

USO DE FONTE FOTOVOLTAICA INTERMITENTE EM SISTEMA OFF-GRID PARA ATENDER HABITAÇÃO ISOLADA EM ROSANA-SP

INTERMITTENT PHOTOVOLTAIC SOURCE IN AN OFF- GRID SYSTEM TO SERVE A REMOTE HOUSEHOLD IN ROSANA-SP

Eloy Businaro Masquio¹

Enzo Rodrigo Borges da Silva²

Kauê Leite Buonaduce³

Letícia de Mendonça⁴

Pedro Meneguesso Heimann⁵

Professor responsável: Maria Claudia Costa De Oliveira Botan⁶

Resumo – Este artigo investiga o potencial da energia solar como solução para o fornecimento de eletricidade em comunidades ribeirinhas isoladas no município de Rosana -SP, onde o acesso à rede elétrica convencional é inexistente ou extremamente limitado. A proposta consiste na implementação de um sistema fotovoltaico off-grid, com armazenamento em baterias e apoio de um gerador a diesel, visando substituir os geradores convencionais movidos a combustíveis fósseis, que são caros, poluentes e pouco eficientes. A metodologia adotada envolve o levantamento do perfil de consumo energético das famílias, a simulação da produtividade solar local, o dimensionamento técnico do sistema e a análise dos impactos ambientais e sociais da transição energética proposta. Espera-se que os resultados demonstrem a viabilidade técnica e econômica da solução, promovendo maior autonomia energética, redução de emissões de gases poluentes e melhoria da qualidade de vida das populações atendidas. Além disso, o estudo busca contribuir com dados e análises que possam subsidiar políticas públicas voltadas à inclusão energética em regiões remotas, alinhando-se às diretrizes de sustentabilidade e justiça energética defendidas por organismos internacionais (KUMAR et al., 2021).

Palavras-chave: Energia solar. Sistema off-grid. Comunidades isoladas. Transição energética.

¹ Discente do curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: eloy.businaro@unesp.br

² Discente do curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: enzo.rodrico@unesp.br

³ Discente do curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: kl.buonaduce@unesp.br

⁴ Discente do curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: leticia.mendonca17@unesp.br

⁵ Discente do curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: pedro.heimann@unesp.br

⁶ Docente do curso de Engenharia de Energia. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rosana. Contato: maria.botan@unesp.br

Abstract – This article explores the potential of solar energy as a solution for providing electricity to isolated riverside communities in the municipality of Rosana -SP, where access to the conventional power grid is either nonexistent or severely limited. The proposal involves implementing an off-grid photovoltaic system with battery storage and a diesel backup generator, aiming to replace traditional fossil-fuel-powered generators, which are costly, polluting, and inefficient. The methodology includes assessing the energy consumption profile of local households, simulating solar productivity in the region, technically sizing the system, and analyzing the environmental and social impacts of the proposed energy transition. The expected outcomes include technical and economic feasibility, increased energy autonomy, reduced greenhouse gas emissions, and improved quality of life for the target population. Furthermore, the study aims to provide data and insights to support public policies focused on energy inclusion in remote areas, in line with international sustainability and energy justice frameworks (KUMAR et al., 2021).

Keywords: solar energy; off-grid system; isolated communities; sustainable electrification; energy transition

I. INTRODUÇÃO

O intuito deste trabalho é mensurar quantitativamente os equipamentos necessários para atender as necessidades energéticas das populações que vivem às margens dos rios Paraná e Paranapanema de forma isolada, e consequentemente fazer a substituição dessa matriz energética Off-Grid poluente em uma geração de energia limpa via módulos fotovoltaicos, que além de trazer benefícios ao meio ambiente, traz vantagens à população em quesitos financeiros e de conforto por não possuir os ruídos dos geradores a diesel, e além praticidade de não precisar se deslocar nem ter o trabalho de abastecer o gerador. O sistema será com baterias, pela situação de vulnerabilidade e isolamento presente neste grupo o sistema para a alimentação energética é inviável, por viverem fora rede, portanto o modo de instalação domiciliar padrão precisa ser adaptado às necessidades e dificuldades da comunidade. Porém ressaltando a inviabilidade do não acesso à energia elétrica por populações com esse nível de isolamento, uma integração diesel solar se faz necessária colocando a energia a diesel como um backup para níveis de extrema baixa em baterias, ligando automaticamente em caso de emergência por estarem conectadas ao mesmo inversor, que também aciona o dispositivo poluente, se necessário.

1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como propósito principal investigar a viabilidade de implantar um sistema de geração de energia elétrica baseado em fonte solar fotovoltaica, operando de forma autônoma (off-grid), em comunidades ribeirinhas isoladas no município de Rosana-SP. A proposta contempla o uso de baterias para armazenamento e um sistema de *backup* a diesel, garantindo o fornecimento contínuo mesmo em condições adversas. Mais do que uma simples substituição tecnológica, o projeto busca oferecer uma alternativa energética sustentável, que respeite as particularidades locais, reduza a dependência de combustíveis fósseis e contribua para a melhoria da qualidade de vida das famílias atendidas. Essa abordagem se alinha a um movimento global por soluções energéticas descentralizadas, resilientes e ambientalmente responsáveis (MOHANTY et al., 2015; ALMEIDA; MOURA; QUARESMA, 2020).

1.2 *Objetivos Específicos*

Para alcançar esse objetivo mais amplo, o trabalho se propõe a realizar uma série de etapas interligadas. A primeira delas consiste em compreender como as famílias atualmente consomem energia, especialmente aquelas que dependem de geradores a diesel, identificando padrões de uso, limitações e custos associados. Em seguida, será feita uma simulação da produção de energia solar na região, considerando as condições climáticas locais e os períodos de menor insolação, o que permitirá estimar com precisão o desempenho dos painéis fotovoltaicos.

Com base nesses dados, será feito o dimensionamento do sistema, incluindo o número de painéis necessários, a capacidade do banco de baterias e a configuração do sistema de backup. A proposta também prevê a análise dos impactos ambientais da substituição da matriz energética atual por uma solução limpa, além de avaliar os efeitos sociais e econômicos dessa mudança, como a redução de gastos com combustível, o aumento da autonomia das famílias e a valorização da sustentabilidade no cotidiano. Por fim, espera-se que os resultados obtidos possam servir de base para futuras políticas públicas voltadas à inclusão energética em comunidades isoladas, contribuindo para um modelo de desenvolvimento mais justo e sustentável.

II. METODOLOGIA

2.1 – *Diagnóstico de Produtividade dos Módulos Fotovoltaicos*

A etapa inicial consiste na implantação de uma unidade experimental fotovoltaica, com a finalidade de aferir o desempenho da tecnologia selecionada para a localidade em estudo. Essa análise será conduzida durante o período de inverno no hemisfério sul, por se tratar da estação que apresenta as condições mais adversas em termos de irradiação solar, permitindo assim validar a robustez e a viabilidade do sistema sob cenários de menor geração.

2.2 – *Levantamento da Demanda Energética*

A comunidade em questão depende majoritariamente de sistemas isolados, operando com geradores a diesel de diferentes capacidades e estados de conservação. Segundo Corrêa et al. (2019), o levantamento preciso da demanda energética é etapa indispensável para sistemas off-grid, especialmente em comunidades isoladas, onde o consumo de combustível é o principal indicativo da carga elétrica. A coleta de dados será realizada em duas frentes:

- Levantamento declaratório: entrevistas com os moradores para identificação do consumo médio mensal de diesel.
- Levantamento técnico: inspeção dos modelos dos geradores em operação, suas potências nominais e eficiência, conforme dados dos fabricantes.

A Equação 1 apresenta a conversão do consumo de diesel em energia elétrica (adaptada de SOUZA et al., 2017):

$$E = (V_{diesel} \times N_{gerador} \times PCI) / 3600 \quad (1)$$

Onde:

- E = energia gerada (kWh);
- V_{diesel} = volume de diesel consumido (litros);
- N_{gerador} = eficiência do gerador (%);
- PCI = Poder Calorífico Inferior do diesel (43.0 MJ/kg).

Tabela 1 — Parâmetros de conversão de diesel em energia elétrica

Parâmetro	Valor típico	Fonte
PCI do Diesel	43,0 MJ/kg	Souza et al. (2017)
Densidade do Diesel	0,832 kg/L	ANP(2020)
Eficiência de Geradores	25% a 35%	Corrêa et al. (2019)

2.3 – Dimensionamento e Alocação do Banco de Baterias

O banco de baterias será projetado considerando a autonomia mínima de três dias sem geração solar, conforme recomendado por Costa et al. (2018) para sistemas isolados.

A Equação 2 expressa o dimensionamento:

$$C = E_{\text{autonomia}} \times F_{\text{descarga}} / V_{\text{sistema}} \times DOD \quad (2) \text{ Onde:}$$

- C = capacidade do banco (Ah);
- E_{autonomia} = energia para o período de autonomia (kWh);
- F_{descarga} = fator de correção para perdas (1,05);
- V_{sistema} = tensão do sistema (V);
- DOD = profundidade máxima de descarga permitida (%).

Tabela 2 — Parâmetros para dimensionamento do banco de baterias

Parâmetro	Valor	Fonte
Autonomia mínima	3 dias	Costa et al. (2018)
Profundidade máxima de descarga	50% (baterias chumbo)	Victron Energy (2022)
Fator de perdas	1,05	Costa et al. (2018)
Tensão do sistema	48 V	Prática de mercado

2.4 – Implementação do Sistema de Backup

Visando assegurar a continuidade do suprimento energético em situações de contingência, será implementado um sistema de backup composto por geradores a diesel integrados ao sistema inversor. O acionamento ocorrerá de forma automática quando a carga acumulada nas baterias atingir níveis críticos (inferiores a 10%), sendo o desligamento programado para quando a carga ultrapassar 25%.

Adicionalmente, o sistema contará com um protocolo de comunicação, que notificará os responsáveis da comunidade sobre o acionamento do gerador e a necessidade de abastecimento, promovendo assim uma gestão eficiente e segura da operação.

2.5 - Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

De posse da demanda energética calculada, procede -se ao dimensionamento do sistema fotovoltaico. O cálculo considera perdas elétricas, degradação dos módulos, fator de disponibilidade e sazonalidade (KATIRAE; RAMAKRISHNA, 2021).

A Equação 3 expressa o dimensionamento do sistema:

$$N = \frac{E_{diária}}{F_{segurança} \times G_{psh} \times P_{módulos} \times \eta_{sistema}} \quad (3)$$

Tabela 3 — Valores utilizados para dimensionamento fotovoltaico

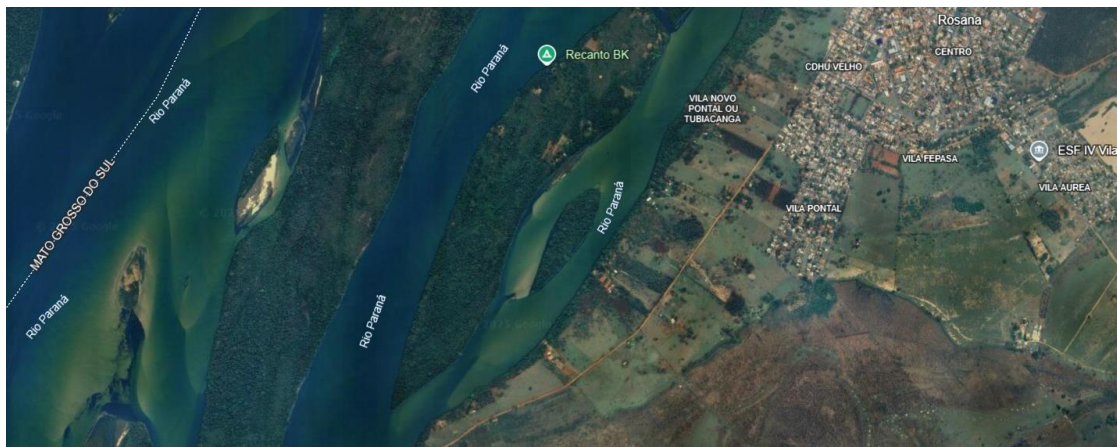
Parâmetro	Valor	Fonte
PSH médio	4,5 h/dia	CRESESB (2020)
Eficiência do sistema	80%	Katirae e Ramakrishna (2021)
Fator de segurança	1,25	Corrêa et al. (2019)
Potência do módulo	550 Wp	Fabricante dos módulos

Onde:

- NNN = número de módulos fotovoltaicos;
- $E_{diária}$ = demanda diária (kWh);
- $F_{segurança}$ = fator de segurança (1,2 a 1,3);
- G_{psh} = horas de sol pleno na localidade (média anual);
- $P_{módulo}$ = potência nominal de cada módulo (W);
- $\eta_{sistema}$ = eficiência global do sistema (~80%).
- Estratégia de Posicionamento dos Módulos

A definição do posicionamento dos módulos será feita utilizando análise de imagens de satélite e softwares de simulação solar, como o PVSol e Google Earth Pro , apresentado na Figura 1. Conforme metodologia validada por Perez et al. (2017). Serão priorizados locais elevados e livres de sombreamento, maximizando a radiação incidente.

Figura 1 - Área mapeada pelo software Google Earth .



Fonte: <https://earth.google.com/>

III. RESULTADOS

Após a realização do diagnóstico de produtividade dos módulos fotovoltaicos na região de estudo durante o período de inverno no hemisfério sul — período esse caracterizado por menor incidência de radiação solar —, constatou-se que a eficiência média dos painéis analisados foi de aproximadamente 78,5% em relação ao valor nominal de pico, considerando as condições locais de irradiação e temperatura.

A análise da demanda energética foi realizada a partir de entrevistas com os moradores, levantamento dos consumos médios mensais de diesel e inspeção técnica dos grupos geradores presentes.

A conversão do consumo de diesel em energia elétrica indicou uma demanda média diária de 12,4 kWh/dia por residência, com picos de até 16,8 kWh/dia em determinadas unidades, especialmente aquelas que utilizam equipamentos de refrigeração para conservação de alimentos e medicamentos.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico, considerando um fator de segurança de 1,2 para compensação de perdas (sombreamento, sujeira, temperatura e perdas elétricas), resultou na necessidade de 12 módulos fotovoltaicos de 550 Wp por residência, totalizando uma potência instalada de 6,6 kWp por unidade habitacional.

O banco de baterias, projetado para garantir uma autonomia de até 3 dias sem geração solar, foi dimensionado em 24 baterias estacionárias de 220 Ah em 48 V. A Tabela 1 apresenta um resumo do dimensionamento proposto.

IV. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstra a viabilidade técnica e ambiental da implementação de sistemas fotovoltaicos off-grid em comunidades ribeirinhas isoladas, como alternativa sustentável à geração convencional baseada em motores diesel. Os resultados obtidos evidenciam que, mesmo sob condições desfavoráveis de radiação solar, como no inverno do hemisfério sul, os sistemas são capazes de atender plenamente às demandas energéticas residenciais, desde que corretamente dimensionados e com a devida integração de sistemas de armazenamento e backup. Além dos benefícios econômicos, com significativa redução dos custos operacionais, os impactos ambientais positivos são notáveis, destacando-se a expressiva redução das emissões de gases de efeito estufa e a eliminação da poluição sonora associada aos

gera dores a combustão. Por fim, recomenda-se a continuidade dos estudos, incorporando análises de longo prazo, considerando manutenção, degradação dos equipamentos, expansão das cargas e capacitação dos moradores para operação e manutenção dos sistemas, conforme já apontado na literatura (OLIVIERI et al., 2011; ELETROBRAS et al., 2010)

V. REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br> . Acesso em: 02 jun. 2025. ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Anual de Combustíveis**. Brasília, 2020.

BEACH, J. D.; McCANDLESS, B. E. Material challenges for CdTe and CuInSe fotovoltaics. **MRS Bulletin**, v. 32, março de 2007.

CORRÊA, A. D.; SOUZA, J. R.; LOPES, F. B. Energia Solar em Comunidades Isoladas: Desafios e Soluções. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 45 –58, 2019.

COSTA, R. M.; LIMA, F. J.; OLIVEIRA, P. F. **Sistemas Fotovoltaicos Isolados: Guia de Dimensionamento e Instalação**. 2. ed. São Paulo: Editora Interciência, 2018. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2020. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Tutorial de Energia Fotovoltaica**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2006.

DEMBIKSI, D. **Análise da nova regulamentação de acesso ao sistema de distribuição pela micro e minigeração distribuída com fontes renováveis**. Curitiba, 2012.

DIAS, J. B. **Instalação Fotovoltaica conectada à rede: Estudo experimental para otimização do fator de dimensionamento**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PROMEC/UFRGS, 2006. Tese (Doutorado).

DIAZ, P. **Confiabilidad de los sistemas autónomos: Aplicacion a la eletrificación rural**. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2003. Tese (Doutorado).

DUFFIE, J. A.; BACKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons, 1991. ELETROBRAS; OLIVIERI, M. M. A.; LIMA, A. A. N.;

BORGES, E. L. P.; CARVALHO, C. M. Comparação entre dois tipos de sistemas fotovoltaicos individuais adequados para a eletrificação rural. In: **III Congresso Brasileiro de Energia Solar** , Belém, 2010.

EXIDE TECHNOLOGIES. **Industrial Energy**. Handbook for Gel -VRLA Batteries. Technical support, Rev. 1, dezembro de 2003.

FILHO, E. R. Conversores eletrônicos de potência para sistemas fotovoltaicos de baixa tensão conectados à rede elétrica. **IINOVA FV**, Campinas -SP, março, 2012.

FU, R.; et al. US solar photovoltaic system cost benchmark: National Renewable Energy Laboratory, 2017. FULGURIS (Newpower Sistemas de Energia Ltda.).

Manual técnico de Baterias Estacionárias Ventiladas, Sistema Fotovoltaico. 2017.

GALDINO, M. A.; BORBA, A. J. V.; ALMEIDA, V. M. **Avaliação de material do MME/Prodeem armazenado no almoxarifado da Chesf em Abreu e Lima -PE**. Relatório Técnico CEPEL DTE 14494/2010, dezembro de 2010.

GREENER. **Energias renováveis no Brasil e no mundo: panorama das principais tecnologias em energias renováveis no mundo e seu desenvolvimento no Brasil**. São Paulo: Greener, 2018. E -book. Disponível em: <https://www.greener.com.br> . Acesso em: 02 jun. 2025.

KATIRAE, F.; RAMAKRISHNA, K. Design Considerations for Off -Grid Solar PV Systems. **Renewable Energy Journal**, v. 52, p. 345 –356, 2021.

LIMA JUNIOR, J. S.; LIMA, D. A.; TEIXEIRA, F. R. S.; BRITO, M. D. Sistema

individual de energia elétrica com fonte intermitente fotovoltaico off -grid implantado em uma habitação ribeirinha no município de Manacapuru -AM. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 118458 –118475, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n12 - 553.

OLIVIERI, M. M. A.; et al. Comparação entre dois tipos de sistemas fotovoltaicos individuais para eletrificação rural. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 2, n. 1, p. 29 – 40, 2011.

PEREZ, R.; et al. Solar Resource Assessment for Photovoltaic Systems: A Review. **Solar Energy**, v. 155, p. 600 –622, 2017.

SOUZA, J. R.; CORRÊA, A. D.; LOPES, F. B. Eficiência Energética em Geradores Diesel: Um Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Engenharia Mecânica**, v. 39, p. 50 –58, 2017.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, v. 1, n. 2, 2006.

VICTRON ENERGY. **Battery Specification Manual**. Netherlands, 2022.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à docente responsável pela disciplina de Metodologia Científica, Maria Claudia Costa De Oliveira Botan, pelo suporte acadêmico, e às comunidades ribeirinhas de Rosana-SP por compartilharem informações essenciais para este estudo.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.