



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA
CAMPUS I
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL

EDNALDO DE CEITA VICENTE DE ALMEIDA

**POTENCIALIDADE DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

CAMPINA GRANDE – PB

2021

EDNALDO DE CEITA VICENTE DE ALMEIDA

**POTENCIALIDADE DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Texto de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da Universidade estadual da Paraíba (UEPB).

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida.

CAMPINA GRANDE, PB.

2021

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A447p Almeida, Ednaldo de Ceita Vicente de.
Potencialidade da energia solar fotovoltaica no Seminário Nordestino e sua relação com o Desenvolvimento sustentável [manuscrito] / Ednaldo de Ceita Vicente de Almeida. - 2021.
81 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, Coordenação do Curso de Geografia - CEDUC."

1. Energia renovável. 2. Energia solar fotovoltaica. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Título

21. ed. CDD 330.908

EDNALDO DE CEITA VICENTE DE ALMEIDA

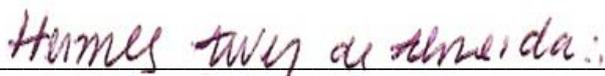
**POTENCIALIDADE DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO
NORDESTINO E SUA RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da Universidade estadual da Paraíba (UEPB). Como requisito parcial para obtenção do título de mestre

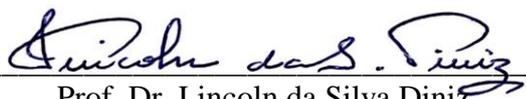
Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação.

Aprovado em 11/06/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr Hemes Alves de Almeida
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB/PPGDR)
Orientador



Prof. Dr. Lincoln da Silva Diniz
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG/UAG)
Examinador Externo



Prof. Dr. José Luciano Albino Barbosa
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB/PPGDR)
Examinador Interno

CAMPINA GRANDE, PB.

2021

Dedico este trabalho aos meus pais e
amigos que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos vão, em primeiro lugar a Deus, por proporcionar mais uma conquista alcançada, mesmo diante das adversidades da vida. Agradeço por todos os dias cuidares de mim, e por sempre me abençoar e me conduzir pelos melhores caminhos.

Agradeço aos meus pais, Evaristo Amaral de Almeida e Izabel Vicente Fernandes de Almeida, por terem apostado seus recursos nos meus estudos, por nunca me desampararem, sempre presentes na minha vida apesar da distância, me dando forças para enfrentar e vencer essa etapa da minha vida acadêmica no Brasil. Sem vocês eu não estaria aqui. Muito obrigado!

Os meus agradecimentos são direcionados, também, aos meus irmãos Elves de Ceita Vicente de Almeida, Eiduney de Ceita Vicente de Almeida, Eydnilsa de Ceita Vicente de Almeida, Eydvaldo de Ceita Vicente de Almeida, pela amizade, carinho e compreensão durante o período da graduação.

No que diz respeito ao apoio afetivo, emocional e incentivo acadêmico, tenho a maior gratidão pela minha namorada, Mayara Almeida de Paula, que sempre esteve comigo em todos os momentos da minha vida, sendo uma grande companheira. Agradeço também ao Sr. Fernando e Dona Vanda que foram mais que meus sogros. Obrigado por tudo!

Aos meus amigos: Raydel Carvalho, Marcos Apresentação, Élvio Patrick, Banjaqui Nhaga, Tayna Almeida de Paula e outros, obrigado por proporcionarem minhas melhores risadas nos momentos do game, e pela amizade e camaradagem de sempre.

Gostaria muito de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, por ter auxiliado desde que entrei na instituição, em meu primeiro dia da matrícula do mestrado, bem como em todo o processo da dissertação.

Em tempo, agradeço à Universidade Estadual da Paraíba, especificamente ao Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional, por toda a infraestrutura concedida e à Capes pela concessão da bolsa durante esse percurso.

RESUMO

A questão energética constitui um dos grandes desafios atuais e, ao mesmo tempo, gera grandes preocupações ambientais, na busca fontes alternativas que não degrade o meio ambiente e possibilite o desenvolvimento sustentável. A abundância de recursos hídricos no Brasil priorizou os grandes investimentos nas usinas hidrelétricas, cuja construção degrada o ambiente aquático e a formação do lago, alaga grandes áreas de terras, e a geração de energia, depende do regime pluvial. Diante disto, procurou-se diagnosticar a potencialidade da energia solar fotovoltaica no Semiárido nordestino e a sua relação com o desenvolvimento sustentável, sendo essas determinações os objetivos principais. Para realização deste trabalho, utilizaram-se dados de diferentes fontes de energia, de irradiância solar e de energia solar fotovoltaica, publicados em relatório e/ou disponibilizados em sites do Instituto Nacional de Meteorologia, do serviço de ciência e conhecimento da Comissão Europeia, do Balanço Nacional Energético, do Ministério de Minas e Energia, da Agência Nacional de Energia Elétrica, dentre outros. As análises dos dados foram feitas utilizando-se a estatística descritiva, com determinações de médias aritméticas, frequências relativas, comparações entre si, dentre outros parâmetros estatísticos e os cálculos, elaboração de gráficos e tabelas pela planilha Excel. Os principais resultados mostraram que a energia elétrica gerada por hidrelétrica não é a opção mais viável, em virtude dos impactos ambientais oriundos da construção e alagamento de terras, além da dependência do regime pluvial para a geração de energia. A elevada disponibilidade de irradiância solar no Nordeste brasileiro justifica-se a opção pela fonte fotovoltaica, menos degradante, quando comparada com qualquer outra fonte renovável, e com elevado potencialidade de expansão e contribuição para o desenvolvimento sustentável, no Semiárido nordestino. O Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE Sol) é o desafio da integração de políticas públicas para ampliar o uso da energia solar e o desenvolvimento sustentável no Semiárido. Conclui-se que os sistemas fotovoltaicos no Semiárido nordestino têm potencialidade de expansão e contribuem para o desenvolvimento sustentável, geram empregos e rendas e são descentralizados. No entanto, há necessidade de avanços tecnológicos que resultem no aumento na eficiência de conversão e redução de custos, além da opção de adicioná-las à matriz energética nacional.

Palavras-chave: Energia renovável. Energia fotovoltaica. Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The energy issue is one of the greatest current challenges and, at the same time, it generates great environmental concerns, in the search for alternative sources that do not degrade the environment and enable sustainable development. The abundance of water resources in Brazil prioritized large investments in hydroelectric plants, whose construction degrades the aquatic environment and floods large areas of land, in addition to depending on rainfall for energy generation. In view of this, we tried to diagnose the potential of photovoltaic solar energy in the semi-arid region of the Northeast and its relationship with sustainable development, with these determinations being the main objectives. To carry out this work, data on the topic of photovoltaic solar energy were used, published in a report and/or available on the websites of the National Institute of Meteorology, of the science and knowledge service of the European Commission, of the National Energy Balance, of the Ministry of Mines and Energy, from the National Electric Energy Agency and other bodies in the energy sector. Using descriptive statistics, temporal averages, relative frequencies, temporal and spatial evolution, comparisons among themselves, among other parameters, and calculations, analyses, graphing and tables using the Excel spreadsheet were determined. The main results showed that electric energy generated by hydroelectricity is not a viable option, due to the environmental impacts arising from the construction and flooding of land, in addition to the dependence on rainfall for energy generation. The high availability of solar irradiance in northeastern Brazil justifies the option for a photovoltaic source, which is less degrading than any other renewable source and has a high potential for expansion and contribution to sustainable development in the semi-arid region of the Northeast. The Constitutional Fund for Financing of the Northeast (FNE Sol) is the challenge of integrating public policies to expand the use of solar energy and sustainable development in the semiarid region. It is concluded that photovoltaic systems in the northeastern semiarid have potential for expansion and contribute to sustainable development, generate employment and income, and are decentralized. However, there is a need for technological advances that result in increased conversion efficiency and cost reduction, in addition to the option of adding them to the national energy matrix.

Keywords: Renewable energy. Photovoltaics. Sustainable development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea de uma mina de carvão mineral.....	21
Figura 2. Vista aérea de conjunto de aerogeradores	24
Figura 3. Normais climatológicas anual de insolação, em horas. Médias do período de 1981 a 2010.	26
Figura 4. Vista de painéis fotovoltaicos	29
Figura 5. Vista de um sistema fotovoltaico autônomo (Off-grid)	30
Figura 6. Vista de um sistema conectado à rede (On-grid)	31
Figura 7. Vista das paisagens do Semiárido nordestino	33
Figura 8. Vista da maior usina solar da América Latina, o complexo fotovoltaico de Ituverava, Bahia.....	34
Figura 9. Croqui do mapa geográfico do Brasil com destaques para o Nordeste e o Semiárido	39
Figura 10. Percentuais das principais fontes da matriz energética mundial.....	43
Figura 11. Evolução das diferentes fontes de energia no Brasil.....	44
Figura 12. Matriz energética brasileira: potência instalada em operação, em %.	45
Figura 13. Potencialidade da irradiância solar global por regiões geográficas	47
Figura 14. Mapa geográfico com as médias anuais da insolação, em h, no período 1981-2010.	47
Figura 15. Médias diárias a irradiância solar global, para o trimestre da primavera (set-out-nov).....	48
Figura 16. Médias diárias a irradiância solar global, para o trimestre do verão (dez-jan-fev). 49	
Figura 17. Médias diárias a irradiância solar global, para o trimestre mais chuvoso-outono (mar-abr-mai).....	50
Figura 18. Irradiância solar global no Nordeste brasileiro nos meses de verão.	51
Figura 19. Irradiância solar global na Alemanha nos meses de verão.	51
Figura 20. Irradiância solar global no Nordeste brasileiro nos meses de inverno.....	52

Figura 21. Irradiância solar global na Alemanha nos meses de inverno.	52
Figura 22. Relação entre as médias mensais da irradiância solar global na Paraíba e Alemanha.....	53
Figura 23. Croqui das fontes de energia renováveis complementares à matriz energética pré-existente no Brasil	54
Figura 24. Evolução da capacidade instalada para o aproveitamento da irradiância solar global em energia elétrica no Brasil e na região Nordeste.	55
Figura 25. Evolução da capacidade instalada para aproveitamento da irradiância solar global em energia elétrica em três Estados nordestinos.	56
Figura 26. Vista aérea dos painéis fotovoltaicos na cidade de Vila Solar em Friburgo, Alemanha.....	58
Figura 27. Participações percentuais de fontes renováveis de energia elétrica no Brasil, nos anos de 2017 a 2018.	59
Figura 28. Evolução das fontes solar e eólica na geração de energia elétrica no Brasil.	60
Figura 29. Sistema fotovoltaico instalado na Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, Pombal, PB.....	61
Figura 30. Entrada em operação de novos empreendimentos eólico e solar na geração de energia elétrica no Brasil.	62
Figura 31. Percentuais de potência instalada na geração fotovoltaica distribuída por região geográfica.	63
Figura 32. Ranking dos cinco Estados do NE, com capacidade instalada do sistema solar fotovoltaico, em MW e em percentagens.	64
Figura 33. Vista aérea da usina fotovoltaica de Tauá, CE.....	65
Figura 34. Vista da usina solar fotovoltaica do estádio Mineirão, Belo Horizonte, MG.	65
Figura 35. Relação entre a capacidade instalada e o custo do sistema fotovoltaico.....	66
Figura 36. Trajetória de redução de custo para sistemas FV residencial e comercial no Brasil.	67

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Fluxograma da plataforma EU SCIENCE HUB	41
Tabela 2. Linhas mais relevantes de financiamento de energia Fotovoltaica.	69
Tabela 3. Projeção de investimento do sistema Fotovoltaico e da economia.....	70

LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR

BNE- BALANÇO NACIONAL ENERGETICO

CO₂- DIÓXIDO DE CARBONO

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO

EPE- EMPERSA DE PESQUISA ENERGEITCA

FV - FOTOVOTAICA

GEE - GASES DE EFEITO ESTUFA

H₂S- SULFETO DE HIDROGÉNIO

GW- GIGAWATTS

GWH- GIGAWATTS/HORA

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

MME- MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA

MW- MEGAWATT

N₂O - ÓXIDO NITROSO

WRF - WEATHER RESEARCH AND FORECASTING MODEL

ZCIT - ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Energia: conceito e histórico	15
2.2. Fontes de energias renováveis e não renováveis: opções por uma matriz energética sustentável	17
2.3. Principais fontes energéticas e os impactos ambientais.	19
2.3.1 <i>Principais fontes de energia renováveis</i>	22
2.3.2 <i>Energia Eólica</i>	24
2.4 O Semiárido nordestino: energia solar e perspectivas	25
2.4.1 <i>Energia Solar Fotovoltaica</i>	27
2.4.2. <i>Tipos de Sistemas fotovoltaicos</i>	29
2.4.2.2 <i>Impactos da instalação e geração da energia solar fotovoltaica</i>	32
2.5. Políticas públicas relacionadas à produção de energia solar fotovoltaica.	35
2.6. Energia e desenvolvimento sustentável	37
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1 Procedimentos metodológicos	39
3.1 Procedimentos de coleta e análises estatísticas	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Energia solar e matriz energética	42
4.2. Potencialidades da irradiância solar no ne brasileiro	46
4.3. Aproveitamento da energia solar em energia elétrica	54
4.4. O crescimento das fontes renováveis de energia	58
4.5. As Usinas Fotovoltaicas: capacidades instaladas e custos dos sistemas.	64
4.6. Energia Fotovoltaica: investimento e vantagens	67
5. CONCLUSÕES	71
. REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A demanda crescente por energia para o desenvolvimento das atividades humanas desencadeou o consumo desordenado de fontes de energia, especialmente, as não renováveis, como as oriundas dos combustíveis fósseis, embora o modelo elétrico brasileiro tenha sua matriz energética, majoritariamente, gerada nas usinas hidroelétricas, consideradas uma das fontes mais limpas e renováveis do mundo (PEREIRA, 2019).

A partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (Conferência de Estocolmo, em 1972), se intensificaram os estudos sobre sustentabilidade das atividades humanas e os impactos ambientais, em virtude da intensificação da crise do petróleo e a defesa do meio ambiente para as atuais e futuras gerações.

A questão energética constitui um dos grandes desafios atuais e, ao mesmo tempo, gera grandes preocupações ambientais, na busca por fontes alternativas de energia que não degradem o meio ambiente e possibilitem o desenvolvimento social e econômico.

A energia solar pode ser convertida diretamente em eletricidade utilizando-se tecnologias das células fotovoltaicas. Trata-se de uma tecnologia do futuro, haja vista que utiliza uma fonte limpa e inesgotável que é o Sol. No entanto, essa tecnologia é ainda uma fração muito pequena, principalmente, nas áreas rurais, que não têm acesso a eletricidade.

Diversos países do mundo vêm buscando utilizar fontes alternativas e renováveis de energias para substituir as tradicionais, visando reduzir os impactos ambientais e ampliar a oferta, diversificando-se a matriz energética, para atender a demanda crescente e buscar autossuficiência na geração de energia de fontes alternativas.

As questões energéticas devem ser tratadas com urgência, a fim de reduzir os danos ao planeta e à sociedade. Com o aumento populacional e o desenvolvimento industrial, em escala global, urge como consequência a crescente demanda por energia elétrica.

A conscientização do homem frente aos problemas ambientais tem promovido a busca por novas formas de energias mais limpas e renováveis, que causem menos impacto ao meio ambiente e promovam o desenvolvimento sustentável. Condições essas que requerem avanços científicos, buscando diversificar a matriz energética, e implantando fontes alternativas e renováveis de energia.

O sistema elétrico brasileiro se encaminha para a condição de mercado livre, com a introdução da figura do produtor independente de energia e também do consumidor livre. A legislação que rege a produção, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil não previa ainda os sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica convencional (SILVA et al., 2019).

A irradiância solar, após atravessar a atmosfera, e chegar à superfície terrestre, é dividida em três componentes principais: direta, difusa e refletida, também denominada de albedo, que depende das propriedades ópticas da superfície (ALMEIDA, 2016).

O Semiárido nordestino tem posição privilegiada para captar a energia solar, por localizar-se em latitude próxima ao equador geográfico, aonde a distribuição da irradiância solar é distribuída de forma mais homogênea nas distintas estações do ano. Mesmo assim, nessa região há o maior número de pessoas sem acesso à energia elétrica. Por isso, a conversão em energia solar fotovoltaica parece ser uma alternativa promissora e efetiva para suprir essa carência de eletrificação.

Apesar dessa condição natural favorável para conversão da energia solar em fotovoltaica, o seu uso ainda é insignificante, até mesmo, quando se compara à Alemanha, por exemplo, que recebe 40% menos irradiância solar do que o local menos ensolarado do Brasil (MOREIRA JÚNIOR e SOUZA, 2020). Credita-se à baixa eficiência de conversão das placas fotovoltaicas, o principal entrave, talvez, para expansão dessa tecnologia na matriz energética nacional.

A energia elétrica é o principal insumo básico para o desenvolvimento econômico, tecnológico e social, por ser imprescindível para fins residencial, comercial ou industrial. No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica é a hidráulica, seguida pela térmica (ANEEL, 2016) e, somente a partir de 2012, a Resolução Normativa n° 482, estabeleceu o marco inicial dos sistemas conectados à rede elétrica.

Neste contexto, o Estado brasileiro ainda se encontra em uma fase incipiente, quando comparado ao cenário internacional, visto que a regulamentação dos sistemas de micro e mini geração de energia foi estabelecida mediante a Resolução Normativa n° 482/2012 (ANEEL, 2012). No entanto, o marco regulatório brasileiro vem crescendo de forma exponencial em relação à micro e mini geração de energia, com a maioria das conexões ligadas à rede elétrica residencial (ANNE, 2017).

Dentre as fontes renováveis de energia, a solar fotovoltaica é uma das mais abundantes na superfície terrestre, além de ser uma das alternativas mais promissoras na composição da nova matriz energética mundial, esperada ser, até 2040, a fonte renovável de energia mais importante do planeta (VERMA, MIDTGARD e SATRE, 2011; BRITO et al., 2011).

A geração de energia fotovoltaica no país seria suficiente para abastecer mais de duas vezes o atual consumo doméstico de 128,8 milhões de MW por ano, embora esse potencial varie de região para região (RELLA, 2017). No entanto, se há restrições técnicas para o aproveitamento de energia solar, elas se devem à baixa eficiência dos sistemas de conversão,

que requerem grandes áreas de captação de energia para que o empreendimento seja economicamente viável.

Mesmo assim, o Brasil vem aumentando gradativamente o número de sistemas fotovoltaicos em funcionamento e a potência instalada. Ao entrar em vigor a Resolução 482 da Aneel 2012, havia apenas 7 MW de potência instalada no país e, em maio de 2020, esse número superou 5.500 MW (ABSOLAR, 2020).

O uso de fontes de energia renováveis pode mitigar os impactos ambientais causados pela geração tradicional de energia, até mesmo a energia hidráulica. O Brasil, por dispor de recursos hídricos abundantes, priorizou os grandes investimentos nas usinas hidroelétricas. No entanto, como aporte hídrico provém da chuva, existe uma grande dependência ou incerteza, principalmente, no Semiárido nordestino, onde há tendência de eventos de secas. Além disso, a construção dessas grandes estruturas hidráulicas causa elevada degradação ambiental.

Não há dúvidas que a geração de energia elétrica é, obviamente, um fator indispensável ao desenvolvimento. Já, o consumo de energia sempre fez e fará parte dos hábitos da humanidade, tendo como mudança apenas a sua forma de uso e aproveitamento das fontes energéticas disponíveis.

A busca por novos tipos de energia limpa, renovável e sustentável cresce a cada ano e visa oferecer diferentes alternativas para o uso de energia que não degradem o meio ambiente, tema esse de escala global.

Se a disponibilidade de energia é condição fundamental para o desenvolvimento econômico e social, a utilização de tecnologias de energias limpas e renováveis ganhou destaque governamental nos últimos anos, principalmente, adotando-se políticas públicas e de incentivos.

Diante disto, procurou-se efetivar um diagnóstico do uso da energia solar fotovoltaica no Nordeste brasileiro e a relação com o desenvolvimento sustentável, sendo essas determinações os objetivos principais. Tendo, ainda, os seguintes objetivos específicos:

- a) Determinar as principais características dos indicadores de irradiância solar global no Nordeste brasileiro e o potencial de conversão em energia fotovoltaica;
- b) Quantificar a participação das fontes de energia na matriz energética brasileira, com destaque para as energias renováveis;
- c) Diagnosticar a evolução temporal e espacial da capacidade instalada para o aproveitamento da energia solar em energia elétrica no Semiárido nordestino;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Energia: conceito e histórico

A palavra energia, em grego, significa trabalho. Ao longo da história, o homem sempre precisou de energia para viver. No começo da humanidade, a energia era proveniente da força dos músculos humanos para o seu sustento, lazer e abrigo, além da necessidade da energia para fomentar o desenvolvimento econômico.

Energia é definida como a capacidade de produzir trabalho, ou seja, uma “força” para produzir trabalho mecânico ou equivalente. Não há um conceito universal para energia, porque o conceito depende do ponto de vista físico (SILVA, 2015).

Nos relatos gerais da literatura, há um reconhecimento público que a primeira pessoa a usar o termo energia foi Thomas Young, em 1807, cuja concepção era que a “energia é a capacidade de um corpo realizar algum tipo de trabalho mecânico”.

Desde o princípio, o homem buscou a produção da energia. Inicialmente, ele usou o fogo, em seguida a força da tração animal e, posteriormente, os recursos naturais, como a água e o vento, para gerar energia, através de moinhos e a roda da água. Até mesmo, no período paleolítico, o homem tinha hábitos diurnos e noturnos e, por isso, já existia uma preocupação para se obter uma forma de luz artificial.

De acordo com Farias e Sellitto (2011), o fogo era utilizado como fonte de luz, calor e proteção, como também, na caça, pois com as tochas, o homem assustava a presa, encurralava e aprendeu a cozinhar os alimentos.

Qualquer ação que implique, por exemplo, movimento, uma variação de temperatura ou transmissão de ondas, pressupõe a presença da energia. As diferentes formas de energia como a química, nuclear, mecânica e térmica vêm acompanhando, em parte, a evolução da humanidade. Com isso novas fontes de energia são requeridas, cada vez mais, a fim de suprir as necessidades humanas e proteger o meio ambiente (TOLMASQUIM, 2016).

Com o desenvolvimento de áreas como a Matemática e a Engenharia, na idade média, houvera o domínio e a transformação das formas de energia disponíveis na natureza, sendo o carvão mineral, empregado na combustão direta, o primeiro combustível fóssil usado em larga escala.

Com o advento da revolução industrial e da invenção das máquinas a vapor, multiplicaram-se ainda mais as capacidades da indústria e do transporte. A população cresceu junto com o consumo de energia, que resultou no uso da lenha e o do carvão para gerar energia elétrica (CIGOGNINI et al., 2016).

Os avanços tecnológicos das máquinas, do uso do petróleo e da energia nuclear tornaram a sociedade cada vez mais dependente a diferentes formas de energia elétrica. No século XX, o homem tecnológico aprimorou a máquina a vapor e motores de combustão interna, movidos à gasolina e diesel, e embora houvesse alguns experimentos no uso de óleos vegetais, os derivados de petróleo eram mais confiáveis, abundantes, baratos, fáceis de estocar e transportar (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Com a crescente preocupação com as questões ambientais e a conscientização mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis, vêm-se estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico de custos de geração de energia (FREITAS e DATHEIN, 2013).

As novas fontes de energia são requeridas, cada vez mais, a fim de suprir as necessidades humanas e proteger o meio ambiente. Com a crescente demanda energética, há necessidade de uso eficiente de fontes energéticas renováveis. No contexto da sustentabilidade, desponta a energia solar, fonte energética mais antiga do mundo.

A energia solar remonta às origens das antigas civilizações. Arquimedes utilizou espelhos para direcionar raios solares e atacar uma frota hostil em 212 a.C, incendiando suas velas a uma distância de algumas centenas de pés. No século V a.C deu-se início à utilização da energia solar com fins de aquecimento e refrigeração de habitações, utilizando-se princípios básicos de arquitetura solar. Há evidências de que, já no século I d.C, os romanos conheciam o efeito estufa: partes das habitações, como pisos e paredes, especialmente fabricadas, tinham a propriedade de armazenar a energia solar (MARQUES et al., 2009).

De acordo com Dienstmann (2009), os gregos e os romanos utilizaram o que atualmente denomina-se de uso passivo do sol, ou seja, usar a arquitetura para aproveitar a luz e o calor solar no aquecimento de ambientes. O Grego Sócrates escreveu “em casas que possuem sua face voltada para o sol, o sol de inverno penetrava no pórtico”. Romanos avançaram na técnica, utilizando vidros nas fechadas, voltadas ao sol, a fim de armazenar calor do sol de inverno. Essas tecnologias faziam com que se reduzisse o uso da lenha para aquecer o ambiente. Assim sendo, aproveitar a luz do sol era a maneira mais econômica.

Ao longo de muitos anos, a evolução na tecnologia de uso direto do sol, como fonte de energia, foi relativamente lenta. Albert Einstein, em 1921, ganhou o prêmio Nobel de Física, pelo desenvolvimento de sua pesquisa, utilizando-se painéis fotovoltaicos, que permitem a conversão da energia solar em elétrica. William Grylls Adams descobriu cinquenta anos antes, que o selênio produzia eletricidade, quando exposto à luz, experiência essa demonstrada pelo alemão Heinrich Hertz, em 1887. Contudo, somente em 1953, a primeira célula solar foi

capaz de produzir uma corrente mensurável, desenvolvida pelo Bell Laboratories, nos Estados Unidos (DIENSTMANN, 2009).

Sanzio e Nascimento (2016) citaram que, em meados da década de 60, houvera avanços na tecnologia para utilizar energia solar, haja vista ser uma fonte limpa e com um baixo impacto ambiental para a sua geração. Com o embargo das nações árabes no fornecimento de petróleo, em 1973, os custos de produção diminuíram e aumentaram a dependência por combustíveis fósseis. O investimento na tecnologia solar foi massivo, mas a queda do preço do petróleo impediu que essa tecnologia fosse competitiva, tornando a humanidade dependente de combustíveis fósseis (DIENSTMANN, 2009).

Com o crescente aumento do custo do petróleo, a partir do século XXI, associado à consciência ecológica para o uso de fontes renováveis de energia, cresce a tecnologia de aproveitamento da energia solar, especialmente, no Japão e na Alemanha, surgindo, assim, a economia de escala global da energia solar (SANZIO e NASCIMENTO, 2016).

A relação do homem com a natureza e com o advento do conceito de sustentabilidade, o uso dos recursos naturais tem mostrado risco ao meio ambiente, caminhando para o início das ações de políticas que incluem o desenvolvimento sustentável.

De acordo com Goldemberg e Lucon (2007), muita energia vem do Sol, mas pouca é aproveitada. Uma parte dessa radiação fornece calor, outra forma os ventos, os processos de evaporação e evapotranspiração, dentre outras. Uma pequena parte é incorporada nos vegetais através da fotossíntese e serve para sustentar toda a cadeia alimentar do planeta. Ao longo do tempo, a matéria orgânica se acumulou no subsolo terrestre, formando as chamadas fontes fósseis de energia: petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso e outros.

As novas tecnologias têm levado o homem a explorar a natureza para fins comerciais, buscando explorar os recursos naturais, salvaguardando-os para a geração atual e futura de energia, na busca da sustentabilidade.

2.2 Fontes de energias renováveis e não renováveis: opções por uma matriz energética sustentável

Desde os primórdios, o homem utiliza o meio ambiente para realizar as suas atividades, considerando a natureza como uma fonte infinita de recursos, quando não o é. Assim, não se deve consumir mais energia do que a própria natureza é capaz de renovar.

A principal diferença entre as fontes de energia renováveis e não renováveis é que as renováveis utilizam recursos que não se esgotam ou se regeneram na natureza. Já, as fontes não renováveis são finitas e esgotáveis. Para a maioria delas, a reposição na natureza é muito

lenta e resulta de um processo longo (milhões de anos), sob condições específicas de temperatura e pressão como, por ex., o petróleo, o carvão mineral, o gás natural e a nuclear.

As fontes fósseis de energia predominam, até hoje, na matriz energética mundial. Há registros que, em 2001, o mundo consumiu cerca de 80% de energias fósseis, sendo o petróleo a principal com 35% do total, seguidas pelo carvão (23%), gás natural (22%) e cerca de 7% de energia nuclear (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, originado da decomposição de matérias orgânicos fossilizados ao longo de milhões de anos. Esse tipo de fonte de energia no seu estado bruto é constituído, majoritariamente, por metano, com proporções variadas de etanol, propano, butano e hidrocarbonetos mais pesados, como também, o CO₂, N₂, H₂S, água, ácido clorídrico, metanol e outras impurezas (ANEEL, 2005).

A utilização do gás natural no Brasil iniciou de forma modesta por volta de 1940, com as descobertas de óleo e gás na Bahia, atendendo as indústrias localizadas no Recôncavo Baiano (PEREIRA et al., 2006).

Metade da população mundial vive em cidades, aonde as emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis, inclusive as do setor de transportes, como as principais responsáveis pela poluição urbana e, conseqüentemente, por centenas de milhares de mortes por problemas respiratórios, cardiovasculares e câncer (FERNANDES, CARVALHO, CAMPOS, COSTA, & FILHO, 2010).

Os efeitos provocados por esses padrões de produção e consumo têm levado as sociedades, empresas e instituições públicas a pensar de forma mais intensiva sobre questões relacionadas à sustentabilidade em diferentes perspectivas econômica, social e ambiental em busca de uma nova forma de desenvolvimento, pautada pelo desenvolvimento sustentável (BARBIERI, 2004). Para esse mesmo autor, as matrizes energéticas, em predominância, usam combustíveis fósseis ou minerais, ou seja, não renováveis, como o petróleo, carvão, gás natural e urânio para produção de energia nuclear.

A história da energia no Brasil começou a mudar de rumo a partir da Segunda Guerra Mundial. Até 1940, a principal fonte primária de energia era a lenha, que respondia por mais de 75% do consumo energético. Os processos de urbanização e industrialização e, conseqüente, o desenvolvimento de transportes rodoviários induziu um rápido crescimento do consumo de energia, levando o país a implantar dois sistemas: o elétrico – para alimentar as cidades, o setor de serviços e uma parte das indústrias; e o do petróleo e gás – para suprir os transportes e parte das indústrias (CARVALHO, 2014).

O uso de fontes renováveis de energia não é um assunto novo. Os primeiros relatos sobre o aproveitamento datam de muitos séculos atrás. Atualmente, as melhorias tecnológicas

e a crescente demanda por alternativas energéticas sustentáveis fizeram que com as antigas tecnologias fossem revisitadas e adaptadas (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015).

Uma das principais causas da problemática ambiental encontra-se descrita no processo histórico que insere a ciência moderna e a Revolução Industrial (LEFF, 2010), embora se faça necessário definir as fontes de energia: renováveis e não renováveis.

Atualmente, têm-se usado com mais ênfase, as denominações Energias Renováveis e Novas Energias, para delimitar o conceito com ciclos de renovação natural, principalmente, a que se origina da energia solar como fonte primária.

O desenvolvimento tecnológico tem permitido que, gradualmente, algumas fontes sejam aproveitadas como combustíveis alternativos (álcool, por ex.) e na produção de calor e eletricidade, tais como: energia eólica, solar, biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas, com características renováveis, constituindo-se, assim, em fonte convencional de geração de eletricidade (PACHECO, 2006).

Esses tipos de energias estão, passo a passo, conquistando o espaço que antes era ocupado totalmente pelas fontes fósseis, o que tem sido propiciado pelo desenvolvimento tecnológico de aproveitamento dessas fontes renováveis como combustíveis alternativos.

Com relação às fontes de energia não renováveis, existe uma grande dependência, principalmente, econômica dos países não produtores.

2.3 Principais fontes energéticas e os impactos ambientais.

As fontes energéticas mais utilizadas, no mundo, para a produção de energia elétrica são oriundas de fontes fósseis, tais como: o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. O uso dessas fontes não renováveis tem acarretado, além da preocupação permanente com o seu esgotamento, a emissão de gases tóxicos, poluentes e materiais particulados. Dos gases liberados para a atmosfera, os mais preocupantes são os do “efeito estufa”, especialmente, o dióxido de carbono (FREITAS e DATHEIN, 2013).

Na matriz energética brasileira, as fontes de energia mais utilizadas são as não renováveis: o petróleo, o gás natural, o carvão e a energia nuclear. Há várias razões para não fomentar o uso ou a expansão dessas fontes, por que há alternativa para se utilizar fontes renováveis.

O petróleo é uma substância armazenada ou embebida em rochas subterrâneas, que resulta de uma mistura de hidrocarboneto originado da decomposição de matérias orgânicas, principalmente, o plâncton, causada pela ação de bactérias que sobrevivem com baixo teor de oxigênio. Esse tipo de fonte de energia foi, durante muito tempo, o grande propulsor da

economia internacional, chegando a representar, no início dos anos de 1970, quase 50% do consumo mundial de energia primária (ANEEL, 2005).

Esse tipo de fonte de energia causa impactos socioambientais, principalmente, pela emissão de gases de efeito estufa: o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso. Além disso, a exploração do petróleo pode ocasionar diversas catástrofes ambientais, especialmente, quando ocorre vazamento, por afetar, em muito, as comunidades litorâneas onde a pesca é uma atividade econômica e de sobrevivência (CHAVES, 2017). Neste contexto, exemplifica-se, um acontecimento mais recente, ocorreu em 2019, após um derramamento de óleo, provavelmente de vazamento de navio, que causou degradação no ambiente marinho e alcançou centenas de praias do Nordeste brasileiro, com manchas de óleo (PAMPLONA, 2019).

O gás natural tem um baixo índice de emissão de poluentes, quando comparado com outros combustíveis fósseis. Apesar dessa vantagem, o seu uso traz, também, impactos socioambientais, tais como: riscos de asfixia, incêndio e explosão (PINTO, 2008).

O carvão é um combustível fóssil mais antigo, passou a ter grande importância para economia mundial a partir da primeira Revolução industrial, ocorrida na Inglaterra, quando as máquinas a vapor passaram a ser utilizadas na produção manufatureira, sendo utilizado em mais de setenta países (PAREJO, 2006).

Já o carvão mineral, é o combustível fóssil mais abundante no mundo, com reservas de cerca de um trilhão de toneladas, o suficiente para atender à demanda atual por mais de duzentos anos. É composta por uma variedade de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos, que varia conforme o tipo e o estágio dos componentes orgânicos (ANEEL, 2005).

Relatos de documentos da Agência Nacional de Energia Elétrica citam que um dos maiores impactos socioambientais do carvão mineral decorre da mineração (Figura 1), por afetar, principalmente, o solo e os recursos hídricos.

Figura 1. Vista aérea de uma mina de carvão mineral.



Fonte: Trainini (2020)

A eliminação da água das minas, utilizando-se bombas, lança águas sulfurosas no meio ambiente, que resultam na elevação de sulfatos, de ferro e redução de pH. Além disso, há outro impacto de rejeitos sólidos gerados pelo carvão, ao ser depositado, haja vista que quando chove, por exemplo, os impactos das gotas carregam rejeitos diretamente para os cursos de água.

A energia nuclear, também conhecida como energia atômica, é obtida a partir da fissão do núcleo do átomo de urânio enriquecido, liberando uma grande quantidade de energia. A energia mantém unida as partículas do núcleo de um átomo, cuja divisão do núcleo em duas partes provoca a liberação de grande quantidade de energia (FRANCISCO, 2018).

Esse tipo de energia é, às vezes, confundido como energia renovável. No entanto, apesar de ser uma fonte de energia limpa, ela não é renovável por não ser gerada por meio de recursos naturalmente reabastecíveis, tais como vento ou sol.

No ranking mundial, o Brasil ocupou, em 2016, a 5ª posição de maior reserva mundial de urânio, com 309 mil toneladas (5,3%), e o 21º lugar ao uso de reatores nucleares (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

As consequências atreladas a essa fonte de energia, se deram quando ocorreu um terremoto, seguido de um Tsunami, que danificou a usina de Fukushima, no Japão, em 2011, e provocou a liberação de radiação. Esse questionamento parece ter sido deixado de lado, em 2015, quando se deu continuidade aos investimentos para produção desse tipo de energia (ABEN, 2018).

2.3.1 Principais fontes de energia renováveis

O crescente consumo e o impacto socioambiental causados pelas fontes de energias tradicionais no Brasil e no mundo levaram o governo e a sociedade a pensarem em novas alternativas para geração de energia elétrica.

A produção e o consumo de energia são ambientalmente impactantes, mas os padrões atuais de consumo podem ser melhorados, ao estimular o uso mais eficiente de energia e a transição de fontes de energia fósseis para renováveis, tais como: eólica, solar e biomassa, cujos impactos ambientais são substancialmente menores e ainda evitam a emissão de grande quantidade de dióxido de carbono para a atmosfera (GOLDEMBERG e LUCON, 2007). Para esses autores, a energia, o ar e a água são ingredientes essenciais à vida humana.

Nas sociedades primitivas, a energia era obtida da queima da lenha das florestas, especialmente, para as atividades domésticas, como cozinhar. Aos poucos, o consumo de energia foi crescendo e houve necessidade de outras fontes. Após a Revolução Industrial, usou-se mais carvão, petróleo e gás, que têm custos mais elevados para produzir e transportar até os centros consumidores.

Apesar da matriz brasileira ser predominante por fontes renováveis, especialmente, a fonte hídrica, a segurança energética não é garantida, haja vista a dependência de condições hidrológicas, comprovada com o “apagão”, em 2001. Isso mostrou que estiagens recorrentes exigem a diversificação da matriz nacional, com recuo na participação das hidrelétricas, apostando-se em fontes diversificadas (CNI, 2012).

Os estudos dos recursos naturais renováveis têm sido objetos de inúmeras pesquisas, justificados pela crescente preocupação com o meio ambiente, devido aos problemas ecológicos oriundos do uso de combustíveis fósseis. De acordo com Azevedo (2013), o aproveitamento correto de fontes renováveis é um excelente modo de substituir as “energias sujas” e evitar danos ao planeta.

Neste contexto, as energias renováveis são, sem dúvida, importantes recursos para o desenvolvimento sustentável, por apresentarem cenários promissores. O Brasil se destaca, ainda, por dispor da fonte hídrica como matriz mais renovável do mundo, a qual representa 65,2% da oferta interna (COSTA et al., 2019).

A lenha e carvão vegetal representam 12,0% da oferta energética nacional. Embora sejam entendidos como fontes renováveis não são consideradas relevantes a proporção da lenha e do carvão vegetal oriundos da vegetação nativa (BERMAN, 2008).

Na busca pela diminuição dos impactos ambientais e da preservação dos recursos naturais causados pelas fontes de energia tradicionais, procura-se por outras fontes

alternativas de energia com baixo custo ambiental, por não afetar a natureza, dentre as quais, cita-se a energia solar.

A aplicação de tecnologias da energia da biomassa é uma característica particular do Brasil, devido o seu grande desenvolvimento industrial. Esse tipo de energia resulta da matéria orgânica de origem animal ou vegetal, ou seja, uma forma indireta da energia solar, porque resulta da conversão de energia solar em energia química, por meio da fotossíntese, base dos processos biológicos dos seres vivos.

Goldemberg e Lucon (2007) citam como bons exemplos, desse tipo de energia, a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, o carvão vegetal oriundo de plantações de eucaliptos, a cogeração de eletricidade do bagaço de cana e o uso da biomassa em indústrias de papel e celulose (cascas e resíduos de árvores, serragem, licor negro, etc.).

Para os citados autores, a utilização de biomassa no Brasil resulta de uma combinação de fatores, tais como: a disponibilidade de recursos e mão-de-obra barata e da rápida industrialização e urbanização. Em síntese, algo em torno de 75% do álcool provém do caldo de cana e os 25% restantes têm origem no melaço.

Uma das principais vantagens da biomassa é o seu aproveitamento direto por meio da combustão da matéria orgânica em fornos ou caldeiras. Atualmente, a biomassa vem sendo utilizada na geração de eletricidade, principalmente, em sistemas de cogeração (produção simultânea de calor e eletricidade) e no suprimento de eletricidade de comunidades isoladas de rede elétrica.

De acordo com relatório Síntese do Balanço Energético Nacional, ano base 2019 (BEN, 2020), a repartição da oferta interna de energia é de 46,1% de energia renováveis, dos quais 18,1% vêm da biomassa da cana-de-açúcar, 8,7% da lenha e carvão vegetal, hidráulica (12,4%) e 7,0% para as outras fontes renováveis.

A energia hidráulica teve origem desde os tempos remotos no século II a.C., onde se utilizavam as famosas rodas de água do tipo horizontal, as quais substituíam o trabalho animal pelo trabalho mecânico.

Com o desenvolvimento tecnológico no século XVIII surgiram às primeiras turbinas e os motores hídricos, o que favoreceu a transformação de energética mecânica em energia elétrica, causada pela energia gravitacional responsável pela geração de energia elétrica.

De acordo com Eduardo e Moreira (2010), a constituição de uma usina hidroelétrica, se dá de forma conjunta e integrada formada, basicamente, pelo sistema de captação e adução da água, pela barragem, pela casa de força e o vertedouro. A barragem intercepta a água e forma um reservatório, cujo volume adequado e uma diferença de altura se tornam essenciais para a geração de energia hidroelétrica.

Com relação aos impactos socioambientais, a geração de eletricidade requer, na sua grande maioria, grandes reservatórios, que inundam grandes áreas, com conseqüentes degradação nas áreas produtivas e na diversidade biológica, exigindo, portanto, a realocação de grandes contingentes de pessoas e animais silvestres, como, por exemplo, em Tucuruí e Balbina, no Estado da Amazônia, e Sobradinho, na Bahia (ANEEL, 2005).

2.3.2 Energia Eólica

A energia dos ventos pode ser explicada, em termos físicos, como aquela de origem cinética formada nas massas de ar em movimento. O seu aproveitamento é feito por meio de conversão da energia cinética de translação, em energia cinética de rotação, utilizando-se turbinas, denominadas, de aerogeradores (Figura 2).

Figura 2. Vista aérea de conjunto de aerogeradores



Fonte: Aneel (2005)

De acordo com a Aneel (2005), essa fonte de energia é contida nas massas de ar em movimento. A sua forma de aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água.

Apesar deste tipo de tecnologia não queimar combustíveis fósseis, ela provoca impacto ambiental, visto que as torres modificam a paisagem, as suas grandes hélices ameaçam as aves, quando implantadas em rotas migratórias, e os baixos ruídos causam

incômodos e interferências nas TVs, além dos elevados custos financeiros (SILVA e BRITO, 2016).

2.4 O Semiárido nordestino: energia solar e perspectivas

O Semiárido nordestino corresponde a uma extensa área de terras, cujo clima predominante é do tipo semiárido quente. Na nova delimitação estabelecida pelo Ministério da Integração Nacional (MI, 2017) foram acrescentados 54 novos municípios, totalizando-se 1.189, e uma população superior a 25 milhões de habitantes.

Furtado (1980) citou que as estruturas socioeconômicas do Nordeste Semiárido foram profundamente marcadas durante quase quatro séculos, cujas atividades econômicas estiveram assentadas em relações de produção atrasadas em comparação àquelas vigentes nas áreas mais dinâmicas do país.

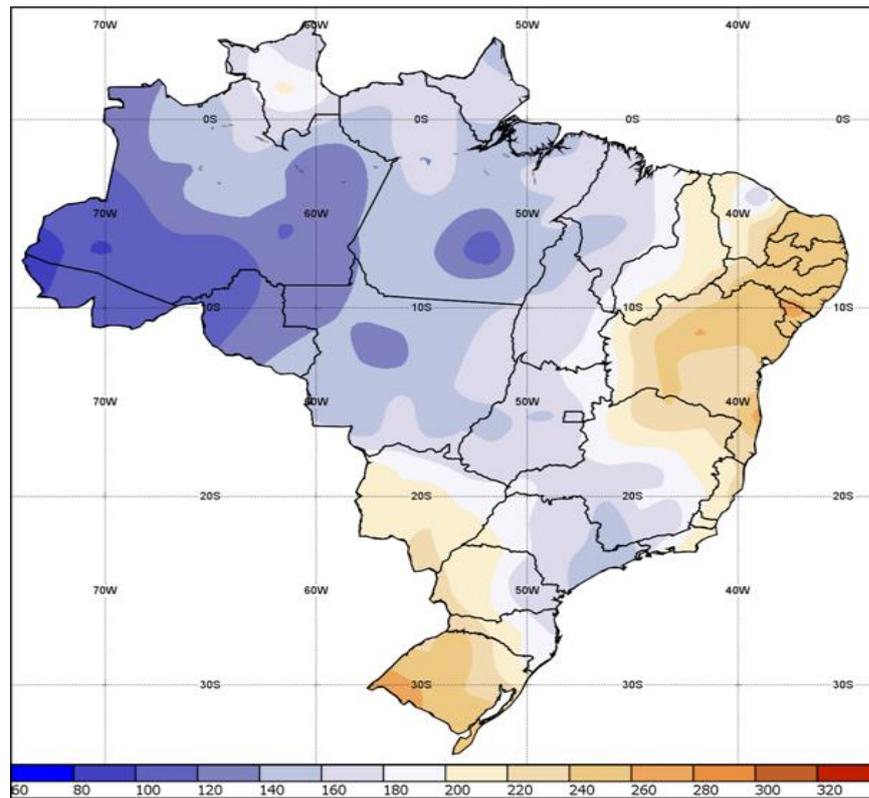
O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), criado pelas Nações Unidas, no início da década de 1990, surgiu como resposta a uma insatisfação generalizada do uso do PIB per capita como medida de bem-estar social. O IDH é composto por três dimensões: renda, educação e longevidade. Na dimensão renda, o indicador utilizado é a renda familiar per capita. Na dimensão educação são considerados dois indicadores: a taxa de analfabetismo e a média de anos de estudo, com peso 2/9 e 1/9, respectivamente. De acordo com a ASA (2017), em 60,09% dos municípios do Semiárido, com mais de nove milhões de habitantes, o IDH varia de baixo a muito baixo.

O Semiárido nordestino tem uma das maiores incidências de irradiância solar, quando comparado com as demais regiões brasileiras, além de possuir um regime energético homogêneo ao longo dos ciclos sazonais. A quantidade anual que a Terra recebe de energia solar corresponde a cerca de 10 mil vezes o consumo energético mundial.

A luz solar é a principal fonte de energia do planeta Terra e a maioria dos seres vivos depende direta ou indiretamente dessa energia. O processo de radiação é a transferência de energia entre o sol e a Terra por ondas eletromagnéticas, cuja intensidade instantânea média no topo da atmosfera terrestre é de $1.379,4 \pm 13,9 \text{ w.m}^{-2}$ (ALMEIDA, 2016).

O mapa da Figura 3 mostra uma média anual do número de horas de sol, do período de 1980 a 2010, em todas as regiões do Brasil, com médias superiores a 2.200 horas de insolação, que equivale a um potencial de 15 trilhões de MWh, ou seja, a 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade.

Figura 3. Normais climatológicas anual de insolação, em horas. Médias do período de 1981 a 2010.



Fonte: INMET/ <https://clima.inmet.gov.br/>

A capacidade instalada, no Nordeste brasileiro, em MW, em 2019, representou 21,3% da produção nacional de energia elétrica, ficando atrás apenas da região Sudeste (EPE, 2020). Desse total, algo em torno de 0,05% corresponde à produção de energia solar, apesar dos elevados valores de irradiância solar (INMET, 2020).

A disponibilidade da fonte solar no Brasil é bem maior que em outros países do hemisfério norte, embora tenha menor capacidade instalada de energia solar. Comparando-se com a menor incidência de irradiância solar, no estado de Santa Catarina, com valores próximos a $4,25 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (MARTINS et al., 2007), constata-se, que ainda é maior do que o maior da Alemanha, por exemplo (SIMIONI, 2017).

O potencial solarimétrico do Brasil mostra níveis de irradiância elevados para a maioria dos estados, com médias da ordem de $5 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$, com destaque para a região Nordeste, indicando valores superiores a $5,7 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$, o que demonstra o grande potencial para o aproveitamento desta fonte de energia em todo o território nacional (PEREIRA et al., 2006).

2.4.1 Energia Solar Fotovoltaica

Dentre as fontes de energia disponíveis há uma grande preocupação por fontes de energias renováveis, haja vista que a preocupação com relação à degradação ambiental. O Brasil e, em especial, a região Nordeste, por se localizar em latitudes baixas, tem elevada disponibilidade de irradiância solar e insolação diária.

A irradiância solar é uma opção tecnológica limpa e renovável para produzir energia. O conhecimento do quantitativo dessa irradiância que chega à superfície de um determinado local é de fundamental importância na maioria das atividades humanas, como, por exemplo, na agricultura, arquitetura, planejamento energético, dentre outras.

De acordo com Almeida (2016), quase toda a transferência de energia entre a Terra e o restante do Universo ocorre através de um processo denominado de radiação, por ser esse o único processo capaz de atravessar o vazio. A irradiância solar global é a quantidade de energia que chega à superfície da Terra na forma de radiação de ondas curtas, após sofrer interações com a atmosfera, sendo constituída por duas frações: direta + difusa.

As tecnologias de aproveitamento da energia solar consistem em converter a energia proveniente do sol em energia elétrica ou em calor. Por isso, existem dois sistemas, o térmico e o fotovoltaico.

Relatos históricos generalizados citam que no século V a.C., já se usava a energia solar com fins de aquecimento e refrigeração nas habitações, utilizando-se os princípios básicos de arquitetura solar. Há evidências de que no século I d.C., os romanos conheciam o efeito estufa, existentes nas partes das habitações, tais como: pisos e paredes, especialmente, além do uso da energia solar, para secar peles e alimentos.

Achados históricos de arqueólogos no século VII A.C., comprovam o uso de lentes de vidro para concentrar a luz do sol e desta forma queimar pequenos pedaços de madeira e assim obter fogo.

Mais recentemente, no século XVIII, cientistas encontraram que os raios solares quando refletidos em espelhos ou lentes eram capazes de derreter metais e no final do século XIX essa energia era utilizada em aquecedores de modo a produzir vapor para movimentar motores (MARQUES, et al., 2009).

A depender da forma como a energia solar é captada ela pode ser aproveitada para eletricidade ou calor. O termo fotovoltaico consiste na transformação direta da luz em energia elétrica em corrente contínua. A crescente utilização da energia solar fotovoltaica para geração da energia elétrica tem evoluído substancialmente em vários países, como alternativa

para redução dos impactos ambientais e renovação da matriz energética, porque a maioria dos países utiliza os combustíveis fósseis para geração de energia (RELLA, 2017).

De acordo com Ribeiro (2012), a energia solar pode utilizada, basicamente, de duas formas: no aquecimento de água e na conversão para energia elétrica. No primeiro caso, a energia é gerada através de coletores térmicos, nos quais o aproveitamento se dá pela captação da irradiância solar através de coletores solares. Já, no segundo, a conversão em energia elétrica pode ser feita através do efeito fotovoltaico.

O sistema de aproveitamento energia solar térmica converte, normalmente, a energia solar através de coletores solares usados para gerar calor para aquecimento de água no uso doméstico, em casas, hotéis, aquecimento de água para chuveiros, piscinas, e ambientes ou até em processos industriais (NEOSOLAR, 2018).

O aproveitamento térmico para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, ocorre através da absorção ou penetração da radiação solar nas edificações, reduzindo as necessidades de aquecimento e iluminação (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2012).

Os sistemas fotovoltaicos diferem dos meios convencionais, haja vista que a conversão de energia utiliza o princípio da indução eletromagnética, para gerar uma corrente alternada. A conversão fotovoltaica se dá de forma direta, em que os fótons provenientes do Sol interagem diretamente com os elétrons das células de um material semicondutor e gera uma corrente de sentido único, ou seja, contínua (CASTRO, 2015).

As células fotovoltaicas são materiais semicondutores, geralmente, de silício, encontrado no mercado em sua forma cristalina (poli ou mono). Dentre os fatores que influenciam na operação de uma célula fotovoltaica, cita-se a irradiância solar, a temperatura do ar, que altera a energia cinética dos átomos do material e a corrente que passa por este (GALDINO, 2014).

O uso da energia solar fotovoltaica no Brasil e, em especial, no Nordeste com o Programa Luz do Sol, contou com algumas iniciativas voltadas para a eletrificação rural, através de concessionárias e instituições (VARELLA et al., 2012).

O painel fotovoltaico (Figura 4) é formado por um conjunto de células fotovoltaicas de silício, que transforma a luz solar em eletricidade, utilizando-se materiais semicondutores.

Figura 4. Vista de painéis fotovoltaicos



Fonte: CINESHOP, 2020

O efeito fotovoltaico foi observado, pela primeira vez, em 1839, pelo físico francês Edmund Becquerel, utilizando uma célula eletroquímica para gerar uma diferença de potencial entre dois eletrodos, quando o dispositivo era submetido à luz (LIMA et al., 2020).

A energia solar no Brasil é muito pouco usada, sendo responsável apenas por 0,5% de geração de energia elétrica (BEN, 2019), como também, o uso de sistemas de aquecimento solar para água, em razão dos altos custos de instalação. Contudo, a predominância pelo uso de chuveiros elétricos, como fonte de aquecimento de água, acaba sobrecarregando a rede elétrica nos horários de pico.

2.4.2 Tipos de Sistemas fotovoltaicos

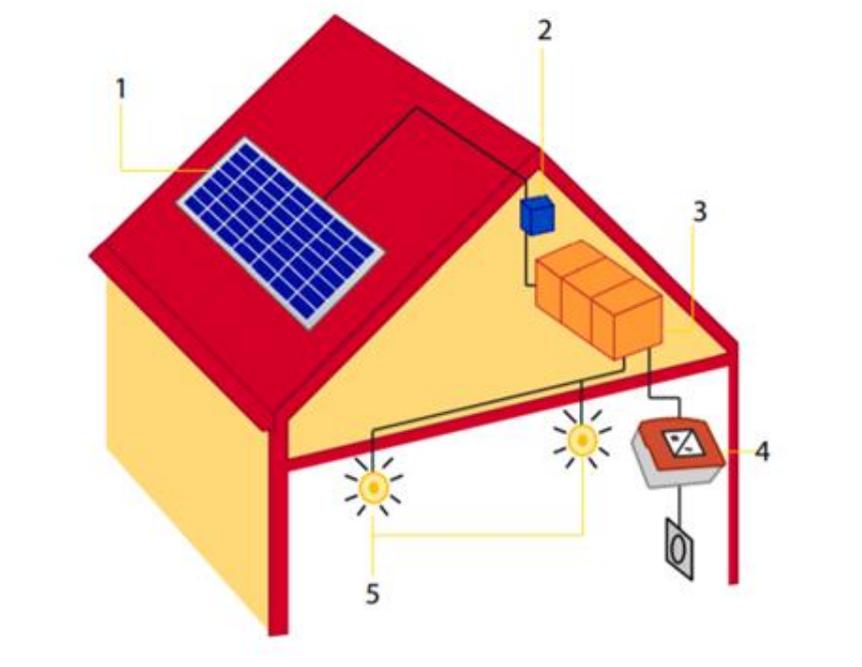
2.4.2.1 Sistemas fotovoltaicos autônomos

O aproveitamento do sistema fotovoltaico, atualmente, pode ser feito de duas formas: o sistema autônomo (Off-grid) e o sistema conectado à rede (On-grid).

Sistema autônomo é aquele independente da rede de distribuição de energia elétrica, mantido através de baterias, que funciona como dispositivo de armazenamento. Tal sistema é composto por painéis solares, cabos e estrutura de suporte, que compõem juntos o bloco de geração de energia.

A Figura 5 mostra um modelo de sistema fotovoltaico autônomo, utilizado para bombeamento de água, eletrificação de cercas, postes de luz ou sistemas de pequeno porte, com capacidade energética que varia entre 1,5 kilowatt-pico (kWp) e 20 kWp e os grandes, de 20 kWp a 1 MWp (ECYCLE, 2015).

Figura 5. Vista de um sistema fotovoltaico autônomo (Off-grid)

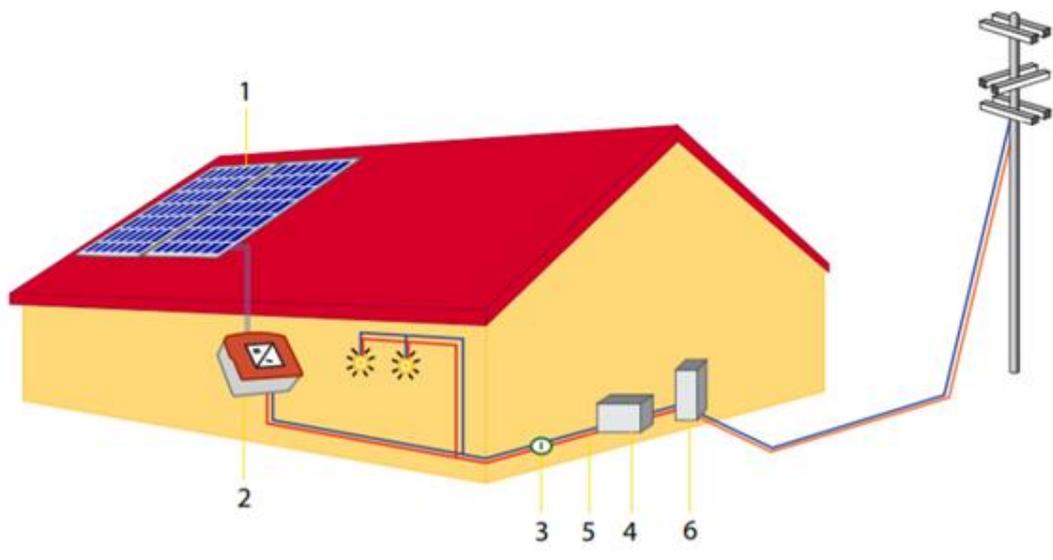


Fonte: BLUESOL, 2016

Nesse sistema, toda a energia produzida é armazenada nas baterias e distribuída aos pontos de consumo, a fim de suprir energia nos momentos de pouca ou nenhuma existência do sol, como à noite, por exemplo. As baterias devem ter capacidades de armazenar o suficiente para manter a residência com energia. No entanto, as baterias, necessitam de manutenção e têm uma vida útil normalmente de quatro a seis vezes menores do que a dos painéis (MARQUES, et al., 2009).

O sistema conectado à rede (On-grid) também chamado de grid-tie (Figura 6) é um tipo de sistema fotovoltaico que precisa, necessariamente, estar conectado à rede de distribuição de energia é mais eficiente que o off-grid, dispensa a utilização de baterias e, portanto, o kit tem preço mais baixo (ECYCLE, 2020).

Figura 6. Vista de um sistema conectado à rede (On-grid)



Fonte: BLUESOL, 2016

No caso de sistema conectado à rede, os inversores terão, além da função tradicional de converter a corrente contínua (CC) em alternada (CA), as funções de sincronizar o sistema com a rede pública.

Outra característica do sistema on-grid é a de não possuir dispositivo de armazenamento. Por isso, toda energia excedente produzida (não é utilizada pela residência ou pela empresa) é reenviada à rede convencional de energia elétrica.

Com isso, o relógio medidor de energia elétrica gira no sentido contrário e esse excedente é convertido em créditos de energia, que podem ser utilizados em momentos onde a demanda é maior que a produção, dentro de um período de até 36 meses (ECYCLE, 2020).

Esse tipo de sistema é regulamentado pela resolução normativa n.º 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), de 17 de abril de 2012, que define o mecanismo de compensação de energia. Outro aspecto positivo é que os créditos conseguidos podem ser utilizados por outras unidades consumidoras, desde que possuam o mesmo titular e façam parte da mesma rede distribuidora.

Na Europa, há tendência de crescimento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Na Alemanha, os sistemas fotovoltaicos off-grid, foram instalados com muita intensidade após a entrada em vigor de subsídios governamentais no âmbito do “Programa dos 1.000 telhados” (1991-1995), com a posterior evolução para o “Programa dos 100.000 telhados” (desde 1999) e o “Decreto das Fontes de Energia Renovável” (EEG1/4/2000). O Governo Federal Alemão lançou no mercado um conjunto de programas dinamizadores, embora um

dos aspectos mais importantes dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede seja a sua interligação à rede pública elétrica (BERNARDES et al., 2020).

Em síntese, as vantagens do sistema off grid podem ser a de utilizar de forma remota, independente da rede de distribuição de energia, não pagar conta da luz e por dispor de um sistema de armazenamento de energia. Já, as desvantagens são a necessidade de baterias e controladores de carga, que resulta em custo mais elevado, além de ser menos eficientes.

Com relação ao sistema on-grid, há a vantagem de não utilizar baterias e controladores de carga, além de ser mais eficiente e permitir que o consumidor adquira créditos de energia, que podem ser usados em outras unidades do mesmo proprietário. No entanto, há desvantagem, por que necessita de acesso à rede de distribuição, não há armazenamento de energia e necessita de pagamento pelo consumo, quando a demanda for maior que a produção.

2.4.2.2 Impactos da instalação e geração da energia solar fotovoltaica

As tecnologias de produção e geração de energia procuram fontes alternativas e renováveis que evitem a degradação e o impacto ambiental. A energia solar é uma fonte primordial para sustentabilidade e desponta como alternativa para conversão em energia termal e elétrica, especificamente, no Nordeste brasileiro, que dispõe de elevado potencial de irradiância solar, com pequena variabilidade espacial e temporal (FERRAZ et al., 2018).

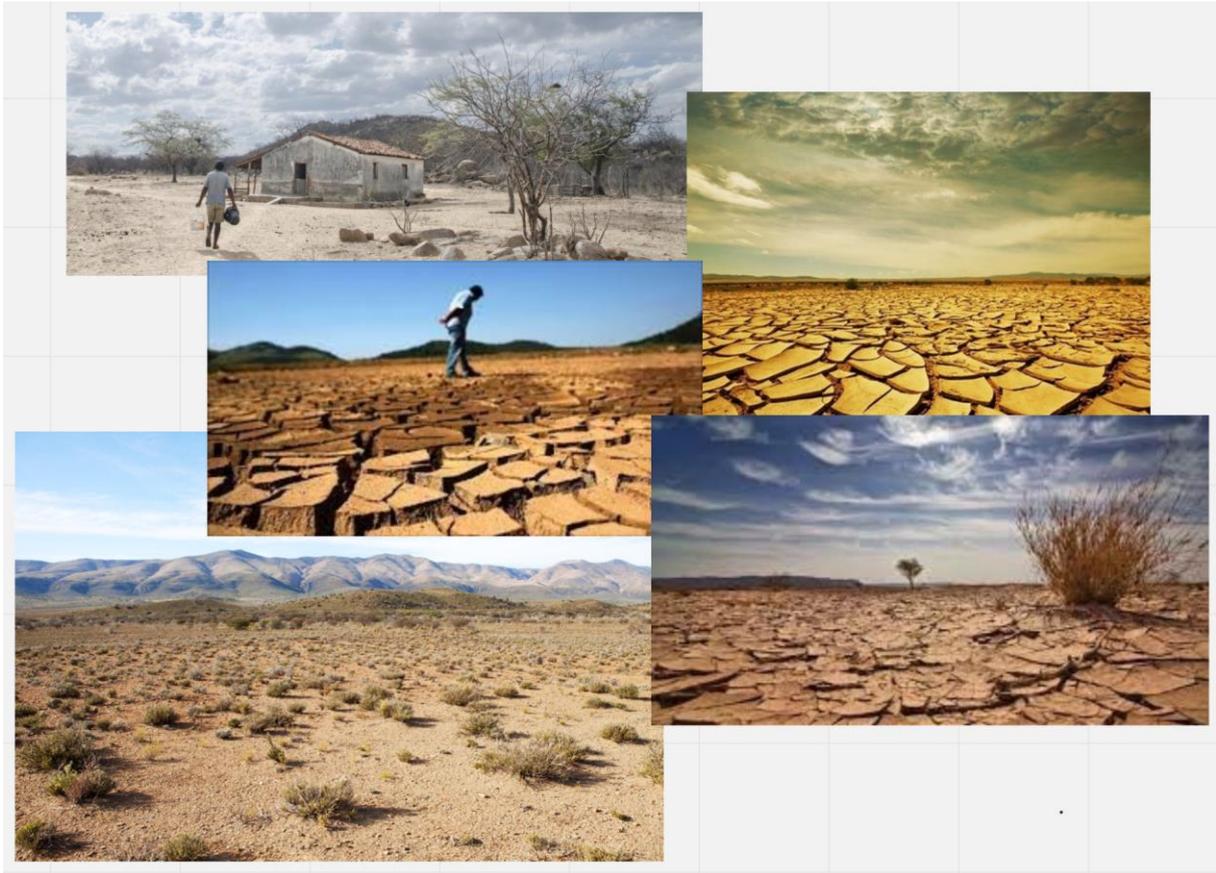
Quando se compara com a principal matriz energética brasileira, a hidrelétrica, apesar da produção de energia ser renovável, ela se faz poluente, pois alaga florestas inteiras e destrói a fauna e a flora.

A instalação ou a geração de energia solar fotovoltaica apresenta impactos econômicos e ambientais mais positivos do que negativos, quando comparado a outras fontes. O impacto ambiental pode até alterar algumas características do meio, afetando direta ou indiretamente o meio físico, biótico e/ou socioeconômico na sua área de influência (FILHO et al., (2015).

Para esses mesmos autores, os impactos mais expressivos no meio físico são os da alteração e/ou degradação da paisagem. A construção de uma usina solar fotovoltaica pode modificar os ciclos de desenvolvimento da fauna e da flora. Mesmo assim, os impactos são menores que qualquer outra fonte.

Sabe-se que a implantação de sistemas de aproveitamento solar fotovoltaico não se limita às áreas desérticas, onde existe pouca cobertura vegetal. No Semiárido nordestino essa condição é muito comum, com espaço livre e, portanto, a instalação não exigiria a retirada da vegetação nativa, como exemplifica a Figura 7.

Figura 7 Vista das paisagens do Semiárido nordestino



Fonte: Arquivo do autor

As paisagens nordestinas mostram que a instalação de usinas fotovoltaicas poderia contribuir para evitar a degradação ambiental, ou seja, ter mais impacto positivo do que negativo. Além de possibilitar melhoria na qualidade de vida das comunidades próximas, mediante a geração de emprego e renda. De acordo com ABINEE (2012), para 1MW instalado, há geração de mais de 30 empregos (diretos e indiretos).

Filho et al., (2015) citam que o crescimento da economia local, em virtude do aumento da arrecadação tributária, do emprego gerado e do poder de compra, contribui para dinamismo no mercado local. Essa condição é, a ‘priori’, um pré-requisito para projetos de conversão de energia solar. Contudo, é necessário considerar outros aspectos relevantes, já que há outros elementos meteorológicos, tais como: temperatura, precipitação, duração do brilho solar (insolação), umidade relativa e vento, que influenciam diretamente a potência gerada (GALDINO, 2014).

O aproveitamento da energia solar incidente à superfície é uma alternativa para complementar a matriz energética brasileira atual, por ser essa majoritariamente constituída pelas usinas hidroelétrica e combustíveis fósseis (ANEEL, 2011; Pereira et al., 2006). Além disso, quantificar o potencial disponível de energia solar é de extrema importância para

adicionar no planejamento do sistema elétrico, a inclusão da geração solar fotovoltaica e solar térmica (MARTINS et al., 2006).

A área da região Nordeste, corresponde a 18% do território nacional (Lima, 2015) e dispõe do maior potencial de energia solar disponível no Brasil, com uma irradiância global média de $5,9 \text{ kWh.m}^{-2}$ (PEREIRA et al., 2006), com pequena variação ao longo do ano, por se localizar numa faixa de baixa latitude, característica essa extremamente positiva para a conversão dessa energia (FERRAZ et al., 2018).

Os parques fotovoltaicos são também denominados de usinas solar e fotovoltaica, parque solar ou fazenda solar, sendo compostas por um complexo constituído de várias placas solares fotovoltaicas e com extensão de centenas de metros, que converte energia e o calor do sol em energia elétrica.

Atualmente, uma das maiores usinas de energia solar da América Latina é a do Complexo Ituverava (Figura 7), ou Projeto Ituverava, construída na cidade de Tabocas do Brejo Velho, no estado da Bahia, com capacidade de 254 MW e produção anual de energia estimada em 500 GWh, suficiente para produzir energia para 268 residências (SOLAR, 2020).

Figura 8. Vista da maior usina solar da América Latina, o complexo fotovoltaico de Ituverava, Bahia.



Fonte: <https://eleksolar.com.br/ituverava-maior-usina-solar-da-america-latina>

Os módulos fotovoltaicos ao captarem a luz do sol, convertem em energia elétrica mediante o efeito fotovoltaico. Esses módulos são instalados no solo, que podem ser fixados na terra ou sobre um sistema Solar-Tracker, para aumentar a eficiência da geração. Esse

sistema direciona o painel conforme a posição do sol, para deixá-lo sempre no melhor ângulo para captação da luz solar (ELÉTRICA, 2020).

Os investimentos com essa tecnologia são da ordem de R\$ 31 bilhões e geraram, desde 2012, cerca de 180 mil empregos acumulados desde 2012 e preveem a construção de mais de 300 parques no Brasil, com capacidade instalada de 12,3 GW, representando 36,94% da potência total outorgada e fonte com maior previsão de crescimento (ABSOLAR, 2020).

A usina solar de São Gonçalo do Gurguéia, PI, é atualmente, a maior usina de energia solar do Brasil e da América do Sul, com capacidade de geração de 475 MW. Foi a primeira planta da Enel no Brasil a usar módulos solares bifaciais, que captam energia de ambos os lados dos painéis, com expectativa de aumento de até 18% na geração de energia. Da capacidade instalada, 265 MW são apoiados por contratos de 20 anos de fornecimento de energia para o mercado regulado e os 210 MW restantes vão gerar energia para o mercado livre (ENERGINA, 2020).

No estado da Bahia, os principais parques fotovoltaicos são os do complexo solar Lapa, em Bom Jesus da Lapa, e da Central Fotovoltaica de Juazeiro. O primeiro, com geração de 158 MW e o segundo, com cerca de 350 GWh ao ano, com 475.200 painéis solares instalados (SOLAR, 2020).

No estado do Ceará, os principais parques são os de Tauá, a primeira usina de energia solar do Brasil, operando desde 2011, com capacidade inicial para abastecer 650 casas populares e a de Apodi, instalada em Quixeré, com capacidade de 1 MW (SOLAR, 2020).

As vantagens da energia solar fotovoltaica são nítidas em comparação com outras fontes de energia. Ressalta-se, entretanto, que é uma fonte de energia limpa, renovável, sustentável e de baixo impacto ambiental. Além de ser inesgotável, não produz resíduo e nem ruídos e pode ser utilizada em áreas remotas (CAMILO, 2018).

Os parques fotovoltaicos geram benefícios socioeconômicos tais como a geração de emprego, renda e desenvolvimento local. A energia gerada pode ser distribuída para a zona rural e aos pequenos produtores ou pode-se instalar os painéis nos telhados de casas.

2.5 Políticas públicas relacionadas à produção de energia solar fotovoltaica.

A diversificação da matriz energética vem aumentando a participação das energias renováveis, em virtude de metas para a redução das emissões de gases do efeito estufa. Neste contexto, a região Nordeste com menor IDH do Brasil (IBGE, 2010), desponta como favorável ao avanço da energia fotovoltaica, por dispor de quantidade e regularidade temporal de irradiância solar durante o ano.

As políticas públicas são ações, metas e planos que os governos (nacionais, estaduais ou municipais) traçam para alcançar o bem-estar da sociedade e o interesse público, o que se mostra, cada vez mais imprescindível, o acesso à energia elétrica para o bem-estar da sociedade (CALDAS, 2008).

O governo do estado do Ceará tem favorecido e atraído investidores no setor das energias renováveis. Em 2009 lançou o Fundo de Incentivo à Energia Solar do Ceará com a finalidade de incentivar os fabricantes de equipamentos solares e a instalação de usinas solares no território cearense, o que acarretou na inauguração da sua primeira usina solar de porte comercial, em 2011 (ADECE, 2011).

O incentivo e a utilização de fontes alternativas de energia têm por base a Lei n.º 10.438, de 26 de abril de 2002, pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). O PROINFA foi um marco no fomento à geração distribuída de eletricidade com fontes renováveis de energia no Brasil, promovendo a regionalização da geração a partir da participação de um maior número de Estados (BRAGA JUNIOR, 2010).

Essa lei federal criou, também, a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) visando à universalização do acesso à energia elétrica no território nacional, promovendo a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, fotovoltaica e outras fontes renováveis.

Essa lei foi revisada posteriormente pela Lei n.º 10.762, de 11 de novembro de 2003, que assegura a participação de um maior número de estados no programa, o incentivo à indústria nacional e a exclusão dos consumidores de baixa renda do rateio da compra da nova energia (ALVES, 2010).

Apesar da utilização da energia solar ser precária em algumas regiões, existem diversos incentivos por parte dos governantes para aproveitamento deste recurso. Nascimento (2017) cita: abatimentos nas Tarifas de Uso dos Sistemas de Transmissão e de Uso dos Sistemas de Distribuição; descontos de, no mínimo 50%, sobrevida na produção e no consumo da energia; a venda direta a consumidores considerados ‘especiais’ (carga entre 500 kW e 3.000 kW), redução de imposto de renda, condições diferenciadas de financiamento, dentre outros.

No que se refere às políticas públicas ligadas à esfera da energia solar, Silva (2015), relatou que é necessário mais incentivo, ou seja, o governo, os estados e os municípios, em resumo, à administração pública deve estimular esse processo.

Embora existam políticas públicas que dão incentivos à geração da energia solar, estas ainda são insuficientes. No modelo alemão, por exemplo, as tarifas são subsidiadas e ainda oferecem aos produtores de energia fotovoltaica um preço acima do valor de mercado

(RIFKIN, 2012), incentivando, portanto, os pequenos produtores a entrarem no mercado (TAVARES, 2020).

De acordo com Wiginton et al., (2010), o modelo Alemão de energia renovável encorajou outros dezoito países da União Europeia a adotar programas semelhantes, ou seja, introduziram tarifas feed-in de energia elétrica, com base na Lei das Fontes de Energia Renovável (Erneuerbare-Energien-Gesetz).

No caso brasileiro, a política pública que mais deu incentivo à geração de energia solar foi a RESOLUÇÃO NORMATIVA N.º 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015, que possibilitou a geração compartilhada da energia. Tal política possibilita a geração de energia elétrica através do sistema on-grid, ou seja, sistema ligado a uma rede de distribuidora de energia gerando créditos que podem ser descontados na fatura.

Existem outras políticas de incentivo à geração de energia solar no Brasil. Monteiro e Silveira (2011), destacam os descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e o Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD), através do Convênio n.º 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ).

2.6 Energia e desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável faz parte da agenda de discussões das mais variadas áreas da sociedade civil, da ciência e da política. A multiplicidade de atores sociais, valores e visões de mundo envolvidos nas discussões resultam em definições bastante distintas para a expressão, sendo a mais difundida aquela trazida no relatório de Brundtland (1987): “desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”.

O aproveitamento de energia solar pode ser considerado uma das novas apostas para estabelecer ordem ambiental. É uma fonte inesgotável, ecológica e uma alternativa promissora para produzir eletricidade, sem degradar o meio ambiente, quando comparada com outras fontes convencionais.

A preocupação com o desenvolvimento sustentável não é recente tendo evoluído a partir da percepção da sociedade de que os recursos naturais são finitos. Essa preocupação acentuou-se na década de 70, com a crise do petróleo, que até então era encarado por muitos como abundante e inesgotável (SIMIONI, 2017).

A geração de energia elétrica é ponto crucial para a promoção do desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida, porém, da forma como vem sendo planejada e implementada, apresenta sérios riscos relativos à sustentabilidade.

A energia é ponto central para alcançar os objetivos econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento humano sustentável, porém, as formas como produzimos e consumimos energia terão que mudar (UNDP et al., 2000).

O desenvolvimento sustentável é um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso humano não apenas em alguns lugares e por alguns anos, ou seja, é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras. Em essência, é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam (CMMAD, 1991).

A definição mais universal para o desenvolvimento sustentável é o crescimento econômico aliado às questões sociais e ambientais. Nesse contexto, a energia solar se apresenta como opção para geração de energia elétrica seguindo os princípios do desenvolvimento sustentável.

De acordo com Oliveira (2003), a complexidade e as diferentes interfaces envolvidas nas correlações entre o desenvolvimento sustentável e a energia elétrica propõem avaliar e analisar separadamente a sustentabilidade sob as suas diferentes dimensões.

Das fontes de energias renováveis e com a evolução tecnológica, o sistema fotovoltaico no Nordeste poderá abranger consumidores industriais, comerciais e residenciais. A energia do sol é inesgotável e incide de forma contínua todos os dias (PEREIRA et al., 2006) e pode ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados metais, dos quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (GALDINO, 2014).

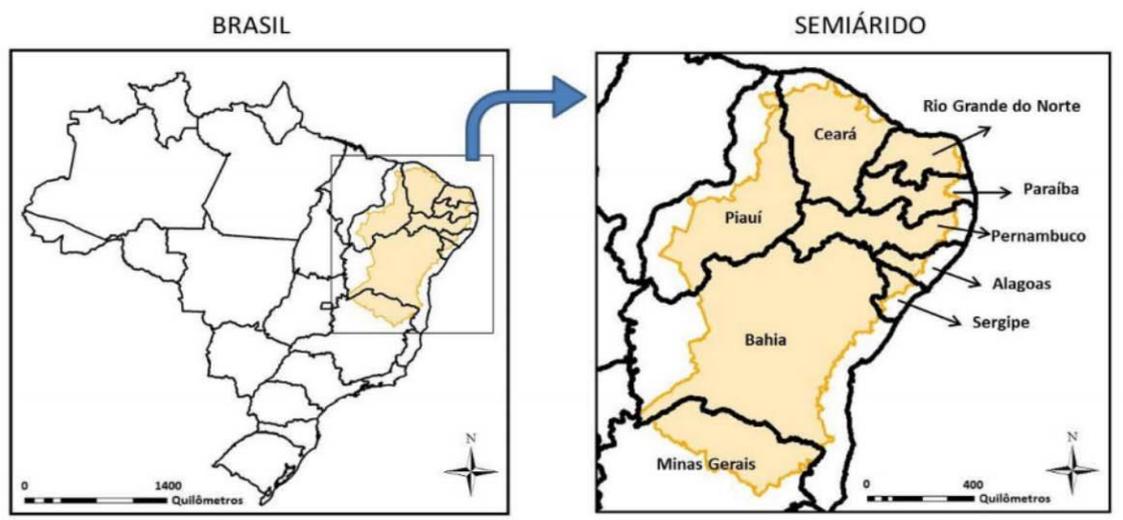
Reconhece-se que, no estágio de desenvolvimento do Brasil, é necessário aumento expressivo na demanda energética, que aponta para uma elasticidade em relação ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). No entanto, há preocupação com a necessidade de se reduzir o atual uso exacerbado de energia, particularmente de combustíveis fósseis, com a adoção, por todos os países preocupados, de regulamentos técnicos bem como de severas restrições legais, incluindo maneiras de tributação, discutidas antes e durante a Conferência Rio-92 (VARGAS, 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Procedimentos metodológicos

O trabalho consistiu de efetivar um diagnóstico e perspectivas do uso de energia solar fotovoltaica no Semiárido nordestino (Figura 9) e sua relação com o desenvolvimento sustentável, com ênfase nos seguimentos de Pesquisa Exploratória, Documental e Aplicada, com abordagem quantitativa e qualitativa, utilizando-se os diversos recursos da Estatística Descritiva.

Figura 9. Croqui do mapa geográfico do Brasil com destaques para o Nordeste e o Semiárido



Fonte: Barbosa et al., 2017.

Para realização do referido trabalho, utilizar-se-á dados referentes ao tema de energia solar e solar fotovoltaica, publicados em relatório, artigos científicos, disponibilizados em sites e em outros tipos de periódicos.

Os dados das séries temporais de irradiância solar global, de insolação e outros serão extraídos das publicações e/ou diretamente dos sites do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET- <https://portal.inmet.gov.br/>), da The European Commission's science (EU Science Hub- <https://ec.europa.eu/jrc/em>), do Ministério de Minas e Energia (MME- <https://www.gov.br/mme/pt-br>), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL- <https://www.aneel.gov.br/>), Anuário Estatístico de Energia Elétrica (<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados>), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE- <https://www.epe.gov.br/pt>), da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR- <http://www.absolar.org.br/>), Atlas Brasileiro de Energia Solar

(http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_PB), Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/index.html>), do Laboratório de Energia Solar (LES UFPB-<http://www.les.ufpb.br/>), do Balanço Energético Nacional 2020 (<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>) e de outros órgãos do setor elétrico.

3.1 Procedimentos de coleta e análises estatísticas

As coletas de todos os dados serão feitas mediante extração direta dos sites e/ou de outro tipo de documento. Utilizar-se-á a estatística descritiva para análises dos dados nas escalas temporal e espacial de irradiância solar global, das fontes renováveis e não renováveis.

Com os dados mensais e anuais serão calculadas as medidas de tendência central (média e mediana), percentuais e evolução temporal das diferentes fontes de energia nos anos de 2018 a 2019 e a potência instalada da matriz energética brasileira em operação, sendo confeccionados em forma de gráficos e mapas.

As médias mensais e diárias da irradiância solar do NE nos meses da primavera, verão e no trimestre mais chuvoso serão plotadas em gráficos, como também, a evolução temporal da irradiância solar no Nordeste, nos meses da primavera, verão e no trimestre mais chuvoso, do período de 2006 a 2016.

Adotando-se procedimentos semelhantes, serão confeccionados os gráficos, na forma de histograma de frequência, com análises comparativas entre as médias mensais de irradiância solar no Estado da Paraíba e as da Alemanha e evolução temporal da capacidade instalada para aproveitamento da energia solar em energia fotovoltaica no Brasil, versus NE, com destaque para a Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

O crescimento das fontes renováveis de energia será determinado mediante os cálculos percentuais das fontes solar, eólica e hídrica, da sua evolução temporal e do potencial instalado por regiões geográficas. Esses tipos de procedimentos estatísticos permitirão estabelecer os principais indicadores dessas fontes de energia renováveis, com ênfase à fotovoltaica e a comparação entre si.

A relação entre a potência da célula fotovoltaica (PCF, em W) e a irradiância solar incidente (IRS, em W. m⁻²) será estimada pela equação proposta pela CRESESB (2014):

$$EF (\%) = \frac{PCF}{A \times IRS} \times 100$$

Sendo: EF= eficiência do sistema fotovoltaico (%);

A = área dos painéis fotovoltaicos (m²);

As análises gerais e/ou os tratamentos dos dados serão feitas utilizando-se a planilha Excel, QGIS para fazer confecção de mapas, através dos aspectos visuais e PVGIS, que fornece os dados de irradiância solar, da plataforma EU SCIENCE HUB, conforme exemplifica a plataforma da Tabela 1.

Tabela 1. Fluxograma da plataforma EU SCIENCE HUB

GRID CONECTADA

TRACKING PV

OFF-GRID

DADOS MENSAIS

DADOS DIÁRIOS

DADOS DA HORA

TMY

DADOS DE IRRADIAÇÃO MENSAIS

Banco de dados de radiação solar * PVGIS-SARAH

Ano de início : * 2016

Ano final : * 2016

Irradiação :

Irradiação horizontal global

Irradiação normal direta

Ângulo ideal de irradiação global

Irradiação global em ângulo : (0-90)

Razão:

Razão difusa / global

Temperatura :

Temperatura média

Fonte: EU SCIENCE HUB

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Energia solar e matriz energética

A importância da eletricidade para a sociedade é algo que existe desde as épocas mais primitivas. Para as sociedades atuais, a energia elétrica passa a ser ainda mais relevante, uma vez que os hábitos fazem aumentar o seu uso e, portanto, há necessidade de outras fontes alternativas de energia.

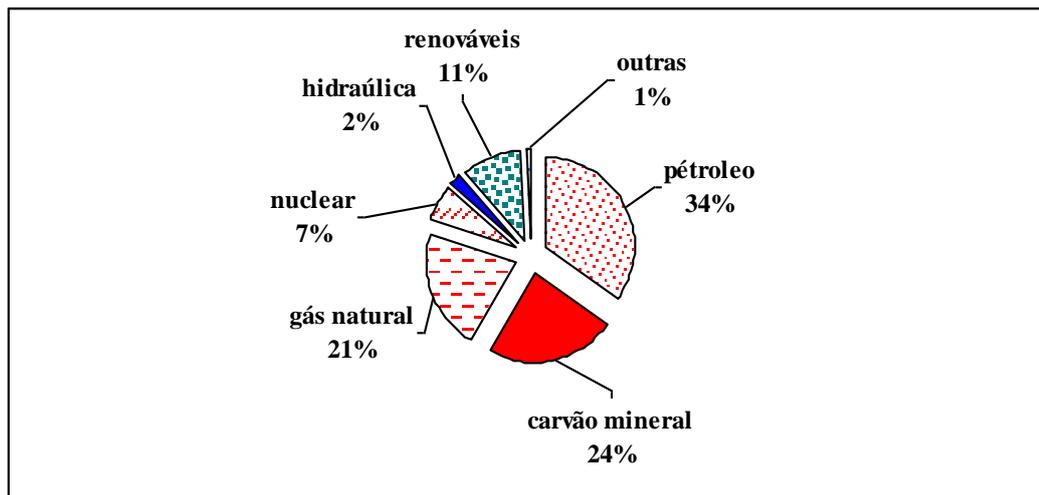
O Brasil é, atualmente, uma referência mundial de fontes de energia renováveis, ou seja, de fontes naturais por terem capacidade de regeneração (renovação), com destaque para as energias: solar, eólica, hidráulica, biomassa e maremotriz.

A geração de energia comumente chamada de sustentável é aquela em que exista um equilíbrio entre a produção e o consumo, ou seja, quando o consumo em quantidade e em velocidade não ultrapasse a capacidade da natureza em repô-la. Embora esse conceito esteja relacionado diretamente ao do desenvolvimento sustentável, não significa, necessariamente, que a energia seja limpa. A lenha, por exemplo, é um recurso sustentável, quando a madeira utilizada for para essa finalidade; embora a queima lance na atmosfera gases e poluentes. Portanto, essa não pode ser considerada uma fonte “limpa” de energia.

De uma maneira geral, as várias fontes de energia podem ser ou não sustentáveis. A ideia de energia limpa é a que não polui, ou a que polui menos, quando comparada com a energia oriunda de combustíveis fósseis.

A fonte energética mais utilizada, mundialmente, é a proveniente de fontes fósseis e não renováveis, tais como: o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, cujos percentuais das principais fontes da matriz energética mundial são mostrados na Figura 10.

Figura 10. Percentuais das principais fontes da matriz energética mundial.



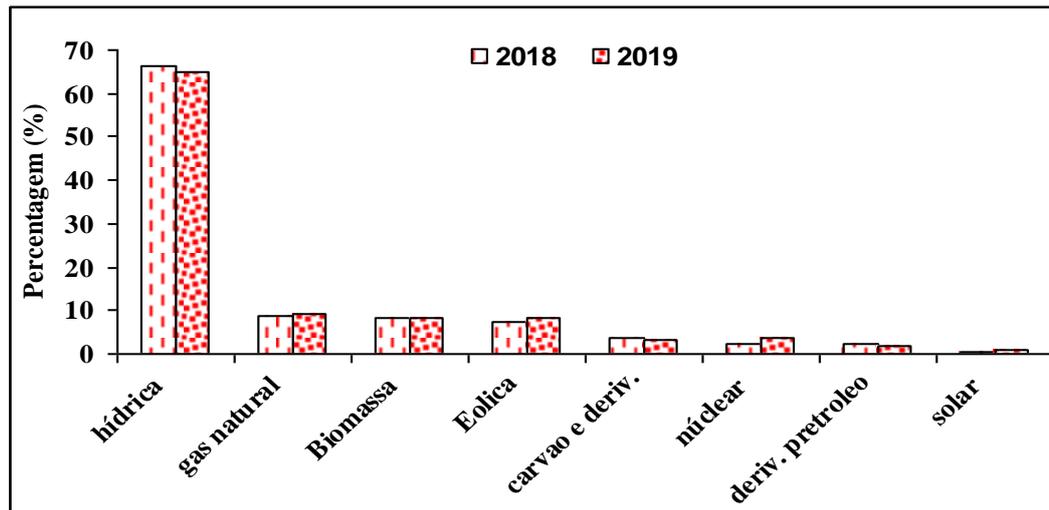
Fonte: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/fontes/> elaborado pelo autor

Como se observa na Figura 10, o petróleo, o carvão mineral e o gás natural representavam, em 2002, cerca de 80% da matriz energética mundial. O carvão mineral, por exemplo, é uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos, como ocorre com todos os combustíveis fósseis, sendo o responsável 39,0% de toda a energia elétrica gerada e por 7,1% de todo o consumo mundial (MME, 2002).

As principais reservas de carvão mineral brasileira estão localizadas nas regiões sul e sudeste do Brasil, notadamente, no Estado do Rio Grande do Sul, que detém mais de 90% das reservas nacionais. Concorda-se com Torrezani e Oliveira (2013), que o carvão mineral é um combustível fóssil altamente agressivo ao ambiente, composto predominantemente por carbono e outros compostos orgânicos e inorgânicos agregados, soterrados por muitos anos em ambientes saturados com água, que tem efeito tóxico, quando reagem com o oxigênio.

A geração de energia oriunda de combustível fóssil é uma das principais causas da degradação ambiental do planeta Terra. Por isso, a ciência, de uma maneira geral, busca fontes alternativas de energia renováveis essenciais, para o desenvolvimento sustentável, além de reduzir a poluição atmosférica proveniente da emissão de gases tóxicos, de poluentes e de material particulado para a atmosfera.

No Brasil, até o final do século XIX, a atividade econômica era significativamente agrária e a participação da eletricidade, como fonte de energia era inexpressiva. A partir de 1920 e com o início da industrialização e a concentração da população em centros urbanos, a opção foi para a geração de energia elétrica através de usinas hidroelétricas, cuja evolução das diferentes fontes da matriz energética, em 2018 e 2019, é apresentada na Figura 11.

Figura 11. Evolução das diferentes fontes de energia no Brasil

Fonte: dados da BEN (2020), elaborado pelo autor.

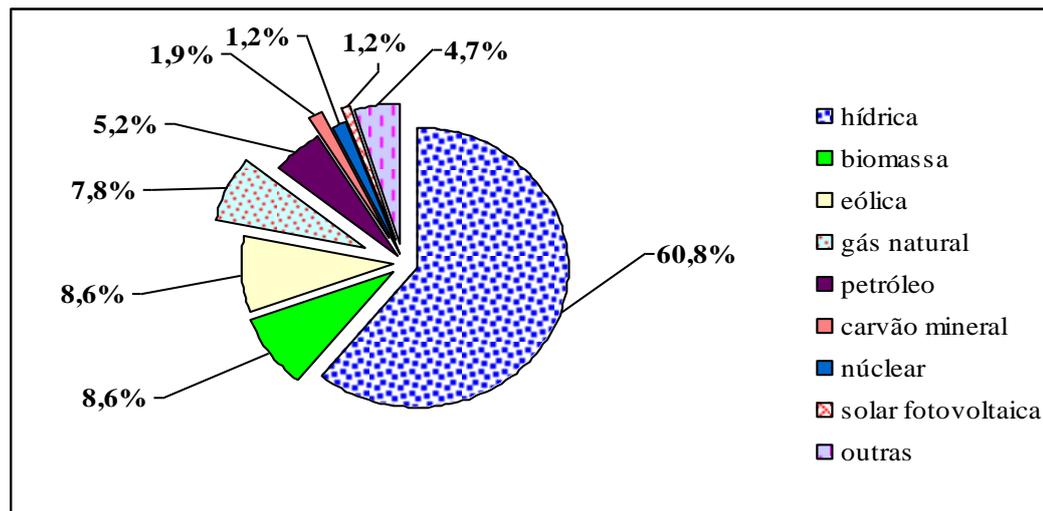
Apesar das hidrelétricas serem consideradas fontes de energias renováveis e limpas, sabe-se que, além dos impactos causados na área limítrofe à formação (derrubada da vegetação, encobrimento pela água de áreas férteis, deslocamento de comunidades e destruição do patrimônio histórico e cultural) as alterações no fluxo e no leito do rio afetam diretamente a ictiofauna.

A predominância pela energia hidráulica no Brasil, quando comparada com apenas 2,0%, da opção mundial (Figura 8), pode até ser justificada pela abundância de água, algo em torno de 12 a 13% das águas doces disponíveis em todo o planeta Terra. Condições essas que corroboram com Abbud e Tancredi (2010) e outros; a maior disponibilidade de água, uma das suas maiores riquezas nacionais, potencializa a geração de energia elétrica renovável, através de usinas hidrelétricas.

O uso da energia hidráulica foi uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos. A evolução temporal por essa fonte hidráulica no Brasil, entre 2018 e 2019, mostra essa prioridade, cujos percentuais médios foram de 65,7%, seguidos pelo gás natural (9,0%), biomassa (8,5%) e eólica (8,0%). As outras fontes não renováveis: carvão e derivados, nuclear e derivados de petróleo, corresponderam com aproximadamente 9,0% e um inexpressivo percentual de energia solar (< de 1%).

Nesse enfoque, há cinco fontes alternativas de energia que se destacam na geração elétrica do Brasil: hídrica, biomassa, eólica, solar e ondomotriz, que somadas correspondem por mais de 79% de toda a produção no país, cujos percentuais de potências instaladas são apresentados na Figura 12.

Figura 12. Matriz energética brasileira: potência instalada em operação, em %.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2019

Como mostra a Figura 12, a energia hídrica é a fonte mais utilizada ainda no Brasil, gerada através das grandes usinas hidrelétricas espalhadas pelo território nacional. Embora se tenha deparado com problemas ambientais não somente com a construção de hidroelétricas, mas com a formação do “lago”. O espelho d’água afeta a fauna, a flora e a população ribeirinha. Já, a geração da energia elétrica ficar a depender do regime de chuva, ou seja, pode ser afetada pelas secas do tipo hidrológica ou pela intermitência do regime hidrológico.

Esses conflitos poderão ser resolvidos pela ciência ou pela ecologia, associando-se as diferentes formas de enxergar o ambiente, a diversidade cultural e o próprio saber ambiental. Cabe, ainda, salientar que, os movimentos dos atingidos por barragens questionam não somente a construção das hidrelétricas, mas os conflitos pela água.

Concorda-se com os relatos de Little (2001) que os conflitos ambientais oriundos da implementação de usinas hidrelétricas são desencadeados por interesses divergentes, com relação à utilização e apropriação de recursos naturais, que levam a sociedade a pensar de uma maneira mais direcionada ao desenvolvimento sustentável.

As fontes de energias convencionais têm causado grandes impactos negativos ao meio ambiente. A matriz energética baseada no uso de combustíveis fósseis e seu processo de queima para obtenção de energia lançam na atmosfera gases poluentes que alteram as condições Tempo e de Clima. Além disso, são fontes não renováveis e o seu esgotamento já faz parte de intensos debates a respeito da necessidade de se ampliar a matriz energética por meio do uso de fontes alternativas de energia.

As fontes de energia alternativas, também conhecidas como renováveis, são as fontes de geração elétrica sustentável e de baixo impacto ambiental, como a energia solar, por exemplo, cujas potencialidades serão apresentadas a seguir.

4.2 Potencialidades da irradiância solar no ne brasileiro

O sol é uma das principais fontes de energia, ou seja, é a fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos, podendo ser aproveitada tanto como fonte de calor quanto de luz e, portanto, uma das alternativas energéticas mais promissoras.

A transferência de energia entre o sol e a superfície da Terra ocorre mediante o processo de radiação, através de ondas eletromagnéticas. O Sol irradia anualmente o equivalente a 10 mil vezes a energia consumida pela população mundial. A emissão de energia solar ocorre em todas as direções e a Terra, recebe, anualmente, mais de um mil e quinhentos quatrilhões ($1,5 \times 10^{18}$) de quilowatts-hora.

A energia solar é importante na preservação do meio ambiente, pois tem muitas vantagens sobre as outras formas de obtenção de energia, tais como: não ser poluente, não influir no efeito estufa, não precisar de turbinas ou geradores para a produção de energia elétrica.

Fazendo-se uma analogia de áreas com potencial de irradiância solar, para transformar em energia elétrica, com as inundadas nas usinas hidrelétricas, concorda-se com Rocha et al., (2014), que para cada metro quadrado (m^2) de coletor (painel) solar instalado evita-se a inundar $56 m^2$ de terras férteis, na construção de novas usinas hidrelétricas.

Corroborando-se, também, com os relatos do Ministério da Educação, a energia solar é a solução ideal para áreas afastadas e não eletrificadas no Brasil. Essa fonte de energia é apenas uma fração milionésima da energia solar recebida, anualmente, equivale ao suprimento de 54% do petróleo, duas vezes ao da energia do carvão mineral e quatro vezes a energia gerada, por uma usina hidrelétrica.

As medições da irradiância solar e da insolação (número de horas de sol) podem ser feitas nas escalas horária e diária e os seus componentes de irradiâncias direta, difusa e global. O indicador mais usado na estimativa da irradiância solar é a irradiância global, que é a quantidade de energia solar que chega à superfície por unidade área e tempo.

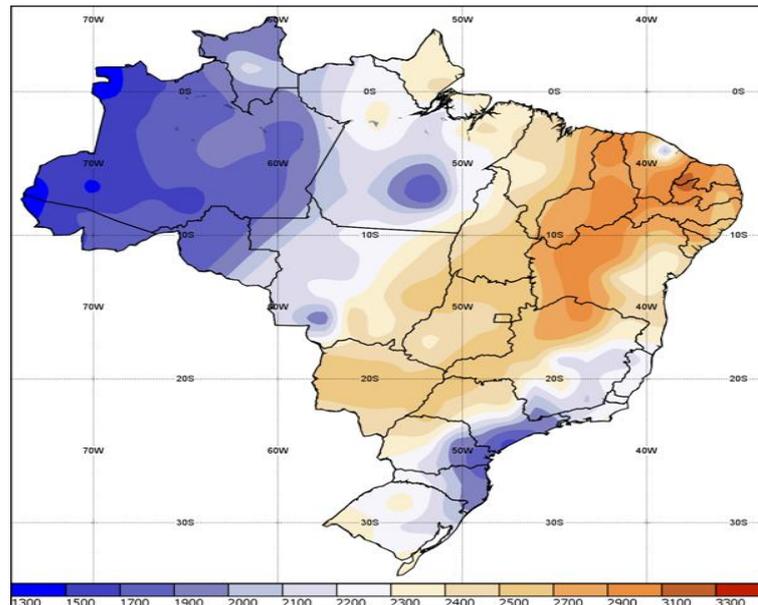
Os potenciais de irradiância solar global e de insolação, por regiões geográficas, são apresentados nas Figuras 13 e 14.

Figura 13. Potencialidade da irradiância solar global por regiões geográficas



Fonte: INMET (2020- <https://portal.inmet.gov.br/>)

Figura 14. Mapa geográfico com as médias anuais da insolação, em h, no período 1981-2010.



Fonte: INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>)

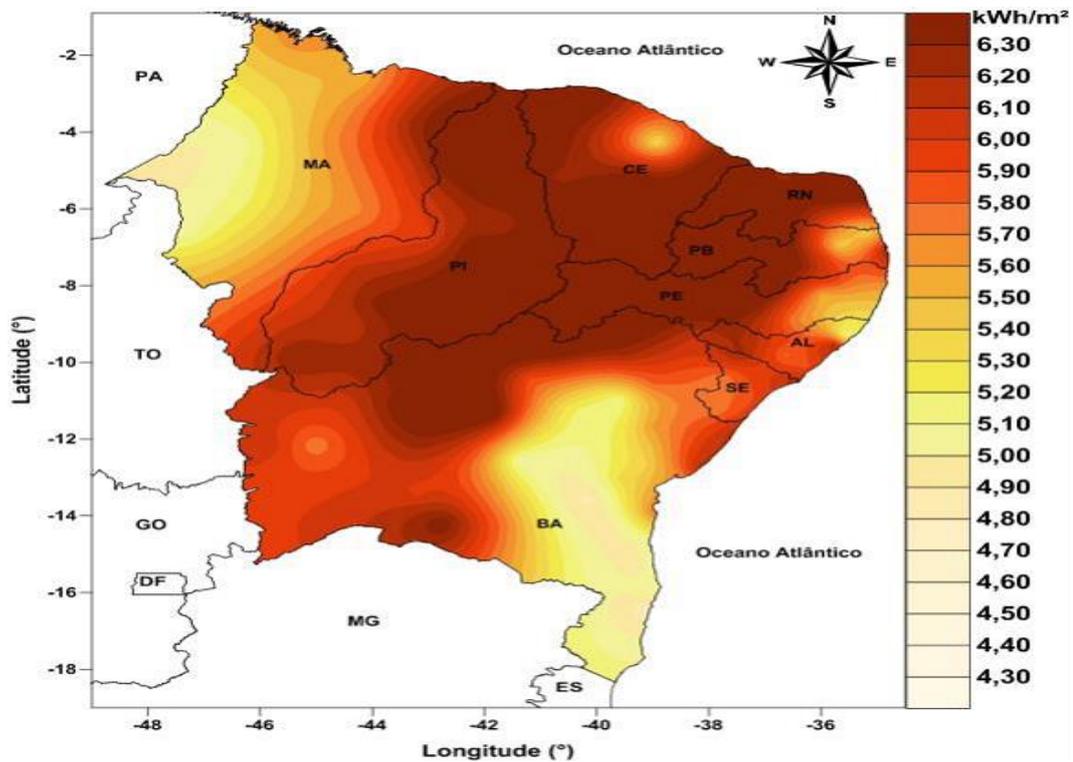
O Brasil, além de ser um país privilegiado pela abundância de recursos hídricos é, também, em disponibilidade de irradiância solar e insolação. Duas fontes de energias renováveis, com prevalência para a primeira, embora a opção pela energia gerada nas hidroelétricas fica a depender do regime pluvial.

Como mostra a Figura 13, há pouca variação espacial da irradiância solar global, quando se compara um recorte geográfico regional com outro, haja vista que os valores oscilam entre 5,2 na região sul e de 5,9 $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, no Nordeste.

A quantidade de energia solar no Nordeste do Brasil é abundante e sua conversão em energia elétrica pode e deve ser estimulada. Essa opção, certamente, poderá contribuir para poupar a água armazenada nos reservatórios das usinas hidroelétricas, permitindo o seu uso para fins de abastecimento público de água, que essa região tanto necessita.

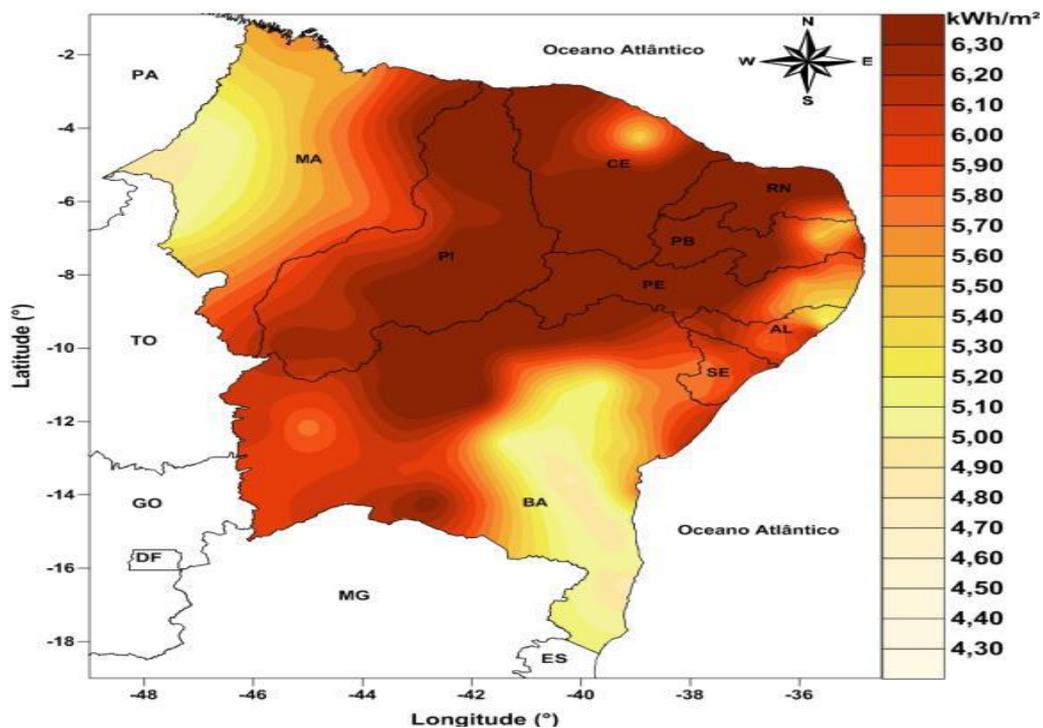
Diante disto, há necessidade de quantificar os indicadores da irradiância solar global, na escala temporal e para o recorte geográfico do Nordeste brasileiro. As Figuras 15 e 16 exemplificam, com as médias diárias da irradiância solar para os trimestres equivalentes aos da primavera e verão, dos anos de 2008 e 2011, mediante os respectivos mapas gerados pela metodologia proposta por Lima (2015), através do modelo Weather Research and Forecasting Model (WRF), ajustado por redes neurais artificiais.

Figura 15. Médias diárias a irradiância solar global, para o trimestre da primavera (set-out-nov).



Fonte: Lima, 2015

Figura 16. Médias diárias a irradiância solar global, para o trimestre do verão (dez-jan-fev).



Fonte: Lima, 2015

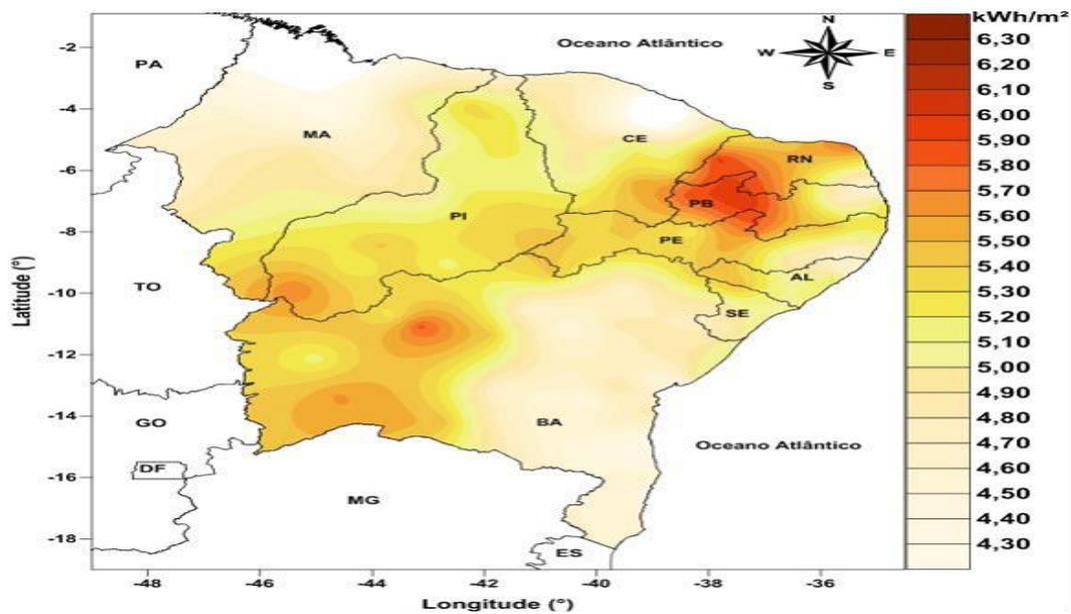
Os quantitativos de irradiância em $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, para os dois trimestres com maior disponibilidade de energia solar para o hemisfério sul e, em especial, para o Nordeste brasileiro, indicam um elevado potencial dessa energia para ser aproveitada, utilizando-se a tecnologia fotovoltaica e por permitir um planejamento efetivo, em base mais sólida e com redução de riscos econômicos e estratégicos do setor energético brasileiro.

Observa-se nas Figuras 15 e 16 que, os maiores valores da irradiância global predominam na faixa do Semiárido, associada à menor nebulosidade, principalmente, na parte setentrional do Nordeste, aonde os máximos ocorrem nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, especificamente, no sertão e alto sertão paraibano.

As oscilações temporais da irradiância solar indicam que esse elemento do clima varia nas escalas espaciais e temporais, sendo influenciadas pelos fenômenos meteorológicos. Assim sendo, o principal condicionamento para as variações interanuais no Nordeste está relacionado às oscilações permanentes nos padrões climáticos do planeta como: a elevação da temperatura global e pequenas irregularidades nos ciclos interanuais da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), por exemplo, os por episódios de oscilações oceânicas e atmosféricas.

Essas variações da irradiância são mais visíveis, quando se compare trimestres secos (Figuras 15 e 16) com o chuvoso (Figura 17).

Figura 17. Médias diárias a irradiância solar global, para o trimestre mais chuvoso-outono (mar-abr-mai).



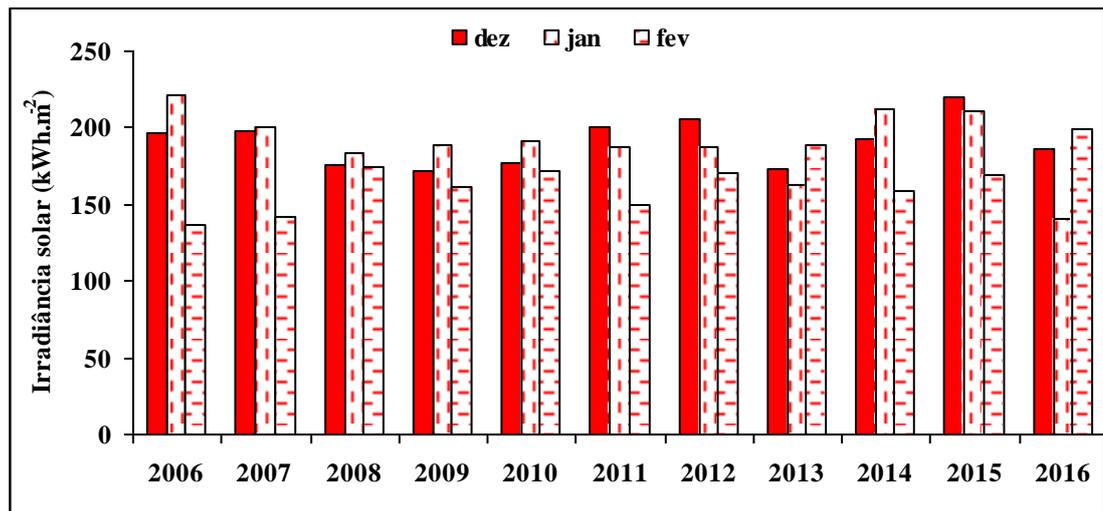
Fonte: Lima, 2015

Os meses de outono coincidem, com a estação chuvosa, na maioria das localidades da faixa semiárida da parte setentrional do Nordeste. O período chuvoso coincide com maior nebulosidade e, conseqüentemente, menor disponibilidade de irradiância solar. Essa condição se deve ao ápice da atividade convectiva da ZCIT, que resulta numa menor disponibilidade de energia solar, cuja média varia entre 5,6 e 5,80 kWh. m⁻², no Estado da Paraíba.

Os indicadores de irradiância solar global, para o recorte geográfico do Nordeste brasileiro, concordam-se com Tiba et al., (2000) que, em casos mais específicos, o espectro eletromagnético da radiação solar é usado em diversas aplicações e em diferentes áreas científicas; que o grande privilégio do Brasil é a abundância de energia solar, cujo máximo é de 185 kWh.m⁻², valor esse bem superior a muitos países que utilizam essa energia para converter em energia elétrica e com Prado et al., (2007), que o aproveitamento racional só é possível a partir de dados consistentes de irradiância solar do local e/ou da região em questão.

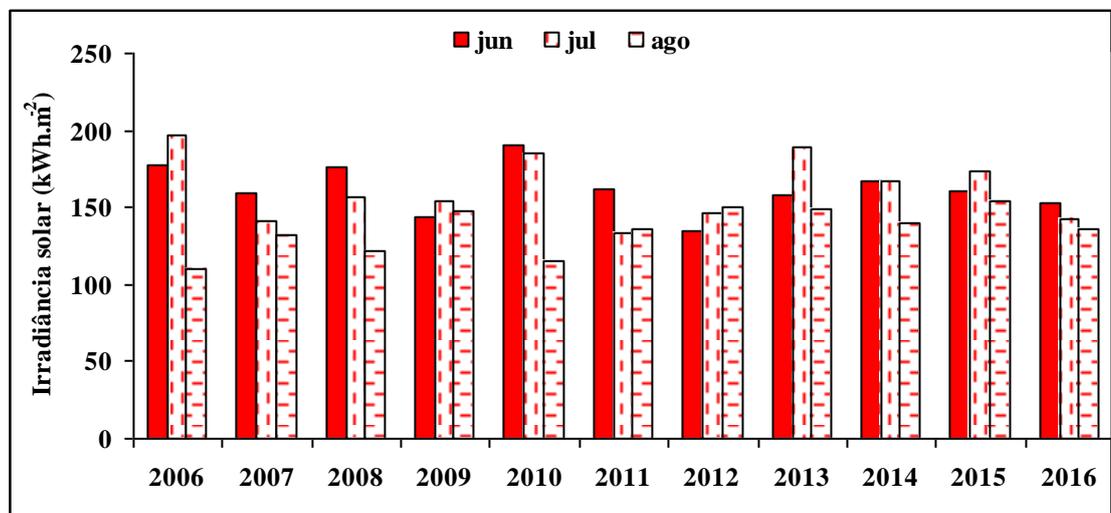
Análises comparativas entre a irradiância solar global observada no Nordeste do Brasil e na Alemanha, nos meses de verão e nos de inverno, são apresentadas nas Figuras 18, 19, 20 e 21, respectivamente.

Figura 18. Irradiância solar global no Nordeste brasileiro nos meses de verão.



Fonte: EU SCIENCE HUB 2020 elaborado pelo autor

Figura 19. Irradiância solar global na Alemanha nos meses de verão.



Fonte: EU SCIENCE HUB 2020 elaborado pelo autor

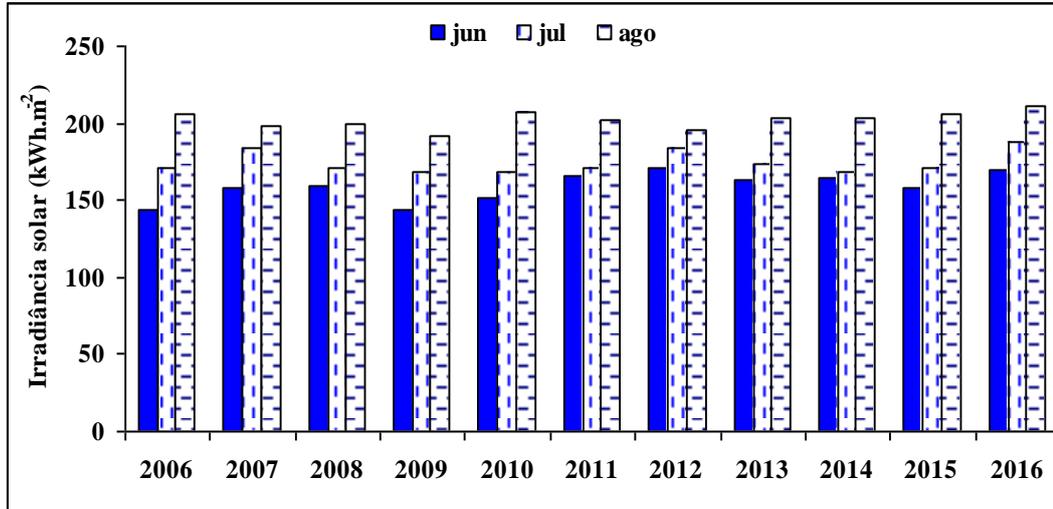
Ao comparar os quantitativos de irradiância solar no Nordeste com os da Alemanha, no verão, constata-se, que há semelhanças entre si, embora no Nordeste a disponibilidade de energia solar é cerca de 20,0% maior que a da Alemanha.

Fazendo-se análises semelhantes para esses mesmos indicadores de irradiância, nos meses de inverno brasileiro versus o alemão, constata-se que as diferenças são elevadas, ou seja, em média, os valores percentuais no Nordeste são 650% maiores que os da Alemanha.

Comparando-se a diferença percentual do total da irradiância solar no NE, recebida nos meses de verão (Figura 18) com os de inverno (Figura 20), esse valor foi de 2,1%. Já, a

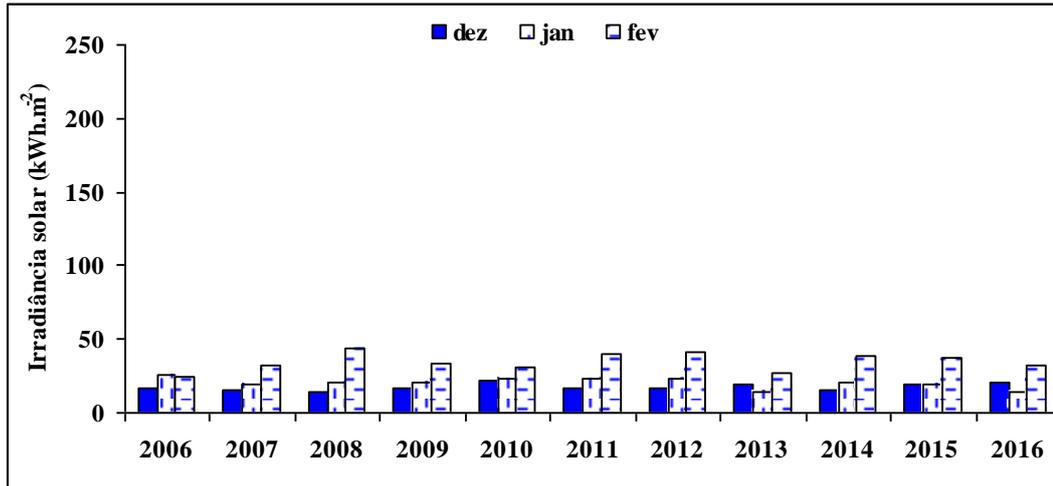
mesma comparação, nas mesmas duas estações do ano, na Alemanha (Figura 19) com a Figura 21, essa desigualdade foi de 537,1%.

Figura 20. Irradiância solar global no Nordeste brasileiro nos meses de inverno.



Fonte: EU SCIENCE HUB 2020 elaborado pelo autor

Figura 21. Irradiância solar global na Alemanha nos meses de inverno.



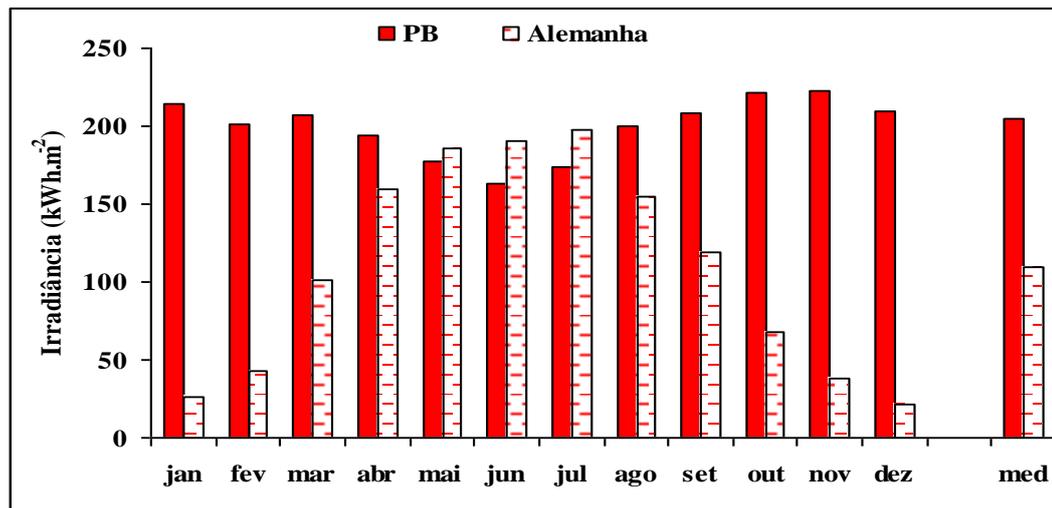
Fonte: EU SCIENCE HUB 2020 elaborado pelo autor

Fazendo-se a mesma analogia para os meses de verão, nos dois recortes geográficos, constata-se que o verão e o inverno nordestino (Figuras 18 e 20) recebem, respectivamente, 18,7% e 641,3% mais irradiância solar do que o alemão (Figuras 19 e 21).

Esses resultados mostram que, a distribuição da energia solar no NE, nos solstícios de verão e inverno é mais uniforme e regular do que na Alemanha e, portanto, desponta com maior potencial para conversão em energia elétrica.

O modelo de distribuição mensal de irradiância solar no NE e na Alemanha é apresentado na Figura 22. Numa análise visual simples, observa-se que há uma tendência de ser maior na PB, exceto, nos meses de maio, junho e julho, por coincidir com o verão na Alemanha. Mesmo sendo inverno na Paraíba, esse recorte geográfico recebe cerca de 10,0% menos energia do sol do que no referido país europeu.

Figura 22. Relação entre as médias mensais da irradiância solar global na Paraíba e Alemanha.



Fonte: EU SCIENCE HUB 2020 elaborado pelo autor

Observa-se, também, que o somatório e a mediana da irradiância solar anual no Estado da Paraíba superam os da Alemanha em 83,5% e 86,1%, respectivamente. Destaca-se, entretanto, que os indicadores estatísticos, nas escalas temporais analisados, foram sempre mais regulares, uniformes e superiores aos da Alemanha.

Em geral, o Brasil recebe diariamente quantidades significativas de energia solar, o que lhe confere grande potencial para o aproveitamento desta fonte para geração de energia elétrica, por meio de sistemas fotovoltaicos.

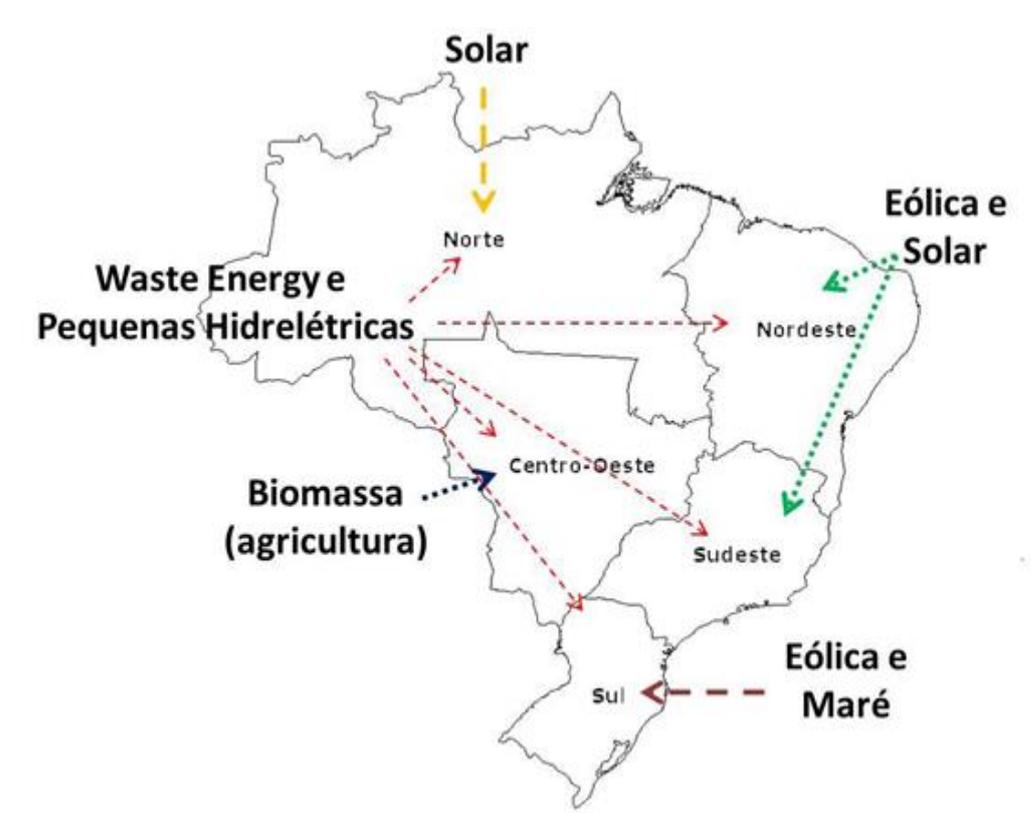
A diversificação da matriz elétrica, inserindo fontes consideradas não convencionais, como a solar fotovoltaica, é, sem dúvida, uma alternativa promissora para complementar a matriz energética brasileira constituída, principalmente, por fontes hidroelétricas e fósseis, haja vista o elevado potencial de energia solar existente no Nordeste brasileiro, cujo diagnóstico de fontes energéticas será apresentado nos itens seguintes.

4.3 Aproveitamento da energia solar em energia elétrica

A energia solar pode ser convertida em energia elétrica de forma direta, por meio de efeitos sobre certos materiais, entre eles destaca-se o termoelétrico e o fotovoltaico. Além disso, aproveita-se essa energia na iluminação natural e no aquecimento de ambientes, minimizando-se, assim, o uso da iluminação artificial e de aquecedores.

A tendência mundial é pela proteção ambiental e, conseqüentemente, pelo uso das fontes de energias renováveis, cujas opções nacionais e por regiões geográficas, como opções complementares a matriz energética existente, são apresentadas no croqui da Figura 23.

Figura 23. Croqui das fontes de energia renováveis complementares à matriz energética pré-existente no Brasil



Fonte: SANTOS et al, 2015.

O Brasil é atualmente uma referência mundial de fontes de energia renovável, ou seja, de fontes naturais que têm a capacidade de regeneração (renovação), das quais se destacam as fontes de energia: solar, eólica, hidráulica, biomassa e a maremotriz (Figura 23).

As diferentes fontes de energia renováveis descritas na Figura 23 mostram que há potencialidades de inclusão de outras fontes renováveis de energia, para complementar a

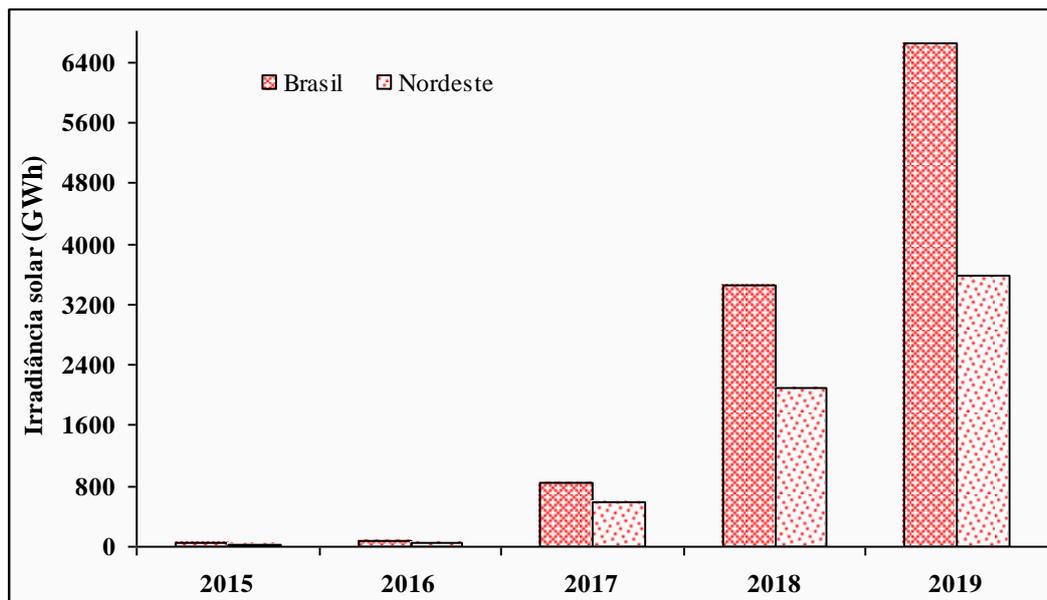
matriz energética hídrica, por exemplo, priorizando a participação da energia solar, na matriz energética brasileira e, em especial, nas regiões norte, Nordeste e sudeste. No caso do Nordeste, essa fonte é uma das melhores opções haja vista a disponibilidade de irradiância solar.

O potencial energético solar brasileiro, nas escalas temporais e espaciais, apresentado nos itens anteriores ou comparado com o da Alemanha, por exemplo, recebe cerca de 40% menos irradiância solar do que o lugar menos ensolarado do Brasil. Mesmo assim, encontra-se em estágio avançado tanto de pesquisa quanto em instalação.

Há indicação no site portal solar que, os sistemas fotovoltaicos atualmente comercializados no Brasil possuem eficiência variável entre 10% e 16% na conversão de energia solar em energia elétrica. No entanto, existem equipamentos (Tracker ou seguidor solar) que acompanham o movimento anual aparente do sol, ajustando-se o ângulo das placas fotovoltaicas, que possibilita aumentar essa eficiência para 25%.

No contexto de geração de energia elétrica fotovoltaica, no Nordeste do Brasil, por exemplo, a Figura 24 mostra a evolução temporal do aproveitamento da irradiância solar global a partir de 2015.

Figura 24. Evolução da capacidade instalada para o aproveitamento da irradiância solar global em energia elétrica no Brasil e na região Nordeste.



Fonte: dados da BEN, elaborado pelo autor.

Verifica-se que os aproveitamentos da irradiância solar global, em energia elétrica, no Brasil e no NE, cresceram numa proporção anual de 1600 e 885 GWh, respectivamente. A inserção e crescimento da energia solar fotovoltaica no mercado e, em especial no Nordeste,

se devem a irregularidade no regime pluvial e o aumento do custo de energia elétrica com o apagão ocorrido em 2002.

Esses indicativos corroboram-se com Costa (2011) que com o aumento sucessivo na conta de luz, acoplado às altas inflações e a crise econômica brasileira, fez com que o Brasil investisse em alternativas renováveis, da matriz energética brasileira.

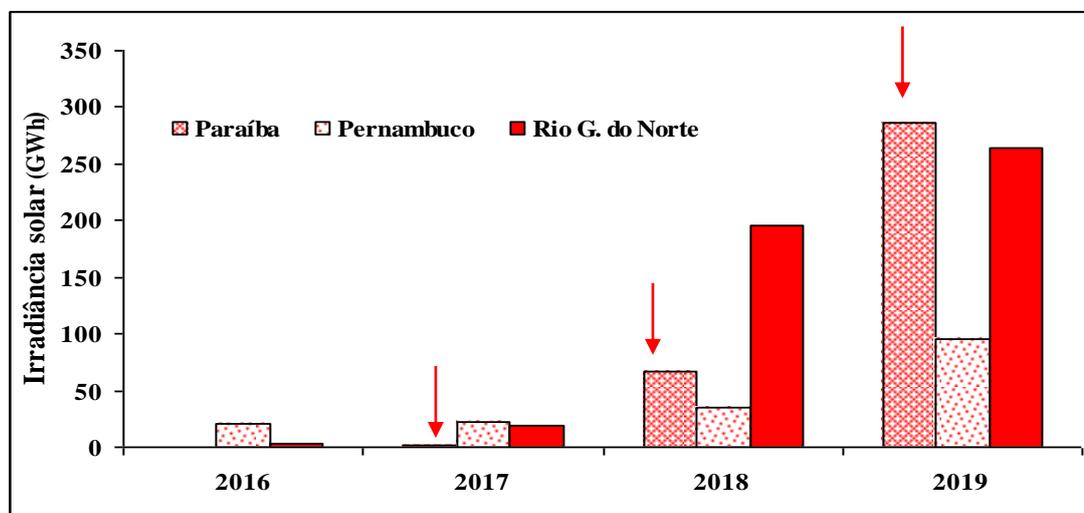
As perspectivas para o setor da energia solar são os melhores, o banco nacional de desenvolvimento econômico e social divulgou em seu relatório “Perspectivas de Investimento 2015-2018”, estimou um crescimento da energia solar de 570% até 2024.

Os elevados valores de irradiância solar no Nordeste estão de acordo com Dias (2017) que, o uso da fonte de energia solar para geração de energia elétrica não apresenta a mesma relevância, quando comparado com o de outros países. Nem mesmo quando se compara a outras fontes renováveis como: eólica e biomassa, que já representam, respectivamente, 6,7 e 9,4% da capacidade de geração instalada no país, enquanto a solar, representa apenas 0,05%.

De acordo com as projeções da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar, 2012), o Brasil deve atingir 12,56 gigawatts (GW) de capacidade instalada de projetos de geração de energia solar fotovoltaica, em 2021, com um crescimento de 68% em relação à potência atual, de 7,46 GW.

A evolução da capacidade instalada para aproveitamento da irradiância solar global nos Estados da Paraíba, Pernambuco e no Rio Grande do Norte é apresentado na Figura 25.

Figura 25. Evolução da capacidade instalada para aproveitamento da irradiância solar global em energia elétrica em três Estados nordestinos.



Fonte: dados da BEN, elaborado pelo autor.

Nesses quatro anos, observa-se uma evolução crescente no aproveitamento da energia solar em elétrica. O Estado da Paraíba, por exemplo, vem a apresentando o maior crescimento anual, a uma taxa média de 71,5, 65,2 e 18,7 GWh, respectivamente. Observa-se (Figura 25) que a capacidade instalada na Paraíba, entre 2018 e 2019, cresceu numa proporção de 325% ao ano.

O potencial de energia solar no NE mostra que há uma alternativa viável e um passo fundamental para atingir um padrão de desenvolvimento sustentável. Destaca-se, ainda, que essa fonte de energia, diminui os níveis de poluição atmosférica e a emissão de gases do efeito estufa, além de contribuir na geração de emprego e renda tanto na área de instalação de placas e aquecedores solares quanto na área de desenvolvimento.

O Brasil é detentor de um potencial gigantesco de irradiância solar, o que necessita é investir na pesquisa tecnológica de aproveitamento e eficiência de conversão, a fim de adicionar uma matriz energética mais limpa e que não degrade o meio ambiente.

Neste contexto e diante das estratégias energéticas globais atuais, buscam-se fontes energéticas diversificadas que se incorpore a matriz energética com baixas emissões de gases de Efeito Estufa, exceto as fontes renováveis de energia oriundas de grandes obras hidráulicas, que concentram a geração de energia elétrica nacional.

Apesar do enorme potencial de energia solar, a capacidade instalada de geração solar fotovoltaica, a inserção na geração da energia elétrica ainda é incipiente, conforme ANEEL (2018), o Nordeste representa 64,5% da capacidade instalada de geração fotovoltaica no Brasil.

O prognóstico da Bloomberg New Energy Finance (BNEF, 2016) prevê uma significativa diversificação tecnológica nos próximos anos, quando a energia hidrelétrica terá sua importância diminuída para 29% da capacidade total da matriz em 2040, ao passo que, as energias solar e eólica somada responderão por 44 % (CELA, 2016).

Comparando-se as médias mensais da irradiância solar global na Paraíba e Alemanha apresentadas nas Figuras 18, 19, 20 e 21, fica difícil compreender por que a Paraíba ou mesmo o Brasil, com maior disponibilidade dessa fonte de energia, tem um uso mais eficiente da conversão em energia solar fotovoltaica como, por exemplo, a cidade de Vila Solar Friburgo (Figura 26).

Figura 26. Vista aérea dos painéis fotovoltaicos na cidade de Vila Solar em Friburgo, Alemanha.



Fonte. CRUZ (2019)

Essa cidade localiza-se no sudoeste da Alemanha e é conhecida como cidade exemplo de um futuro da consciência ecológica. A produção de energia por ano é da ordem de 420 mil kWh de eletricidade limpa o equivalente a quatro vezes o consumo.

O Brasil precisa incluir na sua matriz energética, outras fontes renováveis, a fim de diminuir a participação da fonte hídrica por outras fontes, como será apresentada a seguir.

4.4 O crescimento das fontes renováveis de energia

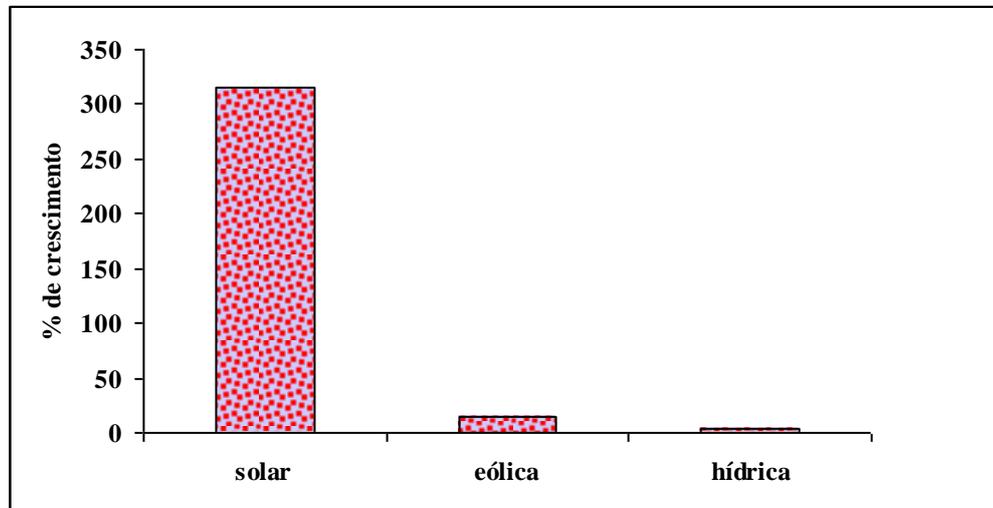
As questões ambientais e os avanços tecnológicos transformaram as energias renováveis na escolha prioritária para a expansão de capacidade de geração elétrica, especialmente, eólica e solar. Corroborando com os resultados de alguns autores e, em especial, com o relatório da Agência Internacional de Energia Renovável (Irena, 2021), consta que a instalação de fontes de energia renováveis já ultrapassou a de não renováveis e, em 2015, o aumento da capacidade instalada das duas novas energias renováveis (solar e eólica), superou, pela primeira vez, a hidráulica.

Os primeiros projetos de energia solar e eólica nas regiões Norte e Nordeste foram implantados na década de 1990, onde existia carência de abastecimento de energia elétrica e por apresentar várias comunidades isoladas, não atendidas pelo fornecimento de fontes convencionais de energia.

Essas características impulsionaram a produção da energia por fontes renováveis. Embora o modelo energético brasileiro seja predominante de energia hídrica, cujo percentual

equivalente é em torno de 20% de toda a energia produzida no mundo. No entanto, esse percentual vem decrescente, nos últimos anos, com mostra a Figura 27.

Figura 27. Participações percentuais de fontes renováveis de energia elétrica no Brasil, nos anos de 2017 a 2018.



Fonte: Elaboração própria baseados nos dados do BEN (2019).

Os aumentos gradativos da população, dos padrões de consumo e dos debates relacionados com as questões energéticas brasileira, por ser constituída por usinas hidroelétricas, por razões teóricas da elevada disponibilidade hídrica. Com o apagão de 2002, despertou a necessidade de uso de outras fontes de energias renováveis, dentre elas destaca-se a energia solar.

O uso da energia solar data de muitos séculos, quando se utilizava o sol para secar peles e alimentos, uso de simples lentes de vidro para concentrar a luz solar e desta forma queimar pequenos pedaços de madeira e assim obter fogo.

A grande protagonista da transição energética em curso, a energia solar, junto à energia eólica, que até algumas décadas atrás, tinham pouco importante, atualmente passaram a ter crescimento vertiginoso.

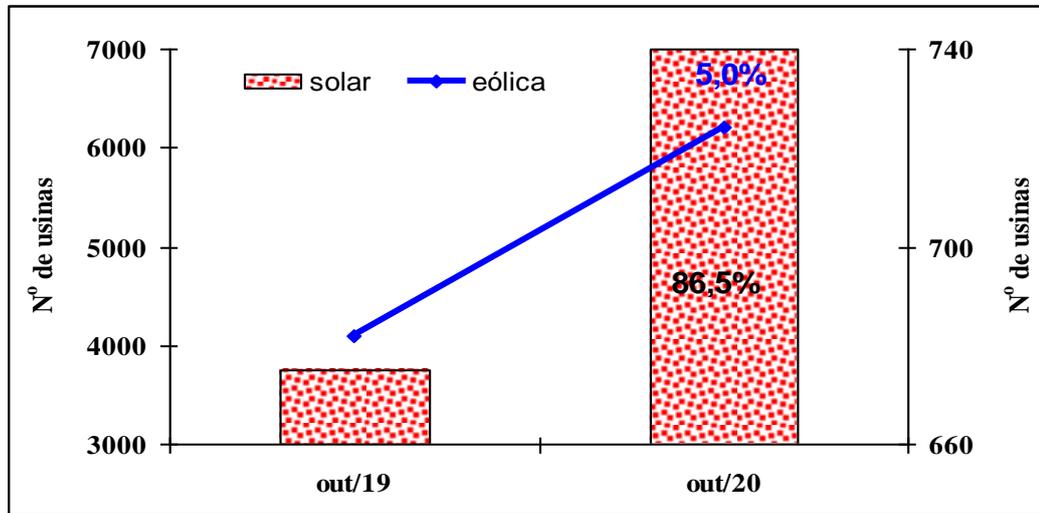
A inovação tecnológica é a principal responsável, especialmente no setor da ciência dos materiais, que tem tornado os painéis fotovoltaicos mais competitivos, do ponto de vista econômico e em relação às fontes fósseis.

O panorama mundial está mudando rapidamente, por motivos ligados a três grandes preocupações da humanidade: o meio ambiente, a energia e economia global. Embora à primeira vista possam parecer distintas, às três áreas estão, na realidade, interligadas, haja

vista que o meio ambiente está na mídia há mais tempo, devido ao efeito estufa e ao aquecimento global associado ao uso de combustíveis fósseis.

A Figura 28 resume a evolução no número de usinas das fontes solar e eólica, entre outubro de 2019 e outubro de 2020, na geração de energia elétrica no Brasil.

Figura 28. Evolução das fontes solar e eólica na geração de energia elétrica no Brasil.



Fonte: ANEEL/MME/2020

Verifica-se que a fonte solar cresceu 86,5%, passando de 3750 usinas para cerca de sete mil, enquanto a eólica, teve um crescimento muito menor (5,0%), existiam 682 usinas em outubro de 2019 e incorporou apenas 42 novas, totalizando-se 724 em outubro de 2020.

O gradativo aumento dos custos do petróleo e a consciência ecológica do uso de fontes alternativas de energia, com destaque para a fotovoltaica, como uma fonte renovável de energia. No entanto, o baixo potencial de aproveitamento dessa energia no território nacional e, em especial, no Nordeste, requer investimento, financiamento e difusão dessa tecnologia.

A fonte solar fotovoltaica pode ser a solução para acesso à energia elétrica, como mostra a Figura 29, instalada em comunidade isolada, no Campus de Universidade Federal de Campina Grande, PB, sem a necessidade de linhas de distribuição.

Figura 29. Sistema fotovoltaico instalado na Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, Pombal, PB.



Fonte: Marx, 2018, citado por Dutra (2020).

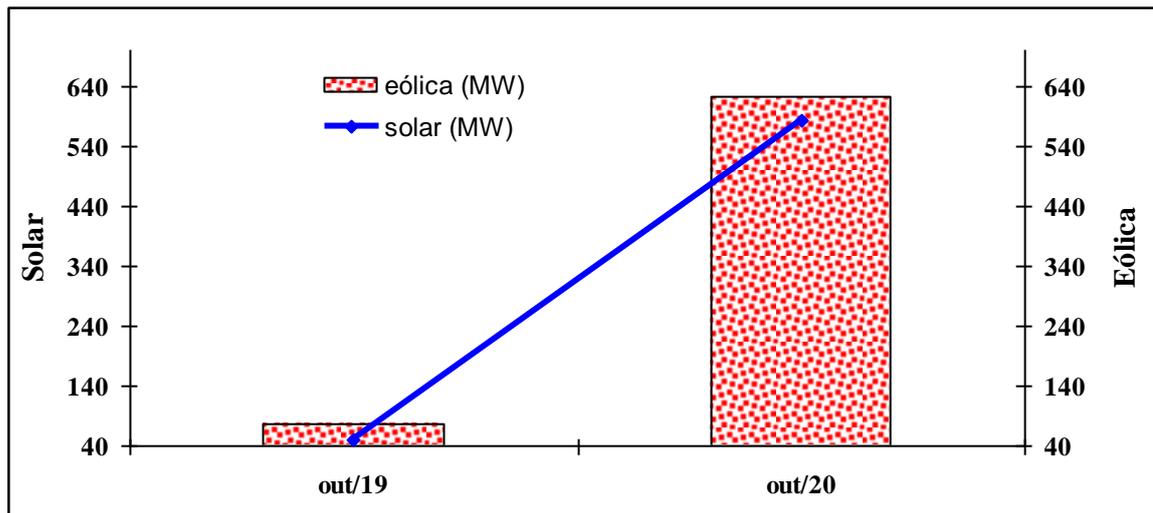
A geração de energia distribuída mostrada na Figura 28 é feita próximo do local de consumo, independente das dimensões e da tecnologia ou da fonte primária. Nesse modelo, existem ganhos com a redução de perdas nas linhas de transmissão.

A Alemanha é um dos países pioneiros na utilização da energia solar distribuída, dispõe de programas de instalação de painéis fotovoltaicos conectados à rede. A energia excedente gerada é vendida à concessionária pelo próprio consumidor residencial.

A geração de energia não pode ser vista independentemente do aspecto social e de desenvolvimento local. Assim sendo, os sistemas solares centralizados e interligados à rede elétrica convencional são empreendimentos que contribuem para uma retomada na economia e para a redução do preço da tecnologia fotovoltaica.

Neste contexto, o crescimento da entrada em operação das fontes eólico e solar, mostrado na Figura 30, para geração de energia elétrica no Brasil, é plenamente justificado.

Figura 30. Entrada em operação de novos empreendimentos eólico e solar na geração de energia elétrica no Brasil.



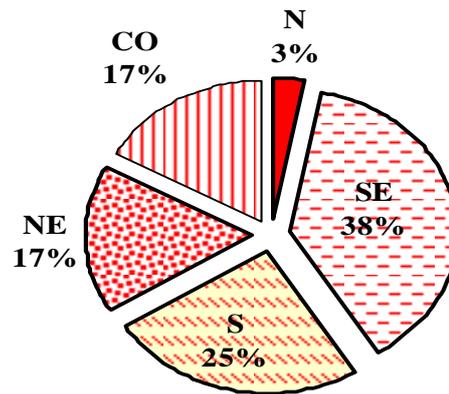
Fonte: ANEEL/MME/2020

A evolução de crescimento das potências instaladas, em MW, apresentados nos histogramas da Figura 30 revela, pelo menos, a “priori”, a tendência pela opção em inserir essas duas fontes renováveis e limpas de energia, em especial, a fonte solar fotovoltaica, na matriz energética nacional.

A maior expansão proporcional na geração solar corrobora com os resultados apresentados no relatório do BEN (2020), que fechou o ano de 2019 com um aumento na potência instalada de 37,6% em relação ao ano anterior, ressaltando que, em 2018, houve um aumento de quase 100% em relação ao ano de 2017.

A geração distribuída é a energia produzida no local ou próximo ao de consumo. Os percentuais de potência instalada em energia fotovoltaica na geração distribuída por região geográfica são mostrados na Figura 31.

Figura 31. Percentuais de potência instalada na geração fotovoltaica distribuída por região geográfica.



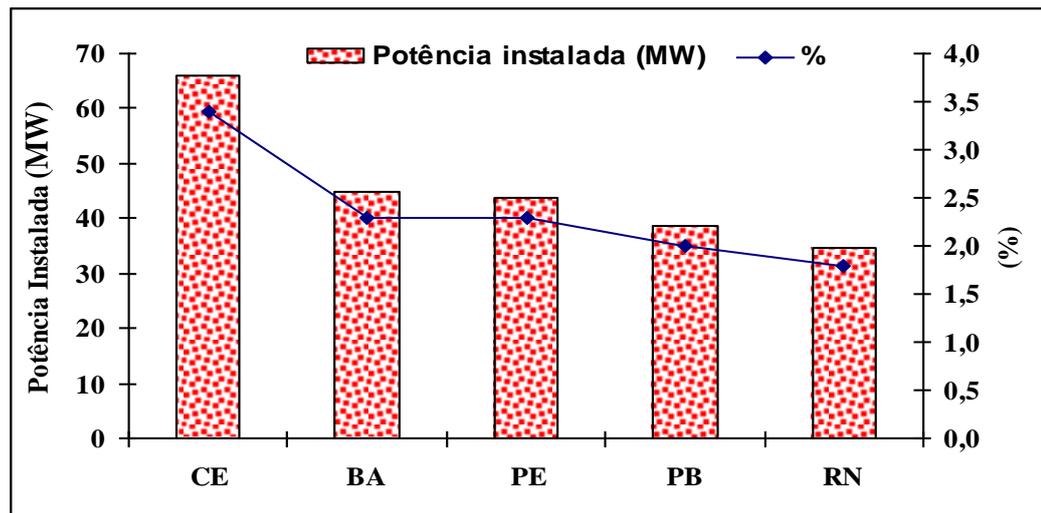
Fonte: ANEEL/setembro/2020 - elaborado pelo autor

A energia solar fotovoltaica tem crescido, nesses últimos anos, no Brasil e no mundo e sua expansão tem se dado tanto em grandes plantas centralizadas quanto em geração distribuída. Embora os percentuais de produção sejam muito aquém, quando se compara com geração centralizada, que compõe a maior parte da matriz energética brasileira.

Projeções recentes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016) indicam cenários nos quais a energia solar pode atingir, até 2030, cerca de 25 GW de capacidade instalada de geração, representando cerca de 10% da matriz de geração projetada para o mesmo ano, em termos da capacidade instalada.

A geração distribuída ganha força no Nordeste, através do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE Sol), que inclui financiamento, também, para pessoas físicas. Com o apoio do Banco do Nordeste a geração de energia solar fotovoltaica tem crescido de forma expressiva, tanto na geração distribuída quanto na centralizada, cujos valores de potência instalada, em MW, e em percentagem são apresentados na Figura 32, para os cinco Estados nordestino.

Figura 32. Ranking dos cinco Estados do NE, com capacidade instalada do sistema solar fotovoltaico, em MW e em percentagens.



Fonte: <https://eleksolar.com.br/infografico-da-absolar, 2020-> elaborado pelo autor

Os potenciais de energia solar no Brasil e no NE, em especial, viabilizam as suas aplicabilidades mesmo em locais isolados, encontrados em qualquer recorte territorial, por que há disponibilidade de irradiância solar, além de reduzir os impactos ambientais, quando comparado com outras fontes de energia.

As perspectivas são ainda mais animadoras, em virtude da redução de cerca de 80% dos custos de produção de eletricidade, a partir de usinas fotovoltaicas, ocorridos no último decênio, como consta no relatório da IRENA (2021), em virtude da inovação tecnológica, que possibilitou aumento de 30% na eficiência dos painéis solares e mais de 20% na produtividade em relação aos valores atuais.

4.5 As usinas fotovoltaicas: capacidades instaladas e custos dos sistemas.

Energia solar é sinônima de sustentabilidade, economia e as usinas ou parques solares fotovoltaicos são sistemas que aproveitam a energia solar e converte em elétrica, em grandes plantas projetadas para produzir e vender energia elétrica.

Os grandes empreendimentos para geração de energia solar fotovoltaica no Brasil convergem com a expansão do uso desse tipo de energias renováveis a nível mundial, visando reduzir a dependência de fontes energéticas fósseis e, em especial, por uma adoção de política global pelas metas de redução das emissões de gases do efeito estufa.

Essa tendência corrobora com a ideia de Sachs (2000) rumo ao “Ecodesenvolvimento”, em que o crescimento deve priorizar o ambiente, economicamente viável e socialmente equitativo.

Dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2020), mostram que o Brasil dispõe de cerca 3.900 usinas solares em operação, com capacidade de geração média de 2.711 MW e 13 usinas solares em construção e 214 parques solares projetados e de relatos da ABSOLAR (2020), entre janeiro e maio a geração de grandes usinas de energia solar cresceu 86,6% no Brasil no primeiro semestre de 2019.

A primeira usina de energia solar, para geração de eletricidade em escala comercial no Brasil foi a de Tauá, CE (Figura 30), e tem capacidade inicial para geração de 1 MWp. Destaca-se, ainda, que a maior usina solar construída em um estádio de futebol no Brasil, no estádio o Mineirão (Figura 33), com 6 mil painéis solares e potência de 1.42MWp.

Figura 33 Vista aérea da usina fotovoltaica de Tauá, CE.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>, acesso em 23.02.2021

Figura 34. Vista da usina solar fotovoltaica do estádio Mineirão, Belo Horizonte, MG.

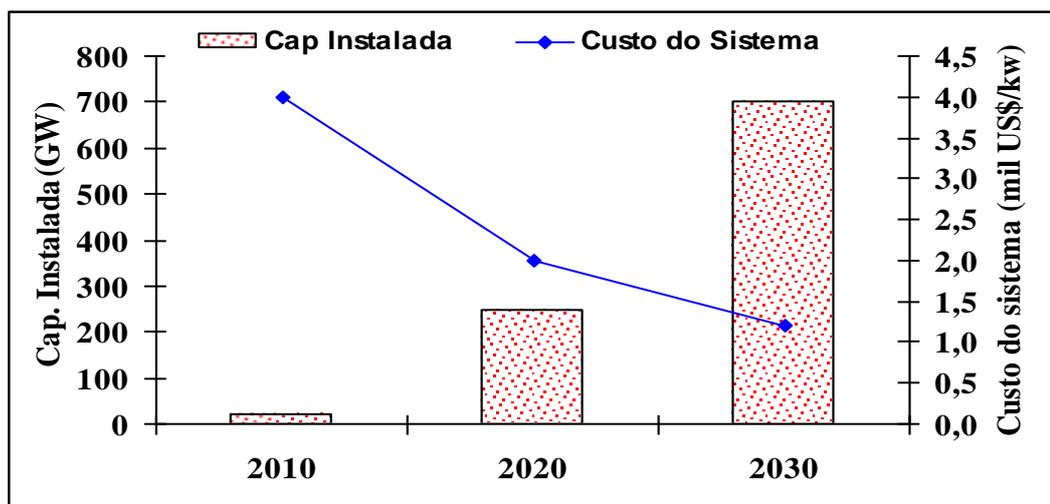


Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>, acesso em 23.02.2021

Resultados consolidados do boletim mensal da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2020), destacam o crescimento dos parques solares fotovoltaicos no Nordeste, como no estado da Bahia, na liderança na geração de energia solar no país, com aumento na produção em 46,9% e 88% da sua capacidade instalada, com recorde histórico de usinas fotovoltaicas com pico de produção da ordem de 94%.

A geração de energia fotovoltaica (FV) tem pequena participação na matriz elétrica nacional, embora venha crescendo a capacidade instalada, nos últimos anos, impulsionada pela redução do custo do sistema como mostra a Figura 35.

Figura 35. Relação entre a capacidade instalada e o custo do sistema fotovoltaico.

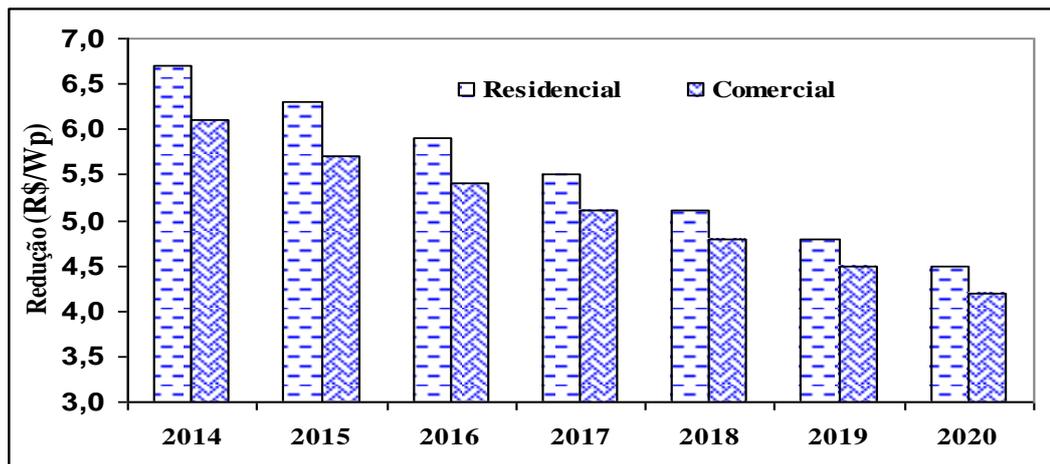


Fonte: Dados da ANEEL (2016) e elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 35, o custo médio para instalação do sistema fotovoltaico vem caindo gradativamente tanto para as unidades residenciais quanto para as comerciais. Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, o número de micro e mini unidades geradoras de energia solar passou de 4,3 mil, em 2019, para mais de 10 mil em 2020, ou seja, um crescimento de 130,8%.

A redução de custo projetada para o sistema FV, associado ao elevado potencial de irradiação solar no Nordeste e aos incentivos governamentais e da iniciativa privada, vêm incentivando o crescimento de projetos de usinas fotovoltaicas na região, cuja trajetória de redução de custo é apresentada na Figura 36.

Figura 36 Trajetória de redução de custo para sistemas FV residencial e comercial no Brasil.



Fonte: Dados da EPE (2016) e elaborado pelo autor

O Estado da Paraíba, por exemplo, também vem investindo na fonte FV, tendo em conta que a Shell registrou na Aneel um pedido de outorga de sete novas usinas solares fotovoltaicas no município de São João do Rio do Peixe. O novo pedido de outorga prevê a instalação do complexo solar Canis, com seis usinas com potência instalada de 48,1 MW e uma, com potência instalada de 34,7 MW.

É importante destacar, que alguns fatores contribuem para o crescimento do uso da tecnologia fotovoltaica no Nordeste brasileiro, tais como: redução de preços de equipamentos, aumento na eficiência das placas solares e, especialmente, a elevada disponibilidade e regularidade da irradiância solar radiação ao longo do ano.

Corroborando-se com EPE (2016), a variabilidade da irradiância solar é a maior incerteza na performance e viabilidade financeira de uma usina fotovoltaica. Neste contexto, constata-se que necessário estabelecer os principais indicadores do regime de irradiância local.

4.6 Energia Fotovoltaica: investimento e vantagens

O aumento das tarifas energéticas das concessionárias vem fazendo, cada vez mais, que os consumidores migrem para o sistema solar fotovoltaico e, conseqüentemente, garantirem a sua independência energética.

O sistema fotovoltaico (FV), por sua vez, proporciona uma economia de até 95% na conta da fatura de energia elétrica. Tal economia impacta positivamente no orçamento mensal possibilitando o direcionamento desses valores para outros setores.

Os investimentos para a aquisição de sistema FV se mostra viável comparado ao que se deixa de gastar e o baixo custo com manutenção, tendo vida útil dos painéis fotovoltaicos até 25 anos.

O sistema fotovoltaico residencial permite ao consumidor gerar créditos de energia, tendo em conta que a produção de energia solar excedente é injetada na rede concessionária, gerando, assim, créditos nos quais o cliente pode utilizar em dias que a geração de energia for menor.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamenta o setor de geração distribuída por meio da RN 482/2012 e da RN 687/2015, incentivando o uso de fontes renováveis de geração de energia elétrica. Corrobora-se com (HCC, 2021), que os programas governamentais têm estimulados essa opção energética sustentável, seja com subsídios para a instalação ou a regulamentação do uso.

Pessoas físicas já podem utilizar, desde o dia 30 de novembro de 2018, o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste para energia solar, para financiar projetos de energia solar com fins residenciais, incluindo moradores de condomínios.

A expansão da linha de crédito do Banco do Nordeste foi autorizada pela Portaria Interministerial 461, de 12/11/18, cuja expansão de crédito para financiar, com o BNB, até 100% do investimento, com limite de até R\$ 100 mil, prazo de pagamento de até oito anos e carência de até seis meses.

Para valores até R\$ 50 mil, a garantia necessária será aval somado à alienação dos equipamentos; acima deste valor, será garantia real mais alienação dos equipamentos, com juros mais atrativos do mercado, a partir de 0,39% a.m. e parcelas equivalentes à redução projetada na conta de energia;

O Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE) Sol tem incentivo de grande importância para a energia fotovoltaica, desde a instalação, financiando em até 100%, para sistema com custo até R\$ 100 mil, dividido em 12 anos.

O FNE tem várias outras linhas de financiamento, em diferentes agências bancárias, público, limites de funcionamento e prazo como mostra a Tabela 2.

O investimento no sistema de energia solar fotovoltaico, por ser uma tecnologia com ação sustentável, detém um payback¹ extremamente considerável e favorável no Brasil, principalmente, na região nordestina, em virtude da grande disponibilidade de irradiância solar no Semiárido nordestino.

¹ Payback - indicador do tempo de retorno de um investimento

Tabela 2 Linhas mais relevantes de financiamento de energia Fotovoltaica.

BANCOS	PUBLICOS ALVO	LIMITES FINANCIAMENTO	PRAZOS
BANCO DO NORDESTE	Pessoas físicas, indústrias de qualquer tamanho, indústrias do setor agrícola, negócios e produtores rurais, associações e cooperativas.	Limite até 100% do investimento	Até 12 anos.
SANTANDER	Empresas, pessoas físicas e produtores rurais-serviços relacionados à sustentabilidade.	Englobar um limite de até 100% dos itens financiáveis.	Até 72 meses.
BBPJ	BB Financiamento Pessoa Jurídica é uma linha de crédito com prazos, limites de financiamento e taxas diferenciadas.	Até 90% do valor do bem e com mínimo de R\$ 30 mil.	Até 180 meses.
SICREDI	Empresa ou pessoa física que esteja associada ao Sicredi- aquisição sistema fotovoltaico	O limite é de até 100% dos itens financiáveis.	Sob consulta.
BASA	Pessoas físicas, empresas de todos os tamanhos e produtores rurais.	Até 100% dos itens financiáveis.	Limite é de 144 meses/ 48 m de carência.
AGRO – PRONAF	Pequenos produtores que compareçam à agência com a Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP), exceto aqueles dos grupos A, A/C e B.	Suinocultura, avicultura, aquicultura, carcinicultura (criação de crustáceos) e fruticultura, dentre outros	Até 10 anos e 3 anos de carência
FCO	É direcionado aos produtores rurais, tanto pessoa física como jurídica, bem como cooperativas e associações com atividade rural.	O limite do valor financiado é de 5 milhões de reais (para o setor de serviços e comercial), e 10 milhões para as outras linhas.	Empresarial: Prazo até 20 anos e Rural: Até 20 anos, com até 12 anos de carência
LOSANGO	Pessoas Físicas e Pessoas Jurídicas.	Sob consulta	Até 60 meses.

Fonte: Dados da Bluseol 2020, elaborado pelo autor.

Fazendo uma comparação de linhas de investimento na Tabela 2, e levando em conta os dados de irradiância solar no Semiárido nordestino (Figuras 18 e 20), contabiliza-se que quanto maior for o investimento no sistema fotovoltaico maior será a produção e economia mensal, anual e mais rápido se terá o retorno do investimento, exemplificado na projeção de investimento na Tabela 3.

Tabela 3 Projeção de investimento do sistema Fotovoltaico e da economia

Consumidor	Investimento	Economia mensal (%)	Economia anual (%)	Retorno de investimento (ano)
Cliente A	178.968,49	2,6	31,5	3,2
Cliente B	18.062,05	1,4	16,8	5,9

Fonte: Dados Enel, 2020, elaborado pelo autor.

Com a projeção do consumidor A (Tabela 3), uma residência com o consumo médio de 359 kwh, precisaria fazer um investimento no sistema fotovoltaico de R\$ 18.062,05. No entanto, teria uma economia mensal de R\$ 253,13 e anual de R\$ 3.037,53. Com essa economia, o retorno investido ocorreria em 5,9 anos.

Ressalta-se, ainda, que com esse sistema de geração de energia elétrica não poluente, tem isenções de ICMS (convênio n.º 16/2015 e Decreto 36.861) e de bandeiras tarifárias, haja vista que a cobrança é feita com base no consumo. O excedente de energia produzida é transformado em créditos, conforme estabelece a Resolução 482 /2012 ANEEL.

Destaca-se, entretanto, que as políticas públicas de incentivo para uso da energia solar fotovoltaica são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento socioeconômico do Nordeste brasileiro, especificamente, do Semiárido onde há uma grande disponibilidade de irradiância solar global e, portanto, maior potencialidade de conversão para energia elétrica, que em outras regiões ou locais do Brasil e do mundo.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados conclui-se que:

O petróleo, o carvão mineral e o gás natural são fontes fósseis e não renováveis mais utilizadas mundialmente, cuja geração de energia é uma das principais causas da degradação ambiental do planeta.

A hidroeletricidade, apesar de ser uma fonte limpa e renovável, fica na dependência do regime pluvial e da vazão de mananciais, além da degradação ambiental e conflitos produzidos pelo alagamento das terras agricultáveis.

A energia solar fotovoltaica é uma fonte descentralizada de geração de energia e não produz gases do efeito estufa, além de ser promissora para complementar a matriz energética e por ser uma alternativa viável para eletrificação na zona rural.

O elevado potencial de irradiância solar no Semiárido nordestino, o credencia essa Região como prioritária para investimentos em projetos de geração de energia elétrica fotovoltaica.

Na zona rural do Semiárido nordestino há um maior número de pessoas sem acesso à energia elétrica. A opção pela tecnologia fotovoltaica passa a ser uma alternativa promissora para eletrificação residencial e bombeamento de água, especialmente, para irrigar cultivos tradicionalmente de sequeiro, do pequeno produtor familiar.

O Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE Sol) é o desafio da integração de políticas públicas para ampliar o uso da energia solar e o desenvolvimento sustentável no Semiárido.

O incentivo governamental para o uso da fonte fotovoltaica tem estimulado o uso dessa energética sustentável, subsidiando a instalação e criando opções de uso.

O Estado da Paraíba apresentou a maior evolução temporal na capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos, que os Estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte.

Os sistemas fotovoltaicos no Semiárido nordestino têm potencialidade de expansão e contribuem para o desenvolvimento sustentável, por contribuir na geração de emprego e renda e por ser descentralizada, não depende da energia elétrica fornecida pelas concessionárias.

Há necessidade de mais incentivos e popularização do uso da energia solar fotovoltaica, para diferentes finalidades. No entanto, há necessidade de avanços tecnológicos que resultem no aumento na eficiência de conversão e redução de custos.

REFERÊNCIAS

ABEN. A geração núcleo-elétrica antes e após Fukushima. Associação brasileira de energia nuclear, 2018. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/noticias/a-geracao-nucleo-eletrica-antes-e-apos-fukushima>>. Acesso em: 24 abr 2021.

ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. [S.l.]. 2012.

ABSOLAR. BRASIL VIVE ANO HISTÓRICO EM EXPANSÃO DE ENERGIA SOLAR. **ABSOLAR**, 14 ago 2020. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/brasil-vive-ano-historico-em-expansao-de-energia-solar.html>>. Acesso em: 29 ago 2020.

ABSOLAR – Infográfico ABSOLAR – Maio, 2020. Disponível em <http://www.absolar.org.br/infograficoabsolar-.html>. Acesso em: 26 maio 2020.

ABBUD, O. A; TANCREDI, M. Transformações recentes da matriz brasileira de geração de energia elétrica – causas e impactos principais, 2010. Disponível em <https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/182500>. acesso em 21.02.2021

ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, v. 1, p. 165-188, jan 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída, 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/>>. Acesso em: 13 mar 2020

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Chamada Nº 013/2011 Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais Para Inserção Da Geração Solar Fotovoltaica Na Matriz Energética Brasileira”. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 2011

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Nota Técnica n. 0056/2017-SRD/ANEEL*. 2017. Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. 26p

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº745DE 22DE NOVEMBRODE 2016*, 4p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa n. 482*, de 17 de abril de 2012, 4 páginas

ADECE. Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. Energias renováveis do Ceará, 2011. Disponível em <http://www.adece.ce.gov.br/index.php>. Acesso em 14/05/2020.

ALMEIDA, H. A, de. Climatologia aplicada à geografia [Livro eletrônico]. Campina Grande: EDUEPB, 2016, 317 p.

ALMEIDA, T. C., Mendes, M. S., GOME, J. G. F., Esteves, E. S. J. Análise de viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica no Nordeste brasileiro com o uso da metodologia pmbok. In: **xxxvii encontro nacional de engenharia de producao**, Joinville, 2017. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/biblioteca/>> Acesso em: 11 jul 2020.

ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. 2. ed. Brasília, 2005. 243 p.

ANEEL/ABSOLAR. Fonte solar fotovoltaica assume 7ª posição na matriz elétrica brasileira e ultrapassa nucleares. Portal solar, 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/fonte-solar-fotovoltaica-assume-7a-posicao-na-matriz-eletrica-brasileira-e-ultrapassa-nucleares.html>>. Acesso em: 25 abr 2021. Acesso em: 25 jan 2021.

ANEEL/MME. Empreendimentos em Operação. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/dados/geracao>>. Acesso em: 14 fev 2021.

ASA. SEMIÁRIDO - É NO SEMIÁRIDO QUE A VIDA PULSA! Articulação Semiárido Brasileiro, 2017. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/semiárido>>. Acesso em: 21 maio 2021.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2020 (BEN). Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). In: Rio de Janeiro, RJ. Relatório Síntese/Ano Base 2019, 73 p, 2020.

BAHIA, G. Bahia se consolida na liderança da geração de energia eólica e solar no país. O Portal Oficial Do Estado Da Bahia, 2021. Disponível em: <<http://www.bahia.ba.gov.br/2021/01/destaques/c3-destaque-slide/bahia-se-consolida-na-lideranca-da-geracao-de-energia-eolica-e-solar-no-pais/>>. Acesso em: 16 fev 2021.

BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Editora Saraiva, 2004. 328 p

BARBOSA, R. R., PINHEIRO, R., DANIELLE B. M. DELGADO, D. B. M. Energia solar fotovoltaica no semiárido: potencial, cenário atual e perspectivas. In: II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, Campina Grande, PB. Julho de 2017, Anais, CD-R, 11 pp.

BERMANN, C. Crise ambiental e as energias renováveis. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 3, p.20-29, 2008.

BERNARDES, T. C. D. A. et al. Energia solar fotovoltaica na matriz energética alemã sob a ótica das funções de sistemas tecnológicos de inovação. IV Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação, Mato Grosso do Sul, p.1-21, 2020.

BLUESOL. Financiamento de Energia Solar: As 8 Melhores Linhas Para Você Obter o Melhor Retorno Financeiro Com o Seu Sistema. BlueSol Energia Solar, 2020. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/financiamento-de-energia-solar/>>. Acesso em: 21 abril 2021.

BNEF – Bloomberg New Energy Finance. (2016). Clean energy investment: end of year 2016. Recuperado em 15 abril, 2017, de <https://about.bnef.com/clean-energy-investment/>.

BRAGA JUNIOR, S. A. M. Energia Eólica e o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia. In: XAVIER, Yanko Marcius de Alencar; GUIMARÃES, Patrícia Borba Vilar. (Org.). Direito das Energias Renováveis. Ied. Fortaleza: Konrad Adenauer, 2010, v. 1, p. 197-223, 2010..

BRITO, M. A. G., SAMPAIO, L. P.; JUNIOR, L. G.; CANESION, C.A. Research on photovoltaics: review, trends and perspectives. In: Brazilian Power Electronics Conference (COBEP). p. 531-537, 2011

BRUNDTLAND, R. Relatório Brundtland “Nosso Futuro COMUM” – definição e princípios 1987. Disponível em: <<https://www.inbs.com.br/ead/Arquivos%20Cursos/pdf>> Acesso em: 13 mar 2020

CALDAS, R. W. (coord.). Políticas Públicas: conceitos e práticas. Belo Horizonte: SEBRAE/MG, 2008, 48p.

CAMILO, A. R. M. **Eenergia solar no brasil: uma breve revisão de literatura**. Pós-Graduação (Gestão de Recursos Hídrico, Ambientais e Energéticos), Universidade Da Integração Internacional Da Lusofonia Afrobrasileira. Redenção. 2018.

CARVALHO, J. F. Energia e sociedade. Estudos avançados, v.28, n.82, p. 23-39, 2014.

CASTRO, R. D. D. Energia solar térmica e fotovoltaica em residências: estudo comparativo em diversas localidades do Brasil. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. CAMPINAS. 2015.

CELA - CLEAN ENERGY LATIN AMERICA. 2016. Congresso de GD: Modelos de Negócios. Apresentação de Camila Ramos (diretora). São Paulo, Brasil, p. 14.

CIGOGNINI, T. A.; GUIALIS, L.; MALLMANN, A. V. F.; SANTOS, L. G. F.; GONZATTI, S. E. M. Caminho da energia, Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, v. 8, n. 4, p. 253-266, 2016.

COSTA, H. S. Argumentos contra as usinas nucleares. Eco 21. Rio de Janeiro, v. 27, n. 172, p. 1-7, 2011.

COSTA, M. A. S.; COSTA, M. S., COSTA, M. M. S.; LIRA, M. A. T. Impactos Socioeconômicos, Ambientais e Tecnológicos Causados pela Instalação dos Parques Eólicos no Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 3, p. 399-411, 2019.

CHAVES, T. F. Uma Análise Dos Principais Impactos Ambientais Verificados No Estado De Santa Catarina. R. gest. sust. ambient., v. 5, n. 2, p. 611-634, 2017.

CINESHOP. Painéis solares tem o custo reduzido em nove anos. cineshop, 2020. Disponível em: <<https://cineshop.com.br/blog/paineis-solares-tem-o-custo-reduzido-em-nove-anos/>>. Acesso em: 24 fev 2021.

CMMAD. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum (1991). (2ª Ed.). Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas (430 p.).

CNI. Diversificação e diferenciais sustentáveis da matriz elétrica brasileira. Brasília: CNI, 2012. Confederação Nacional da Indústria. Fórum de Meio Ambiente do Setor Elétrico. 2012, 63p.

CRUZ, E. Vila Solar é exemplo por produzir mais energia do que consome há quase 20 anos. *Gazeta do Povo*, 2019. Disponível <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/sustentabilidade/vila-solar-alemanha-produzir-mais-energia-do-que-consome/amp/>>. Acesso em: 19 out 2020.

DCI. Quase metade da eletricidade da Alemanha vem de energia solar e eólica. **JORNAL DCI**, 2020. Disponível em: <<https://www.dci.com.br/>>. Acesso em: 19 set 2020.

DIAS, C. T. C., SILVA, W. K. M., FREITAS, G. P., NASCIMENTO, J. F. Energia solar no Brasil. *Inter Scientia*, v.5, n. 1, p. 153-165, 2017

DIARIO DO NORDESTE. Energia solar: Milagres e Icó terão parques com potência de quase 500 MW. *Diário do Nordeste*, 2021. Disponível em: <<https://diariodoNordeste.verdesmares.com.br/negocios/energia-solar-milagres-e-ico-terao-parques-com-potencia-de-quase-500-mw-1.3036548>>. Acesso em: 16 fev 2021.

DIARIO DO NORDESTE. Geração própria de energia no Ceará mais que dobra em 2020. *Diário do Nordeste*, 2021. Disponível em: <<https://diariodoNordeste.verdesmares.com.br/negocios/geracao-propria-de-energia-no-ceara-mais-que-dobra-em-2020-1.3030245>>. Acesso em: 17 fev 2021.

DIENSTMANN, G. **Energia solar: Uma Comparação de Tecnologias**. In: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2009, 92 fls.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 70 – 81, 2015.

DUTRA, A. E. Impactos Socioeconômicos da Energia Solar Fotovoltaica no Estado da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, VIII, Fortaleza, CE, de 01 a 05 de junho de 2020, 8 paginas, 2020.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. *Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense*, v. 1, p. 397-402, 2010.

ECYCLE. Tipos de sistemas fotovoltaicos: on-grid e off-grid. *ecycle*, 2015. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/sistema-fotovoltaico-painel-solar-estrutura-suporte-inversor-controlador-carga-cabos-baterias-captacao-armazenamento-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagens-desvantagens-fontes-renovavel-m/>>. Acesso em: 18 mar 2021.

ELÉTRICA, M. Usina fotovoltaica e suas características. *Mundo Elétrica*. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/usina-fotovoltaica-e-suas-caracteristicas/>>. Acesso em: 20 ago 2020.

EMBRAPA. Região Nordeste. **EBRAPA**, 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/contando-ciencia/regiao-Nordeste>>. Acesso em: 20 AGO 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, ano base 2019, 256p. Fonte <http://www.epe.gov.br>, acesso 26.01.2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2019

ENEL. proposta comercial. fortaleza. 2020.

ENERGIA, P. Manual e Guia Técnico de Energia Solar Fotovoltaica. **Portal energia**, 2019. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 27 jun 2020.

ENERGINA, C. Enel Green Power inicia operação de 475 MW no Piauí. **Canal Energia**, 2020. Disponível em: <<https://canalenergia.com.br/noticias/53123446/enel-green-power-inicia-operacao-de-475-mw-no-piaui>>. Acesso em: 24 jun 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia, 2016. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/> acesso 16 fev 2021

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional: Ano Base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012. 282p.

FERNANDES, J. S. et al. Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. *Rev Med Minas Gerais*, p. 92-101, 2010.

FARIAS, L. M; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato, Novo Hamburgo*, v. 12, n. 17, p. 01-106, 2011.

FERRAZ, J. M. G.; YOUNG, M. C. P.; MARQUES, J.F; SKORUPA, L. A. Construção Participativa de Indicadores de Sustentabilidade. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. Disponível em: < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/acesso> em: 10 MAR. 2020.

FERRAZ, R. S. F., SANTOS. B. L M., SILVA, P. L. C., FERRAZ, R. S. F., GOMES, A. C. ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL X ALEMANHA. *Revista Científica Semana Acadêmica*. Fortaleza, ISNI 236-6717, 14/11/2018.

FILHO, W. P., FERREIRA, W. R., AZEVEDO, A. C., COSTA, A. L., PINHEIRO, R. B. Expansão Da Energia Solar Fotovoltaica No Brasil: Impactos Ambientais E Políticas Públicas. *R. gest. sust. ambient.*, Florianópolis, n. esp, p.628-642, 2015.

FRANCISCO, W. D. C. E. Energia Nuclear. VOL, 2018. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-nuclear.htm>>. Acesso em: 15 MAI 2021.

FREITAS, G. C.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. *Revista Nexos Econômicos*, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

FURTADO, C. Formação econômica do Brasil. São Paulo: Editora Nacional, 17ª edição, 1980.

GALDINO, J. T. P. M. A. Manual de Engenharia pra Sistema Fotovoltaico. Cepel-CRESESB. Rio de Janeiro. 2014.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. Revista USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, 2007.

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999. 204 p

HCC. Energia Solar Residencial. Hcc Energia Solar, 2021. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/energia-solar/energia-solar-residencial/>>. Acesso em: 21 abril 2021.

EU SCIENCE HUB. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA FOTOVOLTAICA., 2020. Disponível em: <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html>.

HOLANDA, A. B. F. Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. In: São Paulo, Editora Positiva, 4ª edição, 2009, 2120 páginas.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). População. IBGE, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>. Acesso em: 13 out 2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Abu Dhabi: Irena, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications>, em 16.02.2021.

KREDITANSTALT FÜR WIEDERAUFBAU (KFW). Energy efficiency, corporate environmental protection and renewable energies. Frankfurt - DE, 2017.

LEFF, E. Epistemologia ambiental. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2010, 240 p.

LIMA, A. A., MENEZES, N. P; SANTOS, S., AMORIM, B., THOMAZI, F., ZANELLA, F.; HEILMANN, A., BURKARTER, E., DARTORA, C. A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, p. 1-16, 2020.

LIMA, F. J. L. D. Previsão de irradiação solar no Nordeste do brasil empregando o modelo wrf ajustado por redes neurais artificiais (RNAs). INPE. São José dos Campos, p. 37. 2015.

LITTLE, Paul Elliot Os conflitos socioambientais: um campo de estudo e de ação política. In: A difícil sustentabilidade – política energética e conflitos ambientais. Marcel Bursztin (org.).Rio de Janeiro: 2. ed. Garamound, 2001, p. 107-122.

MARQUES, R. C.; KRAUTER, S. C. W.; LIMA, L. C. D. Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o Nordeste brasileiro. **Tecnol**, Fortaleza, v. 30, n. 2, p. 153-162, 2009.

MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., ABREU, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA Project. Solar Energy, Phoenix v.81, p. 517-528, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – outubro 2020. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br> > Acesso em: 15 ago 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Brasil tem quinta maior reserva de urânio. Ministério de Minas e Energia, 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-tem-quinta-maior-reserva-de-uranio>>. Acesso em: 05 jun 2021.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI). Resolução nº 107/2017. Recife-PE, 27 de julho de 2017.

MOREIRA JÚNIOR, O.; SOUZA, C. C. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. INTERAÇÕES, v. 21, n. 2, p. 379-387, 2020

MONTEIRO, L. D., SILVEIRA, D. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma análise das políticas públicas e das formas de financiamento. AEDB. 2011.

NASCIMENTO, R. L. Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas. Estudo Técnico. Brasília: Câmara dos deputados, 2017, 46p.

NEO SOLAR. Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. Brasil. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 09 set. 2020.

NEOSOLAR. ENERGIA SOLAR TÉRMICA. Neosolar, 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-termica>>. Acesso em: 13 mai 2020.

NORDESTE, B. D. Banco do Nordeste inicia financiamento de energia solar para uso residencial. Banco do Nordeste, 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/inicio?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=4206758&_101_type=content&_101_groupId=50120&_101_urlTitle=banco-do-Nordeste-inicia-financiam>. Acesso em: 23 fev 2021.

OECD/IEA. Energy, Climate Change and Environment - 2016 Insights. . Paris: [s.n.], 2016a. Of Energy For Rural Development. Annu. Rev. Environ. Resour, Washington, p. 117-144, 2005.

OLIVEIRA, D. A. S. Desenvolvimento, energia e sustentabilidade: uma perspectiva do Relatório de Brundtland. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, Campinas 2003.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves. Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, n.149, p.4-11, 2006.

PAMPLONA, N. Vazamento no Nordeste é maior agressão ambiental no Brasil, diz chefe da Petrobras. 29 de out de 2019., Folha de São Paulo. Disponível em : <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2019/10/vazamento-no-nordeste-e-maior-agressao-ambiental-no-brasil-diz-chefe-da-petrobras.shtml>, acesso em 18 jun 2021

PAREJO, L. C. Carvão mineral - A fonte energética mais utilizada depois do petróleo, 2006. Fonte:<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/carvao-mineral-a-fonte-energetica-mais-utilizada-depois-do-petroleo.htm>, acesso 12 de janeiro 2021.

- PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar. In: São José dos Campos, SP, INPE, 2006, 60p, 2006
- PEREIRA, N. X. Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada. Universidade Estadual Paulista. Sorocaba. 2019
- PINTO, T. A. Gasolina, Gás Natural E Etanol: Comparação Dos Principais Impactos Ambientais Da Produção Ao Consumo Final. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2008.
- PRADO, R. T. A.; ARRUDA, L. B.; FILHO, A. M. de B.; TABORIANSKI, V.M.; KAWAKITA, C.Y. & ARANTES, L.O. Levantamento do estado da arte: Energia solar. São Paulo, 2007.
- RELLA, R. Energia solar fotovoltaica no Brasil. Revista de Iniciação Científica, Criciúma, v. 15, n. 1, p. 1678-7706, 2017.
- RELLA, R. Energia Solar Fotovoltaica No Brasil. Revista de Iniciação Científica, Criciúma, v. 5, n. 1, 2017.
- RIFKIN, J. A terceira revolução industrial: como o poder lateral está transformando a energia, a economia e o mundo. São Paulo: M. Books, 2012.
- RIBEIRO, U. G. V. Estudos de Viabilidade Econômica de Instalação de Fontes de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas para uso residencial. Monografia (Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.
- ROCHA, L. D. S. et al. O Potencial De Geração De Energia Fotovoltaica Integrada A Rede Pública De Distribuição: “Um Exemplo De Açailândia Para O Maranhão”. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 3, p. 107-127, 2014.
- SACHS, I. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. In: STROH, Paula Yone (Org.). Rio de Janeiro: Garamond, 2000. 96 p.
- SANTOS, P. R. G, FLORENTINO, M. C. C., BASTOS, J. L. C., TREVISAN, G. Vanessa. Fontes renováveis e não renováveis geradoras de energia elétrica no Brasil. In: VIII MICTI, 10 a 12 de novembro de 2015. Disponível em <http://eventos.ifc.edu.br/micti/wp-content/uploads/sites/>, acesso 03 fev 2021
- SANZIO, E. A., NASCIMENTO, M. R. D. Desenvolvimento de um equipamento suporte móvel para módulos fotovoltaicos otimizado energia solar. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ. Rio de Janeiro. 2016.
- SILVA, A.; PERICO, D.; CARNEIRO, L. H. C.; BROSATO, C. Energia fotovoltaica no Brasil: uma revisão de literatura. Pesquisa e Inovação, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 100-115, 2019.
- SILVA, M. S. T.; BRITO, S. O. Impactos ambientais associados à construção de empreendimentos elétricos no setor de distribuição de energia. Revista Faroeciência, v. 1, n. 1, p. 266-280, 2016.

SILVA, R. M. Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, 2015, 53 páginas.

SILVA, Z. R. D. O ensino de ecologia mediado pelo conceito unificador energia: o biodigestor enquanto modelo didático para uma abordagem interdisciplinar. Dissertação (Mestrado) -Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica, Curitiba, 2015, 159 fls.

SIMIONI, T. O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil. Dissertação (Mestrado Planejamento Energético), Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017, 204p

SOLAR, B. Potencial de energia solar: Quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar. Boreal Solar. 2019. Disponível em: <<http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>>. Acesso em: 23 jul 2020.

SOLAR, M. C. Conheça mais sobre as maiores usinas solares do mundo! **Minha Casa Solar**, 2019. Disponível em: <<http://blog.minhacasasolar.com.br/conheca-mais-sobre-as-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-mundo/>>. Acesso em: 23 jun 2020.

SOLAR, P. As maiores usinas de energia solar do Brasil. **portal solar**, 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/maiores-usinas-de-energia-solar-do-brasil>>. Acesso em: 24 jun 2020.

TAVARES, C. V. Os desafios da descarbonização da economia por meio da energia solar no semiárido: Estudo de caso em Juazeiro do Norte, CE. Tese (Doutorado Interinstitucional em Desenvolvimento Sustentável. Brasília, DF, 2020, 193 fls.

TORREZANI, N. C., OLIVEIRA, E. F. Problemas ambientais decorrentes da exploração do carvão mineral e a aplicação da ecotoxicologia aquática como ferramenta de biomonitoramento. *Oecologia Australis*, v. 17, n.4, p. 509-521, 2013

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno. Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016, 452 p.

TRAININI, C. M. Carvão mineral será tema de Congresso Brasileiro, em Porto Alegre. Portal de notícias, 13 fev 2020. Disponível em: <<https://www.portaldenoticias.com.br/noticia/10437/carvao-mineral-sera-tema-de-congresso-brasileiro-em-porto-alegre.html>>. Acesso em: 03 jun 2021.

UNDP- United Nations Development Programme. World energy assessment, 2000, 489 p.
VARELLA, F., CAVALIERO, C., SILVA, E. Regulatory incentives to promote the use of photovoltaic systems in Brazil. *HOLOS*, v. 3, p. 14– 29, 2012

VARGAS, J. I. Energia como fator limite para o desenvolvimento sustentável. *ESTUDOS AVANÇADOS*, v. 10, n. 27, p. 295-306, 1996

VERMA, D.; MIDTGARD, O.-M.; SATRE, T. O. Review of photovoltaic status in a European (EU) perspective. In: 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). p. 3292-3297, 2011.

WIGINTON, L. K.; NGUYEN, Ha T.; PEARCE, Joshua M. Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy. Elsevier, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 345-357, 2010.