



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

ISLANYA AGUIAR MACIEL

**AVALIAÇÃO DO USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA A
ELETRIFICAÇÃO RURAL BRASILEIRA**

FORTALEZA

2019

ISLANYA AGUIAR MACIEL

AVALIAÇÃO DO USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA A
ELETRIFICAÇÃO RURAL BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira de Energias Renováveis.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ana Fabíola Leite Almeida.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Mônica Castelo Guimarães Albuquerque.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M138a Maciel, Islanya Aguiar.

Avaliação do uso de energia solar fotovoltaica para a eletrificação rural brasileira /
Islanya Aguiar Maciel. – 2019.
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida.

Coorientação: Profa. Dra. Mônica Castelo Guimarães Albuquerque.

1. Energia Elétrica. 2. Eletrificação Rural. 3. Energias Renováveis. 4. Energia Solar
Fotovoltaica. 5. Geração Distribuída. I. Título.

CDD 621.042

ISLANYA AGUIAR MACIEL

AVALIAÇÃO DO USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA A
ELETRIFICAÇÃO RURAL BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira de Energias Renováveis.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Fabíola Leite Almeida (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Maria Alexandra de Sousa Rios
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, que nunca mediu esforços para investir na minha educação, mesmo tendo que criar três filhos praticamente sozinha. Meu primeiro exemplo de mulher forte e independente.

À tia Rita, vulgo Teté, que sempre esteve lá pra cuidar da gente enquanto minha mãe tinha que trabalhar. Melhor contadora de histórias e a que enxerga mais do que tomo mundo. Nada escapa.

À Ingrid, minha irmã, com quem eu sempre posso contar e confiar.

Aos meus professores, por compartilharem o conhecimento adquirido que possibilitará meu desenvolvimento profissional.

À CAPES, por ter me proporcionado a realização de um intercâmbio na Trinity College Dublin, experiência que ampliou minha visão de mundo.

Aos meus amigos que me acompanharam nesse caminho, compartilhando as angústias (que não foram poucas), os momentos de descontração, os almoços no RU e que fizeram essa jornada ser um pouco mais leve.

“Há sempre ordem e caos ao mesmo tempo; do caos estão sempre nascendo novas ordens; a processualidade é intrínseca à ordem”

Suely Rolnik

RESUMO

O acesso à energia elétrica é indispensável para o desenvolvimento econômico e social de uma comunidade. Embora seja considerado um serviço público essencial, algumas regiões do Brasil se encontram excluídas eletricamente. O problema aflige principalmente comunidades da zona rural, em especial na região Norte, onde há maiores entraves estruturais e econômicos para a integração dos sistemas de transmissão e distribuição de energia. Este trabalho teve como proposta avaliar o uso da energia solar fotovoltaica em comunidades rurais que se encontram excluídas do serviço de eletricidade no Brasil, levando em consideração a disponibilidade tecnológica e econômica da utilização dessa fonte de energia em sistemas distribuídos. Através de uma análise de custos, fica evidente que a energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável à conexão convencional à rede elétrica em comunidades rurais isoladas.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Eletrificação Rural. Energias Renováveis. Energia Solar Fotovoltaica. Geração Distribuída.

ABSTRACT

Access to electricity is indispensable for the economic and social development of a community. Although it is considered an essential public service, some regions of Brazil are electrically excluded. The problem mainly afflicts rural communities, especially in the North, where there are major structural and economic obstacles to the integration of transmission and distribution systems. The purpose of this study was to evaluate the use of photovoltaic solar energy in rural communities that are excluded from the electricity service in Brazil, taking into account the technological and economic availability of the use of this alternative energy source in distributed systems. Through a cost analysis, it is evident that photovoltaic solar energy is a viable alternative to the conventional grid connection in isolated rural communities.

Keywords: Electric Power. Rural Electrification. Renewable Energy. Photovoltaic Solar Energy. Distributed Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Taxa de eletrificação domiciliar por município, ano 2000	15
Figura 2	– Proporção de domicílios particulares permanentes com energia elétrica proveniente de distribuidora, por situação do domicílio.....	16
Figura 3	– Potencial das fontes de energias renováveis no Brasil.....	17
Figura 4	– Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	20
Figura 5	– Diagrama do SIN em 2015 com projeção para 2024.....	21
Figura 6	– Centrais elétricas que compõem os Sistemas Isolados.....	23
Figura 7	– Sistema Fotovoltaico <i>On-Grid</i>	25
Figura 8	– Sistema Fotovoltaico <i>Off-Grid</i>	26
Figura 9	– Esquema de um painel fotovoltaico.....	27
Figura 10	– Inversor de frequência.....	27
Figura 11	– Evolução futura dos custos de investimentos em tecnologias de energias renováveis.....	37
Figura 12	– Evolução dos custos da energia solar fotovoltaica.....	40
Figura 13	– Estimativa de geração mensal.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Custo da eletrificação rural convencional em função da distância e do número de residências.....	36
Tabela 2	– Custo dos equipamentos do sistema.....	42
Tabela 3	– Dados de radiação global horizontal e temperatura da região.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
ITRPV	<i>International Technology Roadmap for Photovoltaics</i>
MIGDI	Microsistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIGFI	Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	18
1.1.1	<i>Objetivo geral.....</i>	18
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	Matriz energética brasileira.....	19
2.1.1	<i>Sistemas Isolados.....</i>	21
2.2	Energia Solar Fotovoltaica.....	24
2.2.1	Componentes do Sistema Fotovoltaico.....	25
2.2.1.1	<i>Painéis Fotovoltaicos.....</i>	26
2.2.1.2	<i>Inversor de Frequência.....</i>	27
2.2.1.3	<i>Medidor Bidirecional.....</i>	28
2.2.1.4	<i>Bateria.....</i>	28
2.2.1.5	<i>Controlador de Carga.....</i>	29
3	METODOLOGIA.....	30
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
4.1	Universalização do serviço de energia elétrica.....	31
4.2	Luz Para Todos.....	31
4.3	Problemas da centralização energética no Brasil.....	33
4.4	Geração Distribuída.....	35
4.4.1	<i>Resoluções Normativas nº 482 e nº 687.....</i>	37
4.5	Potencial energético brasileiro.....	39
4.6	Evolução dos custos.....	39
5	ANÁLISE DO USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL BRASILEIRA.....	42
5.1	Análise de custos.....	42
5.2	Impactos sociais.....	45
5.3	Engajamento da comunidade.....	46
6	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica exerce um papel fundamental para a melhoria e o desenvolvimento do modo de vida do homem, tanto para suprir suas necessidades, quanto para modificar o meio em que vive. Em um cenário onde há a escassez dos recursos energéticos, o ser humano tende a buscar diferentes formas de obter a energia que necessita para suas atividades. O avanço industrial e tecnológico que ocorreu no mundo após a disseminação da energia elétrica foi tão acelerado, que este recurso passou a ser indispensável para o desenvolvimento de uma região (WALKER, 2009).

De acordo com o Atlas da Energia Elétrica do Brasil produzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), a facilidade de acesso da população a serviços como transporte, saneamento básico e energia é um fator determinante para um país ser considerado desenvolvido. Enquanto os dois primeiros estão relacionados com a melhoria da saúde pública e a integração nacional, o acesso à energia promove o desenvolvimento econômico e social. Portanto, o setor de energia de um país lida com duas vertentes. Uma delas é o desenvolvimento tecnológico, que tem como objetivo obter uma maior eficiência na produção e na aplicação dos recursos energéticos. Enquanto a outra vertente está relacionada com o social, visando aumentar o acesso da população às fontes de energias mais eficientes, que ocorre principalmente com o fornecimento de energia elétrica.

Dessa forma, a indústria de energia é responsável por administrar e atuar nesses dois segmentos, indo desde a exploração dos recursos naturais até a distribuição do serviço à sociedade. Para isso, conta com companhias públicas e empresas de capital privado que atuam em um ambiente regulamentado pelos governos locais.

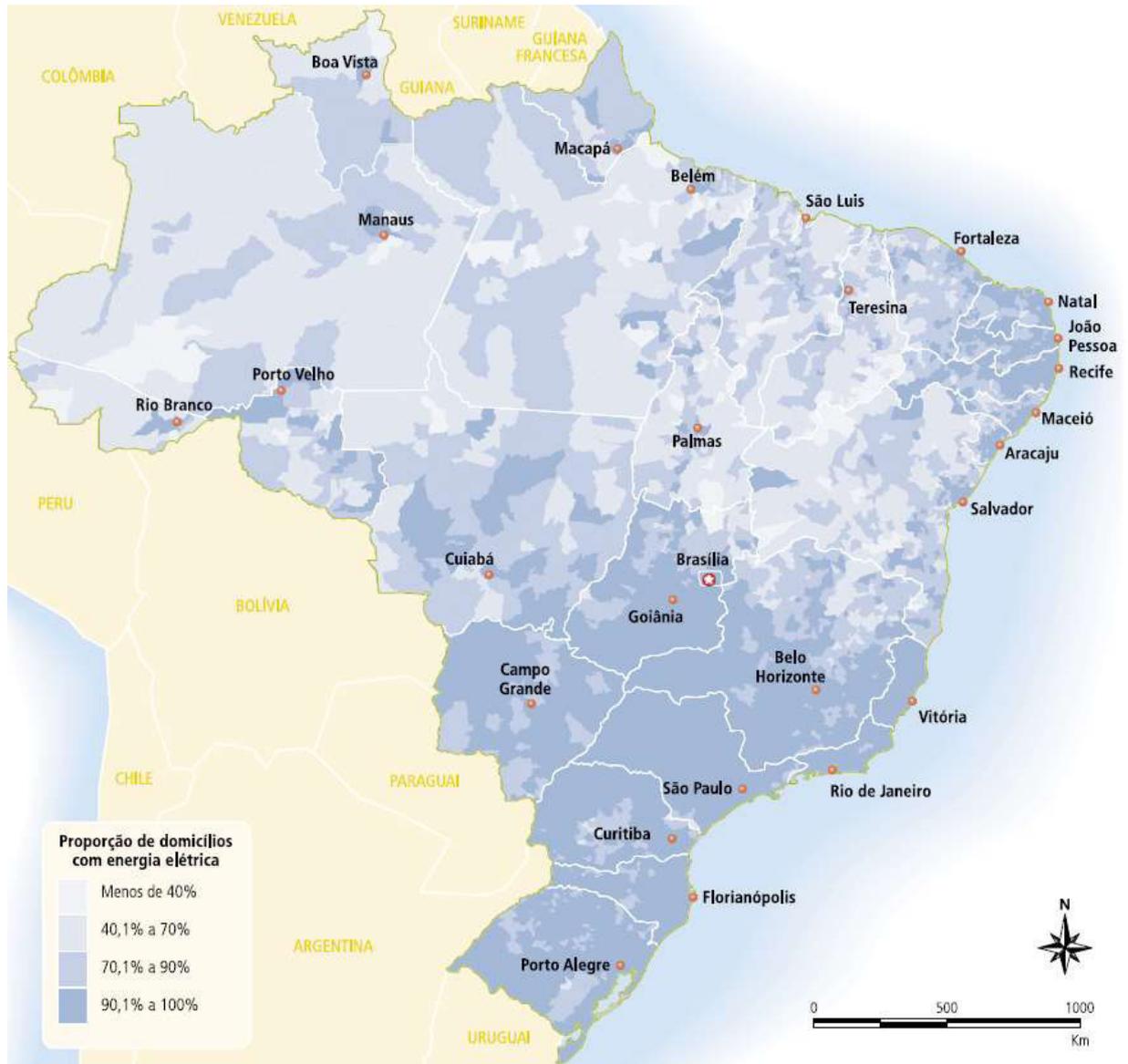
Entretanto, embora o setor de energia elétrica detenha várias normas, recomendações e modelos de gestão para o uso dessa energia, Rosa (2007) afirma que a maioria dos projetos é voltado para os grandes empreendimentos e para os sistemas interligados de eletricidade. Há pouco investimento em sistemas elétricos que são considerados pequenos, distantes e não-rentáveis, que ficam em último plano, e isso acaba desfavorecendo as comunidades isoladas.

No Brasil, o fornecimento de energia elétrica é possibilitado e controlado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), que é o conjunto de instalações e equipamentos responsáveis pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para todo o país. Devido à dificuldade de integração de algumas áreas pelo SIN, algumas regiões são atendidas pelos Sistemas Isolados, que são unidades geradoras de eletricidade que não estão conectadas ao SIN e que são formados principalmente por pequenas centrais termelétricas ou hidrelétricas e que atuam em uma região delimitada, ou seja, a energia é consumida próxima de onde é gerada (ROSA, 2007).

Rosa (2007) estabelece que o termo “comunidades isoladas” no contexto do setor de eletricidade é entendido como qualquer área que se encontra excluída do serviço de eletricidade, sem estar integrada ao Sistema Interligado Nacional ou ao sistema elétrico de outro país, não considerando os aspectos sociais e econômicos da área. Portanto, essas comunidades podem ser classificadas em atendidas ou não-atendidas eletricamente por Sistemas Isolados de eletricidade. Entretanto, existe também uma parte da população dentro das “comunidades isoladas” que não são atendidas pelos Sistemas Isolados e se encontram totalmente excluídos do serviço de eletricidade.

A Figura 1 mostra como se encontrava a situação dos municípios brasileiros em 2000 em relação à oferta de energia elétrica domiciliar. Embora tenha havido um crescimento no número de domicílios atendidos pelo serviço de energia elétrica nos anos seguintes, esse número ainda se mostra insuficiente, principalmente na região Norte e nas áreas rurais do país.

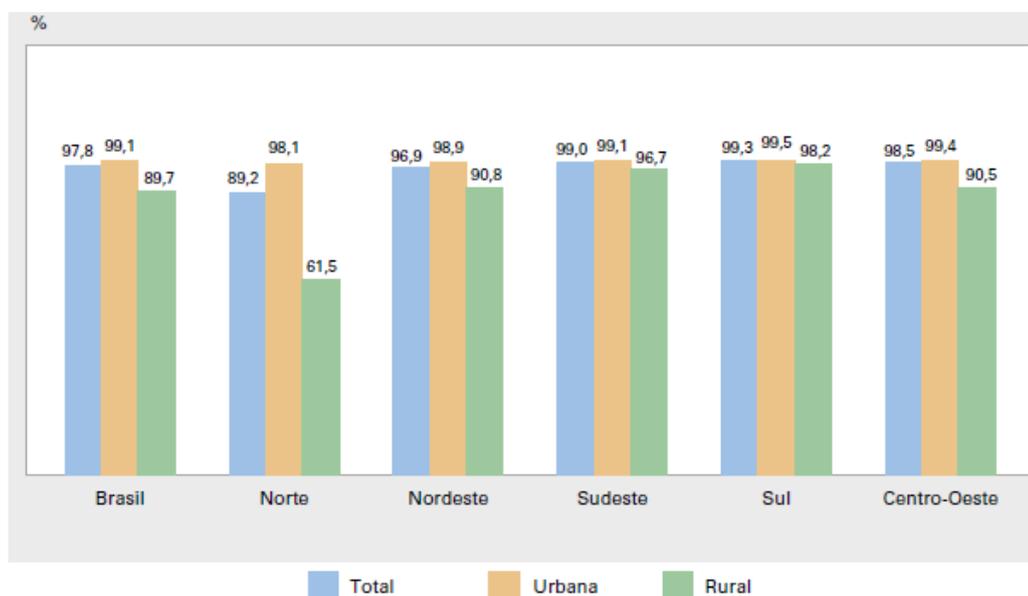
Figura 1 – Taxa de eletrificação domiciliar por município, ano 2000.



Fonte: ANEEL (2005)

O Censo Demográfico de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostra que os domicílios que usufruem do serviço de energia elétrica no Brasil chegam a 97,8% do total. Sendo que 99,1% dos domicílios de área urbana recebem essa cobertura, enquanto 89,7% dos domicílios da zona rural estão ligados à rede, como mostra a Figura 2. Os números se mostram menos promissores em algumas regiões do país. Nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, os percentuais de domicílios rurais atendidos com energia elétrica eram de 90,8% e 90,5%, respectivamente, enquanto na região Norte esse número despencava para 61,5%.

Figura 2 – Proporção de domicílios particulares permanentes com energia elétrica proveniente de distribuidora, por situação do domicílio.



Fonte: IBGE (2010)

Como apontado pela ANEEL (2008), a ocorrência e o tamanho dos grupos que não têm acesso à eletricidade estão relacionados de forma direta à sua localidade, visto que existem barreiras físicas e econômicas que dificultam a expansão da rede elétrica. As diferentes particularidades das cinco regiões brasileiras moldaram o perfil dos sistemas de geração, distribuição e transmissão no decorrer do tempo e ainda estabelecem as facilidades ou dificuldades do acesso das pessoas à rede elétrica.

As regiões Sul e Sudeste apresentam um maior desenvolvimento econômico e social em relação às outras regiões, além de terem uma densidade demográfica mais elevada. Portanto, essas regiões se encontram numa posição mais favorecida quanto ao acesso à energia elétrica. Em contrapartida, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste são as que têm um maior número de pessoas sem acesso à rede. Os principais motivos são a baixa densidade demográfica, que ocorrem especialmente no Norte e Centro-Oeste, o baixo poder de aquisição e as particularidades geográficas, como existência de extensos rios, florestas densas, relevo irregular.

Dentre as regiões com menos acesso à rede elétrica, os locais que se encontram em situação mais crítica são o Alto Solimões, no Estado do Amazonas,

grande parte do Estado do Pará e do Acre. Na região Nordeste, os estados mais afetados com a falta de eletrificação são o Ceará, Piauí, Bahia e Maranhão (ANEEL 2008).

A amplificação da rede elétrica em comunidades rurais é dificultada pelos altos custos de operação e pelo elevado investimento por usuário devido à baixa densidade demográfica. Portanto, a amplificação das redes elétricas em locais isolados gera um baixo retorno ou até mesmo prejuízo econômico para as concessionárias de energia elétrica do país (VIEIRA E CABRAL, 2012).

Diante deste cenário, o uso e o aperfeiçoamento das energias renováveis se mostram como uma possível solução para atender a demanda por energia elétrica nas comunidades rurais isoladas.

A Figura 3 mostra o potencial de aproveitamento das fontes de energias renováveis para atender a demanda de energia no Brasil. Para Vieira e Cabral (2012), a localização geográfica privilegiada e as condições climáticas brasileira oferecem um grande potencial energético proveniente de fontes renováveis, sendo uma boa alternativa para a eletrificação rural e o estabelecimento da geração distribuída. O uso dessa tecnologia dispensa a construção de extensas redes de transmissão, além disso, não demanda muita manutenção dos sistemas em comparação a grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, além de se tratar de fontes menos poluentes.

Figura 3 - Potencial das fontes de energias renováveis no Brasil.

No Brasil, o total de energia que poderia ser aproveitada com tecnologias atuais é de 26,4 vezes a demanda nacional.

Sol	20 vezes
Vento	3 vezes
Energia hídrica	3 vezes
Biomassa	0,2 vez
Energia oceânica	0,15 vez

Fonte: GREENPEACE INTERNACIONAL (2010)

Segundo Verona (2008), atribuiu-se mais de 80 % do declínio da pobreza rural às melhores condições de vida no campo, e não a migração de pessoas de baixa renda para as cidades. Afirma também que a migração para as zonas urbanas não tem sido o principal instrumento para redução de pobreza rural. A superação das desigualdades e das injustiças sociais deve ser aliada ao compromisso ético e político do combate à pobreza e a miséria, além de um especial cuidado com a temática ambiental. (apud BASCHIERA, 2016)

O acesso à energia elétrica pelas comunidades rurais isoladas é uma forma de controlar as migrações dessa comunidade para os centros urbanos que ocorre no Brasil há décadas e desencadeiam diversos problemas sociais, tais como desemprego e marginalização. Além disso, a eletricidade no meio rural pode promover um aumento da produtividade agrícola e da qualidade de vida, o que resulta em uma melhoria significativa das condições sociais e econômicas da população local (SILVA, 2006).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi realização de uma análise do uso de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade em comunidades rurais isoladas do Sistema Interligado Nacional brasileiro.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar o cenário atual do sistema elétrico brasileiro e a situação da população excluída do serviço de energia elétrica no país;
- b) Apontar as tecnologias disponíveis de energia solar fotovoltaica para suprir as necessidades energéticas características dessas comunidades;
- c) Avaliar os impactos do uso de energia solar fotovoltaica no fornecimento de energia elétrica para comunidades rurais isoladas.

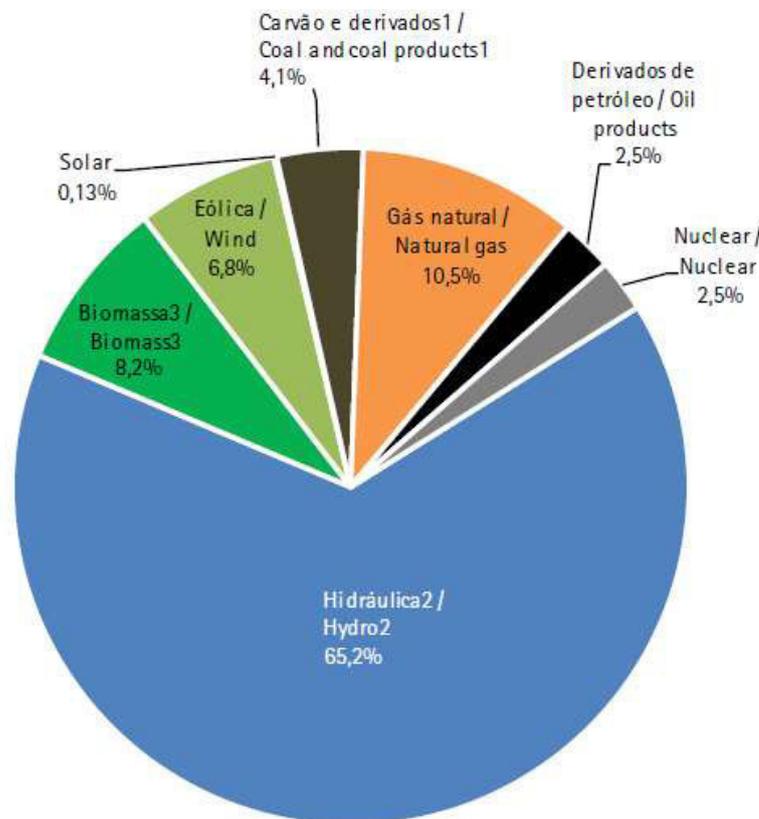
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Matriz Energética Brasileira

Em 2017, a produção de energia elétrica chegou a 588,0 TWh no Brasil, o que representa um aumento de 1,6% em relação ao ano de 2016. Desse total, 83,5% da geração se deu por parte das centrais elétricas de serviços públicos, enquanto produtores autônomos foram responsáveis por 16,5% da geração (96,8 TWh). Sendo que 55,4 TWh não foram injetados na rede de transmissão, isto é, foram consumidos na própria unidade geradora.

A Figura 4 mostra a oferta de energia elétrica no Brasil, em 2017, de acordo com as diferentes fontes. A matriz elétrica brasileira é composta predominantemente por fontes renováveis de energia, tendo como líder a fonte hidráulica, que representa 65,2% da oferta interna de energia elétrica. A soma de toda energia elétrica proveniente de fontes renováveis no Brasil chega a 80,4% da oferta de energia interna (EPE, 2018). Entretanto, 81% da energia produzida proveniente de fontes renováveis são de grandes usinas hidrelétricas, que são responsáveis por provocar diversos impactos sociais e ambientais, como o deslocamento de famílias de um determinado local, desmatamento de extensas áreas, inundação de áreas verdes etc.

Figura 4 - Oferta interna de energia elétrica por fonte.

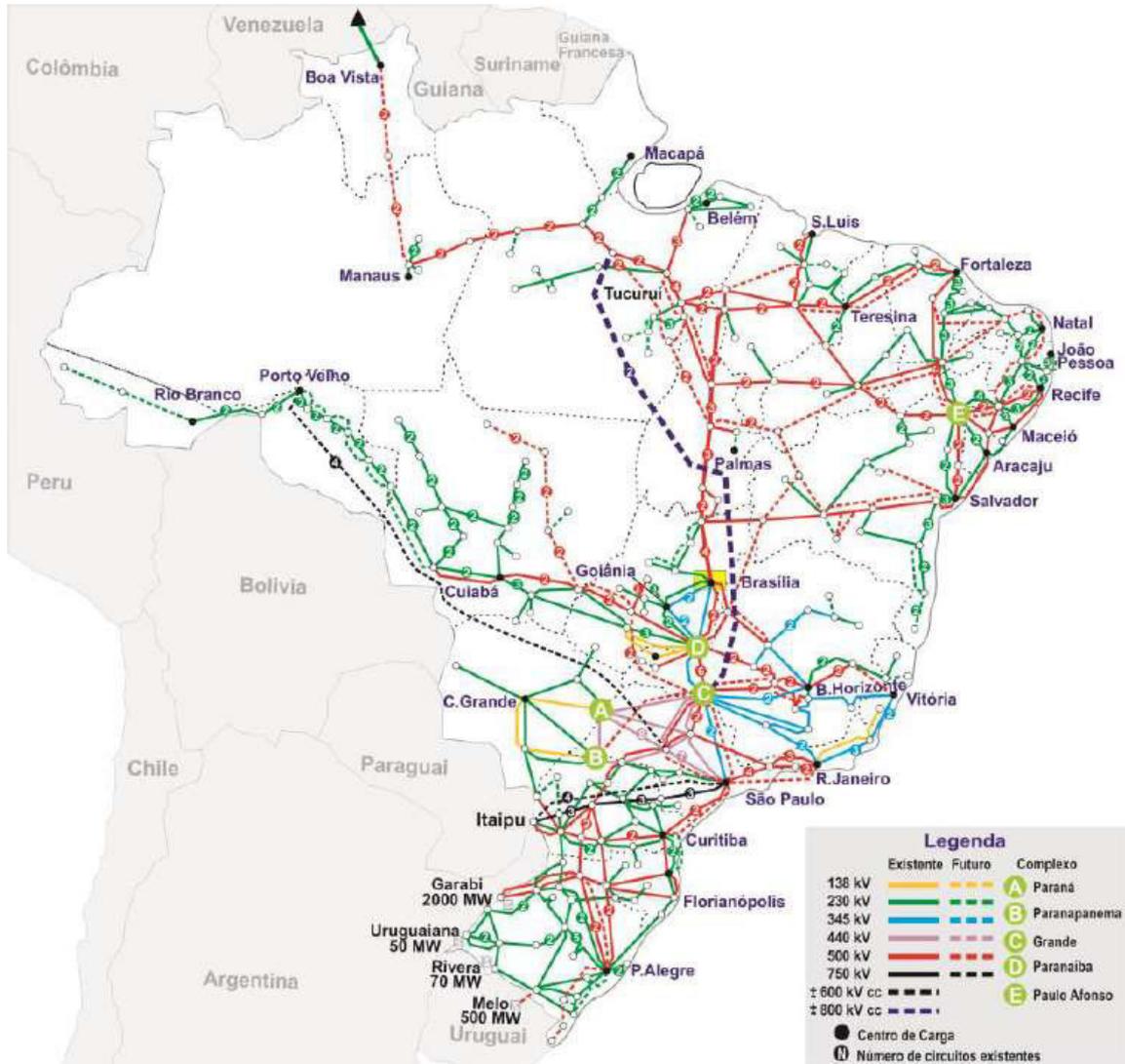


Fonte: EPE (2018)

A geração e a transmissão de energia elétrica no Brasil são realizadas através de um conjunto de usinas, redes de transmissão e distribuidoras que compõem o chamado Sistema Interligado Nacional (SIN). Esse sistema contempla as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte do país.

A Figura 5 mostra o diagrama do SIN em 2015 com projeções estimadas para 2024. É possível ver que as linhas de integração do SIN se concentram mais nas regiões Sul e Sudeste do país, havendo uma grande diferença entre o sul e o norte do país.

Figura 5 - Diagrama do SIN em 2015 com projeção para 2024.



Fonte: EPE (2017)

Além disso, há um conjunto de sistemas menores que não estão conectados ao SIN. São os Sistemas Isolados, que se encontram principalmente na região Norte, visto que as particularidades geográficas da região (floresta densa e rios extensos) dificultam a integração das redes de transmissão na área (ANEEL, 2008).

2.1.1 Sistemas Isolados

Os Sistemas Isolados são, em sua maioria, formados por usinas térmicas abastecidas a óleo combustível e óleo diesel, além de algumas Pequenas Centrais

Hidrelétricas, Centrais Geradoras Hidrelétricas e termelétricas que utilizam biomassa. Essas regiões encontram-se predominantemente na região Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Rondônia e Roraima) (ANEEL, 2008).

Há dois grandes Sistemas Isolados em Porto Velho (Rondônia) e no Rio Branco (Acre) que se encontram interligados, em que uma parcela da energia é gerada por uma usina hidrelétrica chamada Samuel, com cerca de 215 MW de potência instalada, localizada no rio Jarami (Porto Velho).

Também há a UHE Balbina no Sistema Isolado de Manaus (Amazônia), que gera 250 MW, instalada no rio Uatumã. No entanto, a maior parte da energia elétrica gerada pelos Sistemas Isolados ainda assim é proveniente de combustíveis fósseis.

Rocha *et al.* (2015) observaram que a queima de combustíveis fósseis na cidade de Manaus acarretou numa emissão média de 3,5 milhões de toneladas de CO₂ por ano no período entre 2006 e 2012. A emissão anual per capita seria de 1,98 tCO₂/ano para cada cidadão manauara, ou seja, sete vezes maior que a média nacional registrada em 2012, de 0,27 tCO₂ ano/hab.

O custo de produção da energia elétrica dos Sistemas Isolados é, portanto, superior ao do SIN, visto que provém principalmente de fontes térmicas. Além disso, o Governo Federal criou a Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis, que é um subsídio para assegurar a compra de combustíveis fósseis que são usados nessas termelétricas. Essa conta é paga pela população brasileira consumidora de energia elétrica e em 2008 seu valor chegou a R\$ 3 bilhões. (ANEEL, 2008).

A Figura 6 mostra como estão dispersas as centrais elétricas que formam os Sistemas Isolados no Brasil. Pode-se ver que a maior parte delas se concentra na região Norte, justamente pela dificuldade de integração dessa região ao SIN.

Figura 6 – Centrais elétricas que compõem os Sistemas Isolados.



Fonte: ANEEL (2008)

Por fim, as distribuidoras de energia elétrica são grandes empresas que conectam a sociedade com o sistema de energia elétrica, pois estas são encarregadas de receber das transmissoras o fornecimento de energia elétrica reservado para o abastecimento do país. O Brasil conta com 64 distribuidoras estatais e privadas de energia elétrica em operação distribuídas em diferentes

Estados, sendo que alguns deles possuem mais de uma dessas empresas, como em São Paulo, por exemplo (ANEEL 2008).

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

A utilização da tecnologia solar fotovoltaica passou a ser mais disseminada para atender pontos de consumo distantes das redes de distribuição de energia elétrica. O uso dessa tecnologia em comunidades isoladas e sem acesso à energia elétrica pode ser viável para atender às necessidades energéticas de comunidades rurais, tais como para ativar sistemas de bombeamento de água, sistemas de refrigeração e eletrificação residencial convencional (MESQUITA, 2014).

A energia solar fotovoltaica consiste em transformar a energia proveniente da radiação solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico com o auxílio de materiais semicondutores que, após purificado e tratado, formam as células fotovoltaicas que são dispostas em série para formar os painéis fotovoltaicos. Os painéis são classificados na indústria como monocristalinos, policristalinos ou amorfos, dependendo da estrutura cristalina do material semicondutor utilizado em sua fabricação (DI LASCIO E BARRETO, 2009).

Brito e Silva (2006) citam em seu estudo intitulado “Energia Fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade” um breve histórico do efeito que possibilitou o aproveitamento da energia solar em energia elétrica:

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmund Becquerel, que produziu uma corrente elétrica ao expor à luz dois eletrodos de prata num eletrólito. Em 1877, W.G. Adams e R.E. Day construíram a primeira célula solar baseada em dois eletrodos de selênio que produziam uma corrente elétrica quando expostos à radiação, mas a eficiência destes sistemas era tão reduzida que o desenvolvimento de células solares realmente interessantes teve que esperar por uma compreensão mais completa dos materiais semicondutores. Só em 1954, D.M. Chapin e colaboradores, do Bell Laboratory, nos Estados Unidos da América, publicaram o primeiro artigo sobre células solares em silício – ao mesmo tempo que registavam a patente de uma célula com uma eficiência de 4.5%.

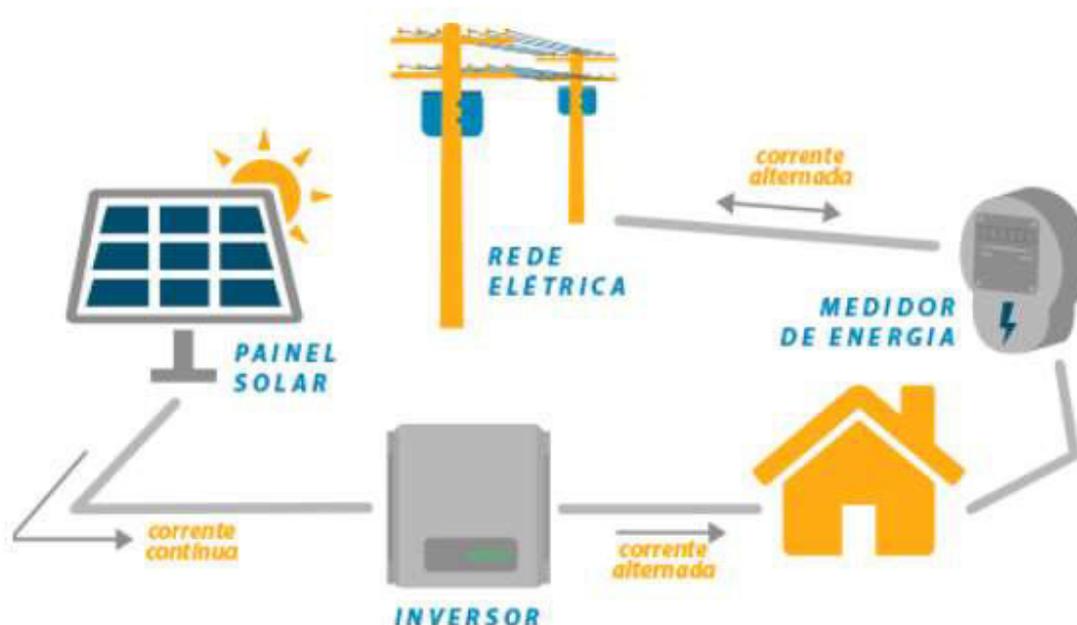
O silício que se utiliza para a fabricação de células fotovoltaicas é proveniente do dióxido de silício, principal composição da areia, sendo um dos compostos mais abundantes da crosta terrestre. Para ser usado na indústria

eletrônica e na indústria solar fotovoltaica, esse material precisa passar intensos processos de purificação e destilação a fim de se atingir um grau de pureza da ordem de 99,9999%. Além do elevado grau de pureza, o material deve se encontrar na forma cristalina e com poucos defeitos, havendo diferentes processos de cristalização no qual o material pode ser submetido, podendo gerar monocristais, multicristais ou finas fitas de silício monocristalino. Em seguida, o material é cortado em pequenas espessuras e passa pelo processo de dopagem com outro material para a criação da junção P-N. Feito isso, os contatos elétricos são depositos nas células para transmitir as cargas elétricas ao sistema que se deseja alimentar. Por fim, as células são dispostas em série num módulo e encapsuladas a fim de garantir seu isolamento elétrico e uma proteção contra choques mecânicos (BRITO E SILVA, 2006).

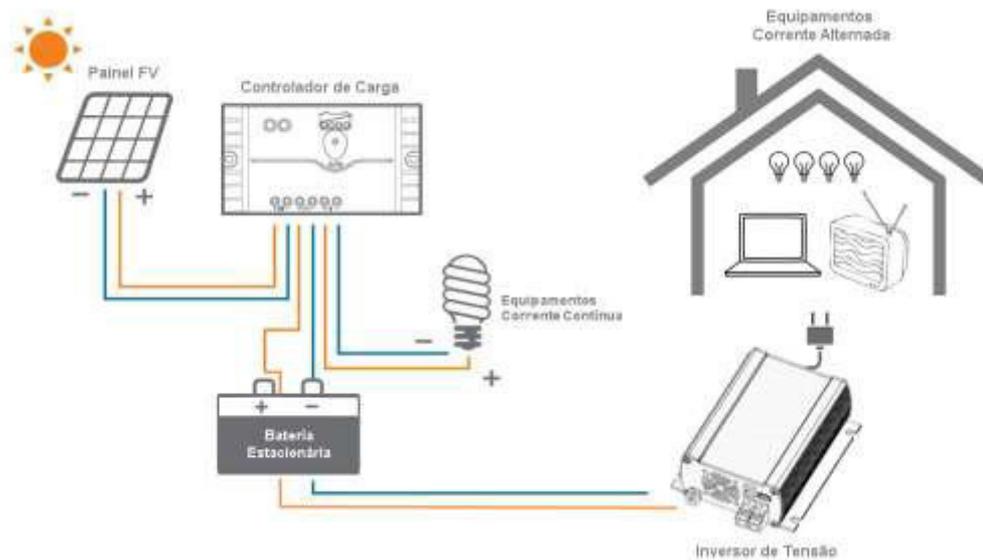
2.2.1 Componentes do Sistema Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos podem estar conectados ou não à rede elétrica de transmissão. Os sistemas conectados à rede são chamados de *On-Grid* (Figura 8), enquanto os não conectados são conhecidos como *Off-Grid* (Figura 9), nesse último caso são usadas baterias para armazenar a energia produzida pelo sistema.

Figura 7 – Sistema Fotovoltaico *On-Grid*.



Fonte: Google Imagens

Figura 8 – Sistema Fotovoltaico *Off-Grid*.

Fonte: Google Imagens

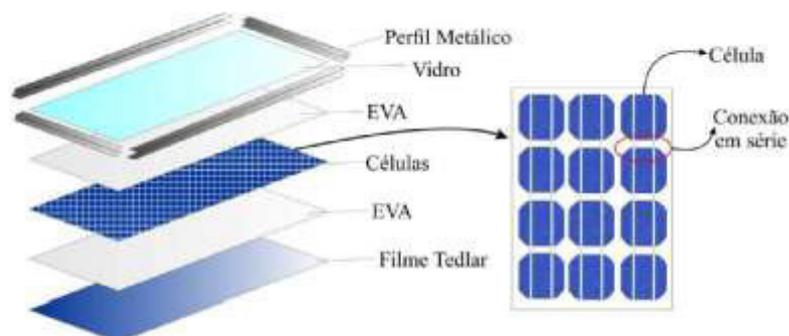
Os principais componentes de um sistema fotovoltaico são os painéis fotovoltaicos, inversores de frequência, medidor bidirecional, equipamentos de proteção e, em casos de sistemas *Off-Grid*, há também a presença de baterias e controladores de carga.

2.2.1.1 Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são formados pelo conjunto de células solares dispostas em série capazes de gerar tensão e corrente elétrica contínuas. A ligação em série faz com que ocorra a soma da diferença de potencial de cada célula a fim de se obter uma tensão maior na saída do painel (RIOS, 2017).

As células fotovoltaicas ficam envoltas em finas camadas de acetato venil etileno (EVA). Na parte externa posterior, tem-se uma camada de vidro temperado, que garante a passagem dos raios solares e serve como proteção mecânica e isolante. A camada posterior é formada por um filme de fluoreto de polivinila (PVF), também chamado de *Tedlar*. Essas camadas ficam envoltas num suporte metálico, geralmente alumínio. A Figura 10 mostra um esquema desse conjunto (MACHADO E MIRANDA, 2015).

Figura 9 – Esquema de um painel fotovoltaico.



Fonte: Machado e Miranda (2015)

2.2.1.2 Inversor de Frequência

Esse equipamento é necessário para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Machado e Miranda (2015) afirmam que o inversor (Figura 11) é o equipamento responsável por receber a corrente gerada pelo arranjo de painéis solares (corrente contínua) e faz com que ela se adeque às características da corrente a ser injetada na rede elétrica. Ou seja, ocorre a transformação de corrente contínua em corrente alternada e altera sua frequência para 50 ou 60 Hz. O inversor fica conectado ao medidor bidirecional, controlando a corrente que será enviada para a rede.

O inversor é considerado o cérebro do sistema. Nele ficam armazenados os dados de geração de energia elétrica, além de acionar o desligamento do sistema quando há uma queda de energia na rede elétrica, o que pode danificar os equipamentos. É o item mais caro do sistema fotovoltaico.

Figura 10 – Inversor de frequência.



Fonte: Google Imagens

2.2.1.3 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional é o equipamento que mede não só o consumo de energia da residência, como os medidores convencionais, mas também o fluxo de energia que está sendo enviado para a rede elétrica, gerando os créditos de energia. Nos momentos em que o sistema não gera, como à noite, a unidade consome os créditos que foram gerados. Vale ressaltar que esse equipamento não mede a energia gerada pelo sistema, apenas o excedente enviado à rede. De acordo com a Resolução nº 687, esse medidor deve ser fornecido pela concessionária local após realizar uma visita técnica para averiguar se a instalação se encontra dentro das normas estabelecidas.

2.2.1.4 Bateria

Nos sistemas *Off-Grid*, em que a energia gerada não é enviada à rede elétrica, é necessário o uso de baterias para armazenar a energia gerada. Esta é essencial principalmente à noite, já que o sistema não é capaz de gerar energia ou em períodos nublados, em que o nível de irradiação diminui consideravelmente.

As baterias mais utilizadas nesse sistema são as baterias de chumbo-ácido pois são mais resistentes a descargas profundas. Glavin (2016) apud Mesquita (2014) aponta que as baterias mais adequadas para sistemas fotovoltaicos em locais remotos devem ser as que requerem menos manutenção, alta eficiência, vida cíclica elevada e boa eficiência, que varia em torno de 70% a 80%. Outro fator importante para evitar que a bateria se desgaste rapidamente é a temperatura do local de armazenamento, que deve ser sombreado e ventilado.

Mota (2016) ressalta que é preciso levar em consideração o período de carga das baterias para uso em sistemas fotovoltaicos. Como não é possível carregar de forma efetiva uma bateria num curto período de tempo, o sistema deve ser dimensionado considerando o tempo de absorção lento da bateria durante as horas disponíveis de insolação.

2.2.1.5 Controlador de Carga

A energia elétrica proveniente dos painéis em sistemas *Off-Grid* vai diretamente para o controlador de carga, que é o equipamento responsável por gerenciar a carga e a descarga das baterias. Ele previne que a bateria sofra cargas ou descargas excessivas, o que pode comprometer a vida útil das baterias. Mesquita (2014) afirma que um controlador de carga adequado deve ter uma vida útil em torno de 10 anos, oferecer proteção contra inversão de polaridade e proporcionar uma boa transferência de energia dos terminais do painel fotovoltaico para a bateria, que irá armazená-la.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho se baseou numa revisão bibliográfica, fazendo um levantamento de outros trabalhos, artigos e relatórios que discorrem sobre a temática aqui proposta. Primeiro, foi feita uma breve exposição de como se encontra o setor elétrico brasileiro e o cenário em que se encontram os excluídos elétricos no país. Então, foi feita uma revisão bibliográfica sobre o uso de energia solar fotovoltaica como alternativa para essas comunidades a fim de se criar um embasamento que serviu como base de discussões sobre o tema. Ao fim do trabalho, foi feita uma síntese dos resultados obtidos de modo a evidenciar as alternativas que se mostraram mais viáveis para a universalização do acesso à energia elétrica pelas comunidades rurais isoladas a partir do uso de energia solar fotovoltaica.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Universalização do serviço de energia elétrica

A Constituição Federal de 1988 determina que a distribuição de energia elétrica é um serviço público e essencial que deve ser assegurado pelo Governo Federal, de forma direta ou por intermédio de concessionárias. No entanto, de acordo com Santos *et al.* (2010), não é de interesse das concessionárias arcarem com os custos da universalização de energia em prol do bem-estar social. O retorno do dinheiro a ser investido para montar toda uma estrutura de universalização da energia seria mínimo, ou até mesmo deficitário, visto que seriam necessárias extensas redes de transmissão para usuários com um baixo consumo de energia.

Embora a distribuição de energia elétrica seja considerada um serviço público essencial, a demanda de energia elétrica das comunidades rurais mais isoladas continua não sendo atendida pelo Estado de forma satisfatória. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), 27% das áreas rurais estavam excluídas do serviço de eletricidade no país em 2002, o que equivale a mais de dez milhões de pessoas que não usufruem de um serviço básico garantido pela Constituição (MME apud. SANTOS *et al.*, 2010).

O autor ainda destaca que a população sem acesso à energia elétrica se encontra em sua maioria nas regiões que apresentam um menor Índice de Desenvolvimento Humano e possuem baixa renda. Das famílias que se encontram nessa situação, 90% possuem renda menor que três salários mínimos e 80% delas se encontram no meio rural.

4.2 Luz Para Todos

Diante deste quadro, o Governo Federal decretou a lei Nº 10.438 de 2002, que estabeleceu o “Plano Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz para Todos”, junto com a Resolução 223/2003 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Em relação ao programa do governo, Camargo (2010) apud Camargo e Ribeiro (2015) destacam em seu estudo intitulado “Programa Luz Para Todos: Avanços e Retrocessos – Um Novo Estoque de Excluídos” a seguinte citação:

O fator que diferenciou o Programa “Luz para Todos”, oferecendo condições de atingir o maior número de atendimentos até então registrado em nossa história foi, principalmente, a garantia da gratuidade da conexão à rede e o atendimento até o interior do domicílio. Para isso, dois mecanismos foram essenciais. O primeiro uma equação financeira que garantia o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos e a modicidade tarifária, com um impacto na revisão tarifária controlada e previsível, o segundo foi a suspensão da eficácia da estrutura normativa emanada da ANEEL, no que diz respeito a novas ligações rurais, trazendo as normas para o âmbito do Ministério de Minas e Energia, por meio de um Manual de Operacionalização do Programa “Luz para Todos”, cujas normas específicas se sobreponha às da Agência.

Os autores afirmam que para garantir o acesso à energia elétrica aos domicílios até então excluídos do serviço de energia elétrica por meio do Programa Luz Para Todos, os custos das obras foram divididos entre diferentes setores. Enquanto as concessionárias ficaram responsáveis por arcar com 15% desses custos, os governos estaduais participaram com 10%, um fundo setorial financiou 35% das despesas e o restante ficou a cargo do governo federal.

De acordo com decreto nº4873, que regularizou o Programa Luz Para Todos em 11 de novembro de 2003, o artigo 1º afirma que:

“Fica instituído o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS", destinado a propiciar, até o ano de 2008, o atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural brasileiro que ainda não possui acesso a esse serviço público”

Ou seja, o programa se destinava de maneira irrestrita à população que não possuía acesso ao serviço de eletricidade. Em 2008, surgiu um novo decreto (nº6442) que prorrogava o programa até o ano de 2010 e assegurava ainda o atendimento de forma irrestrita aos domicílios não assegurados. Entretanto, em 2010, outro decreto (nº7324) entrou em vigor limitando o atendimento apenas aos domicílios cujas ligações tinham sido contratadas ou estavam em processo de contratação até 30 de outubro de 2010. Portanto, a partir desse decreto, os domicílios que ainda não tinham sido inseridos no processo de contratação para serem ligados ao sistema de distribuição de energia elétrica passaram a ser desconsiderados pelo programa. Por fim, um novo decreto (nº 8387) entrou em vigor em 2014, prorrogando o programa até o ano de 2018 e tendo como objetivo realizar mais 228 mil ligações que ainda se encontravam pendentes (CAMARGO e RIBEIRO, 2015).

Vê-se que o Programa Luz Para Todos se iniciou com o objetivo de levar energia elétrica a todos os domicílios excluídos do serviço de eletricidade no país e que ao longo dos anos foi sofrendo mudanças que tornaram seu alcance cada vez mais limitado, perdendo seu caráter de universalização do serviço de energia elétrica.

4.3 Problemas da centralização energética no Brasil

O setor de energia elétrica no Brasil é altamente dependente das grandes usinas hidrelétricas. Essa forte dependência apresenta alguns pontos negativos para a matriz energética brasileira, como a centralização da geração de energia em poucos locais, a dependência da precipitação pluviométrica nos locais de produção e o custo elevado para a construção de novas usinas. De acordo com Borba (2015), as grandes usinas hidrelétricas têm vida útil em torno de 50 anos, sendo necessário investimentos elevados para a manutenção da usina, gerando um aumento da tarifa dos consumidores.

Além dos custos para a execução de obras de usinas hidrelétricas serem muito elevados, demanda muito tempo para sua finalização e não há certeza de uma produção eficaz e estável, pois esse sistema está sujeito a crises hídricas. Ademais, é preciso avaliar os impactos ambientais e sociais que a construção de uma usina hidrelétrica pode causar (FRANÇA, 2015).

Nos anos 2001 e 2002 o Brasil passou por uma crise do setor energético ocasionada pela oferta de geração/transmissão insuficientes para suprir a demanda e pela crise hídrica que afetou o setor nesse período. Essa crise, que ficou conhecida como Crise do Apagão, afetou de forma negativa a economia de várias cidades do país, visto que o crescimento industrial foi contido e, conseqüentemente, acarretou uma estagnação econômica.

Dois anos antes da Crise do Apagão, o setor energético já apresentava sintomas de que não estava bem. Em março de 1999, uma falha na subestação de energia da CESP, no município de Bauru (SP), ativou um mecanismo de segurança na Usina Hidrelétrica de Itaipu que paralisou 16 turbinas da usina. Como resultado, ocorreu um blecaute que atingiu onze unidades federativas do Brasil e do Paraguai, o que representou 70% do território nacional, deixando 76 milhões de brasileiros sem energia elétrica. A versão oficial para a falha que ocasionou o blecaute foi de

que um raio atingiu a subestação de Bauru, contudo, foram realizados estudos meteorológicos na região que descartaram essa possibilidade. No entanto, especialistas apontaram como causa da pane a falta de investimentos e a desorganização do setor energético.

Para evitar que um outro blecaute com essas proporções voltasse a se repetir, o presidente da época, Fernando Henrique Cardoso (PSDB) promoveu uma campanha de racionamento de energia elétrica a partir a aplicação de multas e elevação da tarifa, que diminuiu consideravelmente a demanda e afetou o fluxo de caixa das empresas do setor de energia, culminando na Crise do Apagão de 2001/2002. O resultado dessa medida foi a estagnação econômica e um prejuízo para a economia do país estimado em torno de R\$ 45,2 bilhões (BORBA, 2015).

Em 2009, um novo blecaute de grandes proporções voltou a acontecer. Devido a uma queda na linha de transmissão que saía da Usina Hidrelétrica de Itaipu, passando por Itaberaba, gerou um curto circuito que paralisou 20 turbinas da usina. O apagão afetou 18 estados brasileiros e 90% do território do Paraguai, deixando 90 milhões de pessoas sem eletricidade. Desta vez, fatores meteorológicos foram confirmados como a causa do apagão (ABREU, 2017).

O caso mais recente aconteceu em 21 de março de 2018, que atingiu principalmente as regiões Norte e Nordeste do Brasil, o que afetou cerca de 70 milhões de pessoas. De acordo com Luiz Eduardo Barata, diretor-geral do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a pane foi resultado de “falha humana” por um técnico da Belo Monte Transmissora de Energia (BMTE) durante o planejamento do ajuste de proteção de um disjuntor na subestação Xingu. Resultou no desligamento de 18 mil megawatts de energia, que corresponde a 22,5% da carga total do sistema (PAMPLONA, 2018).

Pode-se ver que falhas de planejamento, acidentes meteorológicos e falhas humanas são alguns dos fatores que podem acarretar problemas no setor energético de ordem nacional, trazendo prejuízos econômicos e sociais para o país. Isso se agrava pelo fato de o sistema de gestão ser altamente centralizado. Portanto, uma falha em qualquer ponto do sistema, pode prejudicar o funcionamento do todo.

De acordo com Araújo (2005) apud Abreu (2017), o marco regulatório do setor de energia elétrica no Brasil não permite a presença de vários atuantes no mercado. As concessionárias que estão presentes no mercado atualmente não são

inteiramente privadas, e sim concessões do Estado, o que caracteriza este setor como um monopólio natural.

Diante das falhas no setor de energia elétrica decorrentes da gestão altamente centralizada, Abreu (2017) afirma o seguinte:

A situação fica mais grave, quando se observa que a única alternativa dada para sanar o problema da matriz energética nacional é criar novas hidrelétricas, como foi a proposta de Belo Monte, por exemplo. Boa parte do grande público, em geral, aceita a ideia, pois parte do pressuposto que não existe alternativa para fonte de energia, e segundo que tudo sairá perfeitamente como planejado, quando, na verdade, o retrospectivo de instalações mostra mais de uma dezena de hidrelétricas e pequenas hidrelétricas abandonadas por todo o Brasil.

O autor ainda afirma que a existência de um órgão centralizador desestimula a competitividade do mercado, além de ser menos ágil para atender a todas as necessidades de forma eficiente e mais difícil de se adequar às particularidades de cada local, principalmente por se tratar de um país com dimensões continentais como o Brasil.

Enquanto se gastam bilhões no desenvolvimento das tecnologias de grande concentração de energia, centenas de megawatts por usina com todos os problemas de transmissão e distribuição, negligencia-se o desenvolvimento das energias renováveis descentralizadas: solar térmica (água quente), solar fotovoltaica (eletricidade), eólica (eletricidade) e biomassa (caldeiras). (MARRANGHELLO,2004, apud FRANÇA, 2015)

As energias renováveis, além de serem menos poluentes que as fontes convencionais de energia, podem ser produzidas em pequenas unidades. Essa descentralização da geração de energia elétrica proporciona uma maior estabilidade no abastecimento de energia e aumenta a geração de empregos. Como aponta Lucon e Goldemberg (2009), a produção de etanol no Brasil através da cana-de-açúcar proporcionou de 14 a 21 vezes mais emprego para gerar uma quantidade de energia equivalente à gerada pelo petróleo.

4.4 Geração Distribuída

O Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) define geração distribuída da seguinte forma: “A Geração Distribuída é uma expressão usada para

designar uma geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) consumidor(res) independente da potência, tecnologia e fonte de energia”.

Devido à proximidade entre a unidade geradora e a consumidora, esse tipo de geração proporciona um menor uso das redes de transmissão e de distribuição. Redes extensas elevam os custos da construção de novas linhas de fornecimento de energia, principalmente para regiões distantes dos grandes centros e com baixa densidade demográfica.

A Tabela 1 ilustra o custo domiciliar da eletrificação rural convencional em relação ao número de residências a serem atendidas da distância à rede elétrica. Fica evidente como esse custo se eleva rapidamente à medida que os domicílios ficam mais distante e mais dispersos.

Tabela 1 – Custo da eletrificação rural convencional (em dólar) em função da distância e do número de residências.

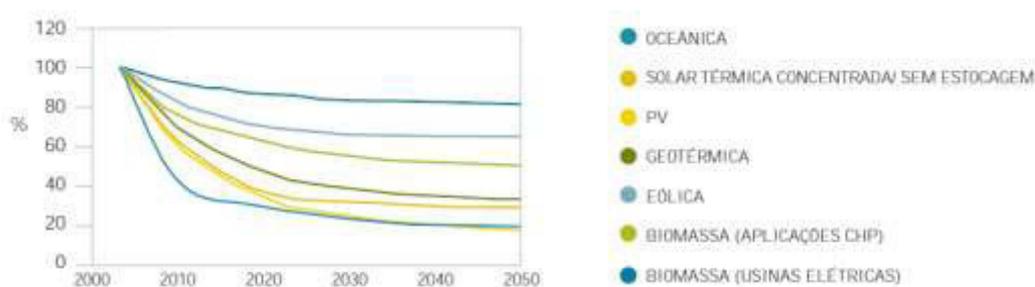
Número de Domicílio	Distância (Km)						
	0,5	1	2	5	8	9	10
1	2.964,89	4.644,60	7.971,42	17.951,59	27.931,76	31.258,48	34.585,21
5	1.618,71	2.459,62	4.644,59	9.634,78	14.624,87	16.288,23	17.951,59
10	647,92	815,91	1.128,58	2.459,62	3.770,66	4.207,68	4.644,69
15	593,02	705,01	926,80	1.731,26	2.605,29	2.896,63	3.187,98
20	565,58	649,57	815,91	1.367,08	2.022,60	2.241,11	2.459,62
30	538,12	594,12	705,01	1.037,69	1.439,91	1.585,59	1.731,26
50	516,16	549,76	616,30	815,91	1.617,19	1.082,04	1.148,58

Fonte: Naper (2006) apud Vieira e Cabral (2012)

Marques *et al.* (2004) afirmam que as unidades de geração distribuída são geralmente de pequeno porte em relação às grandes usinas hidrelétricas, o que pode gerar um incentivo econômico devido à possibilidade de usar tecnologia interna. As energias renováveis se mostram como uma possibilidade a ser explorada nesse cenário devido a abundância de recursos disponíveis no país.

Um dos entraves atuais para a disseminação do uso de fontes de energias alternativas às hidrelétricas é o custo elevado do investimento em tecnologias de energias renováveis. Entretanto, de acordo com um estudo realizado pelo Greenpeace (2007), há uma tendência de queda para o custo do investimento nessas tecnologias, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 11 – Evolução futura dos custos de investimentos em tecnologias de energias renováveis.



Fonte: Greenpeace Internacional (2007)

4.4.1 Resoluções Normativas nº 482 e nº 687

A criação de pontos de geração distribuídas com o uso de energias renováveis no Brasil se tornou uma possibilidade com a Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, de 17 de abril de 2012. Essa resolução estabeleceu os critérios para que unidades microgeradoras e minigeradoras de energia pudessem distribuir a energia produzida com as concessionárias, que utilizariam a energia excedente dessas unidades geradoras por meio de um sistema de compensação de créditos de energia.

Em 24 de novembro de 2015, a Resolução Normativa nº687 foi outro marco para o incentivo à micro e minigeração de energia no país, que trouxe mais facilidades e melhorias ao fomento da geração distribuída, incluindo os conceitos de geração compartilhada e autoconsumo remoto. Ou seja, passou a ser possível produzir a energia em um local diferente da unidade de consumo, o que expande o leque de opções para quem deseja produzir a própria energia. Além disso, surgiu a possibilidade de rateio dos créditos de energia excedentes de uma unidade geradora, em que um determinado percentual desses créditos pode ser destinado a múltiplas unidades consumidoras a critério do titular.

Fica estabelecido do Artigo 2º da Resolução Normativa nº687 (2015) o seguinte:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;

IV - melhoria: instalação, substituição ou reforma de equipamentos em instalações de distribuição existentes, ou a adequação destas instalações, visando manter a prestação de serviço adequado de energia elétrica;

VI – empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;

VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;

VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.

Com essas alterações do marco regulatório no setor de energia elétrica do Brasil, tornou-se mais viável o uso de fontes alternativas de energia para enfrentar os problemas atuais do setor, que não tem dado conta de atender às populações mais distantes, principalmente no meio rural.

Nesse contexto, é pertinente uma citação de Lucon e Goldemberg (2009) no que se refere à crise do setor energético brasileiro:

A resposta é que a crise atual representa também uma oportunidade para reorganizar o sistema energético em bases mais sólidas e sustentáveis. As bases para tal reorganização são a eficiência, a maior participação das fontes renováveis e a descentralização da produção de energia.

4.5 Potencial energético brasileiro

A energia solar que chega à superfície terrestre é gerada através de reações de fusão nuclear, em que núcleos atômicos se juntam formando núcleos de maior número atômico. Durante esse processo, ocorre uma grande liberação de energia, que se propaga pelo universo e uma parte chega à superfície terrestre. Grätzel (2001) apud Machado e Miranda (2015) afirma que essa energia corresponde a 3×10^{24} joules por ano ($9,5 \times 10^4$ TW), milhares de vezes maior que a quantidade de energia consumida por ano pela humanidade.

O Brasil se encontra numa posição geograficamente privilegiada para o aproveitamento dessa energia, visto que recebe altos níveis de irradiação solar durante todo o ano. O Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2006) apresenta os seguintes dados quantitativos em relação à disponibilidade dessa fonte de energia no Brasil:

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 kWh/m²) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900-1250 kWh/m²), França (900-1650 kWh/m²) e Espanha (1200-1850 kWh/m²), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados.

Esse valor se distribui de forma uniforme em todo o território, com médias relativamente altas. O maior valor da média de irradiação global foi registrado no estado da Bahia, próximo ao Piauí, com 6,5 kWh/m². Já a menor média registrada foi no litoral de Santa Catarina, com o valor de 4,25 kWh/m², devido às características climáticas da região, que apresenta precipitações bem distribuídas no decorrer do ano.

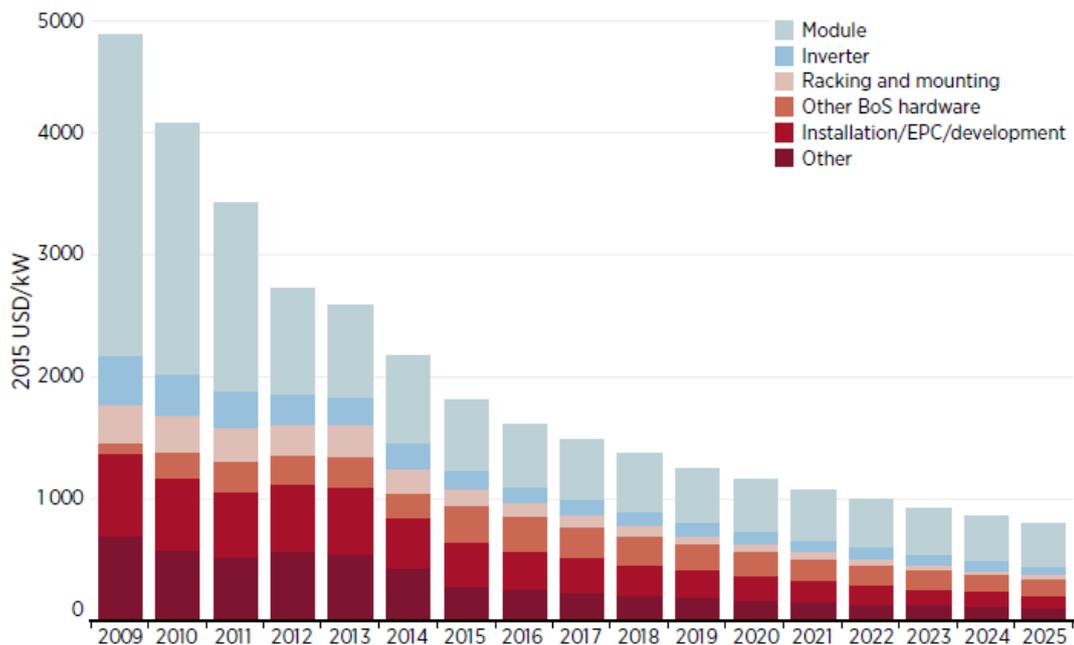
4.6 Evolução dos custos

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026, produzido pela EPE (2017), os custos para a implementação da energia solar

fotovoltaica ainda são pouco competitivos em relação às fontes convencionais de geração centralizada de energia, como as grandes hidrelétricas e usinas termelétricas. Entretanto, o preço da tecnologia solar fotovoltaica vem caindo no Brasil e no mundo de forma acelerada. A previsão é de que, em uma década, os custos para implementar essa tecnologia caiam cerca de 30% em relação aos custos de 2017. Numa visão mais otimista, essa porcentagem poderia chegar até mesmo a 40% de acordo com o observado internacionalmente.

Essa redução dos custos da tecnologia solar está ilustrada em um relatório de 2016 do *International Renewable Energy Agency* (IRENA) intitulado *The Power to Change*, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Evolução dos custos da energia solar fotovoltaica.



Fonte: IRENA (2016)

Esse cenário tem se mostrado real nos últimos anos, como mostra um relatório do *International Technology Roadmap for Photovoltaics* (ITRPV) publicado em março de 2019, que afirma que o preço dos módulos fotovoltaicos teve uma redução de mais de 30% em 2019 comparado ao ano anterior. O preço médio de mercado dos painéis policristalinos e monocristalinos em janeiro de 2018 custava em torno de \$ 0,354/W, tendo uma queda considerável em janeiro de 2019 para \$

0,244/W. Portanto, a diminuição dos custos da tecnologia solar tende a tornar essa tecnologia cada vez mais competitiva.

Entretanto, há vários desafios em implantar tecnologias de energias renováveis em comunidades rurais isoladas. Alguns desses entraves são a alta dispersão populacional, a dependência de subsídios e até mesmo o desconhecimento da tecnologia. É preciso comparar os gastos de se implementar as tecnologias de fontes alternativas com a extensão do sistema centralizado de energia convencional.

Mesquita (2014) faz as seguintes considerações acerca de como podem ser constituídos os sistemas descentralizados de energia:

- Módulo Fotovoltaico Individual: a expansão da rede elétrica às comunidades isoladas não é viável para as áreas onde as populações são dispersas e o consumo de energia é muito baixo. Nas áreas remotas onde não é possível a eletrificação por meio da extensão da rede elétrica convencional, o atendimento pode ser realizado principalmente através da instalação de pequenos sistemas fotovoltaicos, com capacidade que varia entre 50 Wp até alguns kWp e funciona em corrente contínua, destinado ao atendimento das necessidades de iluminação e funcionamento de outros equipamentos elétricos, como, por exemplo, televisão ou rádio. Se a comunidade necessita utilizar determinados equipamentos, tais como bombeamento de água, geladeiras, micro-ondas telefone, deve-se, destaca Makukatin (1994), ampliar a capacidade do sistema;
- Sistema Fotovoltaico Coletivo: o sistema coletivo é destinado para atendimento de energia elétrica às localidades onde existe maior concentração de famílias, centros sociais, escolas e centro de saúde. A energia elétrica gerada é distribuída às famílias através da rede de distribuição local. Para essas comunidades o sistema fotovoltaico coletivo é a tecnologia mais apropriada, defende Javadi (2012), além de ser economicamente viável em relação à expansão da rede elétrica convencional.

5 ANÁLISE DO USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL BRASILEIRA

5.1 Análise de Custos

Neste tópico, será feito um levantamento dos custos dos equipamentos necessários para instalar um sistema *Off-Grid* coletivo numa comunidade rural isolada. Com a plataforma sices solar, é possível dimensionar um sistema com base no consumo mensal desejado, levando em consideração o índice de radiação solar do local escolhido.

A região escolhida para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico *Off-Grid* foi o Estado do Pará, visto que é um dos estados onde há uma extensa área não atendida pelo SIN e que apresenta um difícil acesso para a integração, tanto pela distância, quanto pelas características geográficas do local.

A fim de dimensionar o sistema a ser avaliado, foi determinada uma geração de 310 kWh por mês. Para atender tal demanda, os equipamentos sugeridos pela plataforma, como painéis, inversor, *string box* (equipamento de proteção), cabos e conectores, são listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Custo dos equipamentos do sistema.

Descrição	Custo Unitário	Qtd.	Total
MÓDULO FV CANADIAN 72 CELLS 335W POLY 1500V F16	R\$ 459,39	8	R\$ 3.675,12
INVERSOR UNO-DM-3.3-TL-PLUS-SB	R\$ 4.237,18	1	R\$ 4.237,18
STRING BOX SICES_ONESTO – ½ CORDA 1 SAÍDA NO FUSIVES DC	R\$ 507,91	1	R\$ 507,91
PERFIL ALUMÍNIO ROOMAN ROOFTOP 2,10MT	R\$ 31,92	8	R\$ 255,36
JUNÇÃO PARA PERFIL EM ALUMÍNIO - NACIONAL	R\$ 11,19	6	R\$ 67,14
TERMINAL FINAL39..44MM FOR CAN/AVP - NACIONAL	R\$ 3,45	4	R\$ 13,80
TERMINAL INTERMEDIÁRIO 39..44MM FOR CAN/AVP – NACIONAL	R\$ 4,83	14	R\$ 67,62

PARAFUSO CABEÇA MARTELO M10 28/15	R\$ 3,30	12	R\$ 39,60
PORA M10 INOX A2	R\$ 0,65	12	R\$ 7,80
GANCHO AISI 316 – TELHAS REGULAÇÃO 2 PONTOS – NACIONAL	R\$ 41,76	12	R\$ 501,12
CONECTORES FÊMEA/MACHO WEID_CABUR_TE_MC4	R\$ 10,67	2	R\$ 21,34
CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612	R\$ 3,56	30	R\$ 106,80
CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612	R\$ 3,56	30	R\$ 106,80
BATERIA FREEDOM HELIAR DF2500 150 Ah	R\$ 729,99	1	R\$ 729,99
CONTROLADOR DE CARGA ANSELF PMW 50A	R\$ 189,37	3	R\$ 568,11
			R\$ 10.905,69

* Cotação em maio de 2019.

Como a plataforma usada trabalha apenas com equipamentos de sistema *On-Grid*, a bateria e o controlador de carga foram selecionados com base na necessidade do sistema e os preços foram obtidos por *sites* de venda na internet.

A plataforma sices conta com uma base de dados que fornece informações da Radiação Global Horizontal e Temperatura média mensal da localidade escolhida, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de radiação global horizontal e temperatura da região.

Mês	Radiação Global Horizontal khW/m²/dia	Temperatura Ambiente °C
Janeiro	4,69	25,96
Fevereiro	4,66	25,62
Março	4,6	25,43
Abril	4,6	25,3
Mai	4,54	25,28
Junho	4,76	25,16
Julho	5,12	25,58
Agosto	5,59	27,12
Setembro	6,1	28,7

Outubro	5,94	28,9
Novembro	5,48	28,08
Dezembro	5,13	27,7

A partir dessas informações, é possível calcular a geração média mensal do sistema fotovoltaico instalado, que vai desde 256 kWh/mês em fevereiro, até 360 kWh/mês em setembro. Tal variação se deve às mudanças climáticas e às variações de números de Horas de Sol Pico (HSP) por dia que ocorrem ao longo do ano. A Figura 13 mostra a geração mensal estimada do sistema no local escolhido.

Figura 13 – Estimativa de geração mensal.



Fonte: <https://plataformasicessolar.com.br/>

De acordo com a Resolução Normativa nº493 (2012) da ANEEL, que regulamenta os procedimentos do uso de Microsistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI), fica estabelecida uma disponibilidade mínima de energia de 13 kWh/mês por unidade consumidora.

Portanto, o sistema dimensionado teria capacidade de atender cerca de 19 domicílios consumindo em média 13 kWh/mês no mês de fevereiro, em que se

registra a menor geração anual, que é o suficiente para suprir a necessidade elétrica de aparelhos de pequenas cargas, como lâmpadas, TV, aparelho de som, etc.

Considerando que o custo de material do sistema fotovoltaico analisado foi de R\$ 10.905,69, o custo por domicílio atendido seria de R\$ 573,98, sem levar em consideração os preços de mão de obra para instalação.

Dassie (2016), em seu estudo sobre o Programa Luz Para Todos, aponta que o custo médio para conexão à rede elétrica no estado do Amapá era de R\$ 15 mil por domicílio (maior custo entre os estados brasileiros). Já em Goiás esse custo caía para R\$ 1.500,00 por domicílio, havendo uma grande variação de custo por estado. O custo médio gasto pelo Governo Federal, considerando todos os estados, foi de R\$ 3.600,00 por domicílio.

Logo, o custo de implementação de sistemas fotovoltaicos em comunidades rurais isoladas se mostra atrativo em comparação aos custos do sistema centralizado que requerem grandes extensões da rede elétrica.

5.2 Impactos Sociais

Alguns dos impactos sociais que o acesso à eletricidade acarreta para moradores de comunidades rurais isolada são a melhora da autoestima e o sentimento de inclusão social. Valer *et al.* (2014), em seu estudo intitulado “lições aprendidas no processo de implantação de sistemas fotovoltaicos domiciliares e duas comunidades rurais” aponta que os benefícios que podem ser observados com a presença de energia elétrica para moradores que até então não usufruíam desse serviço são:

- valorização dos próprios domicílios, como a realização de reformas, decoração da casa, construção de banheiros;
- acesso à veículos de informação, tais como rádio e televisão;
- redução de gastos com outras fontes de iluminação, como velas e querosene;
- melhor utilização do horário noturno, que possibilita aumentar o período de trabalho ou estudo;
- a iluminação proporciona maior conforto para preparo do alimento em horários noturnos.

Em sintonia com o que foi dito, Di Lascio e Barreto (2009) apontam também a melhoria das condições de educação; a possibilidade de utilizar pequenos bombeamentos de água, que pode aumentar a produtividade de atividades agrícolas, por exemplo, além de melhorar o saneamento básico da população; armazenamento apropriado de medicamentos e vacinas, etc. Essas e outras práticas que se tornam possíveis com o uso da eletricidade são decisivas para facilitar as atividades do dia-a-dia e melhorar a qualidade de vida de uma população.

Os autores também ressaltam que o aumento da eficiência energética dos meios de telecomunicação devido ao avanço da tecnologia tornou viável a utilização desses equipamentos até em áreas mais remotas. A universalização desses meios é fundamental para promover a inclusão social de comunidades rurais isoladas.

É interessante que se procure minimizar os custos de manutenção do sistema instalado a fim de possibilitar aos usuários a capacidade de dar continuidade ao uso eficaz do sistema. Para isso, é importante que no dimensionamento do sistema sejam usados equipamentos com uma vida útil longa, além de fornecer informações simples aos usuários sobre a manutenção preventiva do sistema, tal como a realização de limpeza dos painéis de maneira periódica.

5.3 Engajamento da comunidade

Para garantir a continuidade da operação dos sistemas fotovoltaicos atuando em comunidades rurais isoladas, é preciso que haja um engajamento por parte da população se adaptar ao uso dessa tecnologia, mas também é fundamental um apoio econômico do governo por meio de subsídios para manter o funcionamento do sistema a longo prazo.

Um ponto crítico para o funcionamento pleno do sistema por toda a vida útil dos equipamentos é a devida manutenção e reposição de peças dos equipamentos quando estas danificam. Como essa atividade geralmente fica sujeita aos próprios moradores da comunidade, que geralmente não têm conhecimento sobre o funcionamento do sistema, a manutenção fica prejudicada, o que compromete o funcionamento do sistema a longo prazo. Além disso, é preciso que a comunidade tenha acesso a um estoque de peças necessárias para a substituição.

Dito isso, fica clara a importância de oferecer informação aos usuários do sistema quanto ao seu funcionamento e formação básica sobre manutenção, bem

como sobre os procedimentos de segurança a serem adotados durante as etapas de manutenção.

Outro ponto importante é a realização da limpeza dos painéis de forma periódica, pois o acúmulo de poeira nos módulos solares afeta o desempenho do sistema e impede que as baterias recarreguem completamente.

Portanto, a comunidade deve receber as instruções necessárias para possibilitar o uso do sistema a longo prazo, mas também é importante que haja um acompanhamento remoto. O acompanhamento verifica se o sistema está funcionando conforme o planejado e pode até ajudar a prevenir falhas no sistema, visto que os defeitos operacionais podem ser detectados.

Os projetos de eletrificação rural com energia solar fotovoltaica devem ser monitorados após a instalação de forma a se verificar a qualidade no fornecimento de energia, além da satisfação dos usuários. Em outras palavras, os resultados provenientes do monitoramento servem como base para verificar se os objetivos do programa estão sendo atingidos, permitindo que melhorias possam ser realizadas nos projetos futuros (MILLINGER, 2012, apud MESQUITA, 2014).

6 CONCLUSÕES

A energia elétrica é considerada uma ferramenta indispensável para promover uma melhor qualidade de vida de uma comunidade e o desenvolvimento econômico e social de um país. Apesar de ser considerado um serviço básico essencial pela Constituição brasileira, milhares de brasileiros ainda se encontram excluídos deste serviço. Isso se dá devido às dificuldades de integração do setor elétrico em áreas mais afastadas. Portanto, as populações mais afetadas pela falta de eletricidade são as comunidades rurais isoladas, visto que a extensão da rede elétrica se torna cada vez mais cara devido à distância e à diminuição da densidade demográfica nesses locais. Os custos para realizar essa integração seguindo o modelo de geração centralizada não trariam retorno econômico às concessionárias de energia.

A fim de minimizar o número de excluídos elétricos do país, o Governo Federal instituiu alguns programas sociais de universalização de energia elétrica. Dentre eles, o que mais se destacou foi o Programa Luz Para Todos, que, em seu início se mostrou bastante abrangente, mas foi tendo o público cada vez mais limitado ao longo dos anos devido a novos decretos referentes ao programa. O programa tinha como objetivo eletrificar os domicílios da maneira convencional, ou seja, conectando-os ao Sistema Interligado Internacional. Dessa forma, o custo para conectar os domicílios mais distantes se tornava muito oneroso devido à necessidade se estender as redes de transmissão por vários quilômetros.

Além dos elevados custos de extensão do SIN, o modelo de gestão centralizado traz consigo diversos problemas para o setor nacional de energia elétrica. Dentre eles, a necessidade de se construir grandes usinas hidrelétricas de alto custo e que geram problemas socioambientais devido à grande área que será alagada, trazendo prejuízo à fauna e à flora da região, além de remover as comunidades que viviam no local; a forte dependência do regime de chuvas, que pode passar por períodos de escassez; a dificuldade de integração das redes de transmissão por todo o território; as perdas de energia causadas pela transmissão etc.

Num país de extensão continental, qualquer falha em um ponto do sistema de geração centralizada, como os apagões que aconteceram nas últimas décadas, pode afetar milhões de pessoas que usufruem deste serviço, o que traz

prejuízos sociais e econômicos a nível nacional. Uma alternativa para diminuir esses impactos negativos, seria o uso de sistemas descentralizados de energia, em que a geração de energia ocorre próximo ao local de consumo. As Resoluções Normativas nº 482 e nº 687 da ANEEL regulamentou os sistemas de microgeração e minigeração de energia, o que ajudou a disseminar essas novas tecnologias.

Um das tecnologias de geração distribuída que mais ganhou destaque nos últimos anos foi a energia solar fotovoltaica. O sistema fotovoltaico pode ou não ser conectado à rede elétrica de transmissão, o que pode ser uma alternativa mesmo para as comunidades que se encontram fora da zona de integração do SIN.

Um dos maiores entraves para o uso disseminado desse tipo de sistema era os custos dos equipamentos, que era considerado pouco competitivo em relação aos sistemas de geração de energia convencionais. Entretanto, esses custos têm caído consideravelmente nos últimos anos, por exemplo, o preço dos painéis fotovoltaicos reduziu cerca de 30% em 2019 comparado ao ano anterior e a previsão é de que os custos reduzam ainda mais nos próximos anos.

Para o atendimento de comunidades rurais isoladas, o uso de sistemas fotovoltaicos coletivos, em que a energia gerada é compartilhada para vários domicílios, se mostra mais atrativo economicamente que os sistemas individuais. O custo dos equipamentos de um sistema fotovoltaico coletivo que pode atender 19 domicílios que utilizem pequenas cargas é de R\$ 10.905,69. Ou seja, uma média de R\$ 574,00 por domicílio, enquanto o preço médio de conexão à rede elétrica é de R\$ 3.600,00 por domicílio, podendo ter grandes variações dependendo do estado.

Alguns dos impactos percebidos nas comunidades que passaram a usufruir do serviço de energia elétrica são a melhora da autoestima e o sentimento de inclusão social por parte dos moradores. Isso se dá pelo acesso aos veículos de informação, como rádio e televisão; melhor aproveitamento do horário noturno para trabalho, estudo, preparo de alimentos, melhorando a produtividade local; valorização do domicílio etc.

Um aspecto que não deve ser ignorado após a implantação do sistema é o preparo da comunidade para realizar a manutenção do sistema a fim de que ele funcione de forma eficaz por toda a vida útil dos equipamentos. Portanto, é importante que a comunidade receba as instruções necessárias sobre limpeza dos painéis, reposição de peças e instalação adequada dos componentes do sistema. Um acompanhamento remoto se faz necessário para detectar problemas no

funcionamento do sistema a fim de corrigi-los para que o sistema possa funcionar a longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABREU, Saulo Ferreira de. **Uma Crítica aos Modelos Centralizados de Gestão, Produção e Distribuição da Matriz Energética no Brasil**. Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Administração, Fortaleza, CE. 2017.

ANEEL - Agência Nacional De Energia Elétrica. Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.

_____. Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>.

_____. Resolução Normativa 493, de 05 de junho de 2012. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>.

_____. Resolução Normativa 223, de 29 de abril de 2003. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bres2003223.pdf/34dd1c2d-0dc5-4a3e-8d85-ff6c2e0ae05d?version=1.0>>.

_____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª Edição, Brasília, 2005. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b>. Acesso em: 08 ago. 2018.

_____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª Edição, Brasília, 2008. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasDeEnergiaEI%C3%A9tricoBrasil_3ed/953240c3-b7f9-bef2-999c-a8b04b6189ce>. Acesso em: 09 ago. 2018.

BASCHIERA, Luciene Michella. **A eletrificação fotovoltaica nas comunidades isoladas Cambriú e Foles do Parque Estadual da Ilha do Cardoso-SP**. 2016. 1 recurso online (183 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de

Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/305371>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

BRASIL. Decreto 4.873, de 11 de novembro de 2003. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS" e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 nov. 2003. Seção 1, p. 130.

_____. Decreto 6.442, de 25 de abril de 2008. Dá nova redação ao art. 1º do Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS", para prorrogar o prazo ali referido. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 abr. 2008. Seção 1, p. 1.

_____. Decreto 7.324, de 5 de outubro de 2010. Dá nova redação ao art. 1º do Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS". Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 out. 2010. Seção 1, p. 1.

_____. Decreto 8.387, de 30 de dezembro de 2014. Altera o Decreto nº 7.520, de 8 de julho de 2011, que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS". Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 dez. 2014. Seção 1, p. 66.

_____. Lei 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de

2000, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 abr. 2014. Seção 1, p. 2.

BORBA, Eduardo Nejar. **Energia hidrelétrica e seus principais riscos hoje no Brasil: o caso das PCH's**. Rio de Janeiro, RJ, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014697.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2019.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade**. O Instalador, [s. l.], v. 25, n. 676, p. 07, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

CAMARGO, Ednaldo José Silva De; RIBEIRO, Fernando Selles. **Programa Luz para Todos: avanços e retrocessos – um novo estoque de excluídos**. 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, São Paulo, SP, 2015. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/tematica3/908.pdf>> Acesso em: 18 fev. 2019.

DASSIE, Adriana Maria. **Programa Luz para Todos: avaliação da cobertura com os dados disponíveis**. VII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Población e XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Foz do Iguaçu/PR, n. Vii, p. 0–20, 2016. Disponível em: <<http://www.abep.org.br/xxencontro/files/paper/1029-771.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2019.

DI LASCIO, Marco Alfredo; BARRETO, Eduardo José Fagundes. **Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira: Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira: Eletrificação de Comunidades Isoladas**. *Ministério de Minas e Energia*. [s.l.]: [s.n.], 2009. 192 p. ISBN: 9788562491009. Disponível em: <https://agritrop.cirad.fr/567794/1/solucoes_energeticas_para_a_amazonia.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2018.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balço Energético Nacional (BEN) 2018**: Ano base 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2019.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

FRANÇA, Edson da Silva. **A atual crise de energia no Brasil: uma crise de gestão**. Monografia (especialização em Gestão Pública). 2015. 69 f. Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Rendenção, CE, 2015. Disponível em:

<<http://www.repositorio.unilab.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/317/Edson%20da%20Silva%20Fran%C3%A7a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

Acesso em: 02 mar. 2019.

GREENPEACE INTERNACIONAL. Conselho Europeu de Energia Renovável (Erec). **[r]evolução energética. A caminho do desenvolvimento limpo**. Dezembro, 2010. Disponível em:

<<http://www.greenpeace.org/archive-brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF>>.

Acesso em: 27 mar. 2018.

GREENPEACE INTERNACIONAL. Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC). **[r]evolução energética. Perspectivas para uma energia global sustentável**. Dezembro, 2007. Disponível em:

<<http://www.greenpeace.org/archivebrasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

IBGE. **Censo Demográfico 2010 - Características da População e dos Domicílios. Resultados do Universo**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2019.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Irena Power to Change: solar and wind cost reduction potential to 2025**. 2016. ISBN 978-92-95111-97-4. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2016/Jun/The-Power-to-Change-Solar-and-Wind-Cost-Reduction-Potential-to-2025>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

ITRPV. **International Technology Roadmap for Photovoltaic: Results 2018**. Tenth Edition, 2019. Disponível em: <<https://itrvp.vdma.org/documents/27094228/29066965/ITRPV02019.pdf/78cb7c8c-e91d-6f41-f228-635c3a8abf71>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

LUCON, Oswaldo; GOLDEMBERG José. 2009. **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil**. Estudos Avançados. vol.23 n.65, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v23n65/a09v2365.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. **Energia solar fotovoltaica: Uma breve revisão**. Revista Virtual de Química, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015. Disponível em: <<http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664/508>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

MARQUES, Frederico A. S., MORÁN, Jesus A.; ABREU, Lísias; SILVA, Luiz C. P. da; FREITAS, Walmir. **Impactos da expansão da geração distribuída nos sistemas de distribuição de energia elétrica**. V Encontro de Energia no Meio Rural, 2004, Campinas (SP) [online]. 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 ago. 2018.

MESQUITA, José Manuel. **Método de avaliação do nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais**. 2014. 116 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014. Disponível em:

<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/869/1/PB_PPGEE_M_Mesquita%2c%20Jos%C3%A9%20Manuel_2014.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.

MOTA, Victor Nogueira Teixeira. **Modelo de unidade habitacional rural unifamiliar autossuficiente em geração e consumo de energia elétrica**. 2016. 112 f. Dissertação (mestrado em Energia e Ambiente). Universidade Federal do Maranhão, São Luiz, MA, 2016. Disponível em:

<<https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/1553>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

PAMPLONA, Nicola. **Apagão que deixou Norte e Nordeste sem luz foi causado por falha humana, diz ONS**. Folha de S. Paulo, São Paulo, 06 abr. 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/04/apagao-que-deixou-norte-e-nordeste-sem-luz-foi-causado-por-falha-humana-diz-ons.shtml>>. Acesso em: 02 mar. 2019.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. il. 60p.; ISBN 85-17-00030-7 ISBN 978-85-17-00030-0. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2019.

RIOS, Igor; RIOS, Erik. **Microgeração Fotovoltaica Conectada À Rede Elétrica: O Que Mudou Com a Resolução Normativa Nº 687 Da Agência Nacional De Energia Elétrica – Aneel**. Revista Brasileira de Energia Solar, [s. l.], v. VIII, p. 119–122, 2017. Disponível em:

<<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/190/173>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

ROCHA, Leonardo Caldas; FROTA, Whylker Moreira; FROTA, Willamy Moreira. **Análise dos níveis de emissões de CO₂ do parque gerador termelétrico do sistema elétrico isolado da cidade de Manaus (AM) no período de 2006 a 2012**. Revista Brasileira de Energia, v. 21, p. 61, 2015. Disponível em:

<<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/download/342/323/>>. Acesso em: 15 jun 2019.

ROSA, Victor Hugo da Silva. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável**. 2007. 440 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/5478?mode=full>>. Acesso em: 25/03/2018.

SANTOS, Erica Cavalcanti Mascarenhas dos; SILVA, Ewerton Clecio Pereira da; SILVA, Ricardo Moreira da; FILHO, Edberto Farias de Novaes; FERREIRA, Icaro Elias Cavalcanti. **Uma Análise Dos Incentivos Que Podem Favorecer O Uso Da Energia Renovável no Brasil**. Anais do XXX ENEGEP, São Carlos, 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_121_787_17415.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2018.

SILVA, Marcelo Róger da. **Avaliação de Alternativa Para Eletrificação Rural no Contexto dos Programas de Universalização do Atendimento de Energia no Brasil**. 2006. 187 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belo Horizonte, MG, 2006. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SVFO-6XQNGN/marcelo_roger_da_silva.pdf?sequence=1>. Acesso em: 09 ago. 2018.

VALER, Roberto L.; RIBEIRO, Tina Bimestre Selles; MOCELIN, André Ricardo; ZILLES, Roberto. **Lições aprendidas no processo de implantação de sistemas fotovoltaicos domiciliares em duas comunidades rurais**. Revista Brasileira de Energia Solar, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 18–26, 2016. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/104>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

VIEIRA, Rafael; CABRAL, Isabelle. **Viabilidade Econômica X Viabilidade Ambiental Do Uso De Energia Fotovoltaica No Caso Brasileiro: Uma**

Abordagem No Período Recente. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia, p. 1–12, 2012. Disponível em:

<<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-003.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

WALKER, Eliana. **Estudo Da Viabilidade Econômica Na Utilização De Biomassa Como Fonte De Energia Renovável Na Produção De Biogás Em Propriedades Rurais.** 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul – Unjuí, 2009. Disponível em:

<<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/220/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Eliana%20Walker.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 mar. 2018.