



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Matheus dos Santos Oliveira
Renato Bueno Bovo
Willian Cardoso Galbiati**

**Geração de Energia Elétrica - Etapa 1
Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica de uma solução para Geração de
Energia**

**Apucarana
2025**

Sumário

1 Definição do Escopo do projeto	3
1.1 Escopo do projeto	3
1.2 Atribuições e funções dos membros da equipe	3
2 Caracterização da curva de carga	3
3 Escolha das tecnologias a serem comparadas	4
4 Revisão bibliográfica inicial	5
5 Metodologia de cálculo	5
5.1 Avaliação do Recurso Solar	5
5.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico <i>offgrid</i>	6
5.3 Dimensionamento do Controlador de carga	6
5.4 Dimensionamento do Inversor	7
5.5 Dimensionamento do Banco de Baterias	7

1 Definição do Escopo do projeto

1.1 Escopo do projeto

O escopo do projeto definido consiste em um **Sistema Fotovoltaico com Armazenamento para um Centro de Pesquisa Remoto**, cujo objetivo é dimensionar um sistema de geração solar com baterias destinado à alimentação de cargas sensíveis, com foco em alta confiabilidade e qualidade de energia. Ademais, o projeto deve contemplar um plano detalhado de *Operação e Manutenção* (O&M), assegurando a sustentabilidade e a eficiência do sistema ao longo do tempo.

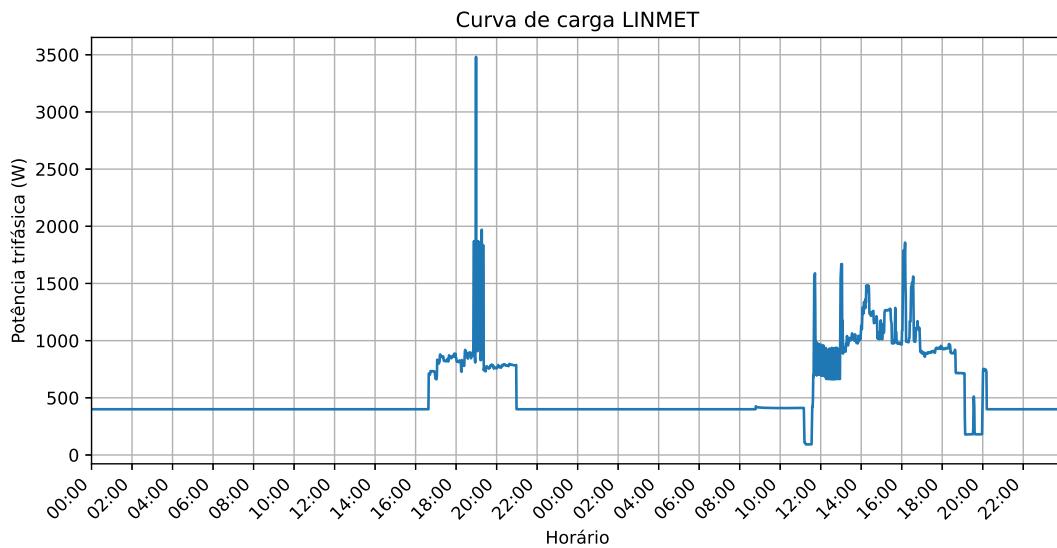
1.2 Atribuições e funções dos membros da equipe

- Matheus dos Santos Oliveira - @Matheusoliver135
Responsável pelas pesquisas bibliográficas e análise econômica do sistema.
- Renato Bueno Bovo - @renatobbovo
Responsável pela análise da demanda e dimensionamento do sistema.
- Willian Cardoso Galbiati - @williangalbiati
Responsável pela análise qualitativa e simulações no PSCAD.

2 Caracterização da curva de carga

Para a obtenção da curva de carga, foi instalado um medidor de energia no Laboratório de Inovação em Máquinas, Eletrônica e Tecnologia (LINMET) da UTFPR-AP, com o objetivo de obter o perfil de consumo de energia de um ambiente de pesquisa, de modo a representar de forma mais fiel o propósito do projeto. A Figura 1 apresenta a curva de carga obtida durante 2 dias de medição.

Figura 1: Curva de Carga trifásica LINMET



Fonte: Autoria própria

Foram obtidas as seguintes características da curva de carga:

- Demanda média: 805,6772 W
- Demanda máxima: 3482,0 W
- Fator de carga: 0,2314
- Consumo anual de energia: 7057.6867 kWh

O fator de carga foi determinado pela seguinte equação:

$$FC = \frac{\text{Demanda Média}}{\text{Demanda Máxima}} \quad (1)$$

O consumo anual de energia foi estimado pela equação a seguir:

$$E_{anual} = \frac{P_{med} \cdot 8760}{1000} \quad (2)$$

3 Escolha das tecnologias a serem comparadas

Para atender ao objetivo do estudo de viabilidade técnico-econômica, e considerando o escopo de um sistema off-grid com foco em alta confiabilidade (MELO, 2022), serão comparados dois cenários distintos de geração de energia:

- **Cenário 1: Sistema Fotovoltaico Off-Grid com Baterias de Chumbo-Ácido (VRLA).** Este cenário utilizará a tecnologia de armazenamento tradicional. Embora tenha um custo de capital (CAPEX) inferior, possui uma vida útil em ciclos e profundidade de descarga (DoD) menores, o que pode impactar os custos de operação (OPEX) devido à necessidade de reposições mais frequentes (SOUZA, 2023).
- **Cenário 2: Sistema Fotovoltaico Off-Grid com Baterias de Íon-Lítio (LFP).** Este cenário emprega uma tecnologia de armazenamento mais moderna. As baterias de Lítio-Ferro-Fosfato (LFP) oferecem maior densidade energética, eficiência de carga/descarga superior, maior profundidade de descarga (80-90%) e uma vida útil significativamente mais longa (tipicamente 5000 ciclos), alinhando-se melhor ao requisito de "alta confiabilidade" do projeto (SOUZA, 2023).

A comparação entre esses dois cenários permitirá uma análise completa, ponderando o investimento inicial (CAPEX) contra os custos de operação, manutenção e reposição (OPEX) ao longo da vida útil do projeto.

4 Revisão bibliográfica inicial

Atualmente, a redução das emissões de gases de efeito estufa tornou-se uma preocupação real para os governos de todo o mundo. Assim, a exploração de fontes de energia limpas e renováveis, como a solar e a eólica, representa uma solução essencial tanto para a proteção ambiental quanto para atender à crescente demanda por energia. Devido às suas vantagens em termos de custo, facilidade de instalação e manutenção, além de sua elevada eficiência, o uso de sistemas fotovoltaicos (PV) para a geração de energia elétrica a partir da irradiação solar tem apresentado um desenvolvimento significativo em diversos setores, como edificações modernas, sistemas de bombeamento e áreas rurais (BEDOUD; MERABET; BAHI, 2022). Apesar da baixa representação dessa matriz energética no Brasil, o cenário de crescimento para a instalação de novos sistemas de geração de energia solar para os próximos anos é animador: estima-se que até 2030 haverá um total de 1,25 TW de capacidade total instalada (MENEZES, 2022).

Dentro das aplicações da energia solar fotovoltaica, destacam-se os sistemas *off-grid* com armazenamento, que operam de forma independente da rede elétrica convencional. Esses sistemas são geralmente dimensionados a partir de metodologias simplificadas baseadas nas horas de sol pleno da região e utilizam bancos de baterias para armazenar o excedente de energia gerada, assegurando o fornecimento em períodos sem irradiação solar. São amplamente empregados em locais isolados ou de difícil acesso, onde não há disponibilidade de rede elétrica (??).

O armazenamento de energia por meio de baterias apresenta ampla variedade de aplicações, podendo ser utilizado desde pequenas unidades consumidoras, em dispositivos eletrônicos portáteis, até grandes plantas dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de eletricidade. Existem diversas tecnologias de armazenamento, como baterias à base de chumbo, lítio, sódio, níquel, capacitores eletroquímicos e baterias de fluxo redox de vanádio (SILVA, 2021).

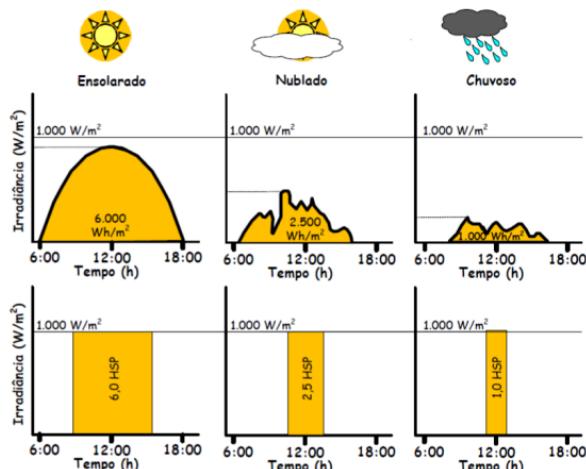
Além disso, com o crescente uso de veículos elétricos, a integração de sistemas fotovoltaicos para o seu carregamento contribui significativamente para a sustentabilidade, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e as emissões associadas ao transporte (VARGAS et al., 2020).

5 Metodologia de cálculo

5.1 Avaliação do Recurso Solar

Para estimar a produção de energia elétrica, é conveniente desconsiderar as variações instantâneas da irradiação solar e analisar a energia total acumulada em intervalos horários. Para isso, utiliza-se o número de Horas de Sol Pleno (HSP), que representa o valor diário de energia solar incidente. Esse parâmetro expressa o número de horas em que a irradiação solar permaneceria constante e igual a 1 kW/m², de modo que a energia resultante seja equivalente à energia total disponibilizada pelo sol no local em estudo (LINS, 2018), como ilustrado na figura 2.

Figura 2: Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)

5.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico *offgrid*

Para o dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico é necessário conhecer alguns parâmetros da instalação, são eles:

- Potência total da instalação ($P_{\text{Instalação}}$);
- Tempo de utilização diário da carga instalada ($T_{\text{Utilização}}$);
- HSP do local de instalação.

Então, a partir desses parâmetros, determina-se a potência do sistema fotovoltaico (P_{FV}) pela equação a seguir:

$$P_{FV} = \frac{P_{\text{Instalação}} \cdot T_{\text{Utilização}}}{HSP} \quad (3)$$

A determinação do número de módulos do sistema é determinado pela seguinte equação:

$$N_{\text{Módulos}} = \frac{P_{FV}}{P_{\text{Módulos}}} \quad (4)$$

5.3 Dimensionamento do Controlador de carga

Por se tratar de um sistema off-grid, o projeto necessita de um componente para realizar a compatibilização da tensão fornecida pelo arranjo dos painéis fotovoltaicos e o banco de baterias. Para tanto, é necessário que o controlador tenha a capacidade compatível com a corrente máxima do sistema instalado (LINS, 2018).

Após a definição da quantidade de painéis fotovoltaicos é necessário definir o arranjo que deverá se adequar ao controlador de carga definido para o projeto (LINS, 2018). Para isso, será escolhido um modelo de controlador de carga solar disponível no mercado. Serão utilizadas as seguintes equações para determinação dos arranjos:

$$I_{\text{Entrada}} = \frac{P_{FV}}{V_{IN \text{ Controlador}}} \quad (5)$$

$$I_{\text{Saída}} = \frac{P_{FV}}{V_{OUT \text{ Controlador}}} \quad (6)$$

$$N_{\text{Arranjo}} = \frac{V_{IN \text{ Controlador}}}{V_{MP}} \quad (7)$$

em que:

- I_{Entrada} : orrente máxima de entrada do controlador de carga (A);
- P_{FV} : potência total do sistema fotovoltaico (Wp);
- $V_{IN \text{ Controlador}}$: tensão nominal de entrada do controlador de carga (V);
- $I_{\text{Saída}}$: corrente máxima de saída do controlador de carga (A);
- $V_{OUT \text{ Controlador}}$: tensão nominal de saída do controlador de carga (V);
- N_{Arranjo} : quantidade de módulos conectados em série;
- V_{MP} : tensão máxima por painel fotovoltaico (V).

5.4 Dimensionamento do Inversor

Os inversores são indispensáveis para a interligação do arranjo fotovoltaico com a unidade consumidora. Para que operem de forma satisfatória, é necessária a compatibilidade entre os parâmetros de entrada (potência gerada) e os parâmetros de saída (frequência, corrente e tensão) (LINS, 2018). O fator de dimensionamento do inversor (FDI), que representa a relação entre a capacidade do inversor e a potência nominal do gerador fotovoltaico, deve ser avaliado conforme as condições locais de operação do sistema. O FDI geralmente varia entre 0,75 e 0,85 — sendo 0,75 indicado para projetos com menores perdas e boa ventilação do inversor, e 0,85 para projetos mais conservadores (PINHO; GALDINO, 2014).

$$P_{Inversor} = P_{FV} \cdot FDI \quad (8)$$

5.5 Dimensionamento do Banco de Baterias

Para a determinação do número de baterias necessário, são necessários definir alguns parâmetros:

- Potência total da instalação ($P_{Instalação}$);
- Quantidade de horas sem irradiação solar ($T_{S/Sol}$);
- Tensão nominal da bateria (V_{Bat});
- Capacidade nominal da bateria (I_{Bat});
- Fator de descarga máximo da bateria (FD).

$$N_{Baterias} = \frac{P_{Instalação} \cdot T_{S/Sol}}{V_{Bat} \cdot I_{Bat} \cdot FD} \quad (9)$$

Referências

- BEDOUD, K.; MERABET, H.; BAHI, T. Power control strategy of a photovoltaic system with battery storage system. **Journal of Engineering and Applied Science**, v. 69, p. 163–175, 2022.
- LINS, L. R. P. **Dimensionamento de sistema fotovoltaico off-grid para Escritório móvel**. Fortaleza: [s.n.], 2018. 66 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica).
- MELO, R. F. d. S. **Uma nova metodologia para o dimensionamento de sistemas off-grid com armazenamento**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, 2022.
- MENEZES, R. M. Monografia de Especialização. **Sistema de Armazenamento de Energia Utilizando Baterias para Melhoria da Geração de Energia de Usina Fotovoltaica**. São Paulo: [s.n.], 2022. Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE) – Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, 2014.
- SILVA, R. D. d. S. e. Utilização de sistemas de armazenamento de energia em baterias no setor elétrico e as perspectivas para o brasil. **Radar: Tecnologia, Produção e Comércio Exterior**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), n. 68, dezembro 2021. Disponível em: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/radar/edicao/68>.
- SOUZA, A. L. **Sistemas de Armazenamento de Energia: Comparativo Técnico-Econômico de Baterias Chumbo-Ácido e Íon-Lítio**. São Paulo: Editora Blucher, 2023.
- VARGAS, T. D. N.; PRYM, G. C. S.; VILLALVA, M. G.; MACHADO, G. M. V. Revisão de sistemas de carregamento para veículos elétricos utilizando sistemas fotovoltaicos. **Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)**, 2020. Revista do Congresso Brasileiro de Energia Solar. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1027>.