

Uma perspectiva sobre o aproveitamento térmico e a conversão direta da energia solar em áreas rurais no Brasil

A perspective on thermal application and the direct conversion of solar energy in rural areas in Brazil

Una perspectiva sobre la aplicación térmica y la conversión directa de energía solar en áreas rurales de Brasil

Recebido: 29/04/2021 | Revisado: 05/05/2021 | Aceito: 06/05/2021 | Publicado: 22/05/2021

Marcus Vinicius Contes Calca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-3980>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: mcontes@outlook.com

Matheus Rodrigues Raniero

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8338-4887>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: matheus.raniero@hotmail.com

Karina Burgos Anacleto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6870-4387>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: kahburgos@hotmail.com

José Rafael Franco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7129-4304>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: jose.rafael_franco@hotmail.com

Alexandre Dal Pai

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1283-901X>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: dal.pai@unesp.br

Fernando de Lima Caneppele

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4498-8682>
Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: caneppele@usp.br

Resumo

Em razão da necessidade de reduzir os efeitos do aquecimento global e de estender o fornecimento de eletricidade em áreas rurais geograficamente isoladas, os governos têm incentivado o uso de fontes alternativas de geração de energia elétrica por meio de políticas públicas. Neste cenário se destaca a energia solar, oriunda da radiação emitida pelo sol, que pode ser usada como fonte térmica para o aquecimento de fluidos ou ambientes e ser diretamente convertida em energia elétrica, a partir dos efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O objetivo deste estudo é abordar uma visão genérica qualitativa do aproveitamento térmico e fotovoltaico da energia solar em áreas rurais no Brasil nos últimos doze anos (2009 a 2020). Conseqüentemente foram destacados os atuais avanços dessa fonte alternativa na matriz elétrica nacional e as políticas públicas de incentivo a tecnologias descentralizadas de produção de eletricidade. Para a construção da revisão de literatura o estudo utilizou informações publicadas em artigos científicos, livros, atlas e resoluções normativas que atendessem a uma série de critérios básicos de seleção. Os resultados apontaram que a energia solar térmica tem sido utilizada para o tratamento e dessalinização de água para o consumo humano, reaproveitamento na produção agrícola, além da secagem de grãos, frutas e resíduos de produtos rurais. Enquanto a energia solar fotovoltaica tem sido utilizada para o bombeamento de água com foco no abastecimento da pecuária de corte e na irrigação de precisão, além da eletrificação rural, tema de amplo destaque no Brasil. Os incentivos governamentais auxiliaram na unificação de esforços quanto a eletrificação rural, ampliando o número de regiões isoladas com abastecimento de energia elétrica.

Palavras-chave: Energia solar rural; Energia térmica rural; Energia fotovoltaica rural; Eletrificação rural; Brasil.

Abstract

The need to reduce the effects of global warming and extend the supply of electricity in geographically isolated rural areas, governments have encouraged the use of alternative sources of electricity generation by public policies. In this scenario, solar energy stands out, originating from the radiation emitted by the sun, which can be used as a thermal source for the fluids or environments heating and can be directly converted into electrical energy, based on the

thermoelectric and photovoltaic effects. The aim of this study is to approach a qualitative generic review of the thermal and photovoltaic use of solar energy in rural areas in Brazil in the last twelve years (2009 to 2020). Consequently, the current advances of this alternative source in the national electric matrix and the incentive public policies to decentralized technologies of electricity production were highlighted. To create the literature review, the study used information published in scientific papers, books, atlases and normative regulations that met a series of basic selection criteria. The results showed that solar thermal energy has been used for the water treatment and desalination for human consumption, reuse in agricultural production, in addition to drying grains, fruits and residues of rural products. In other hand photovoltaic solar energy has been used for pumping water with a focus on supplying beef cattle and precision irrigation, in addition to rural electrification, a topic of great prominence in Brazil. Government incentives helped to unify efforts regarding rural electrification, expanding the number of isolated regions with electricity supply.

Keywords: Rural solar energy. Rural thermal energy. Rural photovoltaic energy. Rural electrification. Brazil.

Resumen

Debido a la necesidad de reducir los efectos del calentamiento global y de extender el suministro de energía eléctrica en áreas rurales geográficamente aisladas, los gobiernos han incentivado el uso de fuentes alternativas de generación eléctrica a través de políticas públicas. En este escenario, se destaca la energía solar, originada por la radiación emitida por el sol, que puede utilizarse como fuente térmica para el calentamiento de fluidos o ambientes y convertirse directamente en energía eléctrica, en base a los efectos termoeléctricos y fotovoltaicos. El objetivo de este estudio es abordar una revisión cualitativa genérica del uso térmico y fotovoltaico de la energía solar en áreas rurales de Brasil en los últimos doce años (2009 a 2020). En consecuencia, se destacaron los avances actuales de esta fuente alternativa en la matriz eléctrica nacional y las políticas públicas de incentivo a las tecnologías descentralizadas de producción eléctrica. Para la construcción de la revisión de la literatura, el estudio utilizó información publicada en artículos científicos, libros, atlas y resoluciones normativas que cumplían con una serie de criterios básicos de selección. Los resultados mostraron que la energía solar térmica se ha utilizado para el tratamiento y desalación de agua para consumo humano, reutilización en producción agrícola, además de secar granos, frutos y residuos de productos rurales. Mientras que la energía solar fotovoltaica se ha utilizado para el bombeo de agua con un enfoque en el abastecimiento de ganado vacuno y riego de precisión, además de la electrificación rural, tema de gran relevancia en Brasil. Los incentivos gubernamentales ayudaron a unificar los esfuerzos en materia de electrificación rural, ampliando el número de regiones aisladas con suministro eléctrico.

Palabras clave: Energía solar rural; Energía térmica rural; Energía fotovoltaica rural; Electrificación rural; Brasil.

1. Introdução

Fontes alternativas de energia (solar, eólica e biogás) vem se destacando na atualidade por apresentarem, geralmente, maior disponibilidade, pois derivam de recursos naturais, e causarem menores impactos sociais e ambientais. Porém demandam do emprego de tecnologias estritamente difundidas para viabilizar seu uso, uma vez que são escassamente encontradas em comparação com as tecnologias de geração centralizada, a partir de fontes convencionais de energia elétrica (água, carvão mineral e nuclear). A energia proveniente do sol pode ser utilizada como uma fonte alternativa para a geração de eletricidade. As tecnologias para seu aproveitamento e aplicação estão em constante evolução desde meados dos anos 1980, quando o crescimento populacional mundial começou a superar a expansão das redes elétricas convencionais de transmissão (Chauray & Kandpal, 2010). Seu potencial energético é consequência da radiação oriunda das reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênio para formar o Hélio. Tem influência direta nos movimentos atmosféricos, no clima e nas outras fontes energéticas do planeta Terra (Pereira, et al., 2017).

A energia solar guarda grande importância para a fotossíntese vegetal, ciclo hidrológico e dinâmica da atmosfera e oceanos (Iqbal, 1983). Pode ser utilizada como fonte térmica, para o aquecimento de fluidos e/ou ambientes e para a geração de potência mecânica ou elétrica. Além disso, pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio dos efeitos termoeléctricos e fotovoltaicos sobre alguns materiais (ANEEL, 2005). Convencionalmente a energia elétrica que abastece as mais diferentes regiões do planeta Terra é gerada a partir de grandes fontes centralizadas, onde são necessárias linhas de transmissão e distribuição para que chegue até o consumidor final. No entanto, em um cenário onde se tem amplas extensões territoriais, concentração de pessoas e atividades econômicas com dificuldades no suprimento energético e serviços elétricos de baixa qualidade, como é o caso da maioria das comunidades rurais isoladas, se deu origem a geração distribuída de energia elétrica (ANEEL, 2005; Palit, 2013).

A geração distribuída de energia elétrica diz respeito a produção realizada junto ou próxima do consumidor, independente da potência, tecnologia ou origem (ANEEL, 2005; Palit, 2013). Esse formato de geração de eletricidade tem se tornado atraente também por permitir a combinação de dois ou mais recursos naturais (central geradora híbrida) para atingir seu propósito final (Castillo, et al., 2015). Contribuindo com inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e auto sustentabilidade (ANEEL, 2015). Pois se utiliza de recursos naturalmente obtidos em regiões isoladas caracterizadas pela produção rural. Organizações governamentais em todo o mundo têm incentivado o uso e a aplicação de energias alternativas para suprir necessidades básicas de comunidades rurais, devido aos baixos custos, disponibilidade e potencial energético de determinadas regiões (Chauray & Kandpal, 2010). Estudos recentes do Ministério de Minas e Energia (MME) tem apontado que o setor agropecuário é um dos que concentram os maiores aumentos de consumo de energia elétrica no Brasil (EPE, 2018). Neste contexto, além do uso residencial tradicional, pode-se utilizar a eletricidade, em ambientes rurais geograficamente isolados ou não, para:

- (a) Alimentação elétrica de bombas d'água;
- (b) Irrigação agrícola de precisão;
- (c) Aquecimento e secagem de grãos;
- (d) Moagem, debulha e outras atividades do gênero;
- (e) Controle térmico de ambientes;
- (f) Desinfecção de água e outros produtos agrícolas.

O objetivo deste estudo é transmitir uma visão geral (revisão da literatura) das diferentes tecnologias de aproveitamento da energia solar em aplicações rurais. O intuito é dar foco em investigações científicas desenvolvidas no Brasil nos últimos doze anos (2009 a 2020), abrangendo o potencial térmico (aquecimento de fluídos e secagem de produtos agrícolas) e fotovoltaico (geração de eletricidade) da energia solar.

2. Metodologia

Nesta seção serão descritas as formas mais comuns de aproveitamento térmico da energia solar, com ênfase nos coletores e concentradores solares (item 2.1), e a maneira mais popular de se obter energia elétrica por meio da conversão direta da luz do sol utilizando painéis fotovoltaicos (item 2.2). Por fim serão apresentados os aspectos utilizados para a criação da revisão de literatura (item 3.3), desde a metodologia seguida até as regras utilizadas como critérios para a seleção de fontes de pesquisa para a realização deste estudo.

2.1 Aproveitamento Térmico da Energia Solar

O aproveitamento térmico da energia solar é feito com o uso de coletores ou concentradores solares, que são aparelhos que se beneficiam da entrada ou absorção dos raios oriundos da radiação solar. Os coletores solares (Figura 1) são equipamentos utilizados em diferentes aplicações, desde residenciais e comerciais, até mesmo rurais. Seu foco principal é o aquecimento de água, visando sua utilização, geralmente, para a higiene pessoal, lavagem de utensílios domésticos e limpeza de ambientes (ANEEL, 2005).

Figura 1 - Coletor Solar Residencial.



Fonte: Soletrol (2019).

Já os concentradores (Figura 2) são equipamentos formados por áreas espelhadas que concentram a luz solar, produzindo elevadas temperaturas, que podem ser utilizadas em aplicações para a secagem de grãos e a produção de vapor, de onde pode-se gerar energia mecânica por meio de uma turbina a vapor e eletricidade a partir de um gerador de energia elétrica (ANEEL, 2005).

Figura 2 - Concentrador Solar.



Fonte: Município de Laguna (2019).

2.2 Conversão Direta da Energia Solar em Energia Elétrica

O aproveitamento da energia solar com relação a conversão direta em energia elétrica ocorre por meio dos efeitos termoelétricos e fotovoltaicos da radiação solar, na forma de calor e luz, sobre determinados materiais semicondutores. O efeito termoelétrico é caracterizado por uma diferença de potencial surgida a partir da junção de dois materiais. Enquanto o efeito fotovoltaico é caracterizado pela conversão dos fótons contidos na luz solar por meio de células solares (ANEEL, 2005).

A tecnologia de conversão direta da energia solar em energia elétrica por meio das placas fotovoltaicas (Figura 3) é uma das primeiras a ser globalmente adotada, principalmente com referência ao uso e aplicação de energias alternativas para sanar necessidades energéticas rurais básicas (Chauray & Kandpal, 2010).

Figura 3 - Placa Fotovoltaica Residencial.



Fonte: Leroy Merlin (2018).

Existem diferentes materiais utilizados nas células fotovoltaicas, dos quais se destacam o silício cristalino, que domina cerca de 80% do mercado nesse setor, e os filmes finos, que englobam o restante da parcela (Esposito & Fuchs, 2013).

2.3 Aspectos da Revisão de Literatura

Este estudo é baseado em uma revisão de literatura narrativa (tradicional) com foco em trabalhos científicos sobre o aproveitamento da energia solar em áreas rurais no Brasil. Seu conteúdo não evidencia todas as investigações científicas sobre esse tema, mas passa uma visão qualitativa (exploratória), embasada na literatura científica criada por brasileiros, de como a energia solar possui diferentes formas de aproveitamento em áreas rurais. A metodologia utilizada foi baseada na publicação da Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos (2020) da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP de Botucatu (SP), Brasil.

A pesquisa teve início no período de fevereiro a maio de 2019 e foi complementada com novas fontes em meados de fevereiro a maio de 2021. A busca por fontes se baseou na junção das seguintes palavras-chave: Energia Solar Rural; Energia Térmica Rural; Energia Fotovoltaica Rural; Eletrificação Rural; Brasil. O embasamento teórico foi desenvolvido utilizando livros, atlas, resoluções normativas e artigos científicos relevantes para a área de energia solar. De forma que para a revisão da literatura propriamente dita (aproveitamento rural da energia solar) não foram adotados critérios rígidos para a seleção do conteúdo, porém foram impostas algumas regras de seleção do material. Foram selecionadas fontes que tivessem sido:

- (1) Desenvolvidas no Brasil;
- (2) Publicadas nos últimos 12 anos (2009 a 2020);
- (3) Veiculadas por um periódico científico ou livro de referência;
- (4) Pensadas de forma ecologicamente correta;
- (5) Economicamente viável para a sociedade.

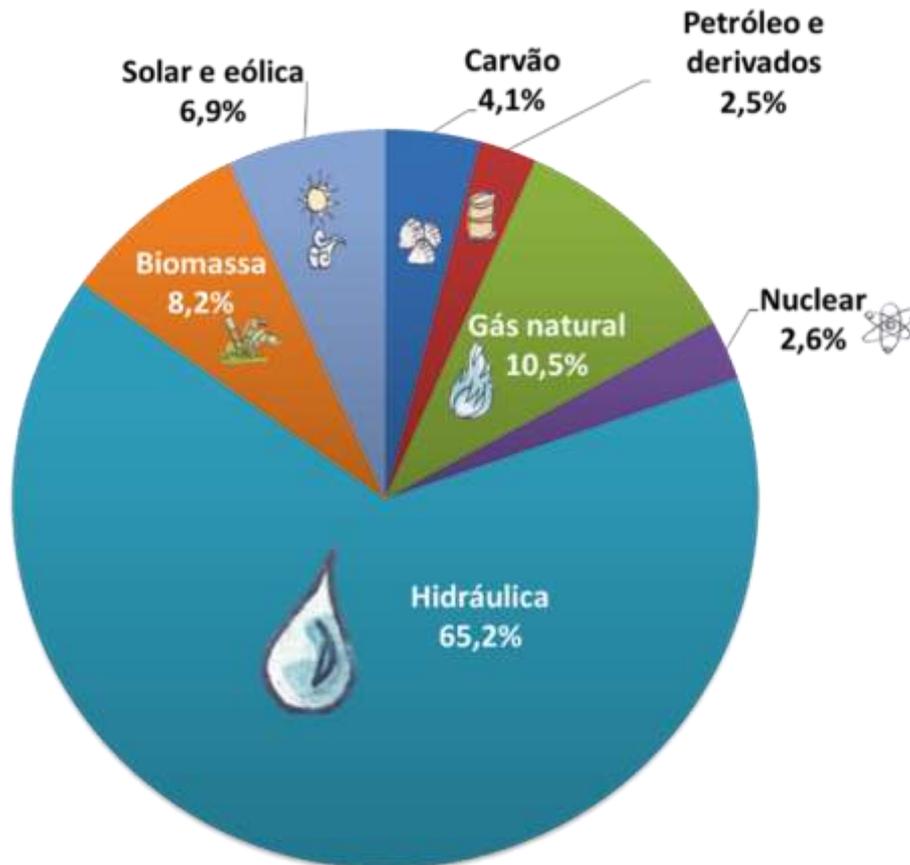
3. Resultados e Discussão

3.1 Matriz Elétrica Brasileira

De acordo com o Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia (MME), com base no ano de 2017, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o cenário elétrico brasileiro tem as hidrelétricas como fonte principal de geração de eletricidade, atingindo um total de 65,2% de toda a matriz (Figura 4). Este cenário elétrico ainda é compreendido

por 10,5% de gás natural, 8,2% de biomassa (lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações), 6,9% de solar e eólica, 4,1% de carvão, 2,6% de nuclear e 2,5% de petróleo e derivados, como fontes para a geração de energia (EPE, 2018).

Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: EPE (2018).

A fonte hidráulica de geração de energia elétrica é considerada renovável, pois é oriunda de recursos naturais que são espontaneamente reabastecidos. Porém é relativamente complicado considerá-la limpa, uma vez que causa grande impacto ambiental, devido a inundação de grandes áreas, e tem a possibilidade de emissão de gás metano (CH₄), devido a degradação anaeróbica do material orgânico submerso pela inundação. Sua aplicação ainda é limitada em consequência da dependência hidrológica da região onde será implantada (Santos, et al., 2006).

Apesar da matriz elétrica do Brasil ser considerada em grande parte renovável, ainda se tem um cenário de forte impacto ambiental, principalmente, relacionado às consequências de implantação da fonte hidráulica (que retém a maior influência na matriz) para geração de energia elétrica. Abrindo espaços para estudos ligados a outras fontes geradoras, das quais vem se destacando a solar e a eólica. Uma vez que, o Brasil é um país localizado em uma região intertropical, possuindo um grande potencial para o conforto térmico e a geração de eletricidade através do sol (Ferreira, et al., 2018).

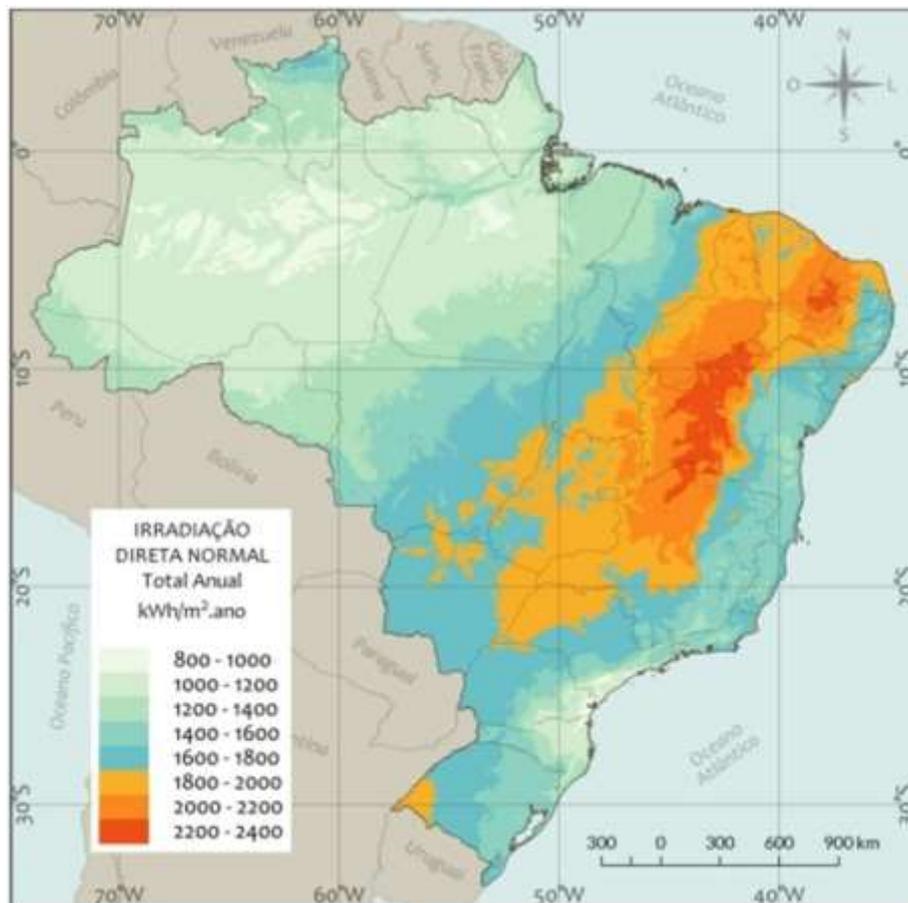
3.2 Potencial Brasileiro Para o Aproveitamento e a Geração de Energia Solar

Estudos recentes, realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e publicados na segunda versão do Atlas Brasileiro de Energia Solar, indicam que o Brasil apresenta grande potencial para implementar diferentes tecnologias para o aproveitamento da energia solar (Pereira, et al., 2017). Onde simples sistemas para o aquecimento de água, infraestruturas isoladas de geração de energia fotovoltaica e grandes plantas/usinas solares vem aumentando consideravelmente e gerando forte

impacto no setor elétrico nacional.

Sobre todo o território brasileiro incidem elevadas proporções de irradiação solar direta (ISD), principal componente da radiação solar para seu aproveitamento térmico. No entanto, essa incidência se caracteriza, em geral, por ser abaixo dos níveis necessários para a produção de calor, que requer altas temperaturas, durante todas as épocas do ano (Figura 5). É possível certificar que o potencial solar do Brasil cria condições adequadas para este tipo de aproveitamento, principalmente nas regiões nordeste, atingindo até 2400 kWh/m² de ISD por ano, sudeste (norte de Minas Gerais), perfazendo até 2400 kWh/m² de ISD por ano e em alguns pontos da centro-oeste (especificamente em Brasília), alcançando até 2000 kWh/m² de ISD por ano. Essas taxas de irradiações apresentadas são ideais quanto a produção de calor para processos do setor industrial, residencial e até mesmo atividades rurais em temperaturas abaixo de 100°C (Pereira, et al., 2017).

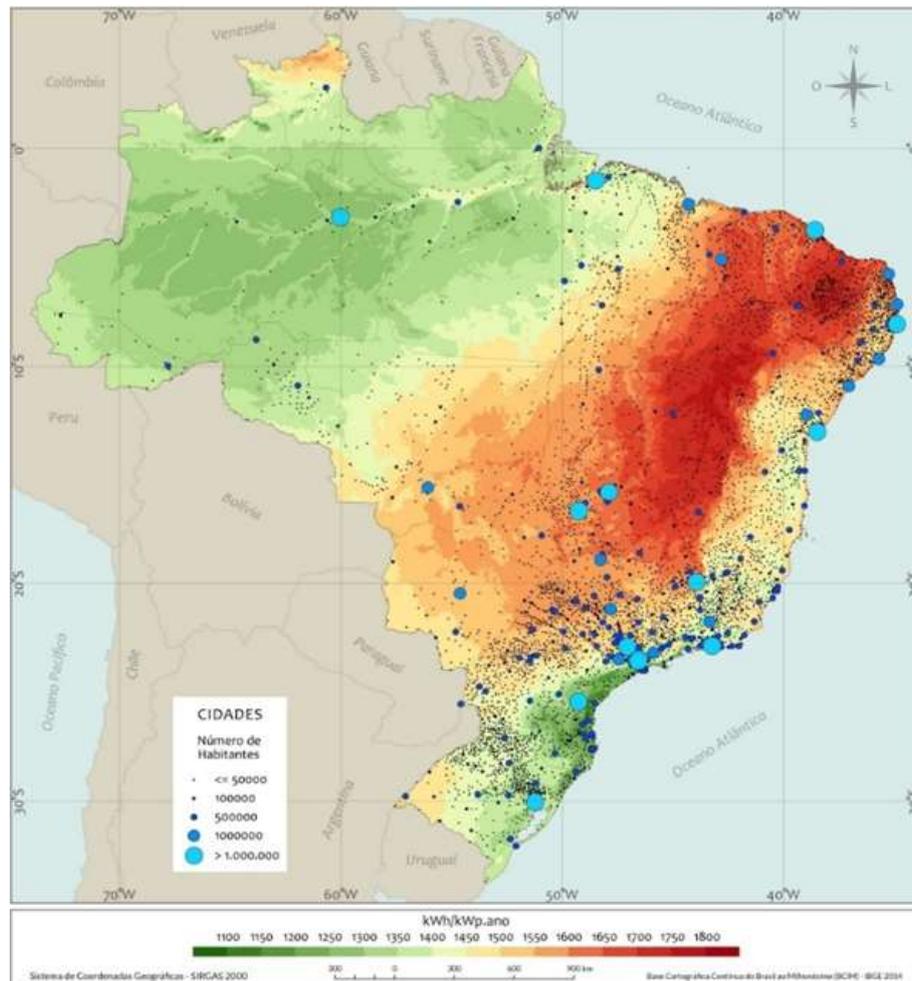
Figura 5 - Mapa do total anual de irradiação solar direta normal com destaque as regiões com maior potencial de aproveitamento da energia solar concentrada.



Fonte: Pereira, et al. (2017).

Além do potencial para o aproveitamento térmico da energia solar, o país apresenta bons níveis de irradiação para a conversão/geração direta em energia elétrica, por meio de sistemas fotovoltaicos (Figura 6). No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade, a partir da irradiação solar, do que na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, país de ponta quando o assunto é o aproveitamento da energia solar (Pereira, et al., 2017).

Figura 6 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica com rendimento energético anual para todo o Brasil.



Fonte: Pereira et al. (2017).

Em sua obra o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) destaca que o potencial para a geração fotovoltaica no Brasil tem grande dependência da sazonalidade nas diferentes regiões do país. A região nordeste é a que, em média, detém o maior potencial, onde o mês de agosto é o que compreende as melhores taxas, chegando até um total de 150 kWh/kWp por mês. A região norte e sul são as que, em média, recebem os menores indicativos para a geração de energia elétrica por meio da irradiação solar. No entanto, em setembro e outubro os números ganham um aumento considerável para o norte, atingindo até 125 kWh/kWp por mês, além de que em dezembro e janeiro o potencial também aumenta na região sul, chegando a totalizar até 146 kWh/kWp por mês em alguns pontos (Pereira, et al., 2017).

O potencial para o aproveitamento da energia solar no Brasil vem sendo mais bem explorado ao longo dos anos, graças a divulgação de estudos, que subsidiam melhor a tomada de decisão, e a redução de preços de equipamentos, que criam maior poder de aquisição. Isso pode ser comprovado a partir dos números divulgados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) a partir do Anuário de Estatística de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE (2018). Indicando um crescimento, em potência instalada, trinta e nove vezes superior em comparação do ano de 2017 (potência total de 935 MW) com o ano de 2016 (potência total de 24 MW). Entretanto a fonte solar ainda ocupava uma irrisória posição na capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil até o ano de 2017 (Tabela 1).

Tabela 1 - Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil em 2017.

FONTE	MW	%
Usinas Hidrelétricas	94662	60.3%
Usinas Termelétricas	41628	26.5%
Pequena Central Hidrelétrica	5020	3.2%
Central Geradora Hidrelétrica	594	0.4%
Usinas Nucleares	1990	1.3%
Usinas Eólicas	12283	7.8%
Solar	935	0.6%

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia (MME) - EPE (2018).

Estas informações indicam que apesar de o Brasil possuir um cenário que vem evoluindo, em questões de aproveitamento da energia solar, pode melhorar e se destacar ainda mais por meio de incentivos governamentais e políticas públicas. Visto o grande potencial solar que possui.

3.3 Incentivos do Governo Brasileiro Para o Aproveitamento e a Geração de Energia Solar

Embora o cenário elétrico brasileiro traga um histórico de evolução nos últimos anos (potência solar instalada), é necessário a disseminação de mais informações a população e a redução de custos para a implantação de tecnologias que aproveitem a luz do sol. Nesse aspecto o meio rural não se faz uma exceção, requerendo que, em muitos casos, o governo invista e incentive comunidades isoladas, principalmente alimentadas economicamente por atividades rurais, a utilizarem tecnologias para o aproveitamento da energia solar em diferentes escalas (Kemerich, et al., 2016). Esses incentivos têm como objetivo acabar com a exclusão elétrica no país, melhorando a qualidade de vida e o acesso à recursos fundamentais para os seres humanos.

Os incentivos governamentais, existentes até o momento, têm sido grandes ampliadores da adoção de tecnologias para o aproveitamento e a geração de energia elétrica pela fonte solar em larga escala no Brasil. No que se refere ao aproveitamento térmico da energia solar em proporção residencial, a falta de conscientização da população e o investimento inicial relativamente elevado fez com que o governo criasse incentivos por meio da isenção de impostos e da oferta gratuita de equipamentos através de Programas de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Programa Minha Casa Minha Vida (Pereira, et al., 2017). Os incentivos atrelados ao financiamento de moradias sociais é o que tem obtido maiores resultados no Brasil (PAC, 2014). Porém não se encontra na literatura jurídica informações a respeito de incentivos desse tipo voltados a áreas rurais.

Seguindo um raciocínio paralelo, no que se refere a conversão direta da energia solar em energia elétrica, o governo tem incentivado a população de diferentes formas. O incentivo tomou força em meados de 1999, onde a partir de esforços destinados a eletricizar áreas rurais surgiram interesses com relação a universalização da energia elétrica. Posteriormente, devido à grande proporção obtida, esses esforços, denominados de “Programa Luz no Campo” tornaram-se mais abrangente, sendo renomeado para “Programa Luz Para Todos”, ampliando sua atuação também a áreas urbanas, no ano de 2003. Este último teve como objetivo levar energia elétrica para áreas rurais e residências urbanas ainda sem abastecimento elétrico, com maior foco em locais isolados, concentrando incentivos dos governos federal e estadual, além da iniciativa privada (Diniz, et al., 2011).

No ano de 2011, foi instituído o Decreto nº 7.520, de 08 de julho de 2011, responsável por renovar e ampliar o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - “Luz Para Todos”. Este decreto teve por objetivo principal o fornecimento de energia elétrica a assentamentos rurais, comunidades indígenas, quilombolas e outras comunidades localizadas em reservas extrativistas que não tinham acesso a esse serviço público, devendo preencher os requisitos estabelecidos na lei para

ser beneficiado. O direito a energia elétrica vem sendo tema de debate no Senado pela PEC nº 44, de 2017, a qual altera o artigo 6º da Constituição Federal, para que o acesso à energia elétrica seja um direito social, ou seja, um direito para todos os brasileiros, sem distinção. Essa PEC ainda estava em debate, sendo pautada na comissão para discussão até o ano de 2019.

Após a implementação do Decreto nº 7.520, de 08 de julho de 2011, foi criada a Resolução Normativa da ANEEL nº 488, de 15 de maio de 2012, que teve como objetivo a revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural, complementando o “Programa Luz Para Todos”. Estabelecendo que no atendimento a áreas rurais com ligações monofásicas ou bifásicas, não contemplados pelo “Programa Luz Para Todos”, a instalação do ramal de conexão, do conjunto de instalação interna e do padrão de entrada seria realizada pela distribuidora, sem ônus ao interessado (proprietário).

Tratando-se da eletrificação rural o acesso é difícil, a tecnologia não está muito evoluída, a logística é de difícil operação e a gestão é complexa. Devido a essas situações foi criada a Resolução Normativa da ANEEL nº 493, de 05 de junho de 2012, que estabeleceu as condições técnicas para o fornecimento de energia elétrica por meio de Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica - MIGDI ou de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente - SIGFI pelas distribuidoras locais. Essas condições foram padronizadas pela Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras. Permitindo que as companhias de distribuição de energia elétrica pudessem entregar o mínimo de qualidade e segurança, e buscar otimizar subsídios governamentais (Eletrobras, 2017).

3.4 O Aproveitamento Térmico e Fotovoltaico da Energia Solar em Áreas Rurais no Brasil

Na ausência de soluções adequadas, tratando-se do fornecimento de energia elétrica através da rede convencional de transmissão, os proprietários são obrigados a suprir demandas rurais básicas (abastecimento de água e eletrificação de construções) utilizando medidas alternativas (geração de energia elétrica diretamente no local de interesse). Visto que medidas convencionais acarretariam um alto custo. Em consequência do difícil acesso à energia elétrica, propriedades rurais, sofrem também com atividades suplementares dependentes (aquecimento, tratamento e até mesmo o fornecimento de água). Já que nessa situação o provimento de recursos fundamentais a sobrevivência humana (hídrico e elétrico) é demasiadamente limitado.

Prosseguindo nesse cenário, a seguir serão discutidas tecnologias de aproveitamento térmico da energia solar para o tratamento (item 3.4.1) e a dessalinização da água (item 3.4.2), com foco no uso rural. Bem como a secagem de grãos, frutas e de resíduos agrícolas (item 3.4.3). Posteriormente serão abordadas tecnologias de conversão direta da energia solar (fotovoltaica) para o bombeamento de água (item 3.4.4) e para a eletrificação de habitações rurais (item 3.4.5). É importante destacar que o foco do conteúdo que será apresentado não é levantar todas as tecnologias cientificamente difundidas no Brasil (quantidade), mas colocar em evidência as diferentes formas, relevantes, de utilização rural da energia solar, além do aquecimento de água e geração de energia elétrica, que são aplicações já difundidas.

3.4.1 Aproveitamento Térmico da Energia Solar Para o Tratamento de Água

O aproveitamento térmico da energia solar tem despertado cada vez mais interesse no mercado interno brasileiro. Gerando um grande destaque na indústria e serviços de hotelaria, no que compreende o aquecimento solar da água, explica Ferreira, et al. (2018). Porém é uma tecnologia que tem também gerado um forte interesse em aplicações rurais, abrangendo diferentes perspectivas de uso, como é o caso do tratamento de águas (desinfecção e dessalinização) para decorrente uso residencial ou aplicação agrícola.

Diariamente efluentes são lançados em corpos hídricos receptores, sem o mínimo necessário de tratamento, poluindo e causando um aumento de doenças veiculadas por meio da água. Nesse aspecto o potencial térmico da energia solar pode ser utilizado para realizar uma descontaminação, permitindo o reaproveitamento da água. Essa perspectiva coloca em evidência o estudo desenvolvido por Feitosa, et al. (2011), em caráter experimental. Os autores criaram um protótipo de reator solar rural

(concentrador da luz do sol), utilizado para o tratamento de águas derivadas de lavatórios, chuveiros, pias de cozinha e máquinas de lavar roupas. Esse dispositivo teve como objetivo reduzir o nível de coliformes termotolerantes por meio da irradiação solar. Possibilitando o posterior uso agrícola dos efluentes já tratados. Nos resultados os autores descrevem que o valor médio da irradiação solar de 29,33 MJ/m² por dia, em um tempo de exposição de 12 horas, proporcionou remoções de até 99,99% da população de coliformes totais e de coliformes termotolerantes da água. Atendendo, então, aos critérios nacionais para utilização agrícola dos efluentes após sua aplicação a esse processo.

Prosseguindo nessa perspectiva tecnológica, Silva, et al., (2016) criaram, experimentalmente, um protótipo de pasteurizador solar (Figura 7). Com características técnicas ideais para ser aplicado no semiárido rural (clima seco) do nordeste brasileiro. O objetivo do estudo desses autores foi a descontaminação microbiológica de água a fim de consumo humano. Diante das dificuldades de abastecimento de água tratada em áreas rurais, a utilização da energia solar pode proporcionar uma autossuficiência energética, possibilitando a descontaminação independentemente da turbidez ou pH, ausência de produção de trihalometanos e de contaminação secundária (mistura de água contaminada com água em tratamento). Os autores indicaram que o protótipo de pasteurizador solar foi capaz de atingir uma quantidade máxima de tratamento de 30 litros de água por dia a partir do nível de irradiação solar acumulada de 12,20 MJ/m² no dia.

Figura 7 - Pasteurizador Solar.



Fonte: Silva, et al., (2016).

O pasteurizador solar criado por Silva, et al., (2016) foi aprimorado por Carielo, et al., (2017) através da instalação de um dispositivo para a retenção do calor. Isso possibilitou sua atuação em um nível menor de irradiação solar, a partir de 6,60 MJ/m² por dia. Nessa nova versão o pasteurizador produziu 80 litros de água tratada por dia em condições de céu claro, atingindo uma temperatura no coletor interno de até 85° C. Esse tipo de dispositivo pode ser utilizado em residências rurais, permitindo sua instalação em telhados, assim como ocorre nos coletores solares para o aquecimento de água. É uma importante tecnologia solar com custo relativamente reduzido, que ajuda no tratamento de água para usos posteriores na agricultura, ou até mesmo para o consumo humano. Visto a dificuldade de abastecimento hídrico observada em regiões rurais distantes dos grandes centros

urbanos.

3.4.2 Aproveitamento Térmico da Energia Solar Para a Dessalinização de Água

O recurso hídrico (água) é de extrema importância para as diferentes necessidades rurais e humanas, conforme elucidado anteriormente. Nem sempre, em áreas rurais isoladas, existem meios para sua captação, tratamento e disponibilização. Requerendo a utilização de águas salobras ou salinas, obtidas em poços, como um meio alternativo de abastecimento hídrico (Araújo, et al., 2018). Essa medida alternativa carece de um processo de dessalinização para garantir a segura utilização da água, permitindo seu uso em atividades agrícolas e até mesmo para o consumo humano. Existem basicamente dois tipos de dessalinização baseada no potencial térmico da energia solar: a direta e a indireta. A dessalinização direta é quando o processo ocorre diretamente dentro de um coletor solar (destilador de água). Já a dessalinização indireta é quando a energia solar é convertida em energia elétrica (efeito fotovoltaico), que por sua vez é utilizada para conduzir/alimentar eletricamente um dispositivo dessalinizador (Ahmed, et al., 2019).

O dessalinizador solar, considerando sua utilização direta, é uma tecnologia que aproveita o potencial térmico da energia solar (calor gerado), através de coletores solares, para a dessalinização e desinfecção de águas. As altas temperaturas (até 70°C) obtidas internamente nos coletores do dessalinizador, elimina os patógenos, originando um perfil de água que atenda os critérios de potabilidade (Marinho, et al., 2015). Fundamentalmente o processo ocorre pela evaporação da água salina, por meio do aquecimento solar, e pela posterior condensação como água destilada (Rufuss, et al., 2016). Essa tecnologia tem contribuído para atender as necessidades hídricas de propriedades rurais do semiárido brasileiro.

Muitos investigadores científicos no Brasil têm inovado nesse segmento. Marinho, et al. (2012) criaram um dessalinizador utilizando um coletor solar artesanal, construído com materiais de fácil acesso (PVC, Garrafas Plásticas e Isopor) e custo reduzido. O processo de destilação ocorre quando a irradiação solar aquece a água. Onde o gradiente da temperatura e o gradiente associado à pressão do vapor dentro do destilador provocam a condensação do vapor. Esse experimento se mostrou eficiente para dessalinizar até 15,65 litros de água por dia. Marinho, et al. (2015) aprimoraram o dessalinizador solar (Figura 8), visando a redução de custos e a durabilidade dos apetrechos utilizados em sua construção. Nessa nova versão do experimento os autores relatam que o dispositivo foi suficiente para produzir até 150 litros de água por dia, inclusive aproveitando a água da chuva, atendendo à critérios para sua utilização na agricultura, mas não para o consumo humano.

Figura 8 - Dessalinizador Solar.



Fonte: Marinho et al. (2015).

3.4.3 Aproveitamento Térmico da Energia Solar Para a Secagem de Grãos, Frutas e Outros Produtos Agrícolas

O processo físico de secagem consiste na eliminação de água de um produto agrícola (grãos, frutas e outros). Tem como objetivo principal aprimorar a conservação de um produto rural (Almeida, et al., 2016). Visto isso, o aproveitamento térmico da

energia solar para a secagem de produtos oriundos de atividades rurais é uma alternativa economicamente viável (tem custo reduzido) e ecologicamente correta (não agride o meio ambiente). Pode ser utilizada, especialmente, em regiões com grande potencial solar e em debilitada situação de desenvolvimento financeiro.

Um secador solar é uma tecnologia que desempenha a função de um coletor solar e uma câmara de secagem em um mesmo local. De tal forma que a irradiação solar incide sobre o produto, aquecendo e proporcionando a circulação do ar, por meio do efeito estufa e da convecção natural, respectivamente. No Rio Grande do Norte Machado, et al., (2011) criaram um secador solar indireto com fluxo de ar forçado para a desidratação de caju. Nessa mesma região Almeida, et al., (2016) elaboraram um protótipo de secador solar para a secagem de uvas, a partir de materiais recicláveis (Figura 9).

Figura 9 - Secador Solar.



Fonte: Almeida, et al., (2016).

Sales & Cândida (2016), também em nível de prototipagem, desenvolveram um secador solar em posição vertical para o processo de beneficiamento do cacau. O posicionamento vertical desse último proporcionou uma melhora quanto a utilização de material de construção e mão de obra para manutenção do processo, relatam os autores. Os estudos citados passam uma visão de como a secagem solar de grãos vem sendo explorada em diferentes produtos agrícolas, por pesquisadores acadêmicos brasileiros, auxiliando em sua conservação (processamento) para uso na indústria alimentícia.

Ainda neste segmento, Bontempo, et al., (2020), em Uberaba - MG, por meio da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) desenvolveram um secador solar convectivo para obter a farinha da casca da tangerina a partir da desidratação, um produto rico em fibras e vitaminas. Foi avaliada a utilização de um ventilador (cooler) para o aumento da vazão de ar. Este secador obteve resultados expressivos, com eficiência média de secagem de 93,45%, apesar de a utilização do ventilador não obter mudanças significativas. Dessa forma o secador solar se mostrou um método eficaz na desidratação da casca de tangerina, auxiliando diretamente no aproveitamento deste resíduo. Guimarães, et al., (2020), nessa mesma instituição, conduziram um experimento que avaliou um secador solar, em comparação a outros aparelhos, para a obtenção da biomassa do amendoim. Os autores concluíram que a eficiência do secador solar para esta finalidade foi de 79%, sendo inferior à dos outros aparelhos.

Nas citações anteriores foi possível observar que existente inúmeras aplicações relacionadas a secagem de frutas e grãos, no entanto, Silva, et al. (2014) citam, também, que existe uma vertente alternativa para o uso de um secador solar, que é a secagem de resíduos agrícolas. Esses resíduos podem, posteriormente, serem fornecidos para a alimentação animal ou utilizados como subprodutos na agricultura (adubo), auxiliando, inclusive, na redução de impactos ambientais causados pelo descarte incorreto de alguns materiais, afirmam os mesmos autores. Foi levantado, então, que o potencial térmico da energia solar possui uma série de aplicações para a desidratação de produtos agrícolas, permitindo inclusive a criação de um subproduto para aplicações agropecuárias, gerando mais valor socioambiental as atividades do campo.

3.4.4 Conversão Direta da Energia Solar Para o Bombeamento de Água

Além da sua utilização para o consumo humano, conforme destacado anteriormente, o provimento de água em áreas isoladas é de fundamental importância para atividades de produção agropecuária. A água é um recurso natural essencial para a irrigação de culturas agrícolas e para a manutenção da pecuária de leite e de corte, que são atividades econômicas comuns em zonas rurais. Em relação a dificuldade de acesso à energia elétrica nesses tipos de localidades, pode-se contornar a situação utilizando o potencial solar como uma forma alternativa de geração de energia elétrica.

Alvarenga, et al., (2014) implementaram um sistema fotovoltaico (conversão da luz do sol em energia elétrica) isolado, responsável pela irrigação autônoma por aspersão/gotejamento de um cultivo de hortaliças (alface) em ambiente protegido (estufa). Esses sistemas de controle de irrigação se tornaram uma ferramenta essencial para a aplicação de água na quantidade necessária e no devido tempo, contribuindo para a manutenção da produção agrícola e, também, para a utilização eficiente dos recursos hídricos. O sistema criado, composto por um conjunto de moto bomba submersível, regulador de carga, poço tipo amazonas, reservatório superior de 5000 litros, tubulação adutora, linhas de irrigação provida de aspersores e quatro painéis solares de 100 Wp cada conectados em paralelo, foi suficiente para bombear um volume de 2560 litros de água por dia, capaz de transportar esse fluido de um poço para um reservatório utilizado especificamente para a irrigação de precisão

Com esse mesmo raciocínio Dal Bem, et al., (2016) implementaram um sistema isolado para a conversão direta da energia solar em energia elétrica (Figura 10), servindo para a alimentação de bombas vibratórias submersas responsáveis por transportar a água de um reservatório para o abastecimento da pecuária de corte. Os autores criaram quatro protótipos diferentes, cada unidade contendo dois módulos policristalinos de 255 Wp conectados em paralelo. Cada um dos protótipos foi capaz de alimentar uma bomba de 380 W operando em 220 V, bombeando até 3500 litros de água por dia em uma distância de 400 m. Essa medida possibilitou o consumo/manutenção de até 150 animais de criação. Demonstrando que em situações em que não se tem a transmissão de energia elétrica convencional no meio rural, se pode utilizar de formas alternativas para a solução de problemas peculiares.

Figura 10 - Sistema Fotovoltaico Isolado.



Fonte: Dal Bem, et al. (2016).

3.4.5 Conversão Direta da Energia Solar Para a Eletrificação de Habitações Rurais

A eletrificação rural tem como objetivo principal suprir a demanda de energia elétrica de áreas rurais não atendidas convencionalmente, através das redes de transmissão, pelas concessionárias. Nesse contexto encontra-se uma maior aplicação de sistemas solares residenciais (isolados) e sistemas rolares em micro-grid (rede local) para o fornecimento de energia elétrica em comunidades e propriedades rurais distantes de grandes centros urbanos (Valer, et al., 2017). Tecnologia, inclusive, incentivada por programas sociais do governo brasileiro (ver item 3.3).

Sistemas solares residenciais são compreendidos, basicamente, por módulos fotovoltaicos (placas solares), um sistema de armazenamento da eletricidade (baterias), controladores de carga e inversores. O ideal é que os módulos gerem a eletricidade demandada pela residência, sendo capaz inclusive, de armazenar uma parcela nas baterias, que tem como função disponibilizar a energia elétrica para uso posterior. Já os sistemas solares em micro-grid são compostos por diversas fontes geradoras de energia elétrica (painéis solares), um inversor para a formação da rede, um rastreador de potência máxima, um complexo sistema de armazenamento da eletricidade (baterias) e uma fonte de segurança (geradores), constituindo uma rede local de geração e transmissão elétrica em tamanho reduzido (pré-dimensionado), destacam Valer, et al., (2017).

A região nordeste do Brasil, especificamente o sertão, compreende características geográficas (próximo a linha do equador) e climáticas (alto índice de irradiação solar) que propiciam a conversão direta da energia solar em energia elétrica. Em consideração a esses aspectos Silva, et al., (2016) fizeram uma análise econômica utilizando um sistema solar residencial (isolado) para a geração de energia elétrica através da conversão da energia solar. Esses autores destacaram que uma família da área rural consome em média 182 KWh por mês em sua residência, demandando, então, de um sistema fotovoltaico capaz de gerar e armazenar cerca de 660 Wh por dia para suprir sua demanda mensal. Esse sistema deve conter: módulos solares, inversores, baterias, painel de controle central, e contador de fornecimento, conforme o exemplo destacado na Figura 11. Foi levantado ainda que apesar do alto investimento inicial em um sistema com as características citadas, o valor diluído no tempo é menor do que com relação ao valor mensal pago a concessionária de energia elétrica, quando há a presença da rede de transmissão. Nesse sentido o nordeste do país é uma região com incidência solar ideal para a geração de energia isolada de energia elétrica (no local de interesse), criando uma independência da rede convencional de transmissão e fomentando a geração fotovoltaica, afirmam, também, Marques, et al., (2009) através de seus estudos.

Figura 11 - Sistema Solar Fotovoltaico Isolado.



Fonte: WAV (2018).

Em grande parte da Amazônia brasileira (Região Norte), se encontra com maior frequência sistemas solares em micro-

grid. Pois é uma região onde as comunidades rurais dificilmente têm a transmissão da energia convencional, através da rede elétrica (Nerini, et al., 2014). Assim como ocorre na região nordeste do país. Requerendo que propriedades rurais isoladas utilizem, em sua maioria, a energia elétrica fornecida por redes locais com geradores alimentados por combustível fóssil (diesel) ou possuam seu próprio gerador isolado, produzindo eletricidade no local de interesse. Situação em que pode ser fornecida menos energia elétrica do que a demanda real, aponta Mazzone (2019). Mas que é uma medida fortemente adotada nessas regiões do país, apontam Conde, et al., (2009). Em contrapartida, esforços recentes do Ministério de Minas e Energia (MME) através da Eletrobrás Amazonas Energia (2019) possibilitaram a implantação e, atual revisão tecnológica, de sistemas solares em micro-grid em doze comunidades rurais ribeirinhas do Amazonas (AM).

Coelho & Goldemberg (2013) relatam em seu estudo que o acesso à energia elétrica fornecido através de sistemas solares em micro-grid (fotovoltaicos) é suficiente para atividades rurais básicas nas comunidades isoladas da Amazônia, como a iluminação e o bombeamento de água. No entanto, os autores ainda afirmam, que é necessário maior potência instalada para que a eletricidade gerada, possa servir para atividades rurais produtivas, como é o caso da agricultura e pecuária. Fortalecendo essa ideia Mazzone (2019) cita um exemplo em seu estudo sobre a comunidade rural da Vila Santa Maria, localizada a 300 km da capital do Amazonas (Manaus). Nessa comunidade foi instalado um sistema solar em micro-grid (Figura 12) devido a abundância local de recursos renováveis. Porém a autora explica que muitos moradores ainda optaram pelo uso de geradores a diesel, pois o custo da energia fotovoltaica fornecida é superior ao custo obtido na compra do diesel, comercializado muitas vezes por vendedores informais, reduzindo, então, o preço final do produto quase pela metade, devido ao não pagamento de taxas governamentais e de outros custos ligados a comercialização desse produto.

Destaca-se, então, a partir dos pontos levantados nos parágrafos anteriores, que em geral um sistema solar em micro-grid é mais complexo do que um sistema solar residencial isolado por causa de sua magnitude (tamanho). No entanto possui mais benefícios, como: maior eficiência do equipamento instalado, maior confiabilidade e menores custos na geração da energia elétrica (Mazzone, 2019).

Figura 12 - Sistema Solar Fotovoltaico em Micro-Grid.



Fonte: Mazzone (2019).

Graças aos incentivos governamentais é possível destacar que a eletrificação rural ganhou novas perspectivas a partir do “Programa Luz Para Todos”, pois fomentou a ampla instalação de sistemas solares em micro-grid, principalmente em comunidades isoladas na região norte do país (Maciel & Pina, 2014; Amaral et al., 2018; Mazzone, 2019), e de sistemas solares residenciais isolados na região nordeste (Marques, et al., 2009; Coelho & Goldemberg, 2013; Silva, et al., 2016). Ambas as regiões com grandes demandas energéticas, devido as características geográficas dos locais onde se encontram as comunidades rurais isoladas.

4. Conclusão

A participação da energia solar na matriz elétrica nacional ainda está em fase embrionária de desenvolvimento. Foi constatado que do ano de 2016 para 2017 houve um crescimento expressivo de potência solar instalada, ampliando a participação dessa fonte na geração de eletricidade no Brasil. Esse aspecto é relevante considerando os benefícios da energia solar, de forma que se destaca a baixa emissão de carbono e o fornecimento constante de energia elétrica. O governo tem incentivado a utilização da energia solar térmica e fotovoltaica ao longo dos anos. Esses incentivos motivaram centros urbanos (residências, condomínios, edifícios e usinas) e, inclusive, propriedades rurais geograficamente isoladas a adotar diferentes meios de aproveitamento em suas atividades cotidianas. Possibilitando a resolução de impasses de forma economicamente viável, socialmente justa e ambientalmente sustentável.

O aproveitamento térmico da energia solar em centros urbanos está condicionado, principalmente, ao aquecimento residencial de água ou de ambientes. No meio rural foi visto que esse tipo de potencial pode ser explorado na dessalinização de águas salinas e salobras de poços, tratamento de águas residuais para reutilização na produção agrícola, desidratação de grãos e frutas com foco em sua conservação e secagem de produtos agrícolas para reutilização na agropecuária. Tal que, a conversão direta da energia solar em eletricidade, por meio de sistemas fotovoltaicos isolados ou em micro-grid, pode ser considerada o principal meio tecnológico para o aproveitamento da luz do sol quanto à eletrificação rural. É uma tecnologia mundialmente difundida que está em constante evolução, possibilitando e aprimorando o abastecimento elétrico de comunidades rurais isoladas em diferentes regiões brasileiras, das quais se destacam o nordeste e o norte.

Nos últimos anos tem se dado um grande destaque para uma outra forma de aproveitar o potencial fotovoltaico da energia solar, que é a construção das redes elétricas inteligentes (smart-grids). Esse tipo de rede permite a otimização econômica e eficiência do fluxo de eletricidade para garantir uma operação bem-sucedida por meio do equilíbrio de oferta e demanda. Conceitualmente, as smart-grids são redes elétricas controladas por meio de sistemas de informação, capazes de integrar as ações de todos os usuários conectados, a fim de distribuir a energia elétrica de maneira eficiente, sustentável e economicamente vantajosa. Neste sentido, para estudos futuros, é sugerido explorar de forma sistemática a geração fotovoltaica, com ênfase na eletrificação de áreas rurais, por meio de smart-grids, possibilitando que investigadores científicos, legisladores e autoridades do governo possam ter um conteúdo de qualidade para a tomada de decisão quanto a gestão eficiente de energia fotovoltaica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelos incentivos e apoios financeiros.

Referências

- Ahmed, F. E., Hashaikeh, R., & Hilal, N. (2019). Solar Powered Desalination - Technology, Energy and Future Outlook. *Desalination*, 453, 54-76. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.002>
- Almeida, I. B., Lima, M. A. A., & Souza, L. G. M. (2016). Desenvolvimento de Secador Solar Construído a Partir de Material Reciclável. *Holos*, 4, 196-205. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.2477>

- Alvarenga, A. C., Ferreira, V. H., & Fortes, M. Z. (2014). Energia Solar Fotovoltaica: Uma Aplicação na Irrigação da Agricultura Familiar. *Sinergia*, 15 (4), 311-318. <https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/sinergia/issue/view/12>
- Amaral, C. T., Moret, A. S., & Marta, J. M. C. (2018). “Luz para Todos” na Amazônia: uma reflexão acerca da contribuição do programa para fomentar o desenvolvimento sustentável em Rondônia. *Ateliê Geográfico*, 12 (2), 249-268. <https://doi.org/10.5216/ag.v12i2.45037>
- ANEEL. (2005). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. (2a ed.), Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas. https://www.aneel.gov.br/revistas/-/asset_publisher/vQ3aqUEjUGIO/content/atlas-de-energia-eletrica-do-brasil/656835?inheritRedirect=false
- ANEEL. (2010). *Estrutura Tarifária Para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. Sumário Executivo. [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(2).pdf)
- ANEEL (2015). *Geração Distribuída*. <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>
- Araújo, C. A. O., Nunes, C. C., Borges, F. T., Preta, M. S. F. C., & Bahia, L. M. A. (2018). Dessalinização de águas: o cenário atual brasileiro e suas projeções. *Vozes dos Vales*, 13, 1-15. <http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2018/05/Cristiano1011.pdf>
- Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. (2015). *Tipos de Revisão de Literatura*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP). <https://www.fca.unesp.br/#/biblioteca/normas-tecnicas/tipos-de-revisao-de-literatura/>
- Bontempo, L. H. S., Castejon, L. V., & Santos, K. G. (2020). Drying of Tangerine peel: kinetics and performance of a convective solar dryer. *Research, Society and Development*, 9 (6), e44963458. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3458>
- BRASIL (2011). *Decreto nº 7.520, de 8 de julho de 2011*. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - “Luz Para Todos”, para o período de 2011 a 2014, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 08. Seção 1. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7520.htm
- BRASIL (2012). *Resolução Normativa nº 488, de 15 de maio de 2012*. Estabelece as condições para revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural. Diário Oficial da União, 103. Seção 1. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012488.pdf>
- BRASIL (2012). *Resolução Normativa nº 493, de 05 de junho de 2012*. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente - SIGFI. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 61. Seção 1. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>
- Carielo, G., Calazans, G., Lima, G., & Tiba, C. (2017). Solar water pasteurizer: Productivity and treatment efficiency in microbial decontamination. *Renewable Energy*, 105, 257-269. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.042>
- Castilho, J. P., Mafiolis, C. D., Escobar, E. C., Barrientos, A. B., & Segura, R. V. (2015). Design, Construction and Implementation of a Low-Cost Solar-Wind Hybrid Energy System. *IEEE Latin America Transactions*, 13 (10), 3304-3309. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7387235>
- Chaurey, A., & Kandpal, T. C. (2010). Assessment and evaluation of PV based decentralized rural electrification: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2266-2278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.005>
- Coelho, S. T., & Goldemberg, J. (2013). Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries. *Energy Policy*, 61, 1088-1096. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.062>
- Conde, C. L R., Silva, R. A., Branco, T. M. M., & Pinho, J. T. (2009). Regulatory Actions due to Small Thermal Plants of Isolated Systems Using Telemetry Control. *IEEE Latin America Transactions*, 7, (2), 211-216. <https://doi.org/10.1109/TLA.2009.5256831>
- Dal Bem, J. C. T., Barbi, I., Normey-Rico, J. E., & Ruther, R. (2016). Solução para Bombeamento de Água em Propriedades Rurais Utilizando Energia Solar Fotovoltaica. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 7, 50-57. <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/146>
- Diniz, A. S. A. C., Neto, L. V. B. M., Camara, C. F., Morais, P. Cabral, C. V. T., Filho, D. O., Ravinetti, R. F., França, E. D., Cassini, D. A., Souza, M. E. M., Santos, J. H., & Amorim, M. (2011). Review of the photovoltaic energy program in the state of Minas Gerais, Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2696-2706. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.003>
- EPE (2018). *Balanco Energético Nacional: Ano Base 2017*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf
- Eletrobras (2017). *Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no Âmbito do Programa Luz para Todos*. Ministério de Minas e Energia. https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/especificacoes_tecnicas.pdf
- Eletrobras (2019). *Mini Usinas Fotovoltaicas de Comunidades Isoladas do Interior São Reativadas*. Amazonas Energia. <http://www.amazonasenergia.com/cms/index.php/mini-usinas-fotovoltaicas-de-comunidades-isoladas-do-interior-sao-reativadas/>
- Esposito, A. S., & Fuchs, P. G. (2013). Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. *Revista do BNDES*, 40, 85-113, 2013. <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2431>
- Feitosa, A. P., Lopes, H. S. S., Batista, R. O., Costa, M. S., & Moura, F. N. (2011). Avaliação do Desempenho de Sistema para Tratamento e Aproveitamento de Água Cinza em Áreas Rurais do Semiárido Brasileiro. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, 8 (3), 196-206. <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewissue.php?id=20>
- Ferreira A., Kunh, S. S., Fagnani, K. C., Souza, T. A., Tonezer, C., Santos, G. R., & Coimbra-Araújo, C. H. (2018). Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 181-191. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>
- Guimarães, B., Silva, J. T. T., Santos, K. G., & Vieira Neto, J. L. (2020). Sequencing of unit operations for integral and sustainable peanut processing. *Research, Society and Development*, 9 (6), e67963449. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3449>

Iqbal, M (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Ontario: Academic Press Canada.

Kamalapur, G. D., & Udaykumar, R. Y. (2011). Rural Electrification in India and Feasibility of Photovoltaic Solar Home Systems. *Electrical Power and Energy Systems*, 33, 594-599. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2010.12.014>

Kemerich, P. D. C., Flores, C. E. B., Borba, W. F., Silveira, R. B., França, J. R., & Levandoski, N. (2016). Paradigmas da Energia Solar no Brasil e no Mundo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 20, 241-247. <https://doi.org/10.5902/2236117016132>

Leroy Merlin (2018). *Utilize placas voltaicas e economize até 95% de energia na sua casa*. <https://www.leroymerlin.com.br/dicas/placa-fotovoltaica-como-economizar-energia-em-casa>

Machado, A. V., Oliveira, E. L., Santos, E. S., Oliveira, J. A., & Freitas, L. M. (2011). Avaliação de um Secador Solar Sob Convecção Forçada Para a Secagem do Pedúnculo de Caju. *Revista Verde*, 6 (1), 1-7. <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/547>

Machado, C. T., & Miranda, F. S. (2015). Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química*, 7, 126-143. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150008>

Maciel, L. G., & Pina, I. F. B. (2014). Proposal of Smart Grids in Communities of Amazonas State. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 1 (2), 76-82. <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20150020>

Marinho, F. J. L., Rocha, E. N., Souto, E. A., Cruz, M. P., Tavares, A. C., Santos, S. A., & Marcovicz, F. (2012). Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 7, 53-60. <https://orprints.org/id/eprint/22810/1/10043-54112-1-PB.pdf>

Marinho, F. J. L., Uchoa, T. R., Leite, S. F., Aguiar, R. L., & Nascimento, A. S. (2015). Dessalinizador Solar Associado a Coletor de Águas de Chuvas Para Fornecer Água Potável. *Enciclopédia Biosfera*, 11 (20), 68-82. <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015a/simposio%20agroecologia/Dessalinizador.pdf>

Marques, R. C., Krauter, S. C. W., & Lima, L. C. (2009). Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro. *Revista Tecnologia*, 30 (2), 153-162. <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/1049/4494>

Mazzone, A. (2019). Decentralised Energy Systems and Sustainable Livelihoods, What Are the Links? Evidence from Two Isolated Villages of The Brazilian Amazon. *Energy & Buildings*, 186, 138-146. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.027>

Município de Laguna. (2019). *Licença ambiental prévia para a usina termossolar é emitida pelo Instituto do Meio Ambiente*. <https://www.laguna.sc.gov.br/noticias/index/ver/codMapaItem/16507/codNoticia/531223>

Nerini, F. F., Howells, M., Brazilian, M., & Gomez, M. F. (2014). Rural electrification options in the Brazilian Amazon: A multi-criteria analysis. *Energy for Sustainable Development*, 20, 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.02.005>

PAC (2014). *Aquecimento Solar no Minha Casa, Minha Vida*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. <http://www.pac.gov.br/i/b6cc5aa2>

Palit, D. (2013). Solar Energy Programs for Rural Electrification: Experiences and Lessons from South Asia. *Energy for Sustainable Development*, 17, 270-279. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.01.002>

Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. L., Rütther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., & Souza, J. G. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2. ed., São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://doi.org/10.34024/978851700089>

Rufuss, D. D. W., Iniyani, S., Suganthi, L., & Davies, R. A. (2016). Solar Stills: A Comprehensive Review of Designs, Performance and Material Advances. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 464-496. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.068>

Sales, J. H., & Cândida, T. Efeito da Temperatura Sobre a Amêndoa de Cacau: Secador Vertical. *Revista GEINTEC: Gestão, Inovação e Tecnologia*, 6 (3), 3437-3446. <https://doi.org/10.7198/S2237-072220160003015>

Senado Federal (2019). *Proposta de Emenda à Constituição n° 44, de 2017*. Brasília: Senado Federal. <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/131846>

Santos, D. C., Queiroz, A. J. M., Figueirêdo, R. M. F., & Oliveira, E. N. A. (2014). Secagem de grãos residuais de urucum por exposição direta ao sol combinada com secagem em secador acumulador de calor. *Semina: Ciências Agrárias*, 35 (1), 277-290. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p277>

Santos, M. A. Rosa, L. P., Sikar, B., Sikar, E., & Santos, E. O. (2006). Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. *Energy Policy*, 34, 481-488. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.06.015>

Silva, G. C., Tiba, C., & Calazans, G. M. T. (2016). Solar Pasteurizer for The Microbiological Decontamination of Water. *Renewable Energy*, 87, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.012>

Silva, G. L., Oliveira, M. S., Silva, R. M., & Silva, N. L. (2016). Análise de Viabilidade Econômica Entre o Uso de Energia em Grid e a Solar no Sertão Paraibano. *Energia na Agricultura*, 31 (1), 89-96. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n1p89-96>

Soletrol (2019). *Aquecedores Solares Para Residências Já Construídas*. <https://www.soletrol.com.br/produtos/residencias-prontas/>

Valer, L. R., Manito, A. R. A., Ribeiro, T. B. S., Zilles, R., & Pinho, J. T. (2017). Issues in PV Systems Applied to Rural Electrification in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1033-1043. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.016>

WAV (2018). *Vantagens da Energia Solar para Produtores Rurais*. <https://wav.com.br/vantagens-da-energia-solar-para-os-produtores-rurais/>