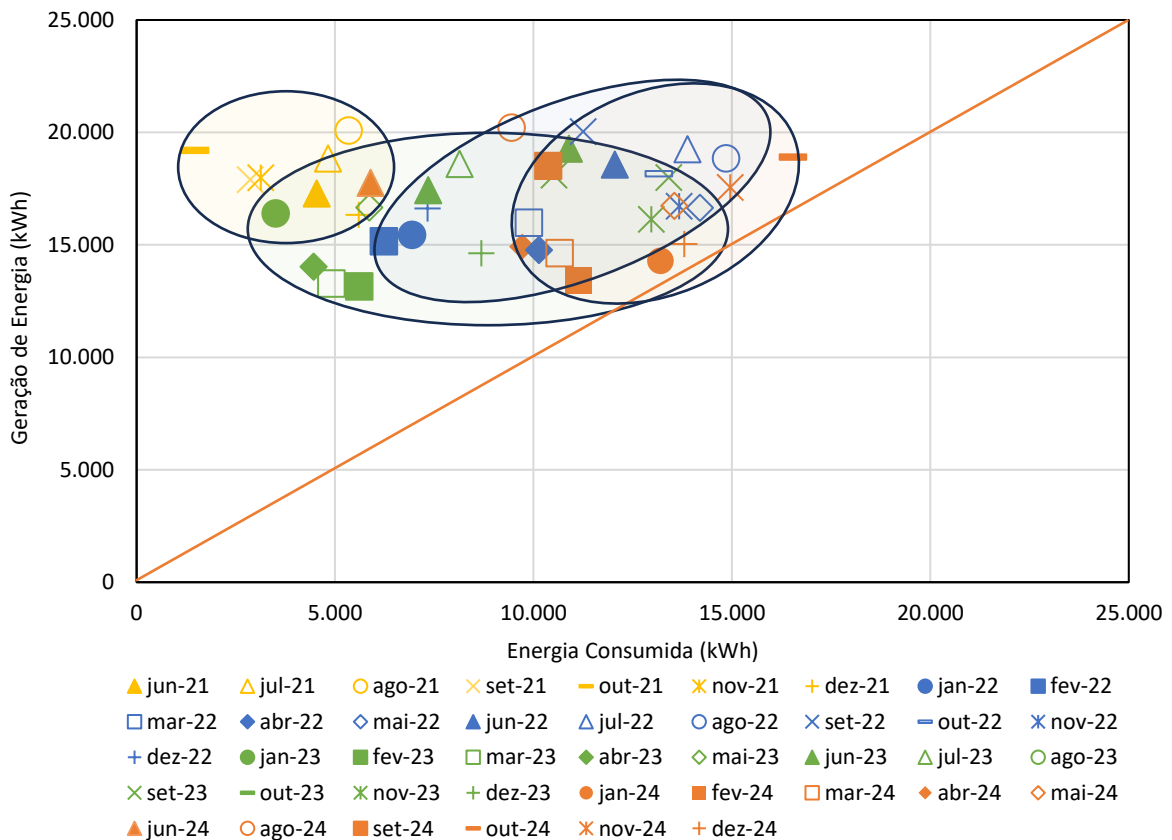
prédio do CEAMAZON, os modais elétricos terrestres, isto é, os ônibus elétricos urbano e o rodoviário, e o modal elétrico aquático, sendo este o barco elétrico.

De posse desses dados, foram criados gráficos que relacionam a energia mensal consumida por todo o projeto pela sua quantidade de energia gerada mensalmente. Assim, a partir de uma linha transversal pode se estabelecer se o sistema apresenta característica de um projeto de energia zero, quando toda a energia consumida é gerada pelo projeto, ou se ele ainda apresenta algum nível de dependência da energia da rede elétrica.

Na Figura 101 é possível visualizar o cenário para o caso real. A análise gráfica demonstra que geração de energia é maior que o consumo das cargas do sistema, para todos os meses de todos os anos, pois todos os valores se encontram em cima ou acima da linha laranja. A linha laranja estabelece o limite do equilíbrio entre a geração e consumo, dessa forma quanto mais afastados acima estiverem os valores, maior é o excedente de energia que o mês gerou.

O pior caso apresentado foi em dezembro de 2024, onde a proporção entre geração e consumo foi de 1,1 vezes. O melhor caso foi janeiro de 2023, onde a geração foi cerca de 4,68 vezes maior que o consumo. A geração de energia foi maior para pior e melhor caso, sendo gerado um superávit de 364,925 MWh em energia renovável gerada a universidade.

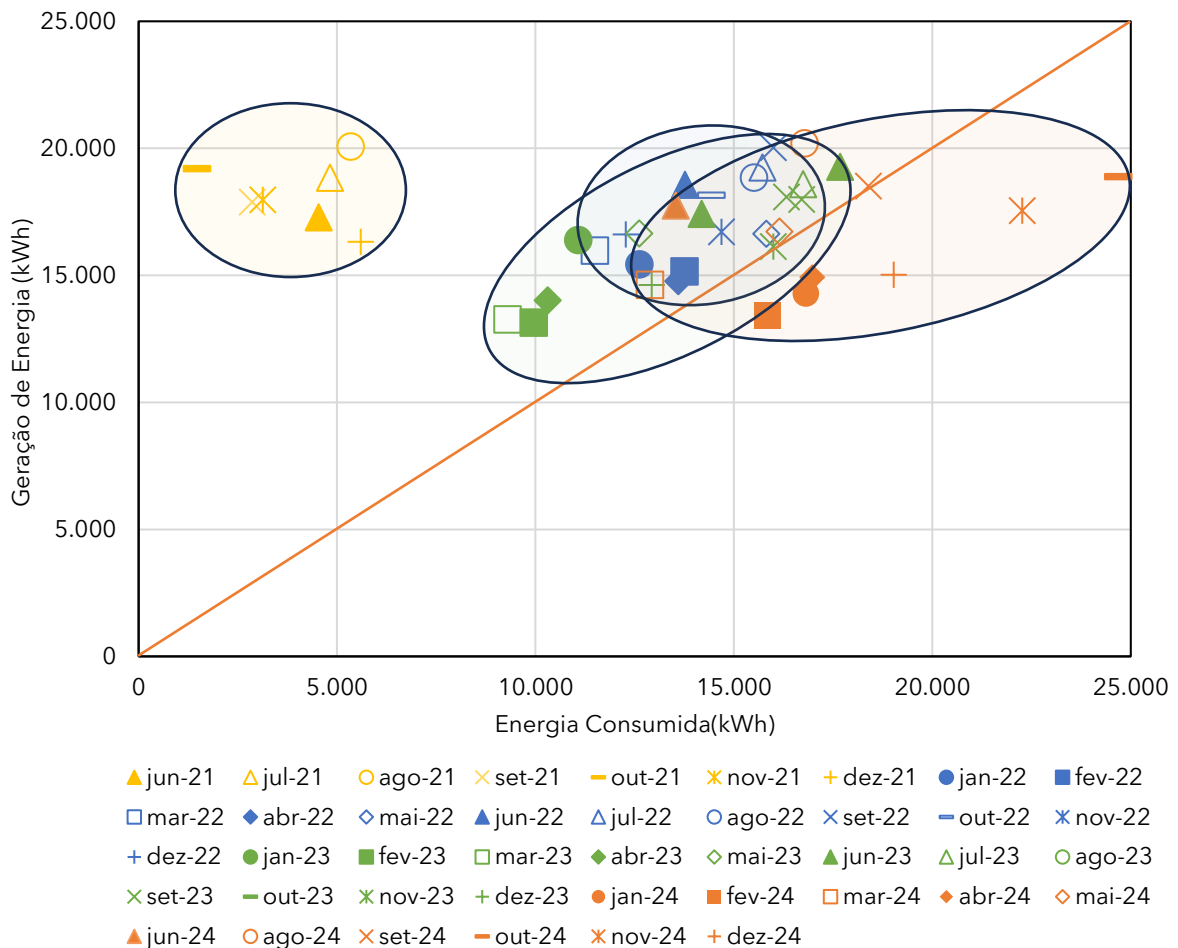
Figura 101 – Gráfico de Eficiência Energética: Caso real.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

De forma oposta ocorre com valores cada vez mais distantes abaixo da linha laranja, representando uma maior insuficiência de energia gerada para aquele mês. Esse cenário é encontrado na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**, onde é apresentado o cenário de carga estimada. Para o caso estimado foi verificado que ocorreriam diversos meses em que o sistema de geração de energia seria menor que o consumido pelo projeto, sendo apresentado um déficit da operação. Nesses meses, para o projeto funcionar de forma autossuficiente da energia elétrica da concessionária seria necessário um aumento na geração de energia ou cortes de carga. O pior caso apresentado nesse cenário foi em outubro de 2024, onde a geração foi aproximadamente 0,77 vezes menor que o consumo. É importante ressaltar que o balanço entre geração e consumo foi positivo, pois houve um superávit de 233,068 MWh de geração de energia renovável.

Figura 102 – Gráfico de Eficiência Energética: Caso estimado.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Capítulo 6 - Conclusão

Esta tese teve como objetivo central avaliar o desempenho energético de um sistema de apoio à mobilidade elétrica multimodal na Região Amazônica, integrando sistemas fotovoltaicos, unidades de armazenamento, eletropostos, veículos elétricos terrestres e aquáticos, e ferramentas digitais de monitoramento inteligente. A partir do Projeto SIMA, foram conduzidas análises empíricas com base em dados reais de operação, adotando uma abordagem sistêmica e orientada à realidade local da Amazônia.

Todos os objetivos específicos foram atingidos de forma consistente:

- Desenvolveram-se três plataformas digitais (SGGER, SISGAE2B e SIMA), que viabilizam o acompanhamento em tempo real das grandezas elétricas, medições, alertas e indicadores de eficiência;
- Consolidou-se uma base de dados histórica com mais de 36 meses de operação monitorada, abrangendo consumo, geração, variabilidade meteorológica, desempenho dos modais elétricos e comportamento dos sistemas de armazenamento;
- Realizou-se o balanço energético de forma integrada, revelando que os sistemas fotovoltaicos geraram aproximadamente 804,87 MWh entre 2021 e 2024, enquanto as cargas consumiram 369,67 MWh, apresentando uma relação positiva de geração, caracterizando o projeto como uma infraestrutura de energia quase zero (NZEB);
- Evidenciou-se o impacto das condições amazônicas, como chuvas intensas, disponibilidade do recurso solar, sobre a geração de energia, o consumo veicular e a eficiência global dos sistemas.

Nos cenários analisados, observou-se a redução significativa da geração fotovoltaica no inverno amazônico, exigindo planejamento operacional para mitigar os impactos durante esse período sazonal. O consumo dos ônibus elétricos variou conforme o perfil de tráfego: em vias urbanas, a autonomia diária foi de 0,56 km/kWh em períodos de alta demanda e 0,62 km/kWh em baixa demanda; em vias rodoviárias, os valores foram superiores, com 0,60 e 0,82 km/kWh, respectivamente.

O modelo de simulação do barco elétrico forneceu uma estimativa confiável de consumo diário de 283 kWh, sendo uma ferramenta relevante para o planejamento da entrada em operação e a análise de viabilidade do modal fluvial.

Apesar das adversidades climáticas e operacionais, o Projeto SIMA alcançou altos níveis de autossuficiência e confiabilidade energética. O sistema de armazenamento, operando atrás do medidor, foi fundamental para compensar as oscilações de geração, garantir o

fornecimento estável aos modais e à edificação do CEAMAZON, e contribuir para o equilíbrio da minirrede local.

O trabalho conecta-se diretamente a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030:

- ODS 7 – por viabilizar o uso de energia limpa em regiões remotas;
- ODS 9 – ao aplicar soluções digitais e escaláveis de gestão energética baseada em IoT;
- ODS 11 e 13 – por fomentar a mobilidade elétrica sustentável e reduzir emissões de gases de efeito estufa;
- ODS 10 – ao proporcionar inclusão energética e tecnológica em comunidades ribeirinhas e universitárias.

Dentre as lições aprendidas, destacam-se a importância de diversificar as fontes energéticas, utilizar previsões meteorológicas para otimização da recarga, adotar estratégias de redundância nos sistemas e, principalmente, explorar o potencial da digitalização na antecipação de falhas e na eficiência operacional.

Como continuidade desta pesquisa, propõe-se:

- A expansão territorial do modelo SIMA para outros núcleos urbanos e comunidades isoladas da Amazônia Legal;
- A integração com outras fontes renováveis, como biomassa e microturbinas hidrelétricas;
- A aplicação de algoritmos de inteligência artificial para previsão de demanda, geração e uso de energia;
- E a articulação com políticas públicas voltadas à capacitação local, financiamento e replicação em larga escala.

Conclui-se que esta tese oferece uma contribuição técnica, científica e estratégica inédita para a engenharia elétrica, ao apresentar uma infraestrutura energética funcional, resiliente e sustentável, baseada em dados reais e adaptada às particularidades da Amazônia. O Projeto SIMA consolida-se como modelo replicável, capaz de transformar a geração de energia, a mobilidade e a autonomia energética de regiões historicamente vulneráveis, promovendo uma transição energética justa, digital, renovável e inclusiva.

## Referência Bibliográfica

- ABB. (2018). *Infraestrutura de Veículos Elétricos AC Wallbox*.
- ABB. (2019). *Terra 54 HV Charger*.
- ABELLA, M. A. (2014). Analysis of spectral effects on the energy yield of different PV (photovoltaic) technologies: The case of four specific sites. *Energy*, v.67, p. 435-443.
- ABSOLAR. (01 de Março de 2023). *Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo*.  
Fonte: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>
- ABVE. (2025). *ABVE Data*.
- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (20 de Abril de 2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, pp. 195-204.
- Albuquerque, B. S. (2024). 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*, p. 11.
- Andrade, J. V., Salles, R. S., Silva, M. N., & Bonatto, B. D. (2020). Falling Consumption and Demand for Electricity in South Africa - A Blessing and a Curse. *IEEE PES/IAS PowerAfrica*. Fonte: Jorge V. B. Andrade; Rafael S. Salles; Maise N. S. Silva; Benedito D. Bonatto.
- Associação Brasileira do Veículo Elétrico. (29 de Julho de 2022). *100 mil eletrificados já circulam no Brasil*. Acesso em 02 de Fevereiro de 2022, disponível em [www.abve.org.br/100-mil-eletrificados-circulam-no-brasil/](http://www.abve.org.br/100-mil-eletrificados-circulam-no-brasil/)
- Aviles, S., Trivedi, A., & Williamson, S. (20 de Julho de 2020). Smart Power Electronics–Based Solutions to Interface Solar-Photovoltaics (PV), Smart Grid, and Electrified Transportation: State-of-the-Art and Future Prospects. *Applied Sciences*. doi:doi:10.3390/app10144988
- BARATA, A. H. (2017). *Impacto de Redes de Distribuição com Massiva Conexão de Geradores Fotovoltaicos na Estabilidade de Tensão de Longo-Prazo em Sistemas de Potência*. Belém: Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA na área de Sistemas de Energia.
- Bhatti, A. R., Salam, Z., Aziz, M. J., Yee, K. P., & Ashique, R. H. (Fevereiro de 2016). Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 13.

Bhatti, A., Salam, Z., & Ashique, R. (21 de Abril de 2016). Electric Vehicle Charging Using Photovoltaic based Microgrid for Remote Islands. *Energy Procedia*, pp. 213-218. doi:doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.275

BloombergNEF. (2023). *Electric Vehicle Outlook 2023*.

BNEF. ( 04 de abril de 2019). *Bloomberg NEF*. Fonte: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs-halve-next-decade/>

Brasil. (2012). ANEEL — Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa 482* .

Brasil. (2015). ANEEL — Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa 687*.

Brasil. (2017). Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa 786*.

Brasil. (6 de Janeiro de 2022). DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. *LEI Nº 14.300* .

Brasil. (2025). Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Geração Distribuída*.

Brasil. (2025). *ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica*. Fonte: Portal de Relatório da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/Ralie#>

Brasil. (2025). <https://portal.inmet.gov.br>. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia .

Breetz, H., Mildenerger, M., & Stokes, L. (Setembro de 2018). The political logics of clean energy transitions. *Business and Politics*.

Brito, M. C. (2006). Meio Século de História Solar Fotovoltaica. *Meio Século de História Solar Fotovoltaica*. Lisboa, Portugal. Acesso em 05 de outubro de 2022, disponível em <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>

BYD. (2013). *BYD FAST CHARGER: Carregador inteligente desenvolvido para padrão brasileiro Tipo 2*.

BYD. (2019). *BYD B-BOX PRO 13,8*.

BYD. (2019). *BYD POLICRISTALINO Datasheet P6K-36-SERIE-5BB*.

BYD. (janeiro de 2020). *BYD*. Fonte: <http://www.byd.ind.br/>

BYD. (2021). *BYD D11A 41.820 Articulado*.

BYD. (s.d.). *P6K-36-SERIES-5BB 310-340W*. Acesso em 31 de Janeiro de 2023, disponível em <http://en.byd.com/br/>

Canal Solar. (12 de Janeiro de 2022). *Lei 14.300: principais mudanças do Marco Legal da GD*. Fonte: Canal Solar: <https://canalsolar.com.br/lei-14-300-principais-mudancas-do-marco-legal-da-gd/>

Climate Watch. (s.d.). *Historical GHG Emissions*. Acesso em 01 de Fevereiro de 2023, disponível em [www.climatewatchdata.org/ghg-](http://www.climatewatchdata.org/ghg-)

- emissions?breakBy=gas&end\_year=2019&sectors=transportation&source=Climate%20Watch&start\_year=1990
- Costa, T., & Villalva, M. (09 de Junho de 2020). Technical Evaluation of a PV-Diesel Hybrid System with Energy Storage: Case Study in the Tapajós-Arapuins Extractive Reserve, Amazon, Brazil. *Energies*. doi:doi.org/10.3390/en13112969
- CRESESB. (2025). <https://cresesb.cepel.br/>. Fonte: Centro de Referência para as Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito.
- Díaz-González, F., Sumper, A., Gomis-Bellmunt, O., & Villafáfila-Robles, R. (Maio de 2012). A review of energy storage technologies for wind power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Dingyue, C., Lihao, C., Jianchao, B., Lifeng, W., & Yu, S. (2013). Basic study of hybrid photovoltaic vehicles of new energy. *2013 International Conference on Materials for Renewable Energy and Environment*. IEEE.
- Egbue, O., & Long, S. (2012). Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy Policy*.
- EPE. (2019). Sistemas de Armazenamento em Baterias. *Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento*.
- EPE. (2024). *BEN - Balanço Energético Nacional*.
- Escobar, J. J., Matamoros, O. M., Padilla, R. T., & Ixchel Lina Reyes, H. Q. (2021). A Comprehensive Review on Smart Grids: Challenges and Opportunities. *Sensors*.
- Fachrizar, R., Shepero, M., Meer, D., Munkhammar, J., & Widen, J. (24 de Março de 2020). Smart charging of electric vehicles considering photovoltaic power production and electricity consumption: A review. *eTransportation*. doi:doi.org/10.1016/j.etrans.2020.100056
- Fuke, P., De, S., Shiradkar, N., & Kottantharayil, A. (2024). Effect of Soiling on the PV Module Temperature and Soiling Loss Estimation. *IEEE 52nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*.
- Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Hao, X. (Julho de 2021). Solar cell efficiency tables (Version 58). *Progress in Photovoltaics*.
- Greenpeace International. (2019). *Energy Revolution 2019: A sustainable world energy outlook*. Amsterdam: Greenpeace International.
- Grenner. (2021). *Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento: Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras*.
- HUAWEI. (2021). *SUN2000-60KTL-M0*.

- Ibrahim, M. S., Dong, W., & Yang, Q. (2020). Machine learning driven smart electric power systems: Current trends and new perspectives. *Applied Energy, ScienceDirect*.
- IEA. (26 de Outubro de 2022). *Electric Vehicles*. (International Energy Agency) Acesso em 03 de Março de 2023, disponível em [www.iea.org/reports/electric-vehicles](http://www.iea.org/reports/electric-vehicles)
- IEA. (2022). *Renewable Energy Market Update Outlook for 2022 and 2023*. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.
- IEA. (2024). *Batteries and Secure Energy Transitions*. World Energy Outlook Special Report.
- IEA. (2024). *Global EV Outlook*.
- IEA-PVPS. (2022). *Trends in Photovoltaic Applications*.
- IEEE Standards. (2008). *IEEE Std 1661-2007: IEEE Guide for Test and Evaluation of Lead-Acid Batteries Used in Photovoltaic (PV) Hybrid Power Systems*. New York: IEEE.
- IRENA. (2020). *Local renewable energy policies: Design and implementation*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2023). *Innovation landscape for smart electrification with renewables*.
- Jose, S. A., Gallant, A., Gomez, P. L., Jagers, Z., Johansson, E., LaPierre, Z., & Menezes, P. L. (Fevereiro de 2025). Solid-State Lithium Batteries: Advances, Challenges, and Future Perspectives. *batteries*.
- Lenz, A. L. (julho de 2012). Fonte: [automoveiseletricos: http://automoveiseletricos.blogspot.com/2012/07/evse-electric-vehicle-supply-equipment.html](http://automoveiseletricos.blogspot.com/2012/07/evse-electric-vehicle-supply-equipment.html)
- Liu, B., Jia, Y., C. Y., L. W., X. G., S. Y., & J. X. (Janeiro de 2020). Safety issues and mechanisms of lithium-ion battery cell upon mechanical abusive loading: A review. *Energy Storage Materials*.
- Lopes, J. A., Soares, F. J., & Almeida, P. M. (Outubro de 2010). Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System. *Proceedings of the IEEE*.
- Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., & Mathiesen, B. V. (Outubro de 2017). Smart energy and smart energy. *Energy*.
- Lunz, B., Yan, Z., Gerschler, J. B., & Sauer, D. U. (Julho de 2012). Influence of plug-in hybrid electric vehicle charging strategies on charging and battery degradation costs. *Energy Policy*.
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M., & Clarke, J. (Janeiro de 2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*.

- Luz, T. J. (2018). METODOLOGIAS E TECNOLOGIAS PARA A INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO. Em T. n. Computadores, *Universidade de Coimbra*.
- Mohammad, A., Zamora, R., & Lie, T. (02 de Setembro de 2020). Integration of Electric Vehicles in the Distribution Network: A Review of PV Based Electric Vehicle Modelling. *Energies*. doi:doi.org/10.3390/en13174541
- MONTEIRO, D. F. (2017). Dimensionamento de um Sistema de Armazenamento de Energia para Edifícios Residenciais Utilizando Energia Solar Fotovolta. Em D. d. Computadores, *Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores*. Universidade de Coimbra.
- Navigant Research. (2015). *Solar PV plus Energy Storage Nanogrids*. Fonte: <https://www.navigantresearch.com/research/solar-pv-plus-energy-storage-nanogrids>
- Neosolar. (2022). Fonte: Neosolar: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar>
- Niccolai, A., Grimaccia, F., Lorenzo, G. D., Araneo, R., Ughi, F., & Polenghi, M. (2023). A Review of Floating PV Systems With a Techno-Economic Analysis. *IEEE Journal of Photovoltaics*, pp. 23-34.
- Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. CRESESB.
- Salomão, A., & Almeida, L. d. (03 de Setembro de 2022). *Economia*. Fonte: ACESSA.COM: <https://www.acesa.com/economia/2022/09/5487-economia-com-energia-solar-e-novo-concorrente-do-diesel-em-roraima.html>
- SCHMIDT, H., JANTSCH, M., & Schmidt, J. (1992). *Results of the Concerted Actions on Power Conditioning and Control*. Montreux, Suíça: 11° European Photovoltaic Solar Energy Conference.
- Shaqsi, A. Z., Sopian, K., & Al-Hinai, A. (31 de Julho de 2020). Review of energy storage services, applications, limitations, and benefits. *Energy Reports*.
- Sovacool, B. K., J. A., & Kempton, W. (Outubro de 2017). The Future Promise of Vehicle-to-Grid (V2G) Integration: A Sociotechnical Review and Research Agenda. *Annual Review of Environment and Resources*.
- Sprei, F. (Outubro de 2017). Disrupting mobility. *Energy Research & Social Science*.
- Tabora, J., Júnior, U., Rodrigues, C., Bezerra, U., Tostes, M., Albuquerque, B., . . . Nascimento, A. (26 de Agosto de 2021). Hybrid System Assessment in On-Grid and Off-Grid

Conditions: A Technical and Economical Approach. *Energies*.  
doi:doi.org/10.3390/en14175284

VILLALVA, M. G., & GAZOLI, J. R. (2012). *Energia solar fotovoltaica*. Erica.

Zielińska, A., Skowron, M., & Bień, A. (2018). Modelling of photovoltaic cells in variable conditions of temperature and intensity of solar insolation as a method of mapping the operation of the installation in real conditions. *International Interdisciplinary PhD Workshop*.

## Apêndice I - Requisitos iniciais do SGGER e SISGAE2B

Tabela 16 – Requisitos funcionais do SGGER.

Número	Requisito
1	O sistema deve permitir ao usuário, fazer seu cadastro através do e-mail.
2	O sistema deve permitir ao usuário a recuperação/alteração de sua senha de acesso.
3	O sistema deve permitir ao usuário fazer login com e-mail, Facebook, Google, entre outros.
4	O sistema deve permitir ao usuário fazer logout de sua conta.
5	O sistema deve permitir ao usuário o cancelamento de sua conta.
6	O sistema deve permitir ao usuário acessar a política de privacidade.
7	O sistema deve diferenciar usuários por níveis de permissão.
8	O sistema deve mostrar no mapa da universidade os sistemas fotovoltaicos disponíveis.
9	O sistema deve permitir que o usuário escolha qual sistema quer ter acesso por meio do click no mapa da universidade.
10	O sistema deve apresentar na primeira tela do sistema escolhido a produção atual de energia.
11	O sistema deve permitir que o usuário escolha qual sistema e o parâmetro que gostaria de visualizar no gráfico.
12	O sistema deve permitir a visualização dos parâmetros em forma de gráficos.
13	O sistema deve permitir que os gráficos sejam manipulados com o mouse em zoom horizontal e vertical.
14	O sistema deve apresentar a legenda e os eixos dos gráficos gerados.
15	O sistema deve permitir a inserção de ao menos cinco parâmetros distintos no mesmo gráfico.
16	O sistema deve permitir a exibição do gráfico das curvas IxV e PxV.
17	O sistema deve permitir buscar outros parâmetros monitorados pelos outros modais.
18	O sistema deve permitir que o usuário escolha o período de agrupamento do gráfico (instantâneo, diário, mensal ou anual).
19	O sistema deve permitir ao usuário o download das informações das grandezas registradas em formato CSV ou XLSX.
20	O sistema deve apresentar um botão para o "modo monitoramento", onde serão apresentados até seis gráficos em tempo real na tela cheia para monitoramento do usuário.

21	O sistema deve emitir uma alerta visual e por e-mail para usuário de alta permissão caso algum parâmetro do sistema ultrapasse os limites estipulados pelo PRODIST.
22	O sistema deve cadastrar uma lista de e-mails a serem alertados a depender da permissão do usuário.
23	O sistema deve emitir uma alerta caso algum sistema não esteja operante.
24	O sistema deve realizar um cadastro do tipo de instalação, solicitando o tipo de ligação (monofásica, bifásica, trifásica), tipo de tarifa, custo da energia consumida da rede e custo da energia gerada injetada na rede.
25	O sistema deve apresentar um gráfico com o valor da energia gerada, da energia consumida e dos créditos gerados em uma aba separada.
26	O sistema deve apresentar uma opção para a visualização do valor de energia por posto tarifário.
27	O sistema deve coletar e apresentar os dados das variáveis solicitadas para medição.
19	O sistema deve permitir ao usuário o download das informações das grandezas registradas em formato CSV (Produção Solar, Energia injetada na rede elétrica (Planta fotovoltaica), Energia renovável armazenada, Energia renovável armazenada, Energia injetada na rede elétrica, Geração diesel)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 17 – Requisitos não funcionais do SGGER.

Número	Requisito não funcional.
1	O sistema deve consultar os bancos de dados Dojot, Firebase, MongoDB e Mysql.
2	O software deve ser responsivo e acessível para diferentes tipos de dispositivos móveis.
3	O sistema deve possuir mecanismos de segurança para autenticação de usuário, controle de acesso a conteúdo e funcionalidades do sistema.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 18– Lista de variáveis do Sistema Fotovoltaicos do SGGER.

Sistema: sistema fotovoltaico					
Nome da variável	Intervalo entre as amostras	Unidade*	Formato do gráfico	Fórmula	Observações adicionais**
Tensão	10 minutos	V	Gráfico de Linhas	-	-
Corrente	10 minutos	A	Gráfico de Linhas	-	-
Potência	10 minutos	W	Gráfico de Linhas	-	-
Eficiência de Conversão do Inversor	10 minutos	Adimensional (%)	Gráfico de Linhas / Gráfico de Barras Mensal	$n = \frac{P_{saída\ c.a.}}{P_{entrada\ c.c.}}$	Variáveis: - n: Eficiência de Conversão do Inversor - Psaída c.a.: Potência de Saída CA

					- Psaida c.c.: Potência de Saída CC
Fator de Dimensionamento do Inversor	10 minutos	Adimensional (%)	Gráfico de Linhas	$FDI = \frac{P_{NI}}{P_{NG}}$	Variáveis: - FDI: Fator de Dimensionamento do Inversor - Pni: Potência do Inversor - Png: Potência do Gerador Fotovoltaico
Fator de Capacidade	Diária	Adimensional (%)	Gráfico de Barras	$FC = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{Saída} \cdot dt}{P_G^0 (t_2 - t_1)}$	Variáveis: - FC: Fator de Capacidade - Psaida: Potência Instantânea Gerada - Pg^0: Soma das Potências Nominais dos Geradores (assume-se Pg^0=Pfv^0)
Energia Específica	Diária / Mensal / Anual	kWh/kWp	Gráfico de Barras	$PR = \frac{Y_f}{Y_R} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{Saída} dt}{\frac{P_{FV}^0}{H_{s,ref}} \int_{t_1}^{t_2} H \cdot dt}$	
Produtividade do Sistema	10 minutos / Diária / Mensal / Anual	kWh/kWp	Gráfico de Linhas (10 minutos) / Gráfico de Barras (Diária / Mensal / Anual)	$Y_{FV} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{Saída} dt}{P_{FV}^0}$	Variáveis: - Yf: Produtividade do Sistema - Psaida: Potência Instantânea Gerada - Pfv^0: Potência Nominal do Gerador Fotovoltaico
Produtividade de Referência (Número de Horas de Sol Pleno)	1 minuto	h	Gráfico de Linhas	$Y_R = \frac{\int_{t_1}^{t_2} H_{plano} \cdot dt}{H_{ref}}$	Variáveis: - Yr: Produtividade de Referência - Hplano: Irradiância do Plano Inclinado do Módulo - Href: Irradiância de Referência

Rendimento Global	1 minuto	Adimensional (%)	Gráfico de Barras	$PR = \frac{Y_F}{Y_R} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{saida} dt}{\frac{P_{FV}^0}{\int_{t_1}^{t_2} H \cdot dt} \cdot H_{s,ref}}$	Variáveis: - PR: Rendimento Global - Yf: Produtividade do Sistema - Yr: Produtividade de Referência
Intensidade da Instalação Fotovoltaica	10 minutos	W/m <sup>2</sup>	Gráfico de Barras (Diária / Mensal / Anual)	IIF = P / A	Variáveis: - IIF: Intensidade da Instalação Fotovoltaica - P: Potência (kW) - A: Espaço Total do Edifício (m <sup>2</sup> )

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 19 – Requisitos funcionais do SISGAE2B.

Número	Requisito
1	O sistema deve permitir ao usuário, fazer seu cadastro através do e-mail.
2	O sistema deve permitir ao usuário a recuperação/alteração de sua senha de acesso.
3	O sistema deve permitir ao usuário fazer login com e-mail, Facebook, Google, entre outros.
4	O sistema deve permitir ao usuário fazer logout de sua conta.
5	O sistema deve permitir ao usuário o cancelamento de sua conta.
6	O sistema deve permitir ao usuário acessar a política de privacidade.
7	O sistema deve diferenciar usuários por níveis de permissão.
8	O sistema deve permitir que o usuário escolha qual modal e o parâmetro que gostaria de visualizar no gráfico.
9	O sistema deve permitir a visualização dos parâmetros em forma de gráficos.
10	O sistema deve permitir que os gráficos sejam manipulados com o mouse em zoom horizontal e vertical.
11	O sistema deve apresentar a legenda e os eixos dos gráficos gerados.
12	O sistema deve permitir que o usuário escolha o período de agrupamento do gráfico (instantâneo, diário, mensal ou anual).
13	O sistema deve permitir ao usuário o download das informações das grandezas registradas em formato CSV ou XLSX.
14	O sistema deve apresentar na primeira tela do sistema escolhido o estado atual das baterias.
15	O sistema deve emitir um alerta visual e por e-mail para usuário de alta permissão caso um dos módulos de baterias apresente algum problema.
16	O sistema deve apresentar um gráfico com o valor da energia consumida pelo banco de baterias.
17	O sistema deve coletar e apresentar os dados das variáveis solicitadas para medição.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 20 – Requisitos não funcionais do SISGAE2B.

Número	Requisito
--------	-----------

1	O sistema deve consultar os bancos de dados Dojot, Firebase, MongoDB e Mysql.
2	O software deve ser responsivo e acessível para diferentes tipos de dispositivos móveis.
3	O sistema deve possuir mecanismos de segurança para autenticação de usuário, controle de acesso a conteúdo e funcionalidades do sistema.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 21 – Lista de variáveis do SISGAE2B.

Nome da variável	Tipo	Origem	Unidade*
Aplicação	BYTE		
Hora	FLOAT		t (h, min, s)
Tensão CC	FLOAT	UACT DC	V
Corrente CC 1	FLOAT	UACT DC	A
Corrente CC 2	FLOAT	UACT DC	A
Corrente CC 3	FLOAT	UACT DC	A
Corrente CC 4	FLOAT	UACT DC	A
Corrente CC 5	FLOAT	UACT DC	A
Corrente CC 6	FLOAT	UACT DC	A
Corrente CC 7	FLOAT	UACT DC	A
Corrente CC 8	FLOAT	UACT DC	A
Potência CC	FLOAT	UACT DC	W
Energia Fornecida	FLOAT	UACT DC	kWh
Energia Consumida	FLOAT	UACT DC	kWh
Temperatura	INT	VRM	°C
Status	INT	VRM	Adimensional (%)
Estado de Saúde da Bateria	INT	VRM	Adimensional (%)
Estado de Carga	INT	VRM	Adimensional (%)

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Apêndice II - Resultados do desenvolvimento do SGGER e do SISGAE2B.

Estruturalmente, os programas SGGER e SISGAE2B apresentam uma estrutura de funcionamento semelhante, em especial quando se trata dos módulos SIMA CORE E SIMA e SIMA DOJOT. Nesse apêndice são apresentados os resultados desses dois módulos, com destaques para as diferenças entre o SGGER e o SISGAE2B.

### 1. SIMA Core

Como pré-requisito de instalação, é necessário realizar a instalação de algumas ferramentas. Entretanto, essas ferramentas variam de acordo com a abordagem escolhida. O software foi desenvolvido para funcionar tanto com instalação manual, quanto com a instalação dos serviços por meio de containers.

#### 1.1. Bibliotecas e Extensões Python

O Python utiliza bibliotecas para estender suas funcionalidades e permitir a execução de tarefas mais complexas de forma simples. Foi utilizada a extensão pipenv, como um gerenciador de pacotes adicional ao gerenciador de pacotes padrão, o pip, permitindo que novas bibliotecas sejam instaladas e atualizadas de forma mais confiável. Sendo assim, a instalação do pipenv é um pré-requisito leve da execução do SIMA Core.

Após a instalação do pipenv, o arquivo com as informações de todas as bibliotecas do projeto pode ser utilizado. A Figura 103 mostra todas as bibliotecas a serem instaladas através do pipenv.

Figura 103 – Bibliotecas Python instaladas.

```
[packages]
easygui = "*"
pynput = "*"
requests = "*"
paho-mqtt = "*"
pytz = "*"
holidays = "*"
python-dateutil = "*"
schedule = "*"
selenium = "*"
sphinx = "*"
sphinx-rtd-theme = "*"
yaspin = "*"
pipenv-shell = "*"
sphinx-argparse = "*"
flask = "*"
chevron = "*"
asteval = "*"
pyyaml = "*"
flask-sqlalchemy = "*"
pymysql = "*"
sqlacodegen = "*"
apscheduler = "*"
numpy = "*"
```

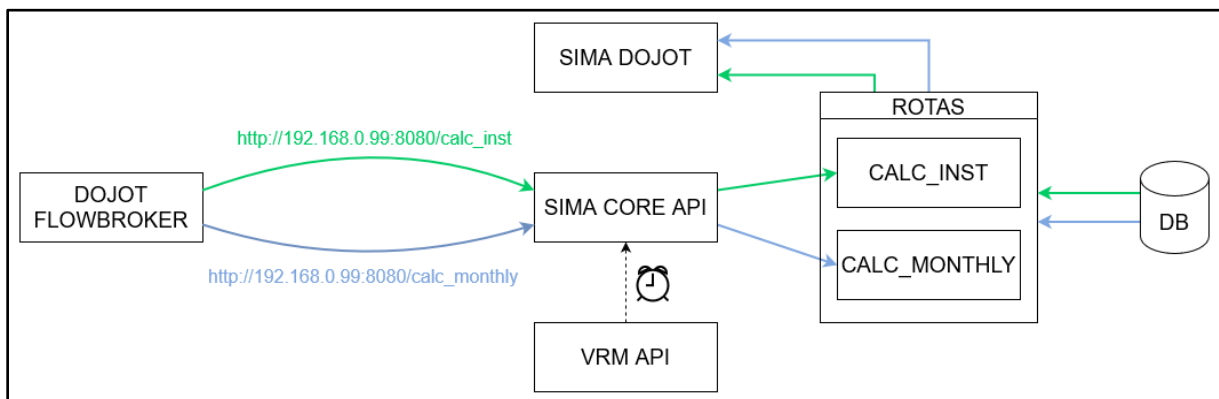
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 1.2. API Flask

O SIMA Core foi estruturado como uma API usando a biblioteca Flask do Python. Dessa forma, há um servidor HTTP JSON que recebe as requisições de cálculos, as executa e envia a resposta para o cliente que solicitou. Essa API possui rotas de acesso e tarefas agendadas, onde as rotas de acesso são as formas de requisições HTTP proporcionadas pela aplicação e as tarefas agendadas são tarefas executadas automaticamente em determinados horários sem a necessidade de requisições.

Foram criadas duas rotas, denominadas de rota de Cálculo Instantâneo (`calc_inst`) e rota de Cálculo Mensal (`calc_monthly`). A rota de Cálculo Instantâneo (`calc_inst`) é responsável pelo cálculo de variáveis horárias ou instantâneas, e está diretamente relacionada ao serviço de flowbroker Dojot, uma vez que é essa a rota requisitada pelo fluxo quando um novo dado é publicado na Dojot. Ela só pode ser acessada por requisições do tipo POST, e recebe como parâmetro o payload publicado em um dispositivo Dojot válido. A rota Cálculo Mensal (`calc_monthly`) aguarda uma requisição POST a ser disparada em cada transição de mês, levando como parâmetro um JSON no formato dado a seguir: `{"mes": 8, "ano": 2021}`. Figura 104 apresenta o diagrama dessa API.

Figura 104 – Fluxograma da API Flash.



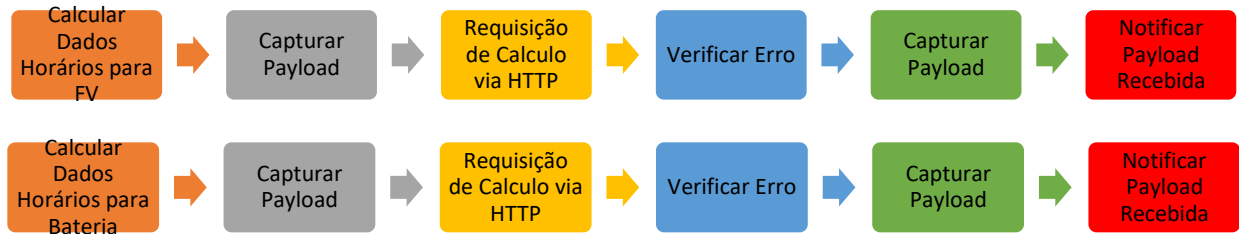
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 1.3. Flowbroker Dojot

Sucintamente, o serviço de Flowbroker da Dojot executa um fluxo de ações. Neste caso, dentro do SIMA Core, ele foi utilizado para realizar tarefas de cálculo. Assim, seus recursos foram utilizados pelo SIMA Core para duas situações distintas: quando um dado é publicado em um dispositivo da Dojot sem todas as informações horárias necessárias e quando há transição de mês e os dados mensais precisam ser calculados.

O primeiro caso ocorre quando nem todas as informações horárias necessárias são obtidas diretamente pelos medidores, assim algumas informações precisam ser calculadas. A Figura 105 apresenta esse fluxo o qual foi denominado Cálculo Instantâneo (calc\_inst).

Figura 105 – Fluxo de Cálculo Instantâneo do SGGER e do SISGAE2B.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Nota-se que o fluxo espera continuamente a publicação de um dado em qualquer dispositivo cujo modelo seja um gerador fotovoltaico. Isso é feito pelo primeiro bloco, alaranjado à esquerda. A Figura 106 apresenta o detalhamento desse bloco na interface da Dojot.

Figura 106 - Bloco de esperar publicação em dispositivo.

Nome:

Modelo de dispositivo:

Eventos:

- Criação
- Atualização
- Remoção
- Atuação
- Publicação

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Quando um dado é publicado em um dispositivo fotovoltaico ou na bateria, é necessário capturar o payload recebido e encaminhá-lo para o cálculo. Essa captura é feita pelo segundo bloco. A Figura 107 apresenta em detalhes esse segundo bloco, ressaltando a necessidade de declaração do cabeçalho de content-type. Ressalta-se ainda que o servidor HTTP criado para o SIMA CORE utiliza o padrão JSON como entrada para o cálculo. Os dados de entrada nesse formato facilitam o tratamento na aplicação Python Flask o qual fica aguardando o envio das requisições.

Figura 107 – Bloco de captura de Payload.

The image shows a configuration window for capturing a payload. It includes the following fields and options:

- Nome:** Capturar Payload
- Propriedade:** msg.request
- Formato:** Handlebars modelo
- Modelo:** A code editor containing a JSON template:

```
i 1 {  
2  
3   "headers": {  
4     "content-type": "application/json"  
5   },  
6   "payload": {{{stringify payload.data}}}
```
- Saída:** Texto simples

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Após a captura do payload, ele deve ser enviado para o servidor HTTP JSON do SIMA Core por meio de uma requisição do tipo POST. O servidor HTTP criado para o SIMA CORE utiliza o padrão JSON como entrada para o cálculo, pois os dados de entrada nesse formato facilitam o tratamento na aplicação Python Flask o qual fica aguardando o envio das requisições. Essa aplicação encontra-se hospedada no servidor central do projeto SIMA e possui uma porta específica para uso. A Figura 108 apresenta em detalhes esse bloco de requisição, ressaltando que o IP apresentado não corresponde ao IP do servidor por questão de segurança.

Figura 108 – Bloco de requisição HTTP.

The image shows an HTTP request configuration window with the following details:

- Método:** POST
- URL:** http://192.168.0.99:8080/calc\_inst/
- Corpo da solicitação:** msg.request
- Resposta:** msg.response
- Retorno:** um objeto JSON analisado
- Nome:** Requisição de Cálculo via HTTP

A yellow tip box at the bottom states: "Dica: Se a análise JSON falhar, a cadeia buscada será retornada como está."

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Os outros três blocos são opcionais no fluxo, correspondendo a verificação de erros na resposta do servidor HTTP e a captura e exibição dessa resposta. Caso haja erro, o fluxo se encerra para aquele dado publicado. A forma de operação desse servidor HTTP JSON será descrita em detalhes na seção 7.4. A rota Cálculo Instantâneo (`calc_inst`) é definida como um dos métodos de cálculo horário nessa aplicação.

#### 1.4. Forma de Cálculo do Programa

Os parâmetros a serem calculados foram configurados por meio de um arquivo YAML. Neste arquivo são declarados os parâmetros adicionais para cada modelo e é definida a expressão matemática que os definem em função dos parâmetros já calculados e/ou parâmetros obtidos do banco de dados. Essa expressão precisa ser escrita na linguagem Mustache, o que facilita eventuais mudanças nos métodos de cálculo.

##### 1.4.1. Parâmetros do SGER

Os parâmetros adicionais das grandezas horárias (Tabela 18) são: potência aparente de saída, fator de potência, eficiência de conversão, fator de dimensionamento do inversor, fator de capacidade, energia específica, produtividade do sistema, produtividade de referência, rendimento global e intensidade da instalação. Eles levam como parâmetros os valores atualmente enviados pelos medidores do projeto, além de parâmetros dos arquivos de configuração YAML, como o intervalo de integralização, e os parâmetros recuperados do banco de dados.

Os parâmetros adicionais calculados mensalmente (Tabela 18) são:

- **DRP:** a duração relativa da transgressão de tensão precária é calculada conforme o PRODIST Módulo 8, utilizando as amostras de tensão do dispositivo em questão. A equação final utilizada encontra-se a seguir:

$$DRP = \frac{N_P}{N} \cdot 100$$

- **DRC:** a duração relativa da transgressão de tensão crítica é calculada conforme o PRODIST Módulo 8, utilizando as amostras de tensão do dispositivo em questão. A equação final utilizada encontra-se a seguir:

$$DRC = \frac{N_C}{N} \cdot 100$$

- **Fator de Potência:** o fator de potência mensal é calculado como a média dos valores horários válidos do fator de potência. A equação final utilizada encontra-se a seguir:

$$FP = \frac{\sum_{i=1}^N FP_i}{N}$$

- Consumo: o consumo mensal é calculado como a soma dos consumos horários de cada intervalo de integralização, separados por fase (incluindo também o valor total com a soma das fases) e por horário de tarifação (ponta, fora-ponta e intermediário). Dessa forma, o resultado desse cálculo é um conjunto de valores para uma determinada fase k em um horário de tarifação t:

$$C_t^k = \sum_{i=1}^N (c_i)_t^k$$

- Custo: o custo mensal, para o caso de um gerador fotovoltaico, corresponde ao preço da energia gerada pelo dispositivo. Ele é calculado a partir do consumo mensal e apresenta o valor separado por horário de tarifação, tendo como parâmetros adicionais o modo de tarifação (convencional, horossazonal verde e horossazonal azul) e os preços por unidade de consumo e demanda.
- Carbono Evitado: a conversão da energia gerada pelo conjunto de painéis fotovoltaicos, o que corresponde a economia de energia gerada por fontes não-renováveis ou baseadas em combustíveis fósseis, em quantidade média de carbono evitado. Utiliza-se como parâmetro o fator de emissão médio de  $CO_2$  do sistema interligado nacional, cujo valor está em torno de 0,1258 kg/kWh. O valor de carbono evitado CE é dado por:

$$CE = Consumo \cdot 0,1258$$

- Árvores Cultivadas: No cálculo do número equivalente de árvores cultivadas, considera-se a quantidade de  $CO_2$  removida por uma árvore plantada e cultivada por 20 anos. A remoção média anual em  $CO_2$  é de 12,48 KG/Árvore, considerando árvores de médio a grande porte. Isto representa 246,9 Kg/árvore de  $CO_2$  ao fim dos 20 anos, ou seja, quatro árvores removem uma tonelada de  $CO_2$  da atmosfera durante este período. O cálculo do número de árvores cultivadas pode ser obtido diretamente a partir da energia elétrica gerada em um período, multiplicando a energia por  $5,04 \times 10^{-4}$  árvores/kWh que é o coeficiente de árvores cultivadas. Considerando o fator de emissão médio de  $CO_2$  do 3SIN de 0,1258 kg/kWh.

$$AC = Consumo \cdot 5,04 \cdot 10^{-4}$$

#### 1.4.2. Parâmetros do SISGAE2B

Os parâmetros adicionais das grandezas horárias (Tabela 21) são: energia final necessária, energia consumida, energia fornecida e autonomia, enquanto os parâmetros adicionais calculados mensalmente (Tabela 21) são:

- Desvio de Tensão: a variação média entre a tensão nominal e a tensão medida em termos percentuais.

$$DT = \frac{\sum_{i=1}^N (Vn_i - Vm_i)}{N}$$

- Energia Consumida Mensal: o total da energia consumida entre cada intervalo de medição. A equação final utilizada encontra-se a seguir.

$$ECM = \sum_{i=1}^N Energia_i, \text{ se } Energia_i > 0$$

- Energia Fornecida Mensal: o total da energia fornecida entre cada intervalo de medição. A equação final utilizada encontra-se a seguir.

$$EFM = - \sum_{i=1}^N Energia_i, \text{ se } Energia_i \leq 0$$

- Economia: a economia proporcionada pelo sistema de baterias, correspondente ao balanço entre o custo da energia fornecida e o custo da energia consumida, integralizado mensalmente. Esse valor é calculado a partir da soma dos consumos e fornecimentos horários de cada intervalo de integralização, separados por horário de tarifação (ponta, fora-ponta e intermediário).

Informações detalhadas sobre os programas podem ser encontradas nos Relatórios SIMA mensais e de entrega do programa Sistema de Gestão de Geração de Energia Renovável.

## 2. SIMA DOJOT

Nesta seção será descrito como foi configurado o ambiente para instalar a plataforma Dojot no ambiente de produção. Além disso, também será descrito como customizá-la para o projeto SIMA e para que ela seja usada com o SGER e o SISGAE2B. Dessa forma, serão apresentados todos os recursos utilizados para a criação deste ambiente de produção e customização.

Antes da instalação da Dojot foi criado um ambiente para recebê-la, atendendo aos seguintes requisitos mínimos de software e hardware:

- Software:

Instalado previamente pelo usuário (em uma máquina virtual ou física chamada de Control Node):

- Ubuntu 18.04 LTS
- Ansible 2.9.6 (Recomenda-se a instalação com pip3);
- sshpass;
- GIT;

Instalado juntamente com o deploy da Dojot:

- Kubernetes: Kubeadm 1.17;
  - Docker: Docker CE 19.03.4;
  - Balanceador de carga L4: NGINX Open Source 1.8
- Hardware:

Para instalar a Dojot foi criado um cluster Kubernetes (K8s), também chamado de K8s, utilizando as VMs alocadas no servidor do projeto. Esse cluster apresenta os seguintes “nós” (máquinas):

- **Master:** administra e gerencia o cluster Kubernetes; 2 cores de processamento (2.2GHZ), 2GB de RAM e 30GB de disco;
- **Worker 1 e Worker 2:** executa os serviços da Dojot. Vale ressaltar que para um ambiente onde há uma carga grande de dispositivos é recomendado a utilização de no mínimo 2 nós Workers no cluster Kubernetes; 4 cores de processamento (2.2GHZ), 6GB de RAM e 40GB de disco;
- **NGINX:** recebe todas as requisições TCP, UDP, MQTT e ele realiza a distribuição da carga entre os nós workers do cluster Kubernetes. 1 core de processamento (2.2GHZ), 1GB de RAM e 20GB de disco.

## 2.1. Customização da Dojot

Algumas customizações precisam ser realizadas na plataforma Dojot para atender a alguns requisitos do projeto SIMA e para que ela funcione adequadamente com o SISGAE2B.

Todo dispositivo físico (real) ou virtual pode ser representado na plataforma Dojot por um dispositivo. No caso do SISGAE2B, os dispositivos físicos são os medidores e o banco de baterias, enquanto no caso do SGGER, os dispositivos são os sistemas fotovoltaicos. Para criar a representação virtual desses dispositivos físicos na Dojot, primeiramente deve ser criado um modelo (template) que deve ser configurado com os seus respectivos atributos. Cada atributo pode ser do tipo dinâmico, estático e atuador, e o valor desses atributos podem ser do tipo booleano, geo, float, inteiro e texto.

Após a criação e configuração do modelo, devem ser criados os dispositivos e associá-los a um ou mais modelos criados previamente. A Tabela 22 mostra o padrão seguido na criação

do modelo e os dispositivos para o SISGAE2B, já na Tabela 23 é apresentado os dados do SGGER.

Tabela 22 - Padrão de modelos e dispositivos do SISGAE2B na Dojot.

Nome dos modelos	bat e bat_mensal	
Nome dos dispositivos	bat_1, bat_2, bat_..., bat_N / bat_mensal_1, bat_mensal_2, bat_mensal_..., bat_mensal_N	
Nome do atributo	Tipo do atributo	Tipo do valor do atributo
Tensão_cc	Dinâmico	Float
Corrente_cc_1	Dinâmico	Float
Corrente_cc_2	Dinâmico	Float
Corrente_cc_3	Dinâmico	Float
Corrente_cc_4	Dinâmico	Float
Corrente_cc_5	Dinâmico	Float
Corrente_cc_6	Dinâmico	Float
Corrente_cc_7	Dinâmico	Float
Corrente_cc_8	Dinâmico	Float
Potencia_cc	Dinâmico	Float
Energia_fornecida	Dinâmico	Float
Energia_consumida	Dinâmico	Float
Temperatura	Dinâmico	Int
Status	Dinâmico	Int
Estado_saude	Dinâmico	Int
Estado_carga	Dinâmico	Int
Localização	Estático	Geo
Endereço	Estático	Texto

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Tabela 23 - Padrão de modelos e dispositivos do SGGER na Dojot.

Nome do Modelo	Fv	
Nome dos Dispositivos	Fv_<idgrupo>_<iddevice>	
Nome do atributo	Tipo do atributo	Tipo do valor do atributo
Dinâmico	tensao_rms_fase_a	Float
Dinâmico	tensao_rms_fase_b	Float
Dinâmico	tensao_rms_fase_c	Float
Dinâmico	tensão_cc	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_1	Float

Dinâmico	tensão_cc_string_2	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_3	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_4	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_5	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_6	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_7	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_8	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_9	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_10	Float
Dinâmico	tensão_cc_string_11	Float
Dinâmico	corrente_rms_fase_a	Float
Dinâmico	corrente_rms_fase_b	Float
Dinâmico	corrente_rms_fase_c	Float
Dinâmico	corrente_CC	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_1	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_2	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_3	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_4	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_5	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_6	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_7	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_8	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_8	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_10	Float
Dinâmico	corrente_cc_string_11	Float
Dinâmico	pot_ativa_saida_fase_a	Float

Dinâmico	pot_ativa_saida_fase_b	Float
Dinâmico	pot_ativa_saida_fase_c	Float
Dinâmico	pot_ativa_saida_total	Float
Dinâmico	pot_entrada_cc	Float
Dinâmico	pot_reativa_saida_fase_a	Float
Dinâmico	pot_reativa_saida_fase_b	Float
Dinâmico	pot_reativa_saida_fase_c	Float
Dinâmico	pot_reativa_saida_total	Float
Dinâmico	pot_aparente_saida_fase_a	Float
Dinâmico	pot_aparente_saida_fase_b	Float
Dinâmico	pot_aparente_saida_fase_c	Float
Dinâmico	pot_aparente_saida_total	Float
Dinâmico	fator_potencia_fase_a	Float
Dinâmico	fator_potencia_fase_b	Float
Dinâmico	fator_potencia_fase_c	Float
Dinâmico	fator_potencia_total	Float
Dinâmico	consumo_fase_a	Float
Dinâmico	consumo_fase_b	Float
Dinâmico	consumo_fase_c	Float
Dinâmico	consumo_total	Float
Dinâmico	fator_dimensao_inversor	Float
Dinâmico	fator_capacidade	Float
Dinâmico	energia_especifica	Float
Dinâmico	produtividade_sistema	Float
Dinâmico	produtividade_referencia	Float
Dinâmico	rendimento_global	Float

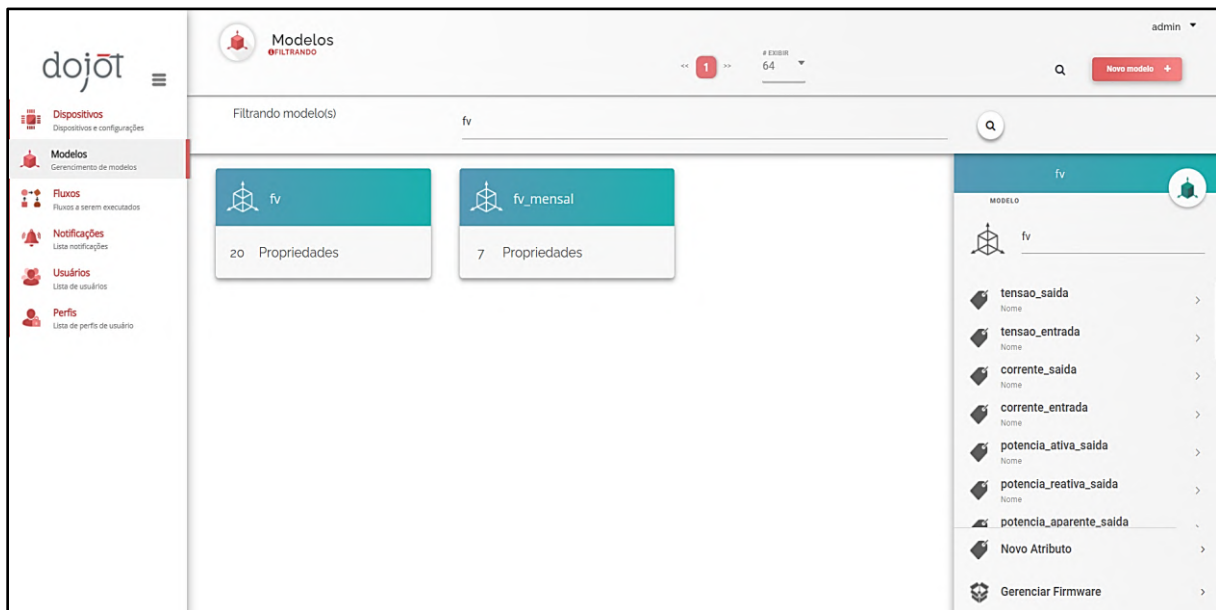
Dinâmico	intensidade_instalacao	Float
Estático	Geolocalizacao	Geo
Estático	Texto endereco	Texto

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

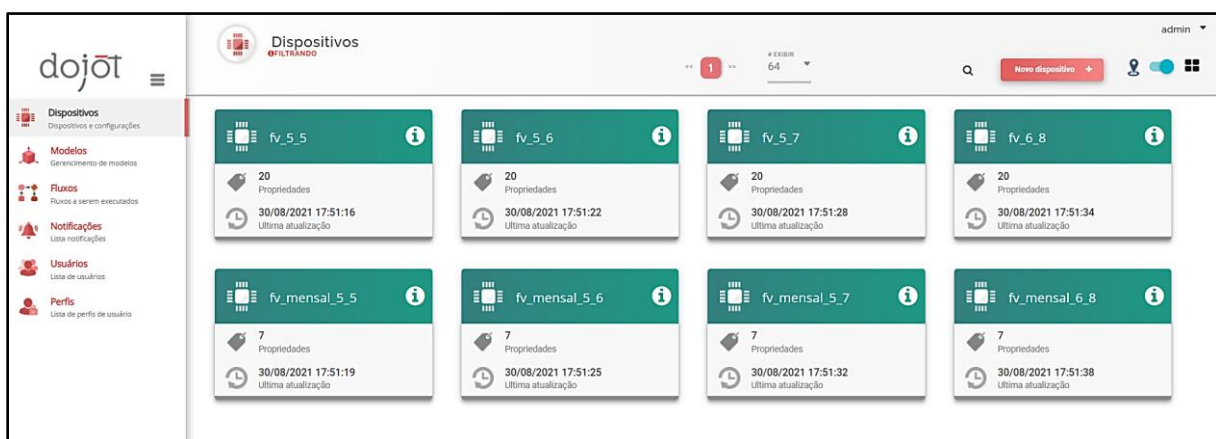
Com base no padrão estabelecido, para os sistemas fotovoltaicos e sistema de armazenamento, foram criados os modelos e dispositivos na interface da Dojot, apresentados na Figura 109 e na Figura 110.

Figura 109 – Modelos dos Sistemas Fotovoltaicos criados na Dojot.

(a) Modelos

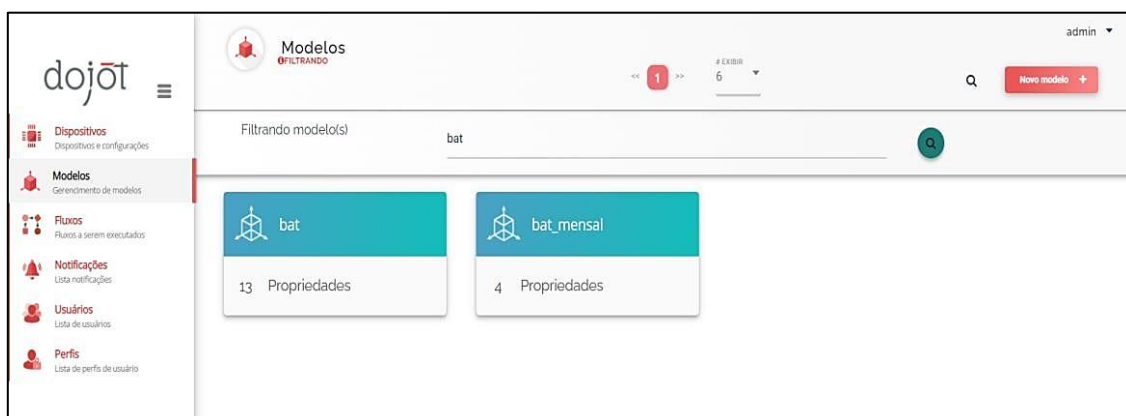


(b) Dispositivos

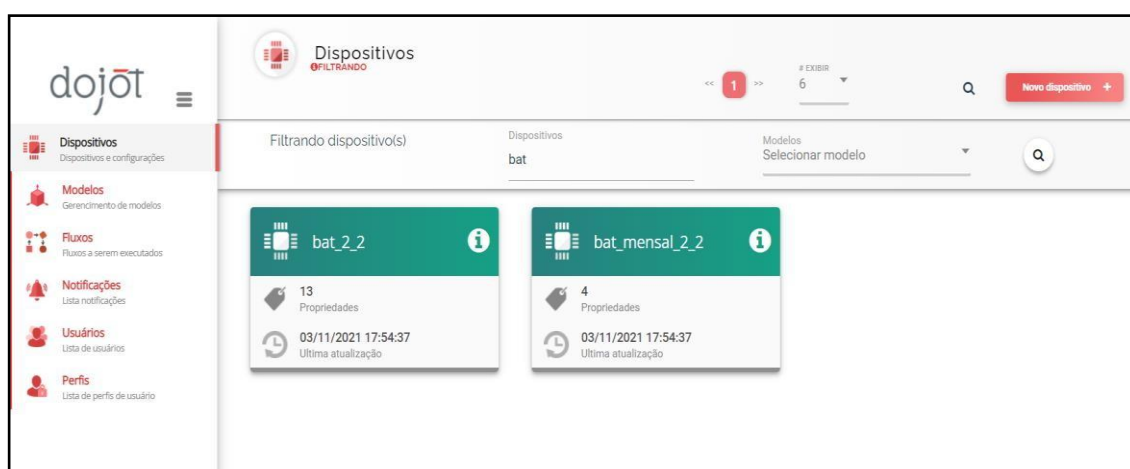


Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 110 – Modelos dos Sistemas Fotovoltaicos criados na Dojot.  
(a) Modelos



(b) Dispositivos



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 2.2. Fluxos

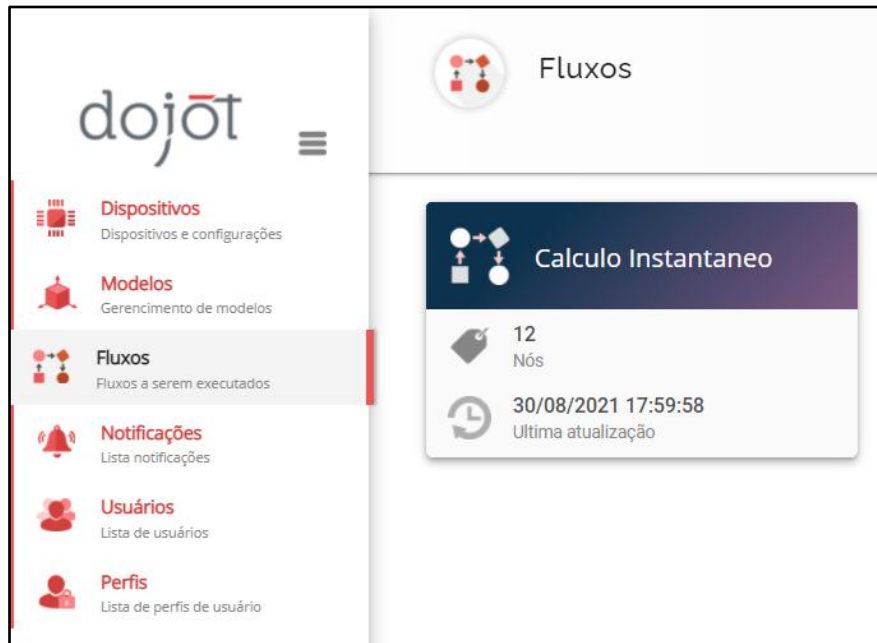
A partir dos fluxogramas desenvolvidos no SIMA CORE, Item 1, foram criados os Fluxos de Cálculo Instantâneo para ambos os sistemas SISGAE2B e SGER, sendo que em SISGAE2B também foi adicionado o Fluxo de Decifragem LoRa. A Figura 111 apresenta o Fluxo de Cálculo Instantâneo do SGER, enquanto a Figura 112 e Figura 113 representam o Fluxo de Cálculo Instantâneo do SISGAE2B e o Fluxo de Decifragem Lora., respectivamente.

Para o projeto SIMA foram criados os seguintes fluxos:

- Cálculo Instantâneo: Tem a função de realizar os cálculos das grandezas elétricas horárias no sistema de gestão.
- Cálculo Mensal: Tem a função de realizar os cálculos das grandezas elétricas mensais dos sistemas de gestão.
- Fluxo Eletroposto: Tem a função de receber os dados via protocolo OCPP do sistema de gestão de eletropostos.

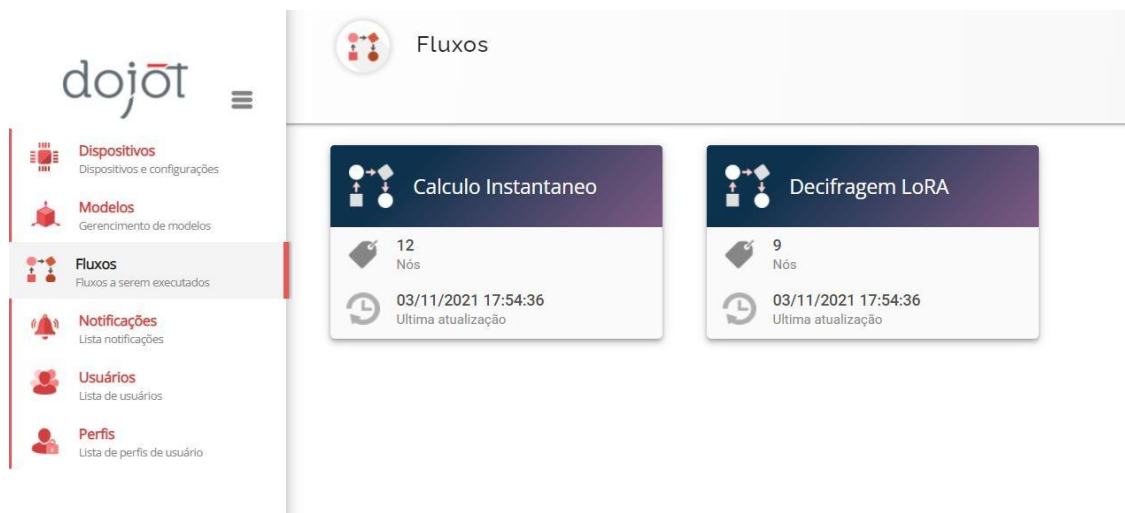
- Fluxo de Decifragem LoRa: Tem a função de realizar a decifragem e o parseamento dos dados, recebido através da rede LoRa, de acordo com a aplicação desejada.

Figura 111 – Fluxo de Cálculo Instantâneo do SGGER criado na Dojot.



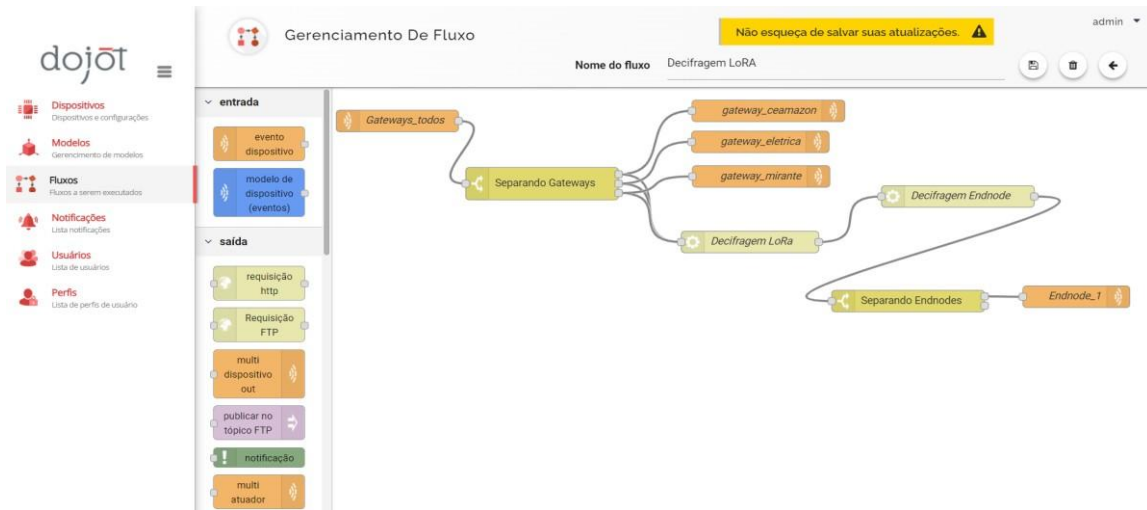
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 112 – Fluxo de Cálculo Instantâneo criado na Dojot.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 113 – Blocos do Fluxo de Decifragem LoRa



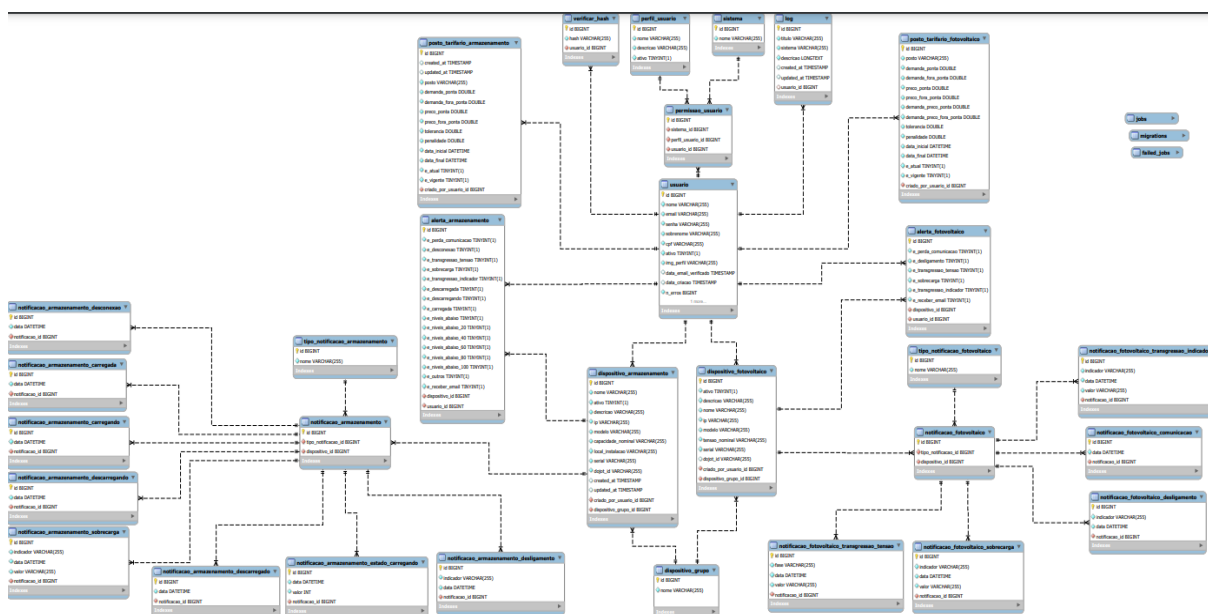
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## Apêndice III - Sistema SIMA

### 1. Banco de dados SIMA

Para otimizar o gerenciamento do banco de dados (BD), foi adotado a estratégia de utilizar somente um único BD para todas as aplicações do projeto SIMA, denominado Banco de Dados SIMA. Para sua implementação foi escolhido o MySQL na versão 8.0.30, que conta com alto desempenho e otimizações para consultas complexas e integração com diversas linguagens de programação. Além disso, para facilitar a administração e gerenciamento do banco de dados, foi utilizado o phpMyAdmin, uma ferramenta baseada na web que permite a execução de operação de criação, modificação e consulta de tabelas de forma intuitiva, a Figura 114 ilustra de forma completa o diagrama do banco de dados.

Figura 114 – Diagrama do Banco de Dados do projeto SIMA.


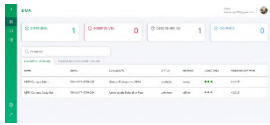
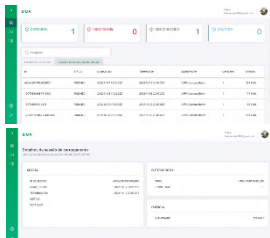
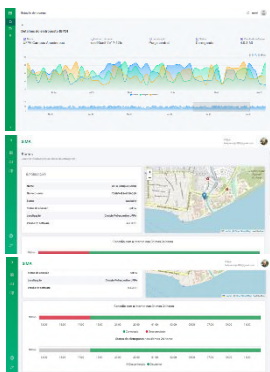

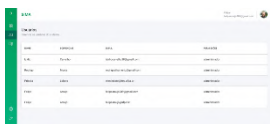



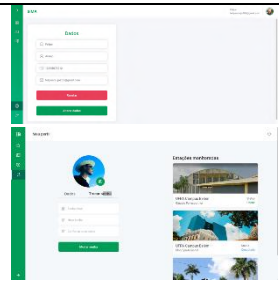
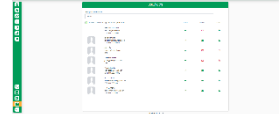
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 2. Sistema de Gestão do Sistema de Abastecimento dos Modais

O Sistema de Gestão do Sistema de Abastecimento de Modais é um dos módulos do sistema SIMA. Tem objetivo de realizar a gestão e o monitoramento de eletropostos. Para isso, é necessário que o software faça a requisição de dados através do backend para o proprietário da fabricante dos eletropostos, que neste caso é a BYD, por meio do Open Charge Point Protocol (OCPP), que armazena os dados requisitados no middleware IoT do projeto (a plataforma Dojot) e posteriormente apresenta esses dados no Sistema de Gestão do Sistema de Abastecimento de Modais. As funcionalidades são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Funcionalidades do Sistema de Gestão do Sistema de Abastecimento dos Modais.

Nº	FUNCIONALIDADE	DESCRIÇÃO	TELA
1	Login e cadastro	É possível realizar o login ou cadastro de usuários.	
2	Dashboard – Tela inicial	É possível visualizar todos os eletropostos disponíveis, indisponíveis, desconhecidos, ocupados. Além disso, é possível visualizar outras informações, como: nome, número de identificação de série ( <i>serial code</i> ), localização do eletroposto, status atual (4 opções como já informado), Internet (para falar se está online ou offline), conectores e versão do software instalado naquele eletroposto.	
3	Monitoramento das sessões de carregamento	É possível monitorar detalhes das sessões de carregamentos recentes do eletroposto da marca ABB: como o ID da sessão, status do carregamento, horários e datas de início e término da sessão de carregamento do veículo, o nome do eletroposto utilizado, o conector utilizado (plug-in), além da quantidade de energia entregue (em kWh) durante este carregamento.	
4	Monitoramento dos eletropostos	É possível monitorar os detalhes de um eletroposto para os da marca BYD, com gráficos para fácil visualização. Aqui são exibidos alguns gráficos contendo os consumos energéticos recentes de um eletroposto, além de algumas informações mais detalhadas como o nome do eletroposto, número de série, localização, status (disponibilidade) e versão de software.	
5	Localização dos eletropostos	É possível visualizar a geolocalização dos eletropostos instalados atualmente no sistema. Além disso, funcionalidade permite exibir uma pequena informação a respeito do eletroposto procurado, como o serial code e seu status.	
6	Gerenciamento dos usuários	É possível monitorar os alertas do banco de baterias, como perda de comunicação, desligamento, transgressão de tensão persistente, sobrecarga, transgressão de Indicadores de Energia Elétrica, descarregada, carregando, carregada, os níveis de carga, e	

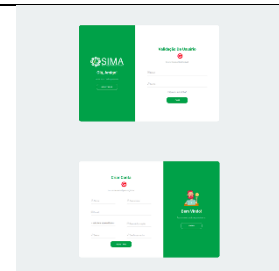
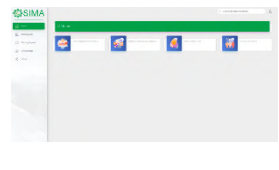
		outros. Além disso é possível que o gestor receba os alertas através de e-mails.	
10	Gestão de usuários	É possível autorizar ou bloquear o acesso dos usuários ao sistema, configurar o tipo de usuários (admin, normal).	
11	Gerenciamento do perfil do usuário	É possível alterar os seus dados, como nome, sobrenome, CPF e a senha. Além disso é possível também que o usuário exclua a sua conta.	
12	Gerenciamento de usuários	É possível autorizar ou bloquear o acesso dos usuários ao sistema, configurar o tipo de usuários (admin, normal).	

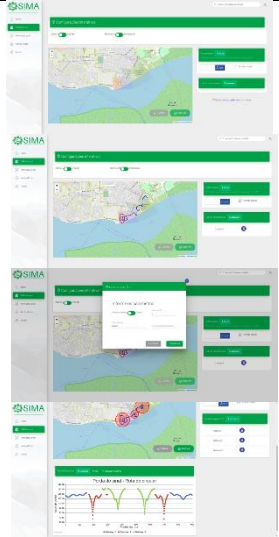
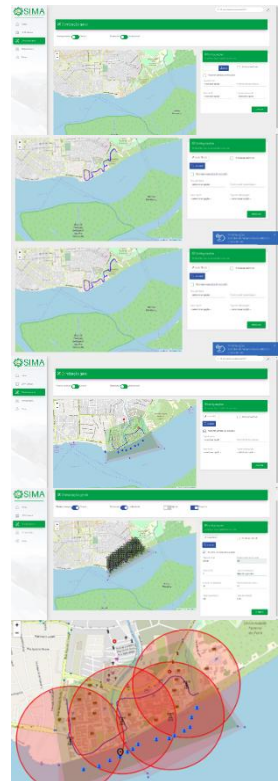
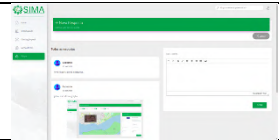
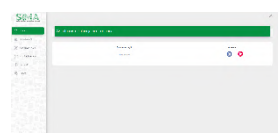
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

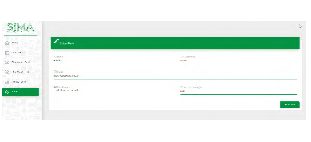
### 3. Software de Planejamento de Redes IoT para Tecnologia de Longo Alcance

O módulo referente ao Sistema de Planejamento de Redes IoT para Tecnologia de Longo Alcance é um dos softwares do sistema SIMA. Tem o objetivo de planejar uma rede IoT de forma otimizada, isto é, utilizando um número mínimo de gateways para obter maior cobertura, a definição da capacidade do canal a partir de Sistemas Fotovoltaicos, da cobertura do sinal e do posicionamento dos gateways. Para isso, foi definido um algoritmo de otimização e outros de múltiplas entradas para melhor funcionamento do software. As funcionalidades são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 – Funcionalidades do Planejamento de Redes IoT para Tecnologia de Longo Alcance.

Nº	FUNCIONALIDADE	DESCRIÇÃO	TELA
1	Login e cadastro	É possível realizar o login ou cadastro de usuários.	
2	Dashboard – Tela Inicial	É possível visualizar os botões de acesso rápido ao tutorial de planejamento manual, tutorial de planejamento com simulação, acesso às perguntas e respostas do fórum, e ajuda.	

3	UFPA - Manual	<p>É possível fazer o upload de um arquivo do tipo texto para carregar as posições de endnodes, assim como, pode habilitar a visualização de pontos de geolocalização que juntos correspondem a rota do ônibus Circular no campus Guamá em Belém. Além disso, é possível efetuar o posicionamento de um gateway no mapa e realizar a configuração manual de cada gateway.</p>	
4	Otimização Geral	<p>É possível realizar o planejamento com otimização via simulação. Onde são disponibilizadas opções de configuração do modelo de propagação Floating Intercept ou Close In, assim como, as opções para determinação do tipo de comunicação, sendo elas Bidirecional ou Unidirecional. A simulação pode ser realizada, a partir do algoritmo de múltiplas tentativas ou do AG. Além disso, o usuário também pode executar a upload de um arquivo do tipo texto contendo as posições de latitude e longitude de endnodes. Além disso, novas posições de endnodes também podem ser adicionadas de manualmente. Por fim, também é possível adicionar áreas de exclusão, que por sua vez são áreas/restrições de localizações em que o gateway não pode ser instalado, por exemplo, no rio ou no meio de uma estrada.</p>	
5	Fórum	<p>É possível que os usuários façam e respondam perguntas sobre o software.</p>	
6	Tutorial	<p>É possível elenca para o usuário uma lista de explicações e exemplos de como se deve ocorrer a configuração de uma simulação. Dessa forma, o usuário aprende como navegar na aplicação, assim como, aprende a configurar o ambiente para a realização das simulações.</p>	

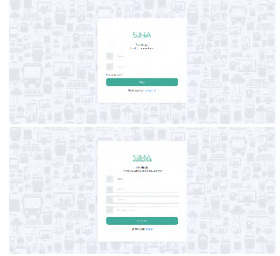
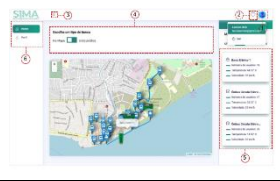
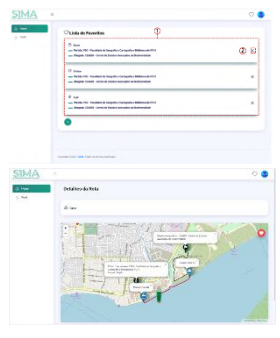
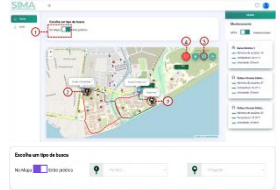
11	Gerenciamento do perfil do usuário	É possível alterar os seus dados, como nome, sobrenome, CPF e a senha. Além disso é possível também que o usuário exclua a sua conta.	
----	------------------------------------	---	---





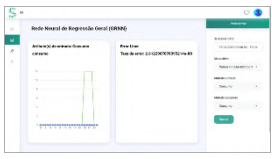
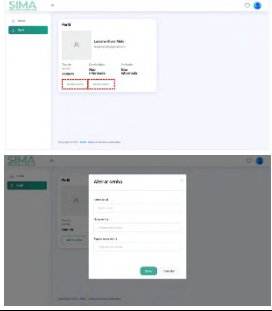

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

#### 4. Software de Mobilidade e Gestão da Eficiência Energética do Sistema Multimodal

O módulo referente ao software de Mobilidade e Gestão da Eficiência Energética do Sistema Multimodal é um dos softwares integrados no sistema SIMA. Tem objetivo a gestão energética e monitoramento dos modais elétricos (ônibus e barcos). Para tal, são utilizadas estatísticas gerais, média móvel e regressão linear, para realizar a gestão do consumo dos modais. As funcionalidades estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 – Funcionalidades do software Mobilidade e Gestão da Eficiência Energética do Sistema Multimodal.

Nº	FUNCIONALIDADE	DESCRIÇÃO	TELA
1	Login e cadastro	É possível realizar o login ou cadastro de usuários.	
2	Monitoramento dos modais: ônibus e barco elétricos	É possível visualizar a localização em tempo real dos ônibus e barco elétrico. Além disso, é possível visualizar também, as suas respectivas velocidades, quantidade de passageiros e temperatura.	
3	Monitoramento dos modais: lista de favoritos	É possível que o usuário salve rotas como favoritas para serem utilizadas posteriormente. Através dessa funcionalidade o usuário consegue também acompanhar o deslocamento de determinado transporte em relação a rota favorita, mostrando o deslocamento a pé até o ponto de partida e marcando também o ponto de chegada.	
4	Monitoramento dos modais: tipos de busca	É possível que o usuário insira um ponto de partida e chegada e realize buscas de rotas através do mapa ou entre os prédios.	

5	Gestão da Eficiência Energética: detalhes do modal	É possível acessar os detalhes de um modal, como por exemplo: quilometragem, consumo por quilometro, consumo por usuário, status de carregamento da bateria, autonomia, consumo, corrente, potência ativa, energia necessária, temperatura da bateria, temperatura externa, temperatura interna e tensão.	
	Gestão da Eficiência Energética: média móvel	É possível realizar a gestão energética dos modais através de média móvel considerando um determinado período de tempo. Dessa forma é possível utilizar tais estatísticas para monitorar o consumo e a autonomia dos modais.	
	Gestão da Eficiência Energética: regressão linear	É possível realizar a gestão energética dos modais através de regressão linear considerando um determinado período de tempo. Dessa forma é possível utilizar tais estatísticas para monitorar o consumo e a autonomia dos modais.	
	Gestão da Eficiência Energética: média móvel	É possível realizar a gestão energética dos modais através de média móvel considerando um determinado período de tempo. Dessa forma é possível utilizar tais estatísticas para monitorar o consumo e a autonomia dos modais.	
	Gestão da Eficiência Energética: Rede Neural de Regressão Geral	É possível realizar a gestão energética dos modais através de Rede Neural de Regressão Geral considerando um determinado período. Dessa forma é possível utilizar tais estatísticas para monitorar o consumo e a autonomia dos modais.	
6	Gerenciamento do perfil do usuário	É possível que o usuário acesse e altere os seus dados, como nome, sobrenome, e-mail e altere a sua senha.	
7	Gerenciamento de usuários	É possível autorizar ou bloquear o acesso dos usuários ao sistema, configurar o tipo de usuários (admin, normal).	



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 5. Aplicativo SIMA Mobilidade


O software Aplicativo SIMA Mobilidade é um módulo pertencente do sistema SIMA. Tem objetivo de realizar o monitoramento dos modais elétricos (ônibus e barco), através de uma aplicação móvel com sistema android. Dessa forma, além de monitorar os ônibus e barcos elétricos da Universidade Federal do Pará, também é possível visualizar informações, a exemplo da temperatura interna, número de passageiros, horário de chegada, trajetórias e distância de rotas. As funcionalidades do aplicativo SIMA Mobilidade estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Funcionalidades do Aplicativo SIMA Mobilidade.

Nº	FUNCIONALIDADE	DESCRIÇÃO	TELA
1	Login e cadastro	É possível realizar o login ou cadastro de usuários.	

			
2	Monitoramento dos modais: ônibus e barco elétricos	É possível visualizar a localização em tempo real dos ônibus e barco elétrico. Além disso, é possível inserir um ponto de partida e chegada para gerar uma rota.	

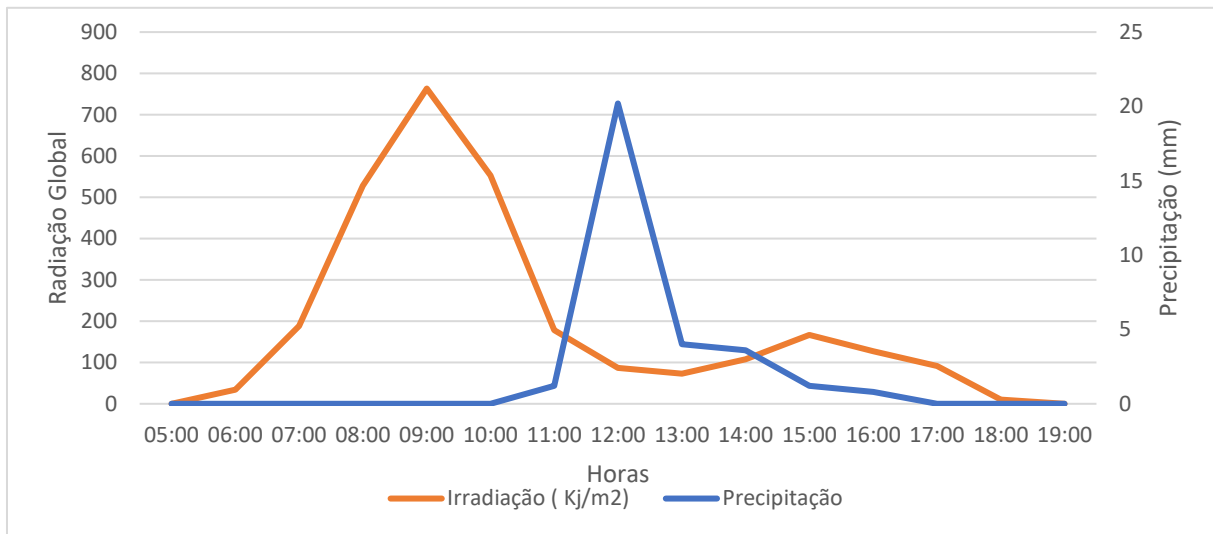
			
3	Lista de favoritos	<p>É possível que o usuário salve rotas como favoritas para serem utilizadas posteriormente. Através dessa funcionalidade o usuário consegue também acompanhar o deslocamento de determinado transporte em relação a rota favorita, mostrando o deslocamento a pé até o ponto de partida e marcando também o ponto de chegada.</p>	

6	Gerenciamento do perfil do usuário	É possível que o usuário visualize seu nome, sobrenome, e-mail e saia do aplicativo.	
7	Gerenciamento de usuários	É possível autorizar ou bloquear o acesso dos usuários ao sistema, configurar o tipo de usuários (admin, normal).	

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

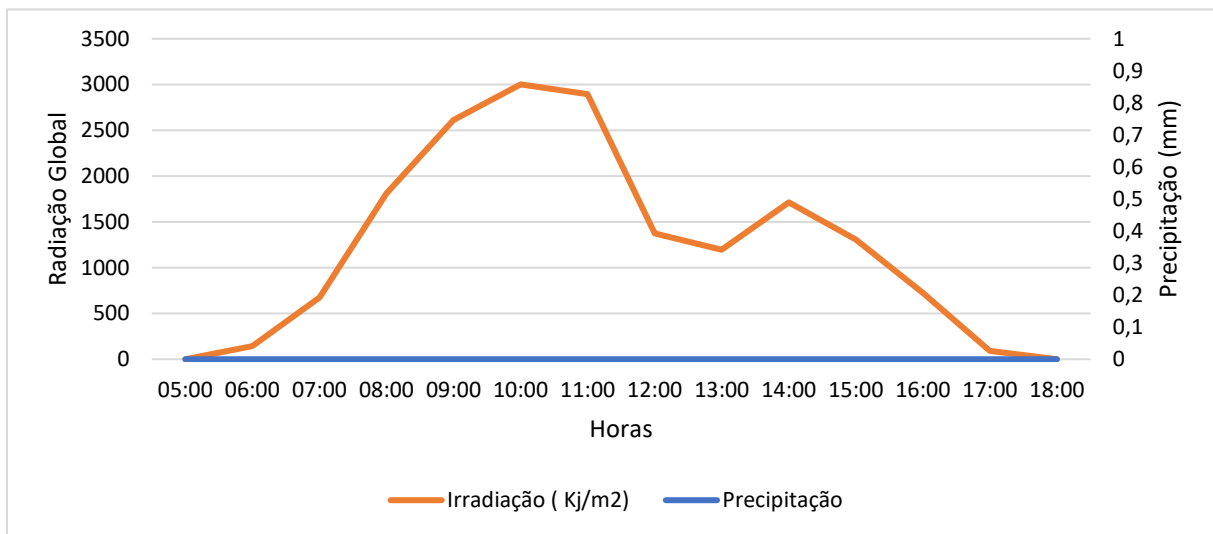
## Apêndice IV - Irradiação global de Belém

Dia 15/03/2022



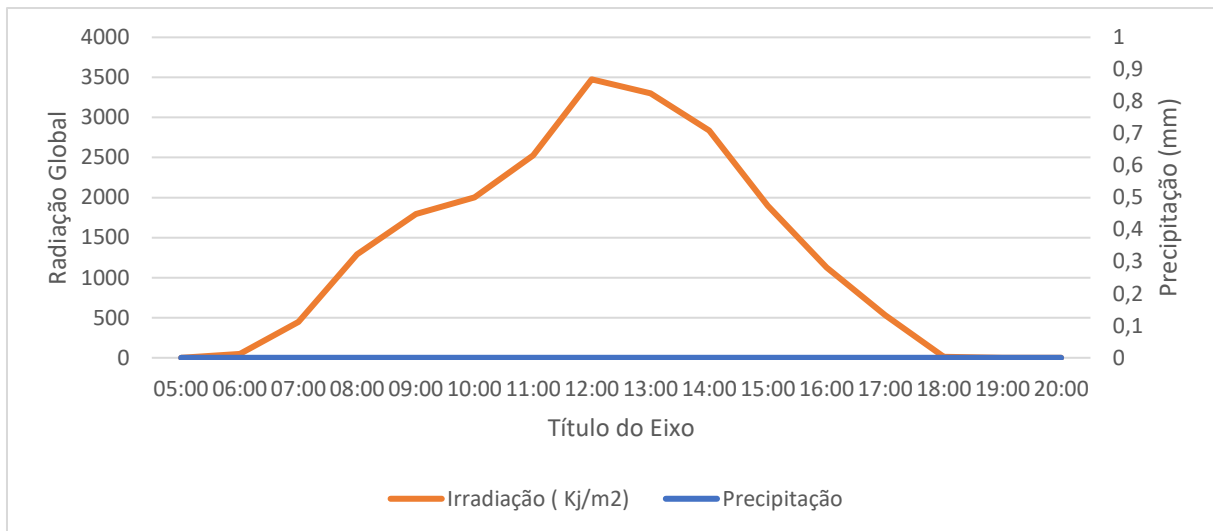
Fonte: Inmet.

Dia 25/10/2022



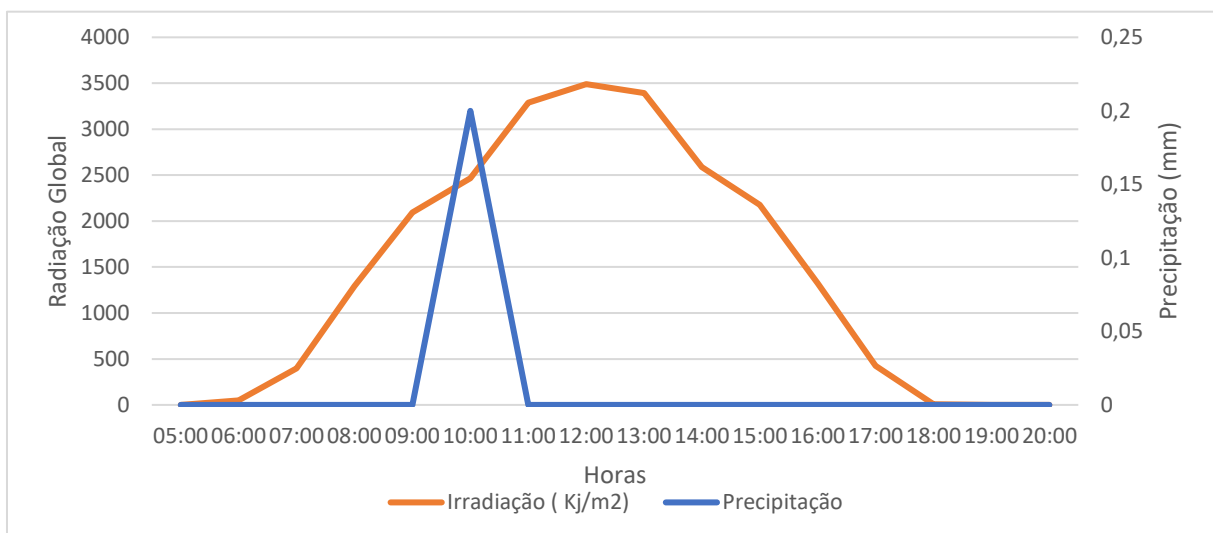
Fonte: Inmet.

Dia 14/08/2022



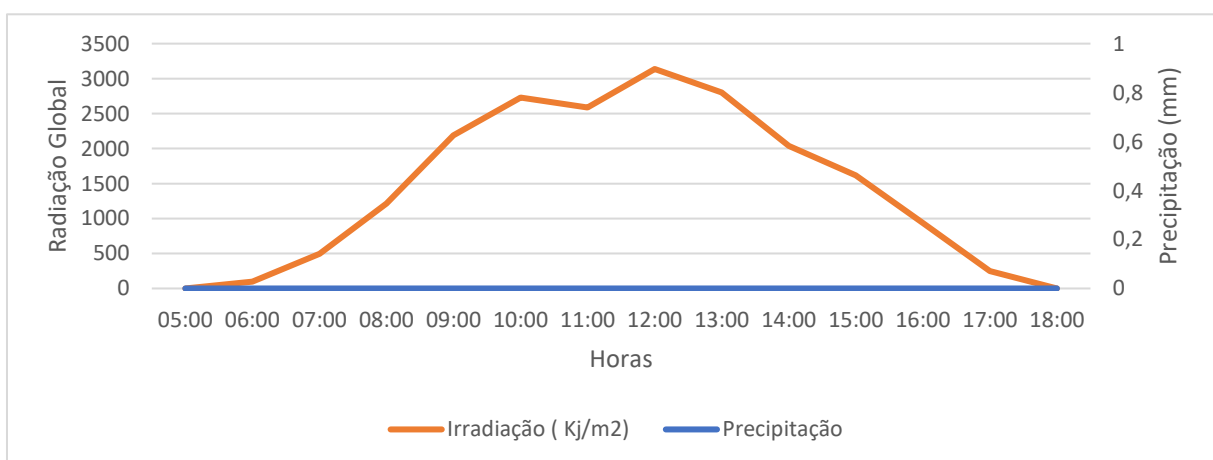
Fonte: Inmet.

Dia 15/08/2022



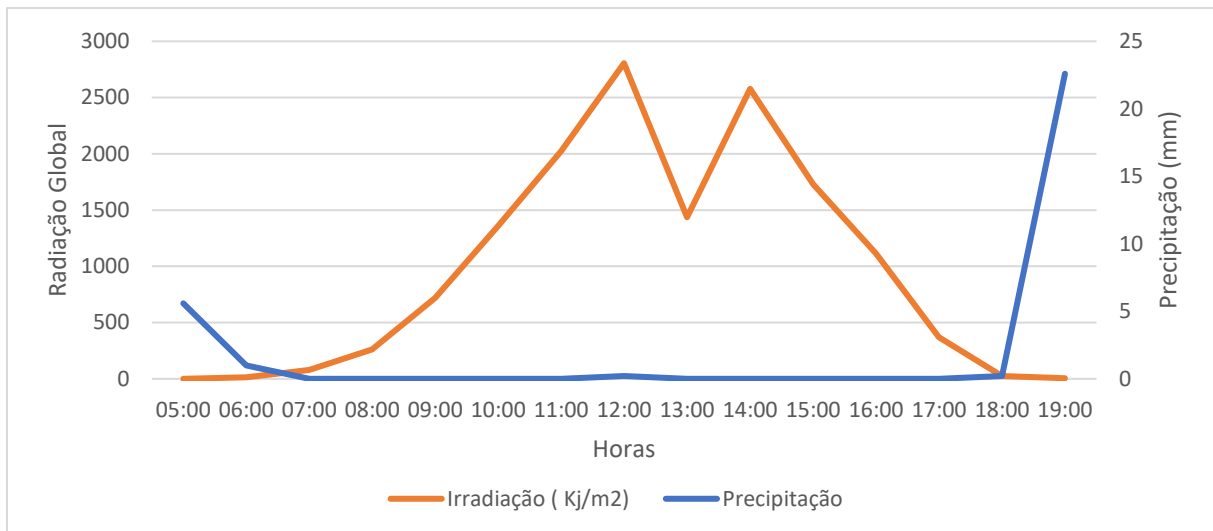
Fonte: Inmet.

Dia 10/10/2022

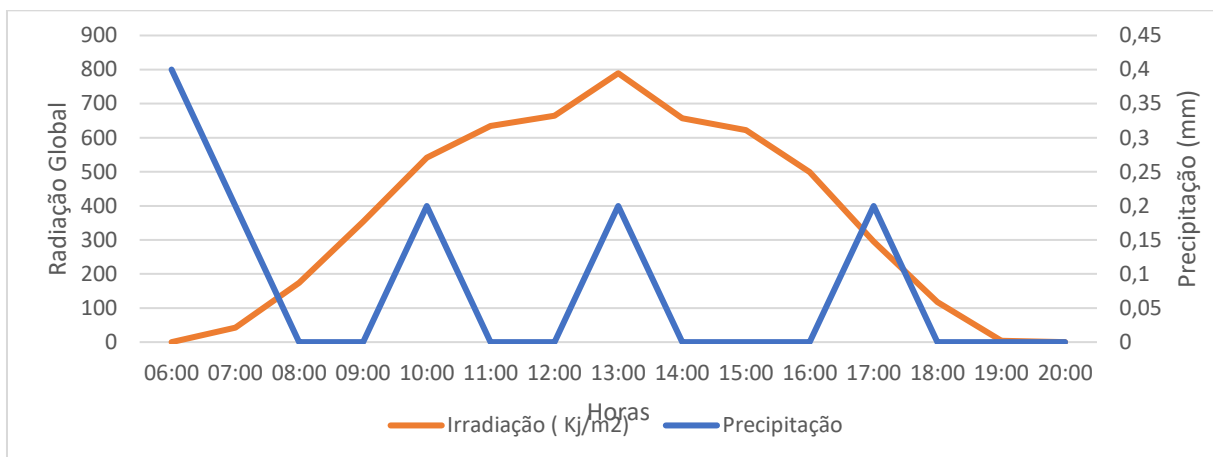


Fonte: Inmet.

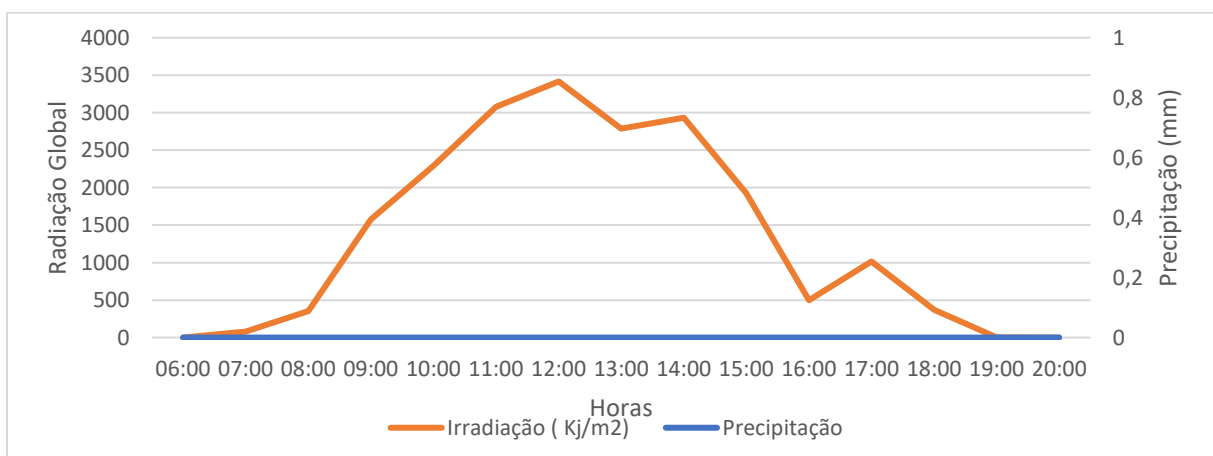
Dia 23/03/2022



Fonte: Inmet.  
Dia 23/12/2022



Fonte: Inmet.  
Dia 16/09/2022



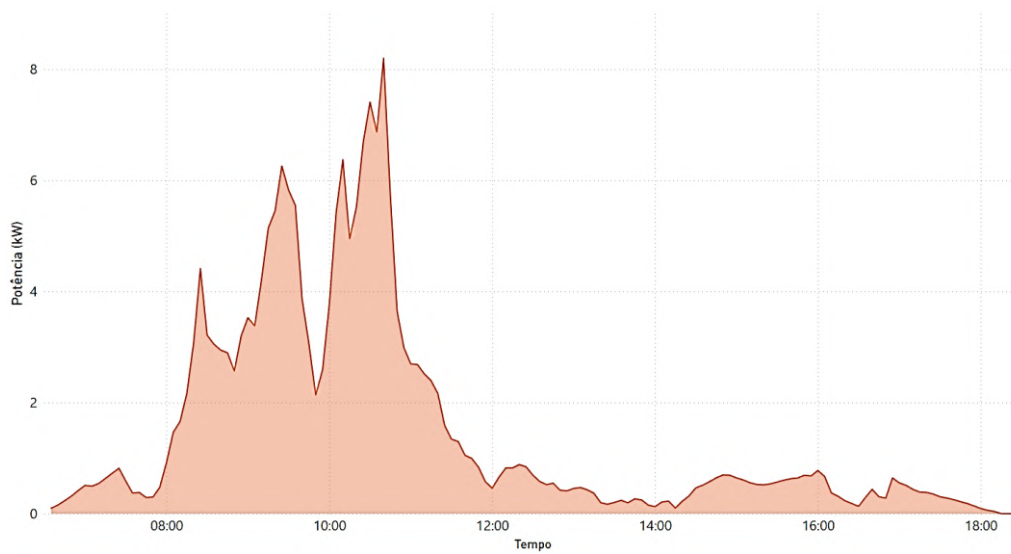
Fonte: Inmet.

## Apêndice V - Caracterização da curva de geração dos Sistema Fotovoltaicos

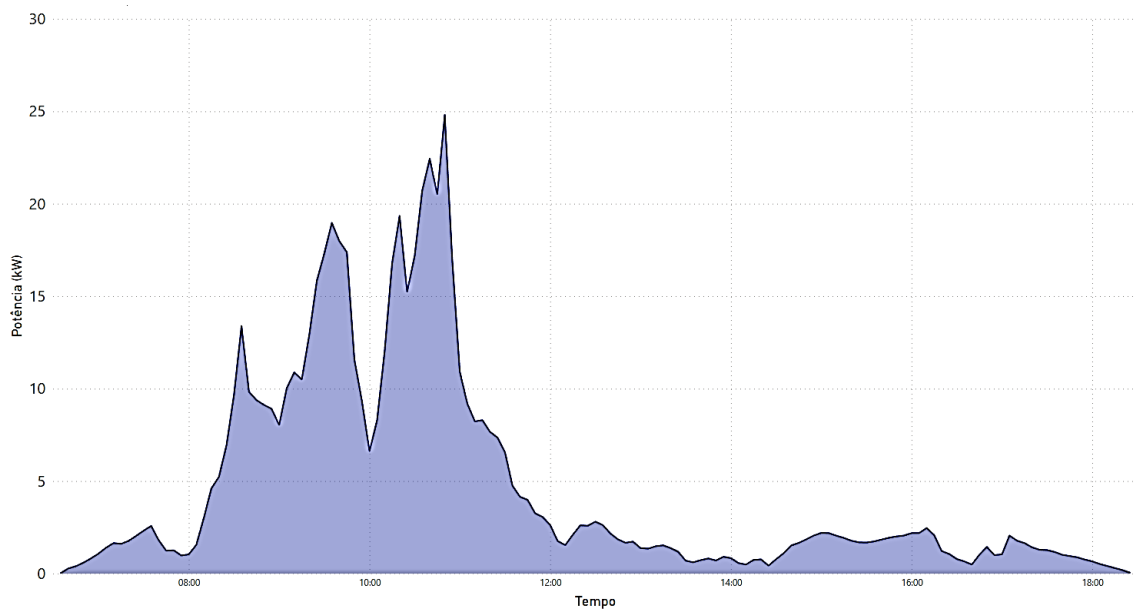
1) 15/03/2022

Neste dia, o sol nasceu às 6:20h e se pôs às 18:27h, pelo quantitativo de chuvas houve uma queda brusca na geração de energia elétrica, como demonstrado nas Figura 115. A Figura 115 apresenta os gráficos de geração dos SFV, sendo: a) Fronius - 17,4 kWh, b) SMA 54,36 kWh e c) Victron - 5,18 kWh, e totalizando 76,94 kWh.

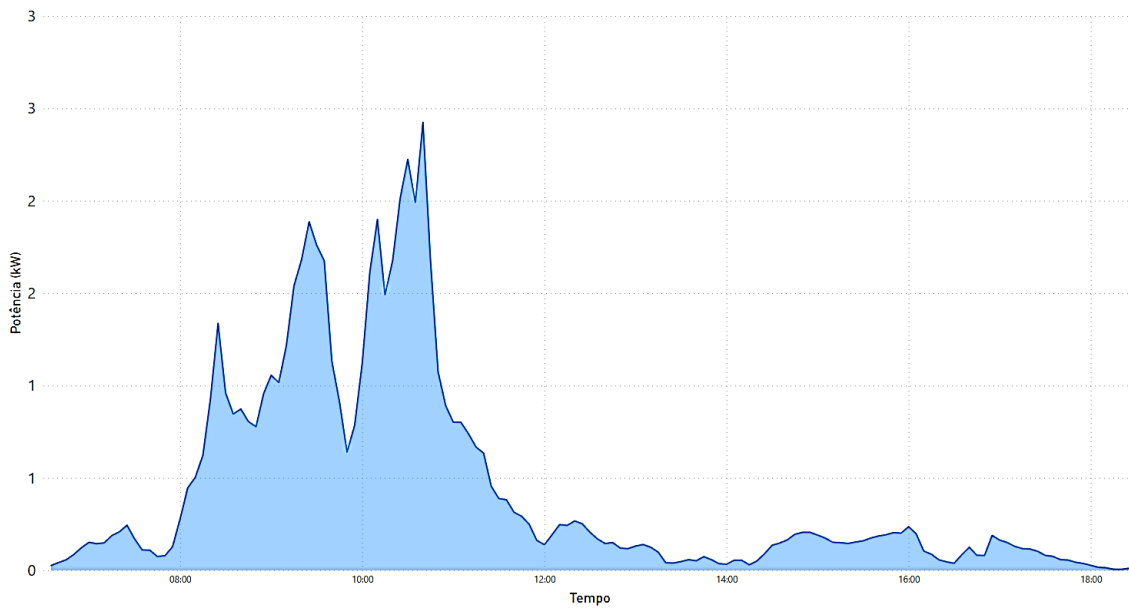
Figura 115 – Curva de geração dos SFV no dia 15/03/2022.



a) Fronius



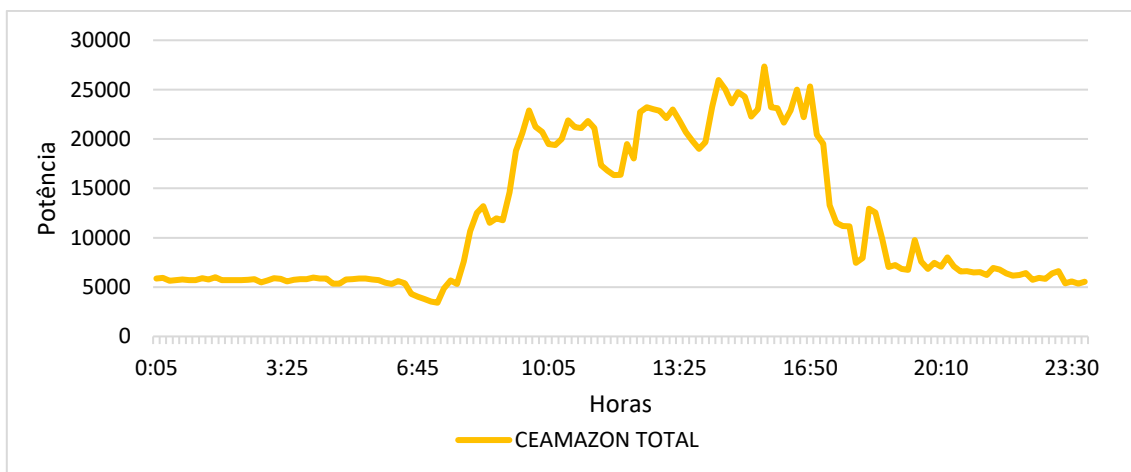
b) SMA



c) Victron.

Nesse dia a curva de carga do prédio inicia as 6:25h e aumenta no decorrer do dia, tendo seu pico por volta das 14h, e decai no fim do dia, após as 20h. A representação da curva de carga do prédio é demonstrada na Figura 116.

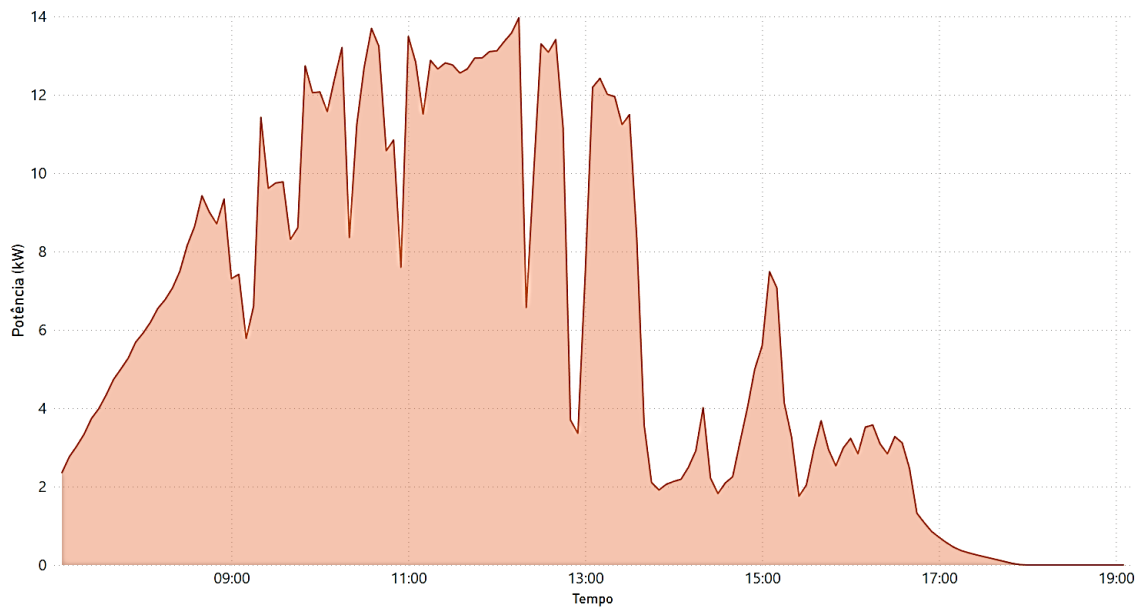
Figura 116 – Curva de carga CEAMAZON 15/03/2022.



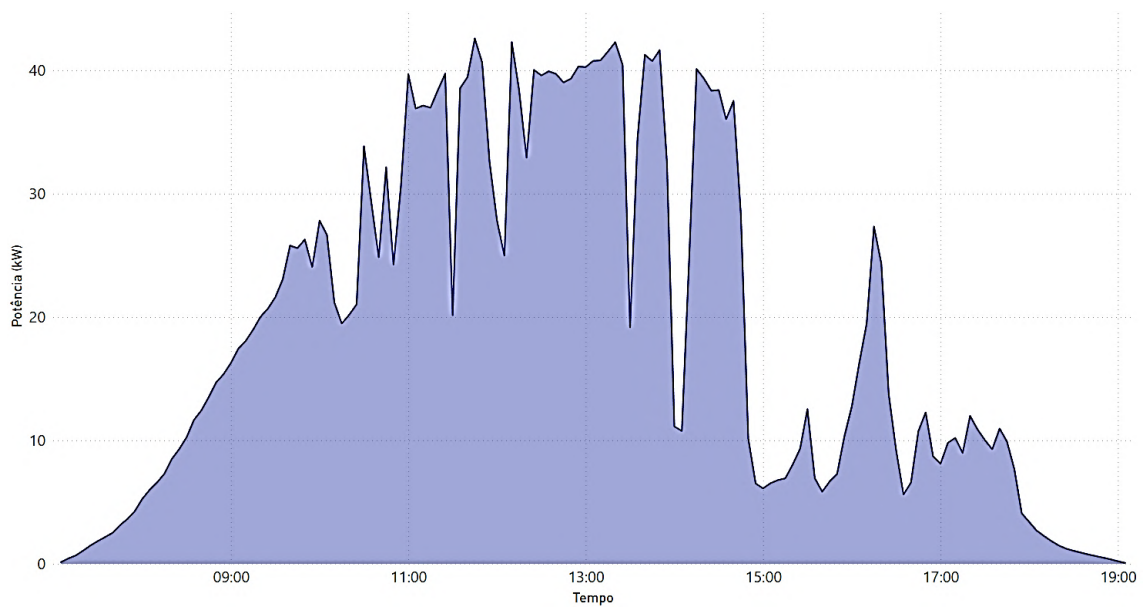
## 2) 25/10/2022

No dia 25/10, segundo a base de dados Weather Spark, também foi um dia com bastante nuvens no céu de Belém. Neste dia o sol nasceu às 5:53h e se pôs as 18:02h, sendo que pelo quantitativo de nuvens houve redução na geração de energia elétrica pelos SFVs, tal como apresentado na Figura 117. A queda de geração teve início às 14h, sofrendo diversas variações ao longo da tarde, como demonstrado nas Figura 117, sendo os sistemas: a) Fronius - 73,8 kWh, b) SMA - 230,52 kWh e c) Victron - 22,54kWh, gerando um total de 326,86 kWh de energia elétrica gerada.

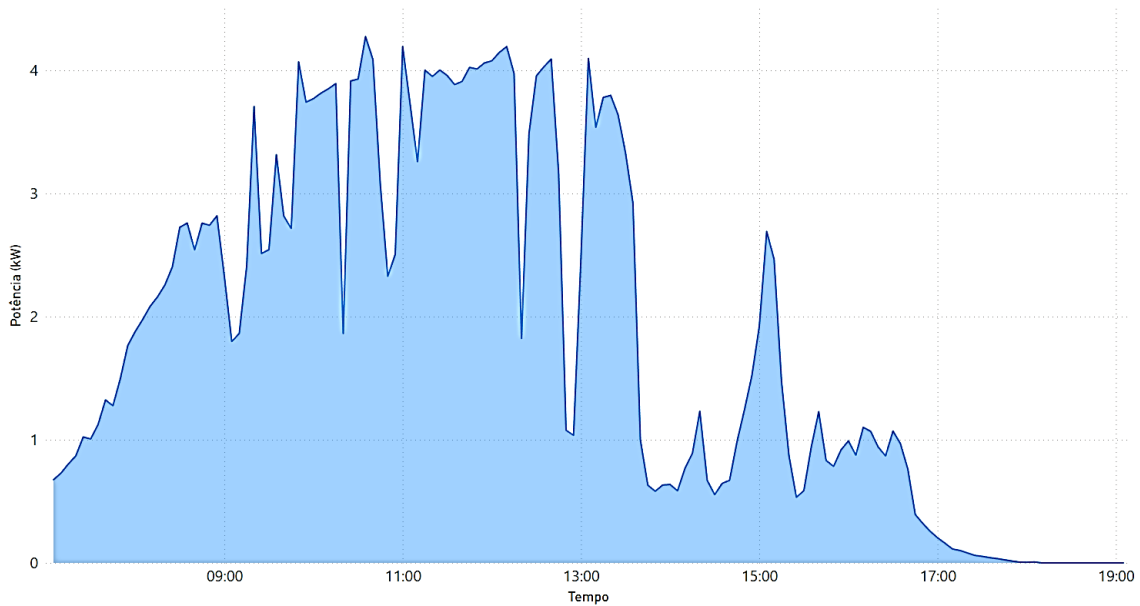
Figura 117 – Curva de geração dos SFV no dia 25/10/2022.



a) Fronius



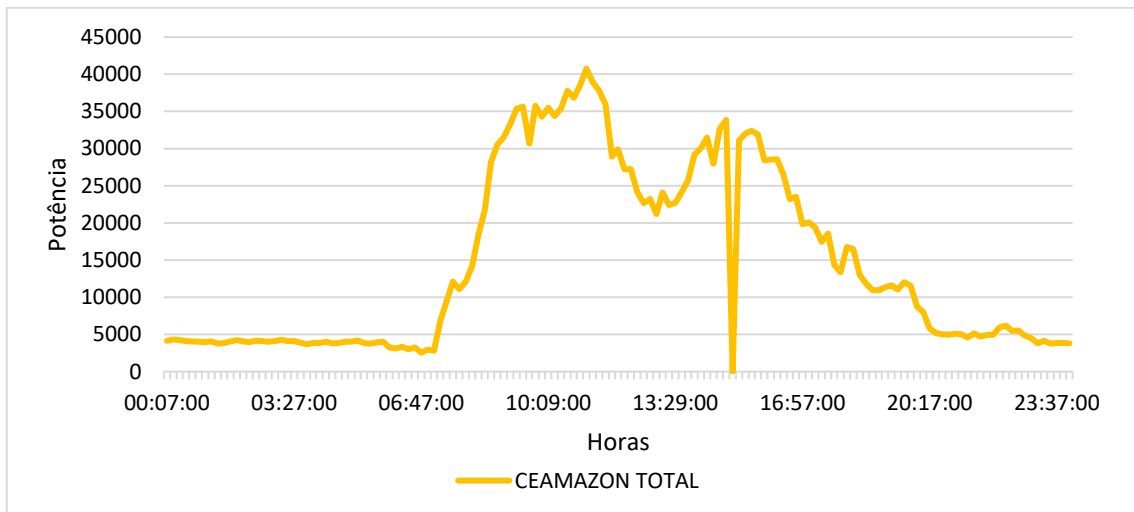
b) SMA



c) Victron

A caracterização da curva de carga do prédio é definida pelo uso da energia elétrica, que inicia as 07:07h, e aumenta no decorrer do dia, atingindo seu pico as 11:09h. As 15h há uma queda de energia que leva a curva de carga do prédio a 0 W. A Figura 118 apresenta a curva de carga do prédio do CEAMAZON.

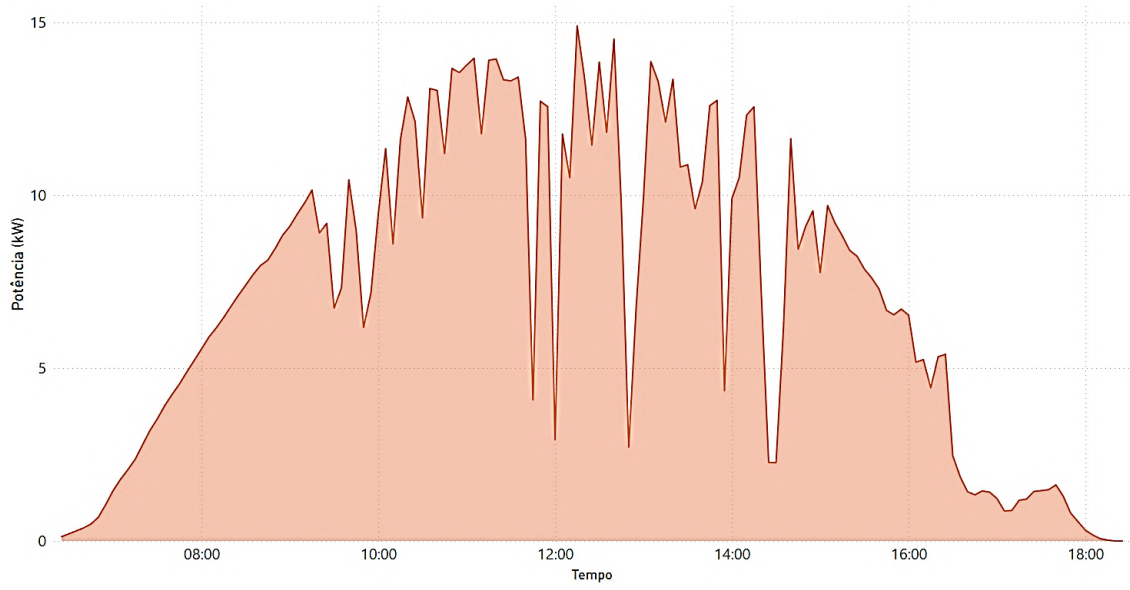
Figura 118 – Curva de carga CEAMAZON do dia 15/03/2022



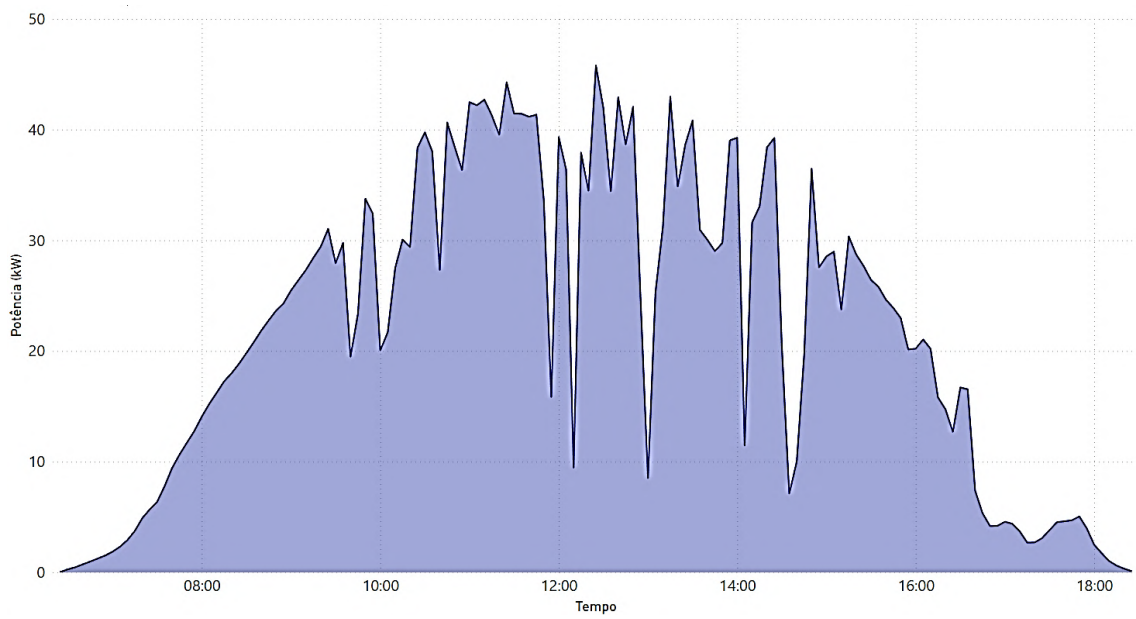
### 3) 14/08/2022

O dia 14/08 é apresentado um dia sem chuvas, e céu parcialmente encoberto com nuvens, que por consequência causou variações na geração dos módulos fotovoltaicos, que teve nascer do sol as 6:16h e pôr do sol as 18:20h. Em termos de energia produzida pelos SFVS foi de Fronius - 85,6 kWh, SMA - 263,11 kWh, Victron - 26,11 kWh, e totalizando assim 374,82 kWh de energia, conforme apresentado na Figura 119.

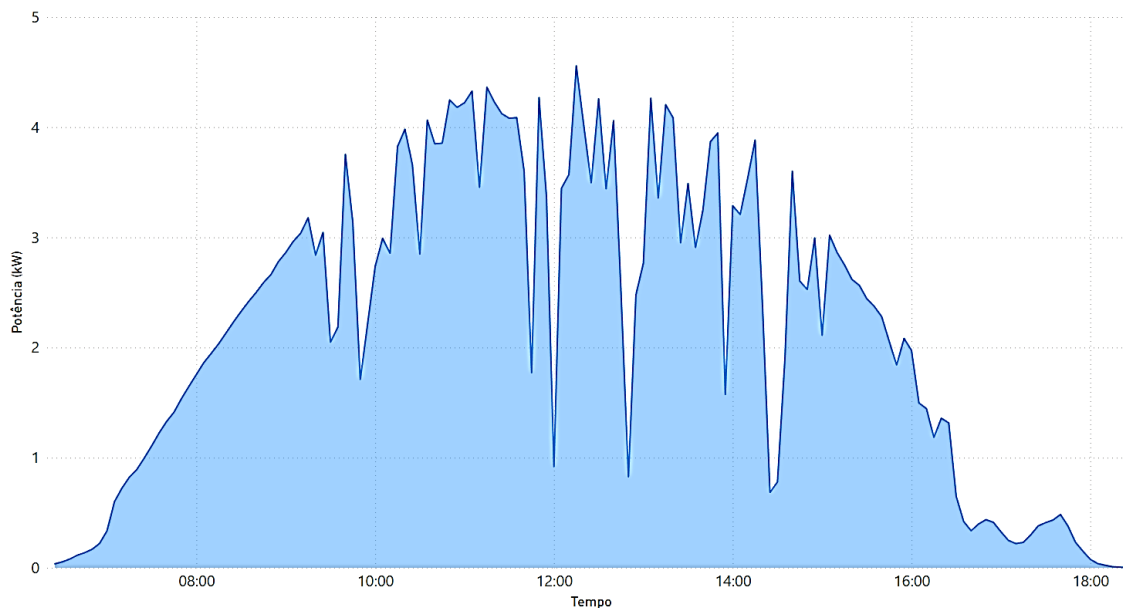
Figura 119 – Curva de geração dos SFV no dia 14/08/2022.



a) Fronius



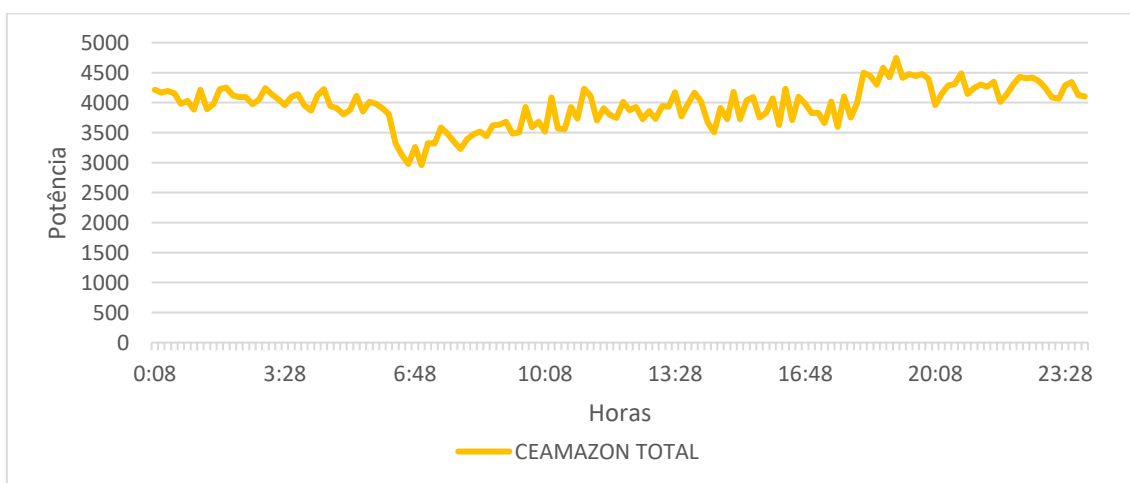
b) SMA



c) Victron

Nesse dia a carga do prédio do CEAMAZON permanece levemente ociosa durante o dia todo, devido a esse dia ser um domingo. A representação da curva de carga do prédio é demonstrada na Figura 120.

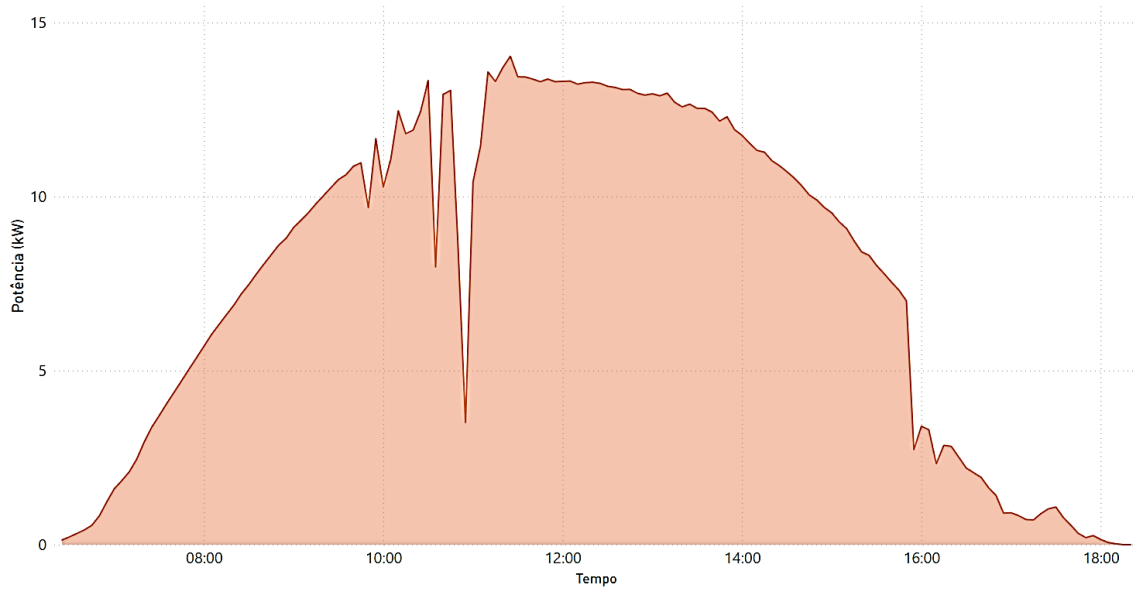
Figura 120 – Curva de carga CEAMAZON 14/08/2022.



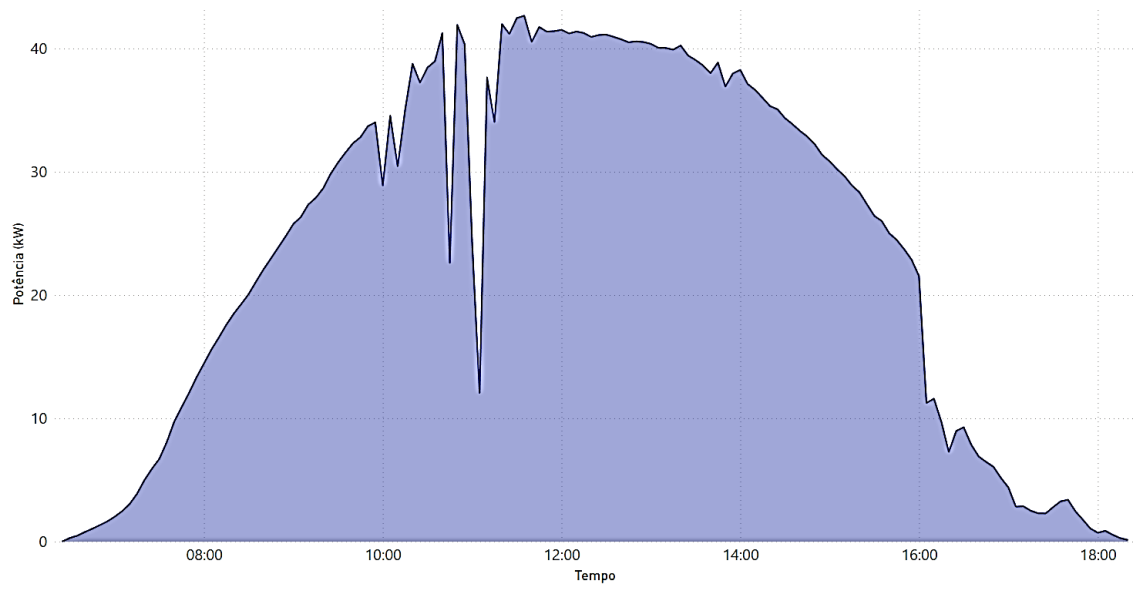
#### 4) 15/08/2022

No dia 15/08, os raios solares iniciaram por volta das 6:16h e perduraram até 18:20h, sendo que houve chuva durante parte do dia e poucas nuvens. Ao longo do dia a chuva não causou dificuldade para a geração de energia, que apresentou uma ótima curva de com poucas variações, como apresentado nas Figura 121. A Figura 121 representa a curva de geração dos SFVs, sendo o Fronius - 92,4 kWh, SMA - 283,76 kWh e o Victron - 28,23 kWh, onde foram gerados o total de 404,39 kWh de energia elétrica.

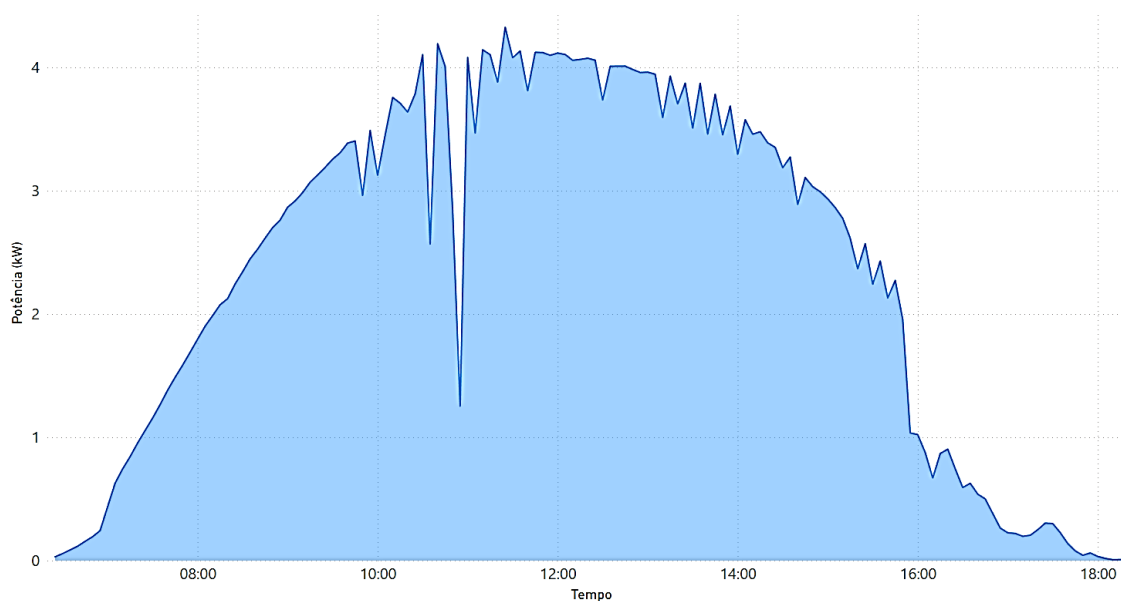
Figura 121 – Curva de geração dos SFV no dia 15/08/2022.



a) Fronius



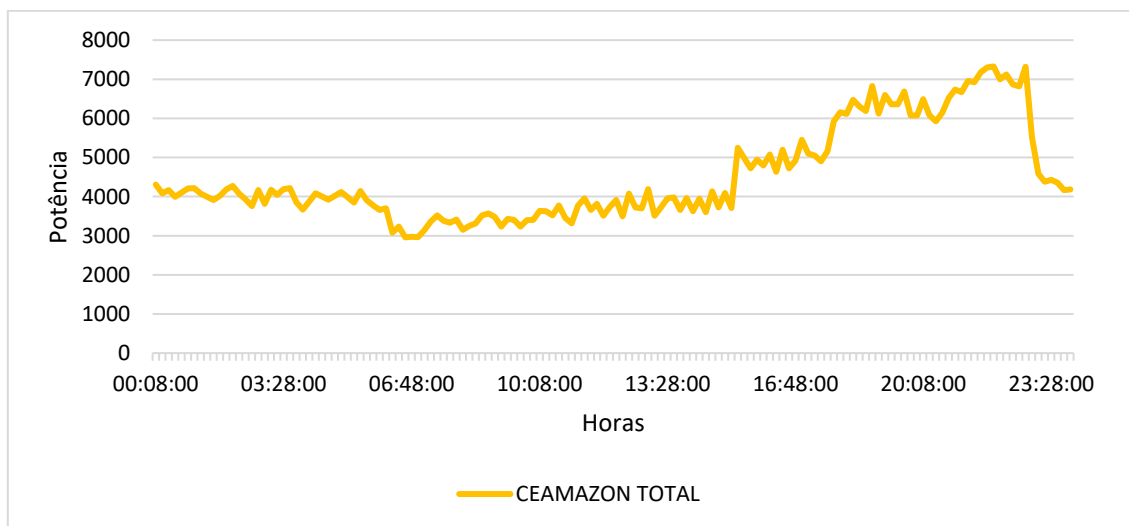
b) SMA



c) Victron

A curva de carga do prédio apresentou uma leve flutuação durante a maior parte do dia e uma elevação a noite. Esta curva de carga é de um dia de feriado, dia da adesão do Pará. Assim, apresentando um comportamento anômalo em relação a uma segunda-feira comum, visto que a demanda de consumo do prédio está bem abaixo do. A representação da curva de carga do prédio é demonstrada na Figura 122.

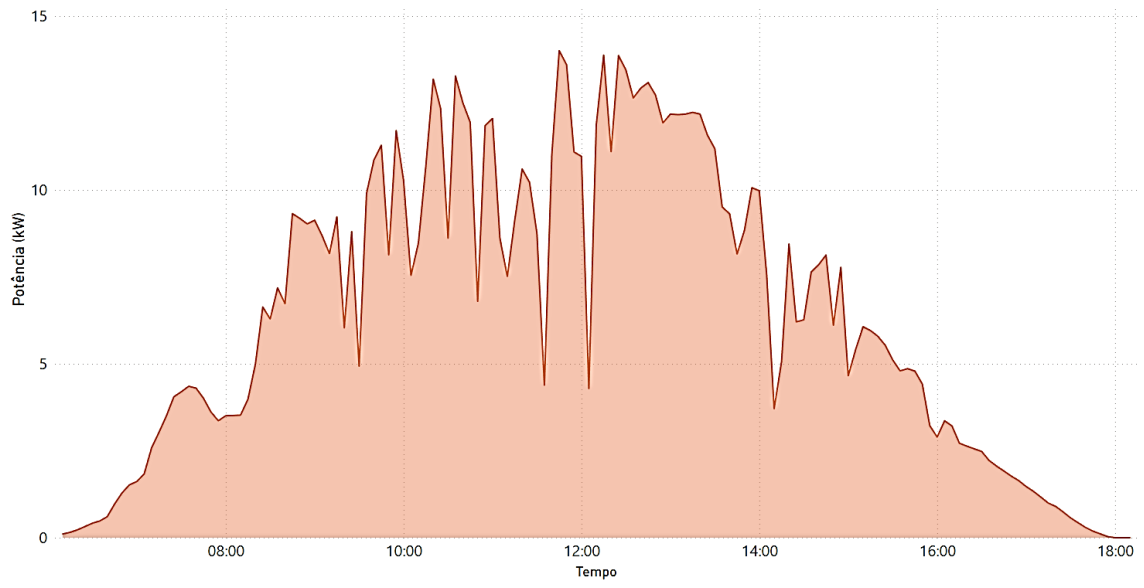
Figura 122 – Curva de carga CEAMAZON 15/08/2022.



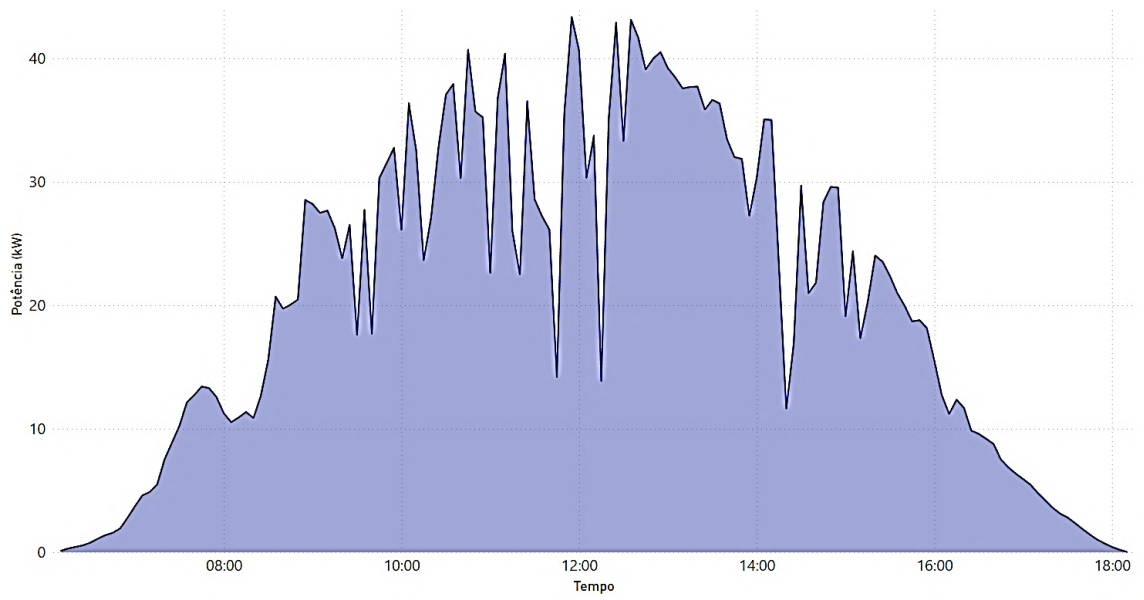
### 5) 10/10/2022

O dia 10/10 foi um dia com chuvas na região de Belém, que teve seu nascer do sol às 5:57h e o pôr do sol às 18:04. A Figura 123 apresenta os gráficos de geração fotovoltaica, onde a) Fronius - 77,2 kWh, b) SMA - 247,03 kWh e c) Victron - 24,1 kWh, totalizando assim 348,33 kWh.

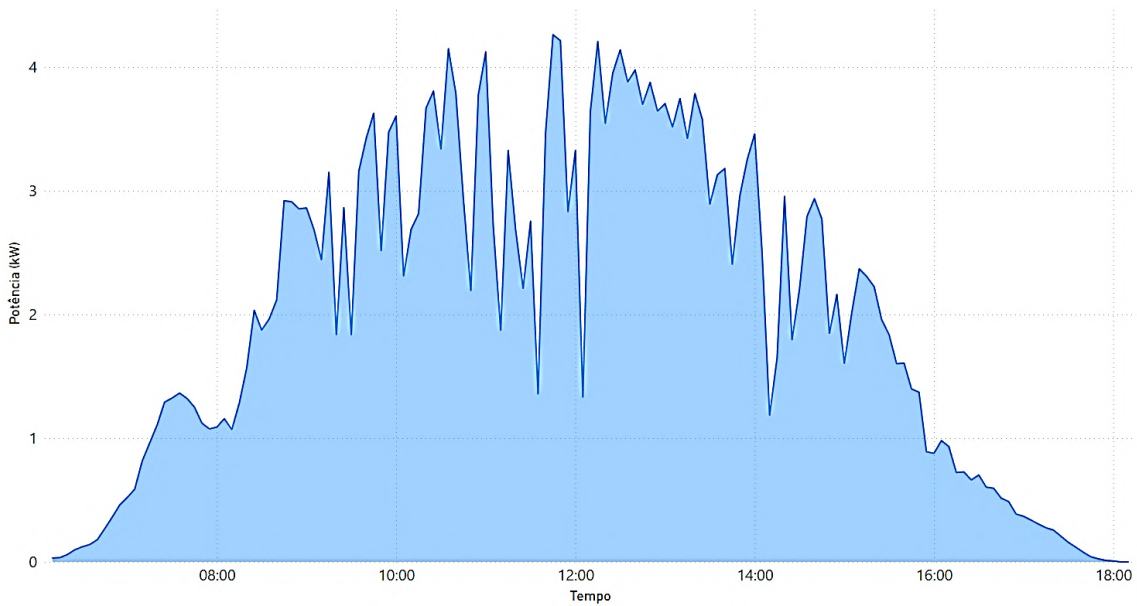
Figura 123 – Curva de geração dos SFV no dia 10/10/2022.



a) Fronius



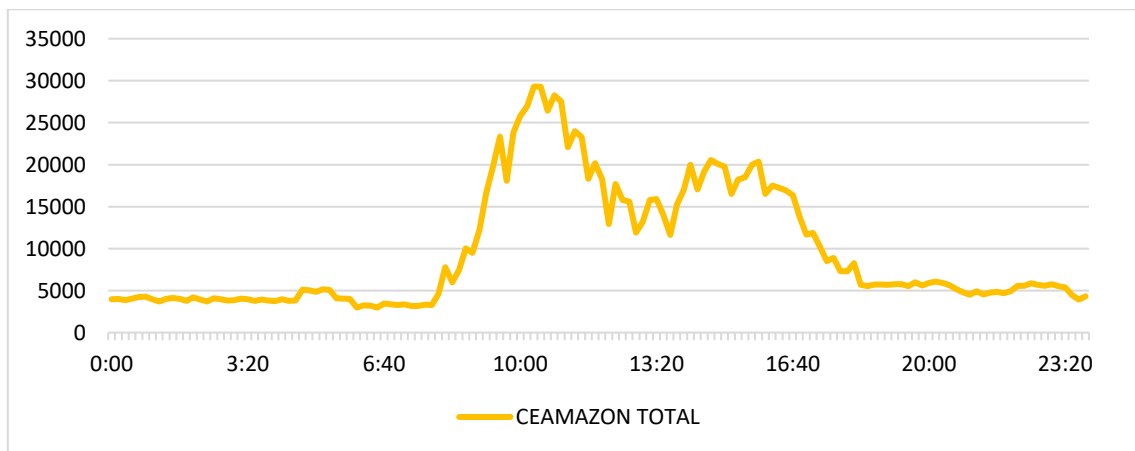
b) SMA



c) Victron

Nesse dia, o uso da energia elétrica começa a subir às 07:50h. Após as 10:40, há uma queda no consumo de potência do prédio que finda às 18:10h. A representação da curva de carga do prédio é demonstrada na Figura 124.

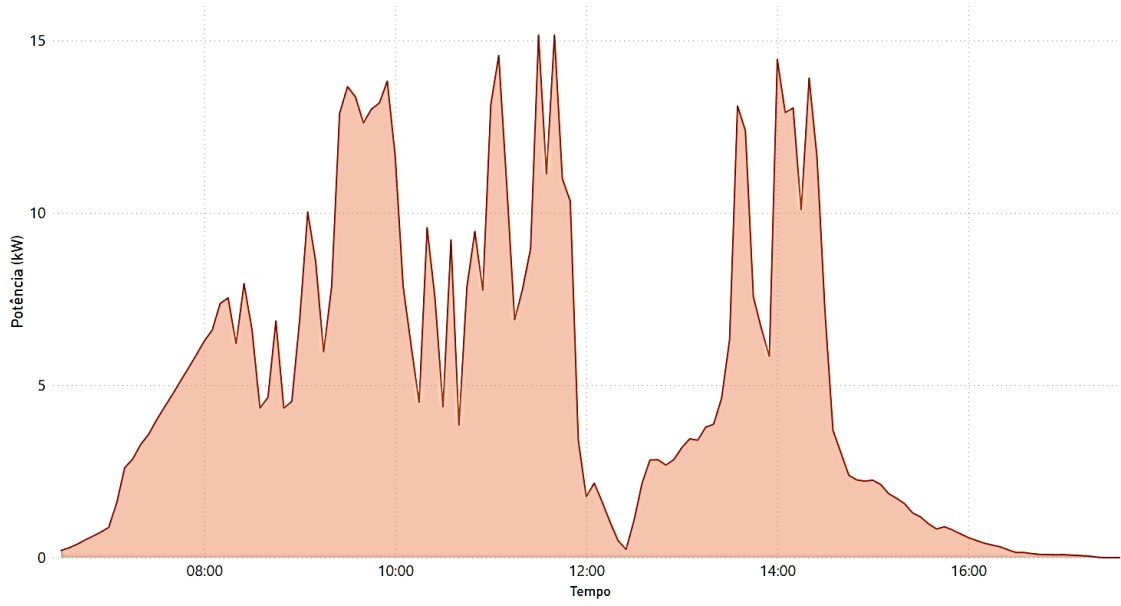
Figura 124 – Curva de carga CEAMAZON 10/10/2022



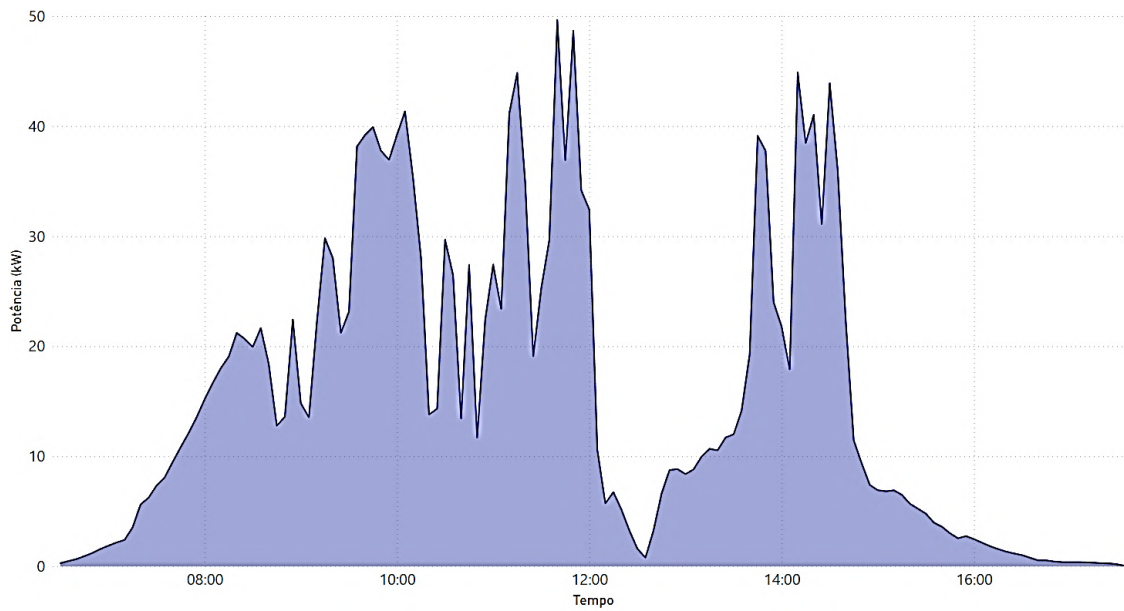
6) 23/03/2022

No dia 23/03, o nascer do sol ocorreu às 6:18h e se pôs às 18:25. A geração fotovoltaica apresentou variação ao longo de todo o período, tendo uma geração baixa, devido à quantidade de nuvens e chuva no dia em questão. A Figura 125 apresenta a curva de geração dos sistemas fotovoltaicos, sendo Fronius 57,2 - kWh, SMA - 172,68 e Victron - 17,26 kWh, totalizando 247,14 kWh gerados. A Figura 126 apresenta a radiação global no dia 23/03/2022.

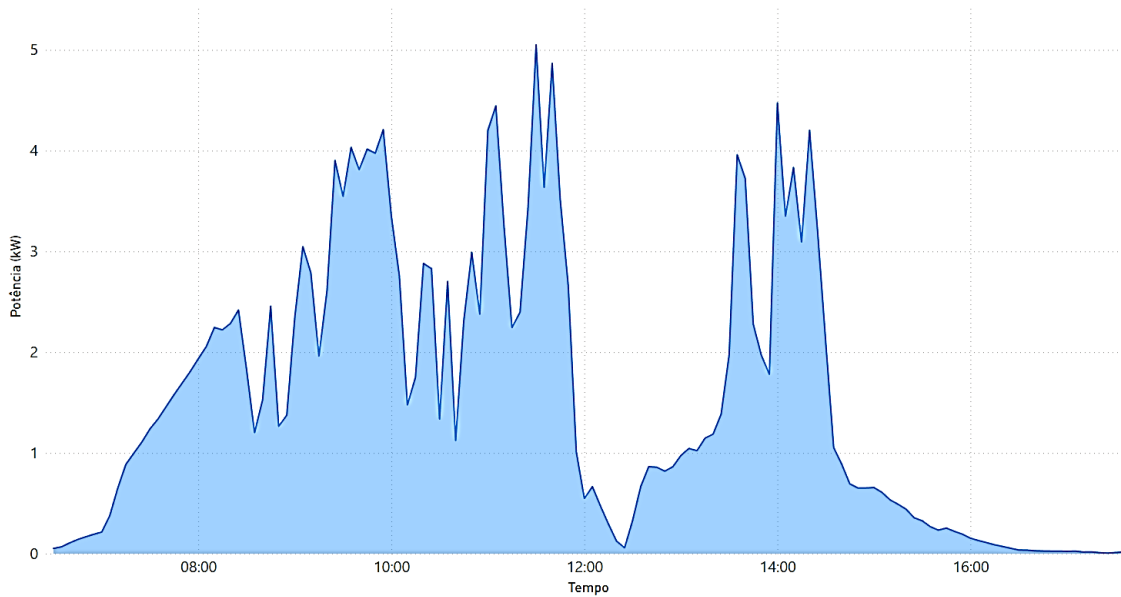
Figura 125 – Curva de geração dos SFV no dia 23/03/2022.



a) Fronius

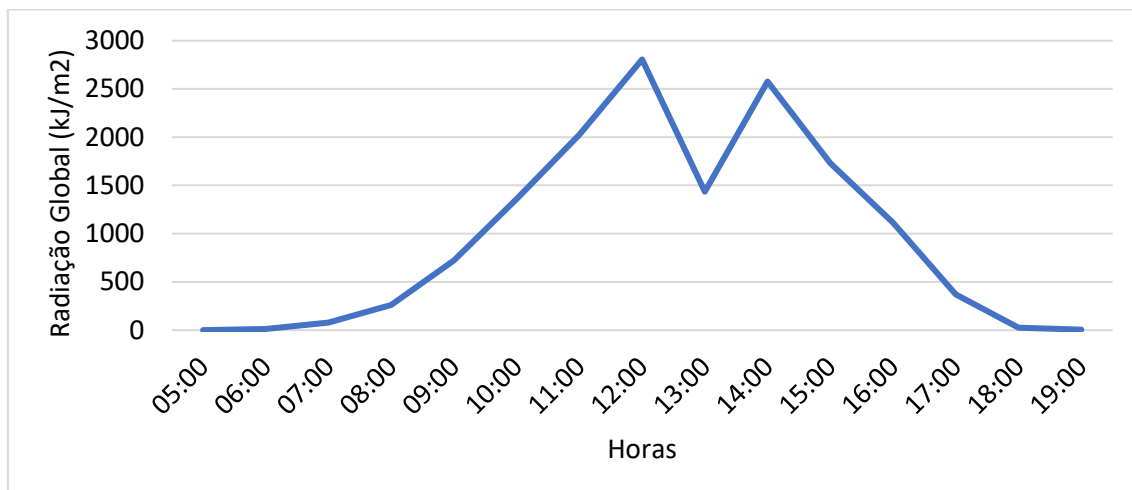


b) SMA



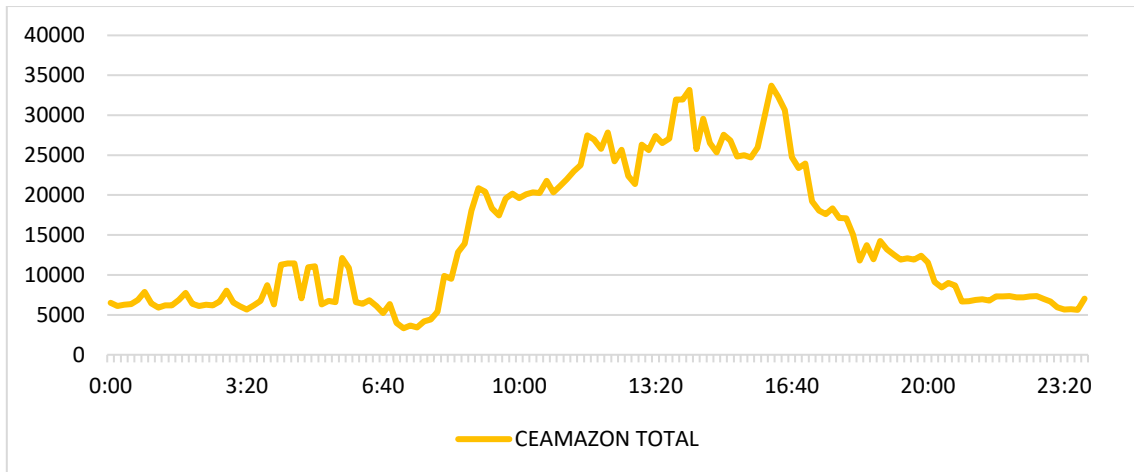
c) Victron

Figura 126 – Curva de geração dos SFV no dia 23/03/2022.



A curva de carga do prédio inicia a subir as 8h, no início do expediente e aumenta no decorrer do dia. No fim do dia, principalmente após as 20:50h é finalizada a queda no consumo da potência do prédio. A representação da curva de carga do prédio é demonstrada na Figura 127.

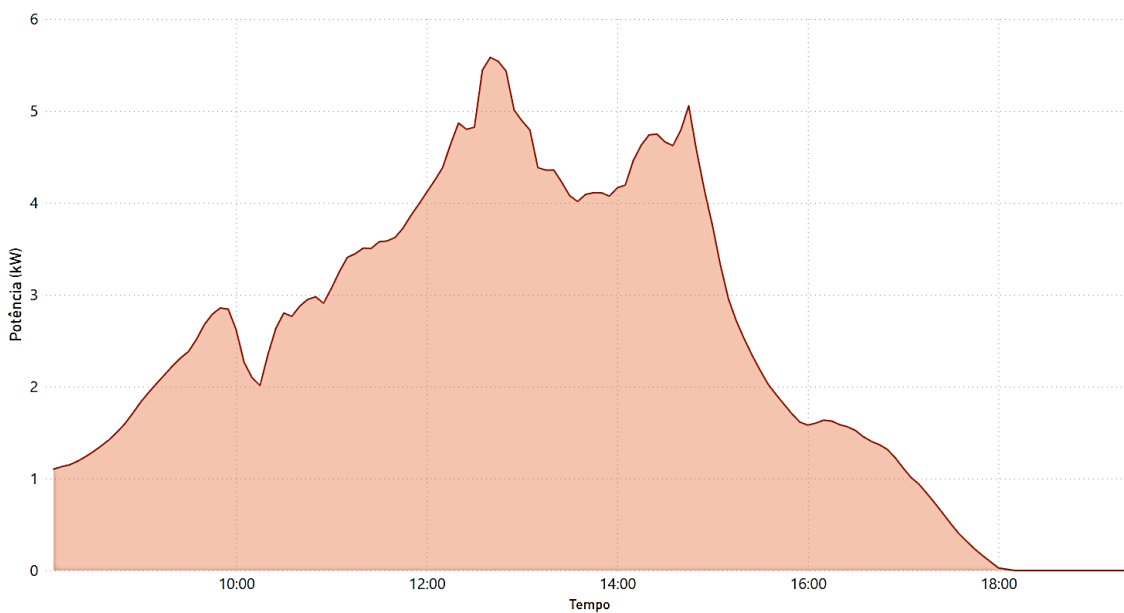
Figura 127 – Curva de carga CEAMAZON 23/03/2022



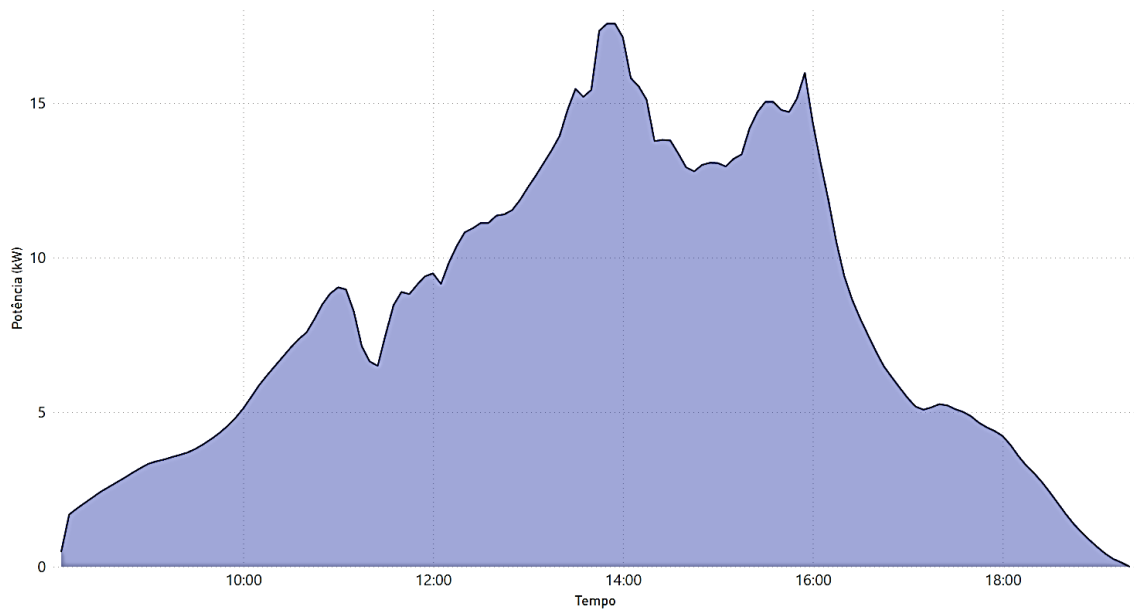
7) 23/12/2022

Durante o dia 23/12, os rios solares iniciaram as 6:06h e se pararam as 18:19h. Nesse dia houve uma grande variação da geração fotovoltaica. A curva de geração é apresentada na Figura 128, que representam os sistemas fotovoltaico: a) Fronius - 55,7 kWh, b) SMA 92,02 kWh e c) Victron - 17,29 kWh, totalizando 165,01 kWh gerados.

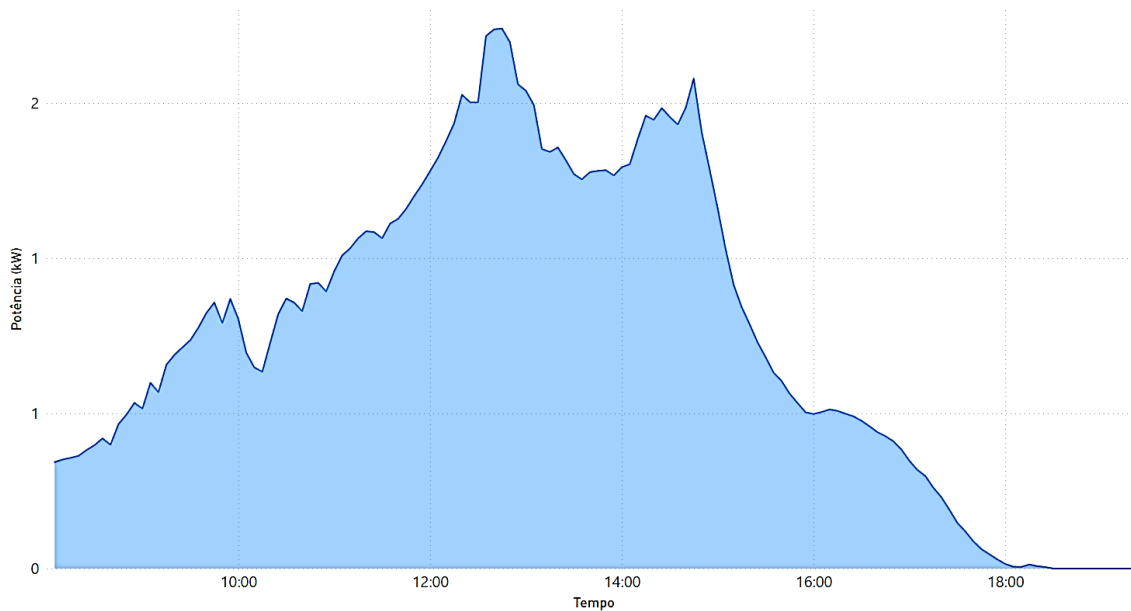
Figura 128 – Curva de geração dos SFV no dia 23/12/2022.



a) Fronius



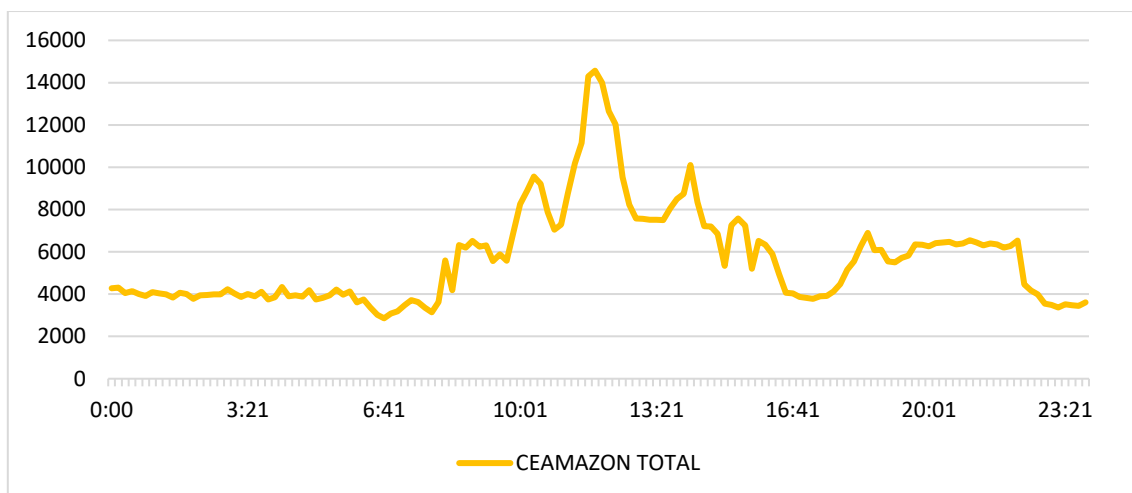
b) SMA



c) Victron

A curva de carga do prédio mostra que o início das atividades as 7:51h. No fim do dia próximo das 22:11h é finalizada a queda na potência de consumo do prédio. A representação da curva de carga do prédio é demonstrada na Figura 129.

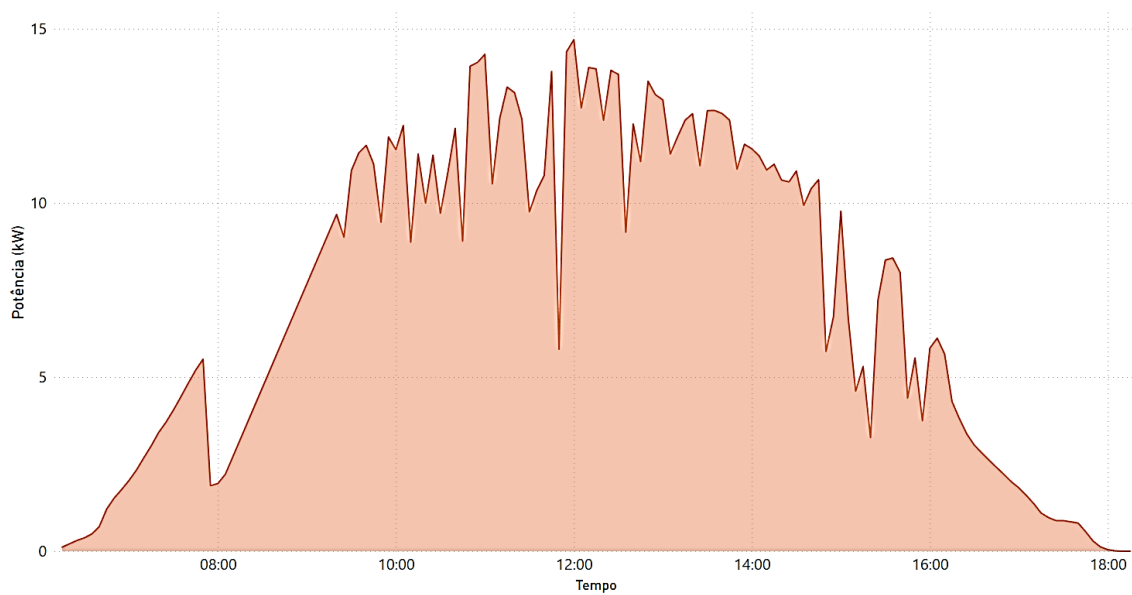
Figura 129 – Curva de carga CEAMAZON 23/12/2022



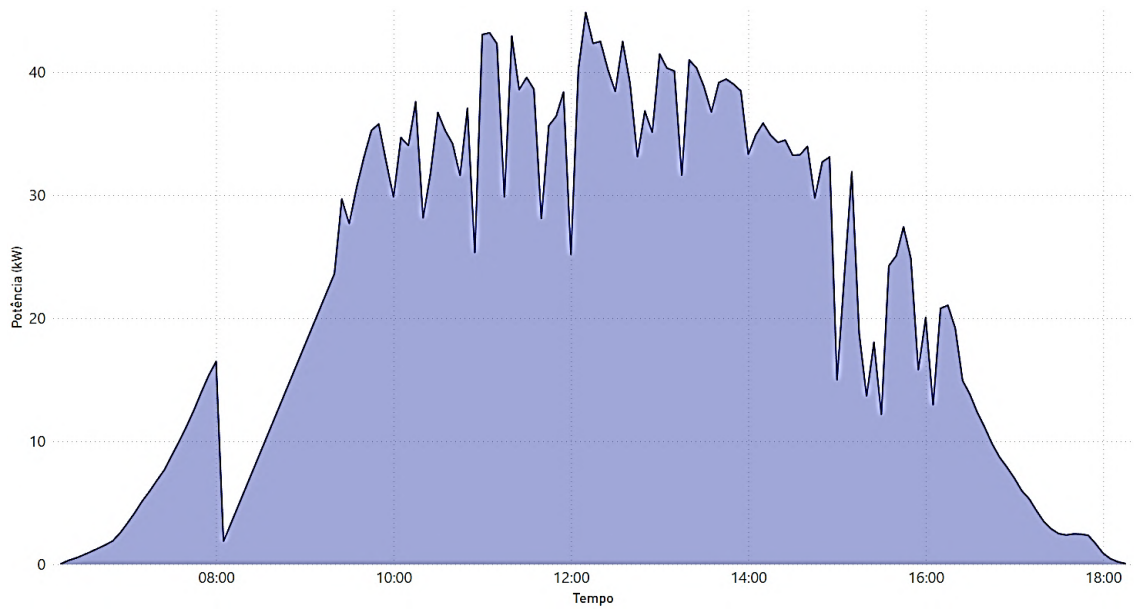
8) 16/09/2022

Em 16/09 o dia iniciou as 5:53h e se pôs as 18:04h, com ocorrência de nuvens. A curva de geração dos sistemas fotovoltaicos é apresentada na Figura 130, sendo: a) Fronius - 89,5 kWh, b) SMA - 252,82 kWh e c) Victron - 27,32 kWh, totalizando assim 369,64 kWh gerados.

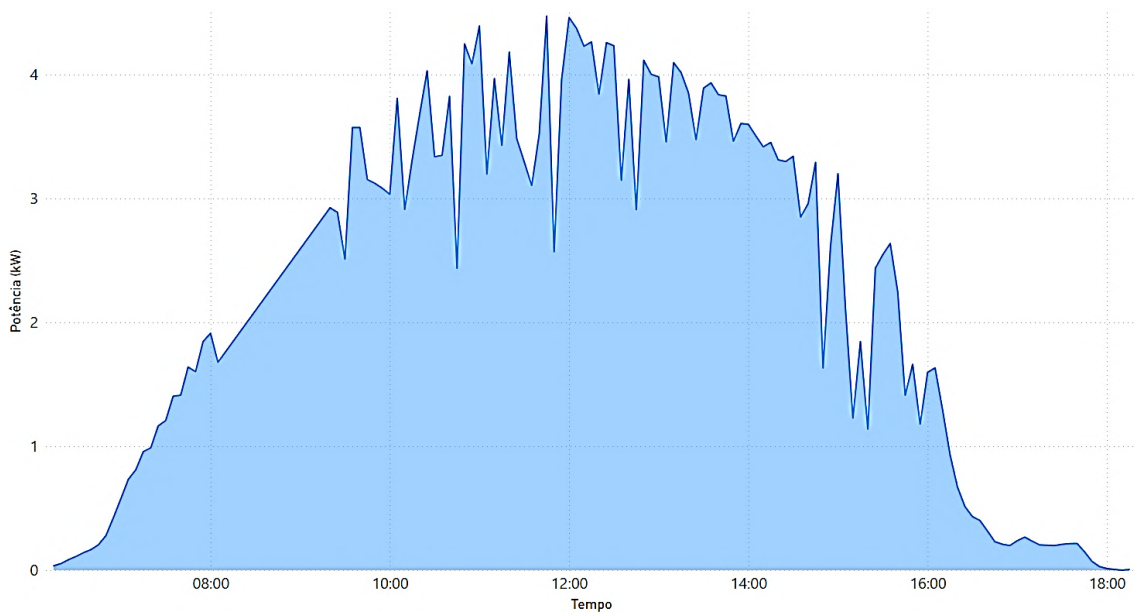
Figura 130 – Curva de geração dos SFV no dia 16/09/2022.



a) Fronius



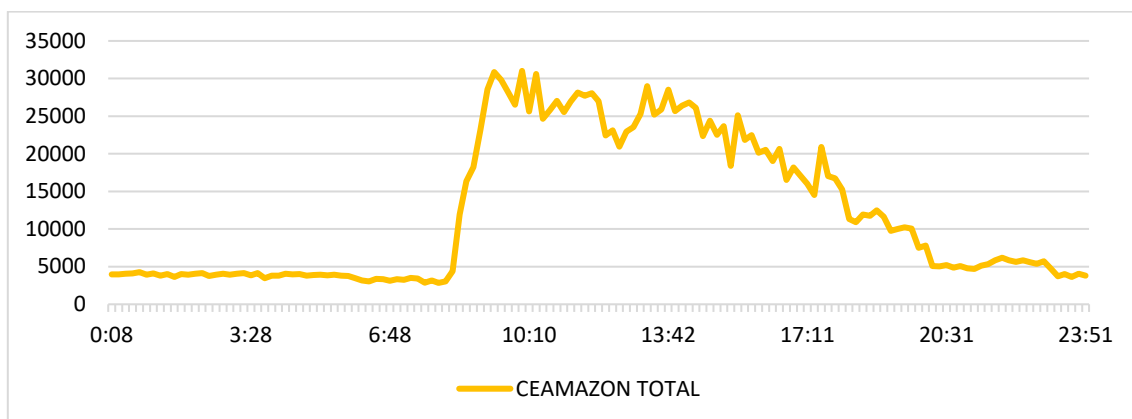
b) SMA



c) Victron

A caracterização da curva de carga do prédio é definida pelo uso da energia elétrica, que inicia as atividades as 8:09h e aumenta no decorrer do dia, finalizando por volta das 20:11h. A representação da curva de carga do prédio é demonstrada na Figura 131.

Figura 131 – Curva de carga do CEAMAZON no dia 16/09/2022.



## Anexo I – Especificações de Equipamentos Fotovoltaicos e Armazenamento

Tabela 28 – Especificações do módulo fotovoltaico BYD 335P6K-36.

Característica	Especificação	Unidade
Tecnologia	Silício Policristalino	
Potência	335	W
Células	72	Unidades
Peso	21,5	Kg
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	47,28	V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9,39	A
Tensão Máxima de Funcionamento (Vmp)	37,35	V
Corrente de Potência de Pico (Imp)	8,97	A
Eficiência do Módulo	17,2%	
Temperatura de Operação	de -40 a 85	°C
Segurança Contra Incêndio	Classe C	

Fonte: (BYD, 2019).

Tabela 29 – Especificações do sistema de armazenamento BYD B-Box Pro 13,8.

Característica	Especificação	Unidade
Módulo de bateria	GBSSB	
Energia utilizável	13,8	kWh
Potência máxima de saída	12,8	kW
Potência de pico de saída	13,3	kW
Eficiência energética	>95,3%	
Tensão nominal	51,2	V
Faixa de operação		
Comunicação	RS485 / CAN	
Dimensões	650 x 800 x 550	mm
Peso	181	kg
Temperatura de operação	de -10 a 50	°C

Fonte: (BYD, 2019).

Tabela 30 – Especificações do Inverso Huawei SUN2000-60KTL-M0.

Característica	Especificação	Unidade
Eficiência máxima	98,9%	
Tensão máxima de entrada	1.100	V
Corrente máxima por MPPT	22	A
Corrente de Curto-Circuito Máx por MPPT	30	A
Tensão de início	200	V
Número de entradas	12	
Potência ativa nominal (CA)	60.000	W
Potência aparente máxima	66.000	VA
Frequência da rede CA	60	Hz
Distorção Harmônica Total	< 3%	
Dimensões	1,075 x 555 x 300	mm
Peso	74	kg
Temperatura de operação	De -25 a 60	°C

Fonte: (HUAWEI, 2021).

## Anexo II – Especificações dos Ônibus Elétricos

Tabela 31 – Especificações Ônibus Rodoviário.

Motor	
Tipo	dois motores síncronos de ímãs permanentes (um em cada roda)
Modelo	BYD –2912TZ-XY-A
Potência nominal	dois motores de 110KW (2x 148cv)
Sistema de Direção	
Tipo	Hidráulica
Modelo	Bosch
Bateria	
Modelo	BYD LiFePO4 com sistema de refrigeração
Capacidade	324 KWh
Carregamento	
Potência	2X 40KW
Padrão da tomada	AC – Padrão Europeu
Tempo de carregamento	4 – 5 horas AC
Frequência	60Hz
Autonomia de rodagem	250 quilômetros

Fonte: (BYD, 2021).

Tabela 32 – Especificações Ônibus Urbano.

Motor	
Tipo	dois motores síncronos modelo BYD
Modelo	BYD – 2912TZ-XY-A
Potência nominal	dois motores de 110KW (2x 148cv)
Sistema de Direção	
Tipo	Hidráulica – Direção Assistida Eletro Hidráulica – EHPS
Modelo	Bosch
Bateria	
Modelo	BYD LiFePO4 com sistema de refrigeração
Capacidade	324 KWh
Carregamento	
Potência	2X 40KW AC
Padrão da tomada	AC – Padrão Europeu Tipo 2
Tempo de carregamento	4 – 5 horas AC
Tensão/Frequência	320v trifásico / 60Hz
Autonomia de rodagem	250 quilômetros

Fonte: (BYD, 2021).

## Anexo III – Especificações dos Carregadores Elétricos

Tabela 33 – Especificações do Eletroposto BYD modelo EVA080KI/01

Características gerais	
Tensão de entrada nominal	380: 3 φ 380Vac 400: 3 φ 400Vac 415: 3 φ 415Vac 480: 3 φ 480Vac
Corrente de entrada máxima	380/400/415: ≤ 126A ac 480: ≤96A ac
Tensão de saída	380: 3 φ 380Vac 400: 3 φ 400Vac 415: 3 φ 415Vac 480: 3 φ 480Vac
Corrente de saída	≤ 126A ac
Potência de entrada máxima	80kVA
Potência máxima de saída	80kVA
Consumo de energia	≤ 10w
Frequência de operação	5: 50Hz 6: 60Hz
Conector de saída	G: Conector padrão GB 7PIN I / S: conector padrão IEC 62196 7PIN
Função da proteção	Proteção contra curto-circuito
	Proteção contra temperatura excessiva
	Proteção contra surtos
Método de resfriamento	Refrigeração natural
Temperatura de operação	-25~+40 °C

Fonte: (BYD, 2013).

Tabela 34 – Especificações do eletroposto modelo EVLunic Pro.

Características gerais	
Potência de saída	22 kW
Número de fases	3
Tipo de medidor de energia	AC
Abastecimento de eletricidade	
Tensão de alimentação nominal	3 x 230 V / 400 V
Consumo de energia	Ocioso: 4 W Plugado: 5 W Carregando: 7 W
Corrente nominal (configurável)	10 A / 13 A / 16 A / 20 A / 25 A / 32 A Monofásico ou trifásico
Frequência de linha	50 Hz

Fonte: (ABB, 2018).

Tabela 35 – Especificações modelo TERRA 54HV.

Entrada	
Tensão de alimentação	3 fases, 400 V AC: PE, N, L1, L2, L
Faixa de tensão de entrada	400 V AC +/- 10% (50 Hz or 60 Hz)
Corrente e potência de entrada nominal máxima	125 A, 86 kVA
Fator de potência	> 96%

eficiência	95% na potência nominal de saída
Saída DC (C)	
Potência de saída máxima	50 kW
Faixa máxima de saída	200-500 V DC (CCS 2)
Corrente de saída máxima	125 A DC +/- 5% (CCS 2)
Saída DC (C HV)	
Potência de saída máxima	50 kW
Faixa máxima de saída	200-950 V DC (CCS 2)
Corrente de saída máxima	125 A DC +/- 5% (CCS 2)
Saída DC (J)	
Potência de saída máxima	50 kW
Faixa máxima de saída	200-500 V DC (CHAdEMO)
Corrente de saída máxima	120 A DC (CHAdEMO)
Saída DC (J HV)	
Potência de saída máxima	50 kW
Faixa máxima de saída	200-950 V DC (CHAdEMO)
Corrente de saída máxima	120 A DC (CHAdEMO)
Opção: soquete de saída AC	
Potência de saída máxima	22 kW
Corrente de saída AC máxima	3 x 32 A
Faixa máxima de saída	400 V +/- 10%
Opção: cabo de saída AC	
Potência de saída máxima	22 kW / 43 kW
Corrente de saída AC máxima	3 x 32 A / 3 x 63 A
Faixa máxima de saída	400 V +/- 10%

Fonte: (ABB, 2019).