

# DESAFIOS E DIFICULDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM ÁREAS RURAIS A PARTIR DE POLÍTICAS PÚBLICAS EXISTENTES

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo como um todo está reunindo esforços constantemente para mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e manter a temperatura do planeta em níveis aceitáveis (Francis et al. 2022). Neste cenário, devido às preocupações ambientais e à redução das reservas de combustíveis fósseis, torna-se indispensável o desenvolvimento de fontes de energias renováveis. Consequentemente, diversos países ao redor do mundo iniciaram um processo de transição energética para garantir uma economia energética sustentável e ecologicamente correta, bem como para reduzir a emissão de GEEs, diversificar a matriz energética e garantir a segurança energética (Liu & Lin, 2019; Murshed et al., 2022).

Dentre as diversas fontes de energia renováveis acessíveis, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma alternativa energética em relação às fontes de origem fóssil, em virtude de suas vantagens ambientais, custo-efetividade a longo prazo e abundância natural. Além disso, a indústria fotovoltaica global se encontra em um processo constante de crescimento e inovação, do qual está estimulando uma adoção crescente de instalações solares fotovoltaicas em diversos países e contextos, caracterizando como uma tendência global (Ali et al., 2022; Ramachandran et al., 2022).

Um grande desafio observado em vários países é a dificuldade de transferir tecnologias de energia fotovoltaica para as áreas rurais, principalmente a comunidades isoladas, que podem enfrentar problemas como uma grande dispersão populacional e a dificuldade de acesso a redes de energia nessas regiões (Eras-Almeida et al., 2023).

No entanto, as mudanças na matriz energética em áreas rurais são de grande necessidade para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em um cenário de crises climáticas globais e os desafios de soberania energética, é necessária a cooperação e o esforço conjunto de atores políticos da comunidade internacional para promover a adoção e uso da energia fotovoltaica no meio rural. Apesar da importância da transição energética global, os moradores rurais são colocados em desvantagem nesse processo. Embora muitos moradores rurais desejem participar do processo de adoção de energias limpas e se beneficiar economicamente da energia solar, ainda existem problemas estruturais que podem limitar a transição energética na zona rural (Li et al., 2024).

Nesse sentido, para alcançar um processo de transição justa é essencial a participação de moradores rurais. Entretanto, os moradores rurais podem enfrentar inúmeras dificuldades e desafios que limitam seu engajamento no processo de transição energética para a energia solar. As dificuldades identificadas estão relacionadas ao acesso às tecnologias fotovoltaicas e às redes de energia de elétrica, à falta de políticas públicas específicas para a eletrificação rural fotovoltaica e à viabilidade econômica. Compreende-se que a geração de energia fotovoltaica oferece uma fonte de energia limpa e sustentável para áreas rurais e promove o desenvolvimento econômico e a transformação social dos moradores dessas regiões (Castro et al., 2024; Eras-Almeida et al., 2023; Li et al. 2024; Zhao et al., 2023).

Diante do exposto, nota-se que as populações rurais enfrentam maior dificuldade na adoção de sistemas fotovoltaicos, desta forma identificar esses problemas por meio desta revisão, fornece uma orientação direcionada para pesquisadores e formuladores de políticas públicas, visando materializar o acesso e uso da energia fotovoltaica em áreas rurais. Portanto, a questão que se coloca é: Quais são os desafios e dificuldades apresentadas por moradores rurais para o acesso à energia fotovoltaica em suas propriedades, dadas as políticas públicas existentes? Em face da problemática exposta, o objetivo geral desta pesquisa foi identificar, por

meio de uma revisão sistemática da literatura com recorte de políticas públicas, os desafios e dificuldades enfrentados pelas populações rurais para implementar a energia solar fotovoltaica.

## 2 METODOLOGIA

A estratégia metodológica deste estudo de revisão sistemática foi baseada em métodos, técnicas e procedimentos estabelecidos por Tranfield, Denyer e Smart (2003). A construção desta pesquisa está fundamentada no problema de pesquisa e no protocolo de revisão Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA/2020) de Page et al. (2021).

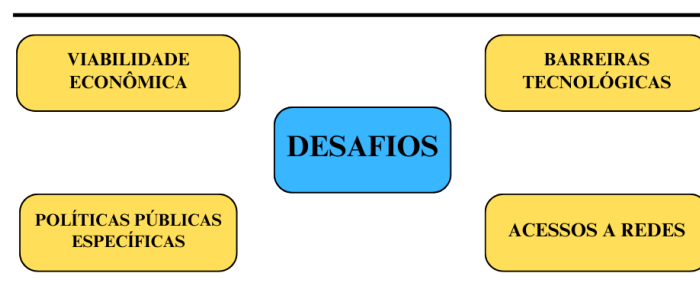
A operacionalização desta revisão sistemática baseou-se em buscas de artigos internacionais nas bases de dados Web of Science e Scopus. Para a pesquisa, foi selecionado o filtro de busca “título, resumo, palavras-chave”, e aplicaram-se os seguintes termos e operadores *booleanos*: ( “photovoltaic energy” OR “photovoltaic” OR “solar energy” ) AND ( “public policies” OR “public policy” OR “government policies” OR “government programs” ) AND ( “rural área” OR “rural producer” OR “farms” OR “rural communities” ). Portanto, as políticas públicas existentes foram o contexto dos estudos apresentados.

Esta pesquisa foi feita entre os meses de maio e junho de 2024 e gerou 49 artigos. Inicialmente, o material duplicado foi removido e os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados, resultando na seleção de 15 artigos, dos quais foram então utilizados para estabelecer os códigos e as categorias de análise deste estudo. Por fim, os artigos selecionados foram analisados, sintetizados e discutidos para abordar os principais problemas enfrentados por moradores rurais na adoção de sistemas fotovoltaicos em áreas rurais.

## 3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este estudo identificou quatro desafios que podem dificultar a implementação da energia fotovoltaica em áreas rurais, mesmo com a existência de políticas públicas para o setor, conforme ilustrado na Figura 1. Os desafios destacados nesta pesquisa devem ser encarados como questões de ordem pública, que demandam de estratégias governamentais para serem resolvidos ou minimizados.

Figura 1 – Desafios identificados para a implementação da energia solar no meio rural.



Fonte: elaborado pelos autores.

O desafio relacionado à **viabilidade econômica** está atrelado a fatores como: 1) alto custo inicial para implementação de sistemas fotovoltaicos em áreas rurais; 2) dificuldade em criar uma cultura de pagamento em comunidades rurais (Eras-Almeida et al., 2023; Graber, 2019; Lahimer et al., 2013).

As principais razões para a dificuldade na eletrificação rural estão relacionadas aos altos custos iniciais dos equipamentos e às redes descentralizadas de fornecimento de eletricidade

que estão sendo gradualmente ampliadas. Além disso, questões como o alto custo de transmissão e distribuição, a baixa demanda de eletricidade, o baixo consumo e a dependência excessiva dos doadores dificultam a expansão de energias renováveis em áreas rurais e impedem a adoção em larga escala (Borhanazad et al., 2013; Lahimer et al., 2013).

Estudo de Opiyo (2016) destaca que os modelos de grids comunitários são uma combinação fotovoltaica propícia para se adotar em áreas rurais. No entanto, os elevados custos iniciais ainda são uma barreira, a qual demanda de subsídios estatais, para que se possa incentivar a adoção desse formato de geração de energia solar. No que se refere ao modelo de microrredes de geração de energia fotovoltaica, utilizados por muitas populações rurais, além de envolver altos custos iniciais, enfrenta problemas relacionados a riscos elevados devido às incertezas e ambiguidades políticas. Compreende-se que problemas dessa natureza inibe o interesse de investidores (Graber, 2019).

Outro desafio observado em populações ou comunidades rurais está relacionado à dificuldade de criar uma “cultura de pagamento” entre os usuários da energia solar. Isso ocorre porque, em muitos casos o fornecimento de energia é o primeiro serviço público a ser disponibilizados nesses locais. Sendo assim, as comunidades rurais podem não ter consciência de que é necessário pagar para garantir a continuidade do serviço, do qual exige manutenção e reparos periódicos para manter seu funcionamento (Bikam & Mulaudzi, 2006; Eras-Almeida et al., 2023).

O fato de as microrredes possuírem um modelo econômico diferente do convencional das usinas de energia, dificulta a viabilidade deste tipo de solução fotovoltaica a longo prazo. Essa questão gera a preocupação de que as microrredes não se tornem autossuficientes, pois muitos consumidores não estão dispostos ou mesmo são incapazes de arcar com os custos necessários para o fornecimento e a manutenção dos sistemas fotovoltaicos (Graber, 2019).

No entanto, identificou-se que a maioria dos projetos de microrredes solares se encontra-se em estágios iniciais e enfrenta desafios significativos devido à falta de políticas públicas robustas e apoio financeiro adequado (Ihirwe et al., 2021). Desse modo, os obstáculos iniciais de custos e a manutenção dos serviços energéticos são desafios fundamentais, os quais demandam medidas e políticas específicas, articulando o Estado, instituições e a comunidade (Zhao et al. 2023).

O segundo desafio identificado neste estudo é necessidade de formular **políticas públicas específicas** para cada tipo de energia renovável e criar de regulações adequadas. Isso foi evidenciado porque muitos estudos destacaram que as políticas energéticas criadas ao redor do mundo não consideraram a especificidade da energia solar fotovoltaica. Em muitos casos, as políticas agregam diferentes tipos de energias renováveis, problemas dessa ordem podem desestimular a implementação de determinados tipos de energia renovável, como a solar fotovoltaica, em detrimento de outras (Castro et al., 2024; Graber et al., 2018; Mainali & Silveira, 2011; Silva et al., 2024; Zhao et al., 2023).

O estudo de Castro et al. (2024), que compara a energia derivada do biogás com a energia solar fotovoltaica, sugere a importância de formular e implementar políticas públicas diferenciadas, que possam promover eficazmente cada fonte de energia renovável, considerando suas particularidades e impactos.

O estudo de Mainali e Silveira (2011) descreve que o governo do Nepal prioriza a eletrificação rural por meio de políticas específicas que promovem o uso de tecnologias renováveis, como a energia solar fotovoltaica, no contexto rural. No entanto, os autores se concentram em programas que atendem às necessidades específicas da população rural, e não em políticas diferenciadas para cada modalidade de energia renovável, como é defendido nesta categoria de análise. Apesar do estudo focar nas necessidades da população rural, as políticas e programas públicos permitiram um aumento na demanda por eletricidade proveniente de fontes renováveis em áreas rurais.

A falta de políticas públicas específicas destinadas aos sistemas fotovoltaicos pode dificultar a implementação de arranjos produtivos e residenciais de energia solar, conforme o modelo de geração distribuída. Entende-se que o modelo de geração distribuída de energia solar fotovoltaica pode apresentar um efeito direto e positivo nas condições de vida de comunidades rurais, melhorando a qualidade de vida e fomentando o desenvolvimento sustentável. Portanto, é indispensável a criação de programas e políticas específicas para as orientar decisões técnicas e políticas dos empreendedores de políticas públicas, e assim facilitar a implementação de soluções fotovoltaicas em comunidades rurais (Silva et al., 2024).

Em estudos que abordam as micro e minirredes de energia fotovoltaica, observou-se que as políticas e os regulamentos específicos consideram as particularidades desses arranjos. Em função da dinâmica presente nesse modelo, governos e atores políticos estão constantemente incorporando novas medidas a partir das lições aprendidas em nível internacional e local (Graber, 2019; Książopolski et al., 2020; Ihirwe et al., 2021). Essa perspectiva sugere que o desenvolvimento de políticas abrangentes e regulamentos que envolvam tarifas, planos de eletrificação, licenças, entre outras necessidades, é fundamental para estruturar as mini e microrredes de energia solar em comunidades rurais (Ihirwe et al., 2021).

O desafio relacionado ao **acesso da energia fotovoltaica às redes elétricas**, revelou uma grande dificuldade na conexão de instalações geradoras de energia solar às redes de fornecimento e distribuição de energia, principalmente em áreas rurais. Entretanto, a preferência das comunidades rurais e do governo por conexões à rede elétrica centralizada pode comprometer a continuidade de projetos de energia autônoma (Lestari et al., 2018).

Silva et al. (2024) destacaram que os estudos identificados na literatura sobre geração distribuída rural e pobreza energética estão predominantemente vinculados a sistemas isolados, negligenciando uma abordagem sistemática do impacto da geração distribuída conectada à rede no bem-estar das comunidades rurais.

Um arranjo muito comum em áreas rurais são as instalações de minirredes fora da rede de distribuição de energia, uma abordagem utilizada em vários países, dos quais apresentam dificuldades para construir estruturas de redes interligadas. Desta forma, as microrredes baseadas em energia solar são implementadas para fornecer eletricidade a áreas rurais onde a extensão da rede central, não é técnica ou economicamente viável (Graber, 2019; Wassie & Ahlgren, 2024). Apesar disso, esse modelo pode ser economicamente inviável para as populações rurais por motivos como a demanda energética insuficiente, altos níveis de consumo e a carga não atendida (Wassie & Ahlgren, 2024).

O desafio relacionado às **barreiras tecnológicas** destaca que as soluções energéticas fotovoltaicas implementadas raramente são adaptadas ao contexto em que o sistema fotovoltaico será instalado. Esse problema sugere que, constantemente, as tecnologias fotovoltaicas são desenvolvidas para os contextos urbanos ou países desenvolvidos, onde as condições climáticas, infraestruturas e necessidades energéticas são divergentes das encontradas em áreas rurais ou em países em desenvolvimento (Eras-Almeida et al., 2023).

Além das dificuldades tecnológicas, existem barreiras técnicas que afetam o desempenho dos painéis fotovoltaicos em áreas rurais da Malásia, Borhanazad et al. (2013) evidenciaram os seguintes os problemas: 1) fatores ambientais, como poeira, sujeira, detritos de árvores e musgo nos painéis, podem afetar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Essas circunstâncias exigem a manutenção periódica e a limpeza dos painéis para garantir o bom desempenho da placa solar; 2) a falta de informações técnicas e comerciais adequadas pode dificultar a tomada de decisões econômicas concretas.

A falta de conhecimento técnico entre os agricultores e a capacidade limitada das instituições públicas para oferecer suporte técnico são desafios consideráveis, o que cria a necessidade de capacitação e o treinamento, para aumentar a adesão e a eficácia das iniciativas de energia solar em áreas rurais (Al-Saidi & Lahham, 2019; Lestari et al., 2018).

Lestari et al., (2018) revelaram que a tecnologia baseada em energia solar é mais desafiante por ser mais frágil e complexa em comparação a tecnologia de energia hidroelétrica. Outra questão observada foi que o suporte técnico para a manutenção e reposição peças sobressalentes é muito limitado em projetos de energia solar. De maneira similar, Bikam e Mulaudzi (2006) descrevem que a implementação inicial de projetos de energia fotovoltaica apresenta desafios únicos, como a logística de manutenção e substituição de componentes.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão sistemática permitiu identificar que as populações e as comunidades rurais de diversos países, ainda sofrem dificuldades de acesso à energia, em decorrência de uma série de problemas estruturais, como a falta de infraestrutura de rede adequada, os custos elevados de instalação, a ausência de políticas públicas de subsídios, regulamentações inadequadas e as barreiras tecnológicas. Em tese, esses desafios identificados não estão restritos apenas ao contexto rural; problemas dessa natureza podem comprometer o movimento de transição energética global e a expansão e difusão da energia solar fotovoltaica no mundo.

Vale destacar que o desafio relacionado à criação de políticas públicas específicas para a adoção de sistemas fotovoltaicos foi identificado com muita frequência em várias das publicações analisadas. Isso indicou que uma parte significativa das políticas públicas criadas para estimular a transição energética incorpora a energia solar fotovoltaica em conjunto com outras fontes de energia renovável, desconsiderando as especificidades da energia fotovoltaica.

Conclui-se que os moradores rurais apresentam dificuldades relacionadas ao alto custo econômico das tecnologias fotovoltaicas, visto como um fator significativo que afeta a participação do habitante do campo na transição energética. Portanto, é essencial a atuação do poder público para reduzir problemas de ordem econômica, tornando a energia fotovoltaica mais viável e encorajando a população rural a se envolver no processo de transição para a energia verde.

#### REFERÊNCIAS

- Al-Saidi, M., & Lahham, N. (2019). Solar energy farming as a development innovation for vulnerable water basins. *Development in Practice*, 29(5), 619-634.
- Ali, S., Yan, Q., Irfan, M., Ameer, W., Atchike, D. W., & Acevedo-Duque, A. (2022). Green investment for sustainable business development: the influence of policy instruments on solar technology adoption. *Frontiers in Energy Research*, 10, 874824.
- Bikam, P., & Mulaudzi, D. J. (2006). Solar energy trial in Folevohodwe South Africa: Lessons for policy and decision-makers. *Renewable energy*, 31(10), 1561-1571.
- Borhanazad, H., Mekhilef, S., Saidur, R., & Boroumandjazi, G. (2013). Potential application of renewable energy for rural electrification in Malaysia. *Renewable Energy*, 59, 210-219.
- Castro, P. H. G. R. P., Oliveira Filho, D., Rosa, A. P., Gracia, L. M. N., & Silva, T. C. A. (2024). Comparison of externalities of biogas and photovoltaic solar energy for energy planning. *Energy Policy*, 188, 114070.
- Eras-Almeida, A. A., Vásquez-Hernández, T., Hurtado-Moncada, M. J., & Egado-Aguilera, M. A. (2023). A Comprehensive Evaluation of Off-Grid Photovoltaic Experiences in Non-Interconnected Zones of Colombia: Integrating a Sustainable Perspective. *Energies*, 16(5), 2292.
- Francis, K., Dongying, S., Dennis, A., Edmund, N. N. K., & Kumah, N. Y. G. (2022). Network governance and renewable energy transition in sub-Saharan Africa: Contextual evidence from Ghana. *Energy for Sustainable Development*, 69, 202-210.

- Graber, S., Narayanan, S., Alfaro, J. F., & Palit, D. (2018). Solar microgrids in rural India: Consumers' willingness to pay for attributes of electricity. *Energy for Sustainable Development, 42*, 32-43.
- Ihirwe, J. P., Li, Z., Sun, K., Bimenyimana, S., Wang, C., Asemota, G. N. O., Nduwamungu, A., & Mesa, C. K. (2021). Solar PV minigrid technology: Peak shaving analysis in the East African Community countries. *International Journal of Photoenergy, 2021*, 5580264. <https://doi.org/10.1155/2021/5580264>
- Książopolski, K., Drygas, M., Pronińska, K., & Nurzyńska, I. (2020). The economic effects of new patterns of energy efficiency and heat sources in rural single-family houses in Poland. *Energies, 13*(23), 6358.
- Lahimer, A. A., Alghoul, M. A., Yousif, F., Razykov, T. M., Amin, N., & Sopian, K. (2013). Research and development aspects on decentralized electrification options for rural household. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24*, 314-324.
- Lestari, H., Arentsen, M., Bressers, H., Gunawan, B., Iskandar, J., & Parikesit. (2018). Sustainability of renewable off-grid technology for rural electrification: A comparative study using the IAD framework. *Sustainability, 10*(12), 4512.
- Li, L., Gu, J., & Wu, D. (2024). Mechanism analysis of rural residents' participation in green energy transition: A community-level case study in Nanjing, China. *Heliyon, 10*(13).
- Liu, J., & Lin, X. (2019). Empirical analysis and strategy suggestions on the value-added capacity of photovoltaic industry value chain in China. *Energy, 180*, 356-366.
- Mainali, B., & Silveira, S. (2011). Financing off-grid rural electrification: country case Nepal. *Energy, 36*(4), 2194-2201.
- Murshed, M., Apergis, N., Alam, M. S., Khan, U., & Mahmud, S. (2022). The impacts of renewable energy, financial inclusivity, globalization, economic growth, and urbanization on carbon productivity: Evidence from net moderation and mediation effects of energy efficiency gains. *Renewable Energy, 196*, 824-838.
- Opiyo, N. (2016). A survey informed PV-based cost-effective electrification options for rural sub-Saharan Africa. *Energy Policy, 91*, 1-11.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71.
- Ramachandran, T., Mourad, A. H. I., & Hamed, F. (2022). A Review on Solar Energy Utilization and Projects: Development in and around the UAE. *Energies, 15*(10), 3754.
- Silva, E. T., Martins, M. A. F., Rodríguez, J. L. M., & Ferreira, A. S. (2024). Evaluation of the influence of distributed generation on the well-being of the rural community using PLS-SEM. *Journal of Cleaner Production, 442*, 141023.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management, 14*(3), 207-222.
- Wassie, Y. T., & Ahlgren, E. O. (2024). Understanding the load profiles and electricity consumption patterns of PV mini-grid customers in rural off-grid east africa: A data-driven study. *Energy Policy, 185*, 113969.
- Zhao, Y., Shuai, J., Wang, C., Shuai, C., Cheng, X., Wang, Y., Zhang, Z., Ding, L., Zhu, Y., & Zhou, N. (2023). Do the photovoltaic poverty alleviation programs alleviate local energy poverty? — Empirical evidence of 9 counties in rural China. *Energy, 263*, 125973.