



## **ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE PEQUENO PORTE PARA ATENDIMENTO DE COMUNIDADES ISOLADAS DA REDE ELÉTRICA DE CONCESSIONÁRIAS**

José Augusto Alves

Alves, J.A.; Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
jgst.alves@gmail.com.br

Paulo Hélio Kanayama

Kanayama, P.H.; Faculdade de Tecnologia de Itaquera  
paulo.kanayama@fatec.sp.gov.br

Jesuvaldo Luiz Rossi

Rossi, J.L.; Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
jelrossi@gmail.com

Cristiano Stefano Mucsi

Mucsi, C.S.; Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
csmucsi@gmail.com

### **RESUMO**

No Brasil a avaliação de conformidade dos equipamentos para sistemas fotovoltaicos é feita com base na Portaria nº 140, de 21 de março de 2022, do INMETRO, que admite eficiência de inversores em torno de 85 %. Entretanto existem equipamentos comerciais com rendimento melhor e até 95 % de eficiência, porém com custo mais elevado. Para este trabalho foram realizadas visita de campo, experiências de observação em reportagens recentes e uma revisão na literatura. Os resultados observados permitem confirmar a importância da escolha de equipamentos com maior rendimento e com características mais adequadas de eficiência para a operação dos aparelhos domésticos instalados. Assim podendo como consequência propiciar maior eficiência do sistema, trazendo melhor qualidade de vida para os moradores de comunidades isoladas ou de refugiados após catástrofes climáticas ou conflitos armados.

Palavras chave: Sistemas fotovoltaicos, rendimento de sistemas fotovoltaicos, mitigação de desastres naturais, Luz para Todos

## INTRODUÇÃO

Apesar da ampla distribuição de energia elétrica residencial e industrial no Brasil, ainda há comunidades isoladas que não são atendidas pela rede de distribuição, bem como situações nas quais comunidades ficam isoladas da distribuição devido a crises naturais ou sociais. O acesso à energia elétrica contribui significativamente com o desenvolvimento das comunidades, aumentando o número de horas de trabalho, estudo e de lazer que a iluminação artificial propicia. (1)

A universalização do acesso à energia elétrica começou a ser estruturada no Brasil a partir do início dos anos 2000, quando a promulgação da LEI Nº 10.438, em 26 de abril de 2002, que criou o programa de incentivo a fontes alternativas de energia elétrica (PROINFRA) e definiu que a universalização dos serviços públicos de energia elétrica deveria ser realizada de forma gratuita, sem ônus de qualquer espécie ao solicitante, nos horizontes temporais estabelecidos pela ANEEL (2).

Assim possibilitando a criação do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz para Todos (LPT), e o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal – Mais Luz para a Amazônia (MLA), que foram instituídos pelo governo federal e operacionalizados pela Eletrobrás, responsáveis em suprir a demanda das pessoas e comunidades sem acesso à energia elétrica. (3)

As ações foram tomadas visando atender a meta original estabelecida de 10 milhões de unidade, porém segundo estimativas do próprio governo, na avaliação de 2021 existiam cerca de 420 mil famílias sem acesso. O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), apresentou um relatório em 2023 que estima uma demanda de mais de três milhões de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI) com capacidade de gerar 45 kWh/mês para o atendimento das comunidades e assim atingir as metas de universalização. (4)

Havia uma expectativa de que o Censo de 2022 promovesse a atualização das informações, mas conforme descrito no documento que trata a definição dos critérios para as características dos domicílios pelo IBGE, quesitos existentes no Questionário Básico de 2010 não foram contempladas no Questionário Básico de 2022, atendendo a orientações de redução do questionário. Assim os quesitos de existência de energia elétrica e existência de medidor ou relógio de energia elétrica no domicílio que foram coletados em 2010 não foram investigados em 2022. (5)

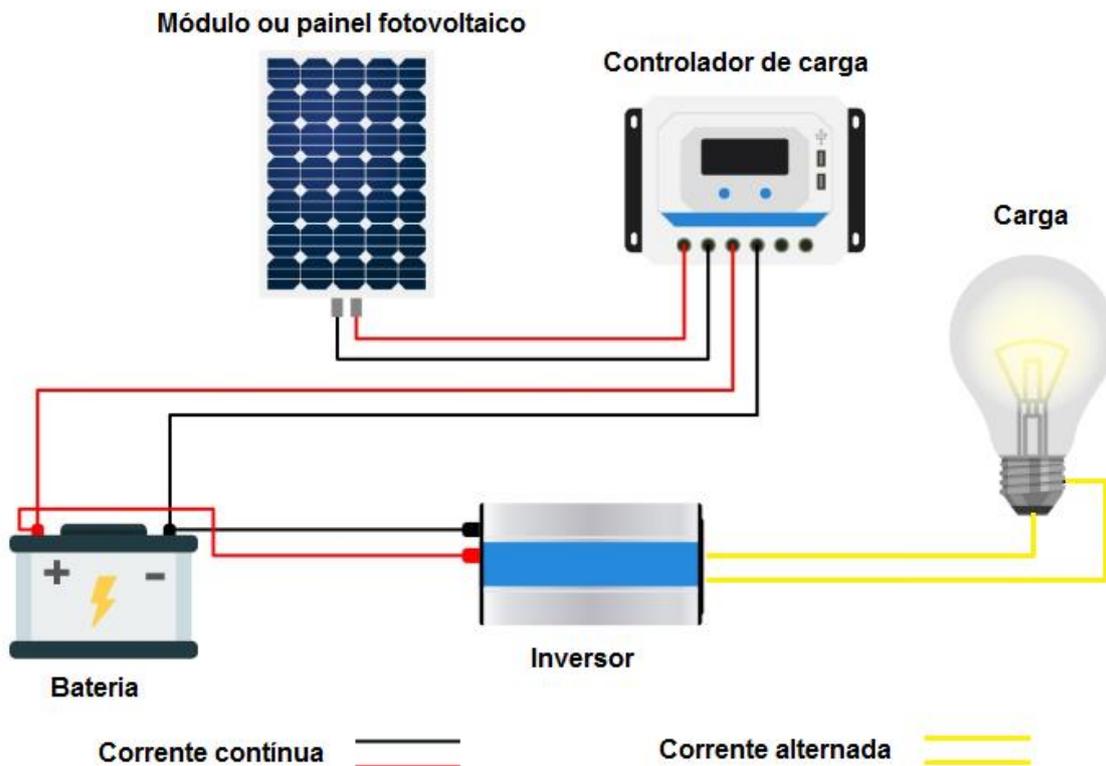
No âmbito dos programas de universalização, LpT e MLA, os sistemas são orientados por meio de um guia técnico para atendimento com sistemas de geração fotovoltaica para domicílios, o qual define o Kit de Instalação Interna e os critérios mínimos da estrutura de fornecimento e instalação, podendo ser construído com base em fonte alternativa de energia. Garantindo a disponibilidade energética mensal que atenda às necessidades básicas com no mínimo 45 kWh/mês. (6)

O Banco Mundial, a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNSD), a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), produziram um estudo, “*Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*”, o relatório aponta haver 733 milhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso à eletricidade e estima que 670 milhões de pessoas permanecerão sem eletricidade até 2030. (7)

Esforços têm sido direcionados em vistas de aumentar a eficiência dos equipamentos utilizados em sistemas de geração fotovoltaica, com a utilização de novos materiais, desde os painéis fotovoltaicos aos outros dispositivos: inversores, controladores de carga, acumuladores de energia e/ou baterias, cabos e sistemas de proteção. Entre eles os painéis vêm apresentando nos últimos anos, redução no custo e assim ficando mais acessíveis. (8)

Os sistemas fotovoltaicos isolados podem ser caracterizados por três blocos: geração, armazenamento e condicionamento de potência. No primeiro estão os módulos ou painéis fotovoltaicos, no segundo os acumuladores ou baterias e no último bloco estão os dispositivos eletrônicos, como os controladores de carga e os inversores para produzir a corrente alternada (c.a.). Uma visão geral do sistema é representada no diagrama funcional da Figura 1. (9)

Figura 1 – Diagrama funcional do SFI com carga c.a.



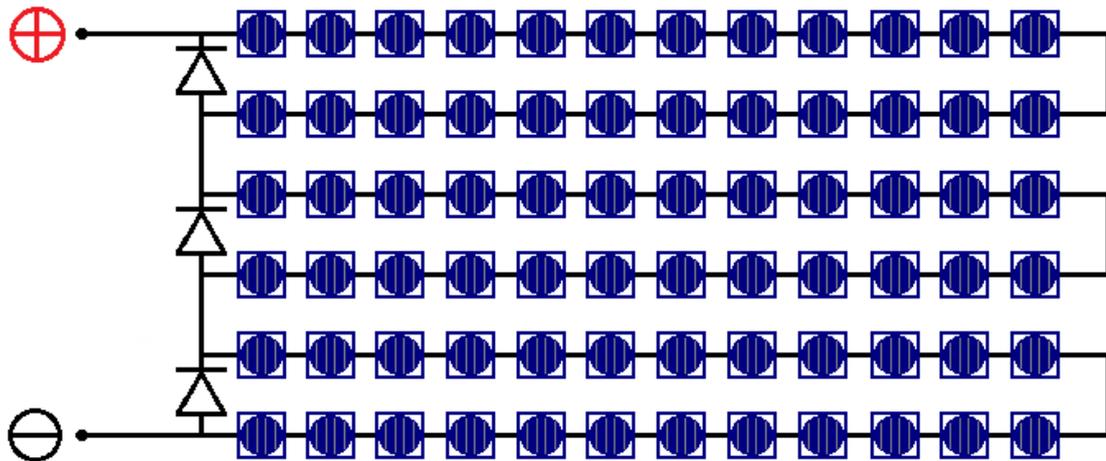
Fonte: Neosolar, com adaptações. (10)

A energia elétrica é produzida nos painéis a partir de células fotovoltaicas. A tensão produzida em cada célula fica em torno de 0,5 a 0,8 V, assim como um diodo semicondutor comum, fornecendo corrente contínua (c.c.) na saída. A eficiência dos painéis está relacionada a qualidade dos materiais utilizados no processo de conversão da energia solar incidente sobre as células fotovoltaicas em energia elétrica, considerando a potência elétrica que é produzida. (9)

Módulos de sistemas *off-grid*, para carregar baterias de 12 V costumam ter 36 células em série e podem ser configurados para 24 ou 48 V. Os módulos para sistemas *on-grid* têm em geral 60, 72 ou 144 células, mas podem ser aplicados no sistema *off-grid* respeitando a tensão.

Os diodos “*by-pass*” ou diodos de desvio, são utilizados para reduzir o risco de danos por conta do surgimento de “pontos quentes”, ocasionados pelo sombreamento de uma célula específica ou um conjunto delas, oriundo de sujeira sobre o módulo. Quando há o sombreamento a corrente da célula diminui aumentando a impedância, origem do aquecimento, então o diodo “*by-pass*” oferece um caminho alternativo para a corrente e reduzindo o risco de danos ao módulo. A Figura 2 apresenta a conexão de um módulo de 72 células que conta com três diodos “*by-pass*”. (9)

Figura 2 – Conexão de células em módulo de 72 células e três diodos *by-pass*.



Fonte: Autor

Quanto aos materiais das células solares presentes nos painéis fotovoltaicos comercializados no mercado mundial, estima-se que 93% são de silício cristalino (c-Si). O silício de grau eletrônico (Si-gE), utilizado na indústria de *chips*, é mais puro que o de grau solar (Si-gS) que tem menor custo, pois não pode ser utilizado na indústria de eletrônica, ambos são obtidos a partir do silício de grau metalúrgico (SI-gM) que é obtido da sílica (SiO<sub>2</sub>) em fornos a temperatura de 1780°. Essas células são dos tipos monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si), produzidas através de processos diferentes, o que leva o segundo a obter um desempenho um pouco inferior ao primeiro, principalmente por ser constituído de grãos cristalinos justapostos, que propicia pontos ou fronteiras de distorção da rede cristalina dificultando a mobilidade dos portadores de carga. (9)

Além das células já citadas também são utilizadas em menor escala outros tipos, como as células de silício nanocristalino amorfo (a-Si) e de filme fino, de disseleneto de Cobre-Índio e Gálio (CIGS), de telureto de Cádmio (CdTe), as orgânicas de multijunção e de corantes, entre outras. (9)

Desde 2009 uma tecnologia tem conquistado espaço, a perovskita, tendo uma evolução na eficiência que foi de 3,8 % para 26,1 %, compatível com os tradicionais módulos de silício do mercado atual, entretanto tem baixa durabilidade. Uma nova técnica, utiliza a célula solar mista, com uma camada perovskita e outra de silício, chamada de célula solar tandem, obtendo eficiência em laboratório de 33,7%, recorde registrado em junho de 2023, na Arábia Saudita pela Universidade de Ciência e Tecnologia Rei Abdullah. (11)

No Brasil existem centros de pesquisa sobre as células fotovoltaicas, como da Escola Politécnica da USP-SP e do Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar) do Parque Científico e Tecnológico da PUC-RS, onde além das células de silício, também são desenvolvidas pesquisas das células de perovskita. Um instituto de Belo Horizonte chamado de Oninn, que até 2022 se chamava CSEM Brasil, desenvolve pesquisas com perovskita, com foco na redução do custo de produção em larga escala, ao ponto de ser viável sua troca após seu tempo de vida útil, prevendo o sistema de reciclagem para os painéis, para minimizar os impactos ambientais. (11)

Com relação aos equipamentos e dispositivos para sistemas fotovoltaicos, a avaliação de conformidade no Brasil é feita com base na Portaria nº 140, de 21 de março de 2022, do INMETRO, que permite, por exemplo, um valor de eficiência dos inversores em torno de 85 %, com a máxima potência nominal sendo utilizada. (12)

No sistema gerador fotovoltaico isolado, os inversores são responsáveis por converter a energia elétrica da forma de c.c., fornecida pelos painéis solares e que é armazenada nas baterias para a forma de c.a. que será aplicada nos equipamentos da habitação, com amplitude e frequência similar à presente na rede elétrica que abastece as residências atendidas por concessionárias. (9)

Os inversores são construídos com base em dispositivos semicondutores de potência, que atuam de forma similar a chaves do tipo liga e desliga, porém, controladas de forma eletrônica, enquanto as chaves possuem resistividade desprezível, por não possuírem essa característica os semicondutores dos inversores geram perdas na comutação que impactam na eficiência. Atualmente existem equipamentos comerciais com até 95 % de eficiência, com custo mais elevado. (9)

As baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados de pequeno porte são as de Chumbo-cálcio (Pb-Ca) ou as chamadas baterias seladas (Pb-ácido) que possuem um ciclo interno de Oxigênio para eliminar a perda de água, são em geral de baixa manutenção, exigindo apenas uma limpeza anual dos terminais, possuem durabilidade média estimada de dois a quatro anos e eficiência que varia de 85 a 95 %. (9)

Os controladores de carga têm como principal função proteger a bateria (ou banco de baterias) controlando a quantidade de energia fornecida, durante os períodos de carga ou descarga para evitar grandes variações que possam causar danos. Precisam ser especificados conforme o tipo de bateria que será utilizada, ou

ser do tipo configurável, para calibrado, garantir a eficiência, que atinge valores em torno de 92 a 97 %. (9)

A maior carga do sistema é de refrigeração, que com novas tecnologias vem apresentando índices menores de consumo de energia e ruído. Uma dessas tendências tecnológicas relacionada aos compressores, está no uso de motores conhecidos como BLDC (*brushless direct current*), que acompanhados dos dispositivos de controle eletrônicos possibilitam um funcionamento com maior eficiência energética. (13)

Tradicionalmente, os compressores utilizam o controle do tipo *on/off* aplicado nos motores elétricos de indução monofásicos, que atuam com velocidade constante, ligando e desligando de acordo com demanda de refrigeração. Com o controle por meio de velocidade variável, a capacidade do sistema de refrigeração é adaptada à carga nas diferentes condições de operação, reduzindo o consumo de energia. (14)

A tecnologia presente nos motores do tipo BLDC contempla inclusive parte dos veículos elétricos atuais, por ser capaz de produzir grandes potências devido a utilização de dispositivos controles específicos que permitem partidas suaves, ou seja, sem exigir picos de corrente, problema característico do motor dos compressores tradicionais dos refrigeradores, o que acaba dificultando seu uso mesmo com os inversores, que precisam ter muita potência para suportar esse pico de partida. (15)

Com a evolução tecnológica novos tipos de motores sem escovas vêm sendo estudados, desenvolvidos e aplicados, principalmente para uso em veículos elétricos. Uma vertente busca eliminar os ímãs permanentes desses motores, adotando como alternativa bobinas para excitação de campo, obtendo redução de custos ao eliminar o uso dos materiais de terras raras presentes nos ímãs. (16)

Em vistas de melhorar a eficiência energética das cargas no sistema elétrico, recentemente o governo brasileiro tomou ações relacionadas aos equipamentos de refrigeração, focado nos aparelhos refrigeradores e congeladores comercializados no país, através da Resolução nº2 de 23 nov. 2023 do MME. Estabelecendo como meta e com prazo até o final de 2027, que os aparelhos devem apresentar eficiência energética mínima de 90 %, considerando equipamentos em c.a. de 60 Hz em tensões de 127 V ou 220 V, assim como para os tenham operação em c.c. (17)

## MATERIAIS E MÉTODOS

Com base na revisão literatura e para maior proximidade com a realidade de uso de energia em unidades isoladas, foram obtidos dados em visitas de campo realizadas à duas comunidades atendidas por concessionárias com sistemas de geração de energia fotovoltaica e em observações de reportagens realizadas também em comunidades sem acesso à rede elétrica de energia.

As comunidades visitadas foram Ilha Escura e Serraria, ambas no estado de São Paulo, nas cidades de São José dos Campos e Ilhabela, atendidas pelas concessionárias de energia elétrica EDP e Elektro, respectivamente.

Na visita a Ilha Escura os moradores relataram que os sistemas individuais foram instalados em 2013 e apresentaram muitos problemas, parte deles foram resolvidos pela concessionária, mas alguns sistemas no momento não estavam funcionando, bem como alguns sistemas para iluminação das áreas comuns. Alguns moradores afirmaram que fizeram por conta própria a substituição das baterias para manter o funcionamento dos sistemas de suas moradias. Pelos relatos, a concessionária não vem dando suporte de manutenção dos sistemas na frequência adequada. Os moradores afirmaram que mudaram a posição de instalação de alguns sistemas fotovoltaicos por iniciativa própria, para diminuir ou eliminar o risco de sombreamento. Por outro lado, receberam informações da concessionária sobre como manter a limpeza dos painéis solares, o que fazem regularmente.

Em Serraria os moradores relataram que os sistemas estavam todos funcionando e que têm recebido as manutenções adequadas, assim os sistemas poucas vezes deixaram de funcionar, citaram que os primeiros sistemas instalados foram substituídos por modelos de maior capacidade e uma recente troca de baterias, realizada pela concessionária. No entanto relatam que a energia é limitada as atividades da residência, não permitindo o uso de freezers de maior capacidade para o armazenamento de peixes, o que faz com que toda produção seja vendida imediatamente.

Com a visita nas duas comunidades pode se observar um certo padrão nas moradias, em geral têm entre três e quatro cômodos, sendo um ou dois quartos, uma cozinha, uma sala e um banheiro, que as vezes é do lado de fora, não há chuveiro elétrico. Para a iluminação são usadas em torno de cinco lâmpadas além de uma ou

duas para área externa. Alguns equipamentos também são comuns, como o aparelho de TV tipo LCD ou Led, algum aparelho de som, celulares e a geladeira.

Uma das reportagens observadas apresenta a situação na região de Paulistana, município no Piauí, que possui uma grande extensão em área territorial, até quando comparado com o município de São Paulo/SP, conforme a Tabela 1, com base em dados do IBGE, relativos as Cidades e Estados do Brasil. (18)

Tabela 1 – Comparação dados municípios de Paulistana/PI e São Paulo/SP.

Município	Área territorial	População	Densidade demográfica habitante/km <sup>2</sup>
Paulistana - PI	1.941,111 km <sup>2</sup>	21.055	10,85
São Paulo - SP	1.521,202 km <sup>2</sup>	11.451.999	7.528,26

Fonte: IBGE, 2024 (18)

A reportagem foi exibida janeiro de 2024, mas desenvolvida a partir do início de agosto de 2023, mostra os resultados das ações do programa LpT no Piauí. São entrevistadas três famílias de agricultores que já deveriam ter sido atendidas pelo programa LpT, um representante da empresa concessionária de energia na região e o ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira de Oliveira. (19)

Na primeira entrevista, na moradia havia um painel solar conectado a um pequeno inversor, o que permitia apenas o funcionamento da televisão e alguns poucos pontos de luz. A segunda entrevista foi realizada em uma moradia aproximadamente a 13 km de distância de um ponto com energia da rede, que possuía apenas equipamentos com funcionamento a pilha, como um pequeno rádio e uma lanterna. O terceiro entrevistado tinha instalado um sistema solar adquirido com recursos próprios, mas que não apresenta funcionamento adequado, pois se mostrou incapaz de manter em funcionamento uma geladeira, uma televisão e alguns pontos de luz, utilizando um inversor de 2000 W e quatro baterias estacionárias. (19)

A reportagem também entrevista outra família, mas que recebeu a ligação de energia da rede da concessionária local em 24 dez de 2019. Os entrevistados relataram que estavam satisfeitos com o serviço, pois passaram a utilizar de forma efetiva a televisão, a geladeira, a lava roupas e uma máquina de fazer arroz, além do celular e um computador com acesso à internet para comunicação. A filha do casal inclusive pode voltar a estudar, cursando pedagogia em universidade com ensino a distância (EAD). O morador afirma que o acesso à energia elétrica trouxe 100 % de

melhora na vida da família, mas deseja que as demais famílias da região também sejam atendidas. (19)

Na entrevista o representante da concessionária da região, Equatorial Energia do Piauí, afirmou que para cada Km de linha de distribuição a empresa tem um custo aproximado de R\$ 71.170,00 e que em 2018 cada extensão de linhas atendia cerca de oito novos clientes e atualmente esse número caiu para três. Informou que a empresa realizou 100 novas ligações entre 2020 e 2022 e que realizaria mais 150 até o final de 2023. (19)

A reportagem lembra que em 2016 havia cerca de 700 unidades consumidoras sem energia na região e em 2023 esse número era de 400, informa também que segundo os moradores, desde 2020 não foram efetuadas novas ligações. Na região o LpT fornece um subsídio de 15 a 50 mil reais para cada unidade atendida dependendo da distância, mas segundo a empresa distribuidora o não atendimento não é uma questão de lucro. (19)

O ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira de Oliveira, informou a reportagem que desde sua criação o LpT promoveu cerca de 4 milhões de atendimentos e no país ainda existem aproximadamente 500 mil famílias sem acesso à energia elétrica, sendo que o prazo para o atendimento dessas famílias deve ser estendido até 2026. Informou também que estavam ocorrendo os processos de renovação dos contratos das empresas concessionárias de energia e afirmou que cabe ao estado impor regras mais consistentes ou de maior eficiência nas avaliações da ANEEL, assim considerava incluir nos contratos que no caso de não atendimento das demandas, possa penalizar a empresa até com a perda da concessão. (19)

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na visita a comunidade de Ilha Escura, em São José dos Campos/SP, já na chegada foi possível observar que alguns dos painéis solares dos sistemas estavam entre as árvores e as casas, sujeitos ao sombreamento, o que provoca a perda de eficiência na produção de energia e até pode causar danos aos painéis, se gerar pontos quentes. A distância de pouco mais de 4 km em linha reta até as linhas de energia elétrica na região da estrada de acesso, ou de pouco mais de 1 km até outras linhas, cruzando o Rio Paraíba do Sul, apontam que não é a distância o impedimento para que a comunidade seja conectada à rede convencional.

Na visita a comunidade de Serraria, ainda do barco na chegada foi possível observar a presença dos morros próximos a praia e visualizar alguns painéis em pontos mais altos e outros sujeitos ao sombreamento por conta das árvores e dos morros. A distância de aproximadamente 10 km em linha reta pelo interior da ilha ou 16 km pela região costeira não são grandes, porém o relevo e a necessidade de desmatamento e do licenciamento ambiental para a construção da infraestrutura, são obstáculos significativos para a conexão da comunidade a rede elétrica convencional.

Quanto a reportagem citada, pode ser observado que em uma moradia havia um painel solar conectado a um pequeno inversor de 500 VA por 350 W, com eficiência energética de 70%, abaixo do limite mínimo de 85 %, permitindo apenas o funcionamento da televisão e alguns pontos de luz. Segundo a moradora o custo das baterias é alto na região, em torno de R\$ 900,00 por uma de 100 Ah. (19)

Em outra moradia foi observado um sistema gerador fotovoltaico, mas montado de forma inadequada, com cabos soltos e baterias colocadas sobre cadeiras em um dos cômodos, quanto ao inversor visualizado, esse pode não produzir a potência indicada e não atingir a eficiência mínima de 85 %, além do mais o controlador de carga aparece desconectado do sistema. (19)

Importante salientar que esses sistemas foram montados pelos próprios moradores, demonstrando que a falta de informações acaba produzindo resultados de baixa qualidade como montagens de forma inadequada e por consequência menor credibilidade dos próprios usuários quanto a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

A partir das informações da pesquisa é possível observar que o autoconsumo do inversor é significativo em sistemas de pequeno porte, mesmo com 95 % de eficiência, com 24 V de tensão utiliza 0,5 A de corrente, a perda de potência no seu funcionamento atinge 12 W, considerando seu uso 24 horas por dia, em 30 dias ele terá um consumo total de 8,64 kWh/mês, como o limite do sistema é 45 kWh/mês, o autoconsumo gera perdas de energia de aproximadamente 19,20 % no sistema.

Os resultados obtidos permitiram observar a importância da escolha de equipamentos com maior rendimento, para a operação dos aparelhos domésticos instalados no protótipo. Assim os equipamentos com características mais adequadas de eficiência e melhor rendimento, podem como consequência propiciar melhores condições de uso para os moradores de comunidades isoladas, com isso trazendo melhor qualidade de vida.

## CONCLUSÃO

No trabalho os resultados apontam a viabilidade do uso de geração fotovoltaica nos sistemas de pequeno porte, dentro do limite máximo definido do padrão SIGFI 45, consumo de até 45 kWh/mês, considerando a aplicação das novas tecnologias, que não era viável com equipamentos de tecnologias tradicionais, com compressores do tipo liga/desliga.

As novas tecnologias disponíveis devido aos materiais que vem sendo aplicados principalmente em semicondutores, permitem o uso de sistemas inteligentes de controle. Na refrigeração em conjunto com motores do tipo sem escovas, os dispositivos com led, como lâmpadas e televisores, entre outros, tem capacidade suficiente para atender as demandas exigidas de uma moradia em localidade isolada ou de refugiados em situações emergenciais por catástrofes naturais ou de conflitos.

O autoconsumo do inversor, é o principal vilão para o sistema, pois acaba gerando um grande desperdício em sistemas de pequeno porte, mesmo com eficiência em torno de 95 %. Então como há grande variedade de inversores para os sistemas isolados no mercado é de suma importância que a eficiência seja a melhor possível nos projetos.

Um dos problemas para o atendimento de sistemas isolados de pequeno porte está relacionado à refrigeração, por conta dos compressores que utilizam motores de indução monofásicos e que consomem muita energia principalmente em suas partidas. As buscas por soluções vêm se intensificado principalmente com as aplicações dos motores BLDC para reduzir o consumo excessivo e os picos de partida.

Por fim, a escolha de dispositivos para formar um sistema adequado e eficiente pode proporcionar uma melhor qualidade de vida às comunidades isoladas ou de refugiados após catástrofes climáticas ou conflitos armados, afinal, enquanto todos não tiverem acesso à energia de qualidade, principalmente nas comunidades mais vulneráveis economicamente, não há demonstração de justiça energética.

## REFERÊNCIAS

1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **ODS, Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>>. Acesso em: 06 ago. 2023.
2. Agência Internacional de Energia. IEA. **World Energy Outlook - WEO2021**, Sumário Executivo, Paris, nov. 2021. Disponível em: <[https://iea.blob.core.windows.net/assets/3e47bf0-312d-4eae-9eb7-6d72af3434b5/WEO2021\\_ES\\_BrazilianPortuguese.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/3e47bf0-312d-4eae-9eb7-6d72af3434b5/WEO2021_ES_BrazilianPortuguese.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2023.
3. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA. **Universalização de acesso e uso da energia elétrica no meio rural brasileiro: lições do Programa Luz para Todos** - Brasil: IICA, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.iica.int/handle/11324/19828>>. Acesso em: 12 mar. 2023.
4. Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA. **Sistemas fotovoltaicos na Amazônia legal: avaliação e proposição de políticas públicas de universalização de energia elétrica e logística reversa**. Disponível em: <[https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/IEMA\\_UniversalizacaoAmazonia20230427.pdf](https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/IEMA_UniversalizacaoAmazonia20230427.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2023.
5. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo Demográfico 2022. Características dos domicílios. Resultados do universo**. Rio de Janeiro, 2024. <<https://static.poder360.com.br/2024/02/censo-2022-caracteristicas-domicilios.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2024.
6. BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **Guia Técnico para Atendimento com Sistemas de Geração Fotovoltaica no âmbito dos Programas Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia**. Versão 2, agosto de 2022. Disponível em: <[https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos/normativos/arquivos/GuiaTcnico paraAtendimentocomGeraoFotovotaicaPLpT.pdf](https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos/normativos/arquivos/GuiaTcnico%20paraAtendimentocomGeraoFotovotaicaPLpT.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2023.
7. Relatório estima que 8% da população não terá acesso à energia em 2030. **Centro de Imprensa das Nações Unidas no Brasil**, publicado no site em 02 jun. 2022. Disponível em: <[https://brasil.un.org/pt-br/184580-relat%C3%B3rio-estima-que-8-da-popula%C3%A7%C3%A3o-n%C3%A3o-ter%C3%A1-acesso-%C3%A0-energia-em-2030#:~:text=No%20ritmo%20atual%20de%20progresso,n%C3%BAmero%207%20\(ODS%207\)>](https://brasil.un.org/pt-br/184580-relat%C3%B3rio-estima-que-8-da-popula%C3%A7%C3%A3o-n%C3%A3o-ter%C3%A1-acesso-%C3%A0-energia-em-2030#:~:text=No%20ritmo%20atual%20de%20progresso,n%C3%BAmero%207%20(ODS%207)>)>. Acesso em: 05 nov. 2023.
8. MOCELIN, André Ricardo. **Implantação e gestão de sistemas fotovoltaicos domiciliares: resultados operacionais de um projeto piloto de aplicação da Resolução ANEEL nº 83/2004. 2007**. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Doi:10.11606/D.86.2007.tde-21092007-145927. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-21092007-145927/publico/Tese.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2023.
9. CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos** - 2014, disponível em: <[https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2024.

10. NEOSOLAR. Controlador de Carga PWM 45A 12/24V. Disponível em: <[https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-pwm-45a-12-24v-epever-viewstar-vs4524au.html?gad\\_source=1&gclid=EAlaIQobChMln674rs7VhAMV8FIIAB2epAHoEAQYAyABEgJQ0fD\\_BwE](https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-pwm-45a-12-24v-epever-viewstar-vs4524au.html?gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMln674rs7VhAMV8FIIAB2epAHoEAQYAyABEgJQ0fD_BwE)>. Acesso em: 14 out. 2023.
11. Jones, Frances. **A corrida pelas células solares de perovskita**. Revista Pesquisa FAPESP. Edição 335, jan. 2024. Publicado em 06 dez 2023. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/a-corrida-pelas-celulas-solares-de-perovskita/>>. Acesso em: 09 dez. 2023.
12. BRASIL. Portaria nº 140, de 21 de março de 2022. **Diário Oficial da União**, publicado em 30 mar. 2021; Edição: 61; Seção: 1; Página: 154. Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, INMETRO. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-140-de-21-de-marco-de-2022-389587680>>. Acesso em: 10 jun. 2023.
13. CRAVO, Edilson. Motores BLDC - O que você precisa saber? **Blog Kalatec Automação**, publicado em 13 set. 2020. Disponível em: <<https://blog.kalatec.com.br/motores-blhc-vantagens/>> Acesso em: 18 maio 2024.
14. LEANDRO, Eduardo. **Um novo sistema de refrigeração com controle de temperatura, compressor aberto, máquina de indução trifásica com velocidade variável e correção ativa do fator de potência do estágio de entrada**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira: [s.n.]. Disponível em: <<https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/87222>>. Acesso em: 14 jan. 2023.
15. **Quais são os principais tipos de motores usados em carros elétricos?** Revista Quatro Rodas, publicado no site em 28 out. 2021. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/quais-sao-os-principais-tipos-de-motores-usados-em-carros-eletricos>>. Acesso em: 14 jan. 2023.
16. BEZERRA, Danielly Lima. **Estudo de um motor brushless sem ímãs permanentes com controle de variação de fluxo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/D.3.2021.tde-10022022-145921>>. Acesso em: 14 jan. 2023.
17. BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Resolução Nº 2, de 23 de nov. 2023. **Diário Oficial da União**, publicado em: 08 dez. 2023, Edição: 233, Seção: 1, Página: 218. Órgão: Ministério de Minas e Energia/Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-2-de-23-de-novembro-de-2023-529241643>>. Acesso em: 23 dez. 2023.
18. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2024.
19. **Brasil na escuridão**. Globo Rural. Produzido e editado por Helen Martins, publicado no site Globoplay em 21 jan. 2024. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/12283515/>>. Acesso em: 21 jan. 2024.