



CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENEU
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALISSON ALVES DOS ANJOS
JOSÉ CARLOS ALMEIDA PIRES
PEDRO HENRIQUE PORTELA PINTO
VICTOR SALES DE OLIVEIRA

ENERGIA SOLAR NOS LOCAIS EM ESTADO DE DESERTIFICAÇÃO NO CEARÁ

FORTALEZA
2022

Ficha catalográfica da obra elaborada pelo autor através do programa de geração automática da Biblioteca da UniAteneu.

ALVES DOS ANJOS, ALISSON.

ENERGIA SOLAR NOS LOCAIS EM ESTADO DE
DESERTIFICAÇÃO NO CEARÁ: / ALISSON ALVES DOS ANJOS,
JOSÉ CARLOS ALMEIDA PIRES, PEDRO HENRIQUE PORTELA
PINTO, VICTOR SALES DE OLIVEIRA. - 2022
26 f.

Trabalho de Conclusão de Curso de (Graduação) -
Centro Universitário Ateneu. Curso de Engenharia
Civil. Fortaleza, 2022.

Orientação: FREDERICO ROZENDO DA SILVA.
Coorientação: MARCELO CORRÊS DE MORAES.

1. Energia Solar. . 2. Desertificação. . 3. Meio
Ambiente.. I. ALMEIDA PIRES, JOSÉ CARLOS. II. PORTELA
PINTO, PEDRO HENRIQUE. III. SALES DE OLIVEIRA, VICTOR.
IV. ROZENDO DA SILVA, FREDERICO. V. CORRÊS DE MORAES,
MARCELO . VI. Título.

ENERGIA SOLAR NOS LOCAIS EM ESTADO DE DESERTIFICAÇÃO NO CEARÁ

SOLAR ENERGY IN PLACES IN A STATE OF DESERTIFICATION IN CEARÁ

Alisson Alves dos Anjos¹

José Carlos de Almeida Pires²

Pedro Henrique Portela Pinto³

Victor Sales de Oliveira⁴

Frederico Rozendo da Silva (Orientador)⁵

Marcelo Corrêa de Moraes (Coorientador)⁶

RESUMO

O presente estudo visa o desenvolvimento de um sistema de geração de sistemas fotovoltaicos conectados à rede da concessionária de distribuição de energia nas áreas fortemente degradadas e com grandes riscos de desertificação e sua aplicação em Fortaleza e Região Metropolitana de Fortaleza, no setor industrial, em função da disponibilidade do recurso solar local, do custo total da instalação do sistema fotovoltaico integrado a rede e da tarifa industrial local. E ainda: a) compreender o desenvolvimento de um método que permita uma avaliação detalhada do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos conectados à rede onde a unidade geradora e a consumidora sejam instaladas em cidades diferentes; b) fazer um levantamento ou estudo no setor industrial, em função da disponibilidade do recurso solar local, do custo total da instalação do sistema fotovoltaico integrado a rede e da tarifa industrial; e c) analisar o grande potencial de produção de energia fotovoltaica e as normas da Aneel de implantação de mini geração com potência de 5 MW de GD (Geração Distribuída).

Palavras-chave: Energia Solar. Desertificação. Meio Ambiente.

ABSTRACT

The present study aims to develop a system for generating photovoltaic systems connected to the energy distribution concessionaire's network in heavily degraded areas with great risks of desertification and its application in Fortaleza and the Metropolitan Region of Fortaleza, in the industrial sector, due to the availability of the local solar resource, the total cost of installing the photovoltaic system integrated into the grid and the local industrial tariff. And yet: a) understand the development of a method that allows a detailed evaluation of the return on investment in photovoltaic systems connected to the grid where the generating unit and the consumer are installed in different cities; b) carry out a survey or study in the industrial sector, depending on the availability of the local solar resource, the total cost of installing the photovoltaic system integrated into the grid and the industrial tariff; and c) analyze the great

¹Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: alisson.alves@hotmail.com

²Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: tatataperaj@hotmail.com

³Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: pedro.784j@hotmail.com

⁴Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: sargentosales@hotmail.com

⁵Mestre Docente do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ateneu. E-mail: frederico.silva@professor.uniateneu.edu.br

⁶Doutor em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio. E-mail: marcelomoraes.rj@gmail.com

potential of photovoltaic energy production and Aneel's rules for the implementation of mini generation with a power of 5 MW of DG (Distributed Generation).

Keywords: Solar Energy. Desertification. Environment.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população aliado ao aumento do padrão de vida e o crescimento econômico exercem grande pressão sobre a infraestrutura energética. A qualidade da energia fornecida pelo sistema elétrico aos consumidores finais depende da interação existente entre os sistemas de geração, transmissão e distribuição.

Em virtude de sua localização geográfica, o Brasil possui níveis de irradiação solar superiores às de outros países, que estão entre os maiores produtores desse tipo de energia, fazendo com que o país disponha de um grande potencial para aproveitamento desse tipo de matriz energética. Nesse contexto, no Brasil destaca-se a região Nordeste, que possui ótimos índices de irradiação solar, fato que a coloca em destaque como uma das regiões mais privilegiadas do mundo em potencial de energia solar (MONTENEGRO, *et al* 2013).

O presente estudo vislumbra uma reflexão sobre a contribuição que a temática propõe através desse conteúdo, que foi o de facilitar o acesso das pessoas e empresas interessadas aos recursos financeiros e materiais oferecidos pelas políticas públicas governamentais, através do Ministério de Minas e Energia (MME), via Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), voltadas à geração de energia solar, oriunda de uma matriz energética limpa, de fonte inesgotável.

O trabalho também apresenta questionamentos sobre a diversificação da matriz energética brasileira, cuja fonte maior de geração e distribuição de energia, se constitui através do sistema de grandes usinas hidroelétricas, das usinas termelétricas (quando da escassez de águas), com custos altíssimos, enquanto existe no país inteiro (notadamente na Região Nordeste), uma das fontes de energia renovável, limpa e inesgotável, que é a fonte solar, pois o país possui um nível de irradiação solar superior aos países líderes na utilização desta fonte de energia, vista por muitos, como muito cara a princípio, mas que, no decorrer do tempo, ao contrário pode se tornar mais barata.

De acordo com o Portal Solar (2022, ONLINE), especializado no assunto, estudos da Bloomberg New Energy Finance (BNEF), a Energia solar é a energia mais barata do mundo, dado os mais modernos equipamentos e tecnologias atuais, que podem reduzir os custos de suas instalações, em residências, condomínios e parques industriais, já que a sua geração pode ser captada a partir da luz do sol, uma fonte de energia limpa, gratuita, sustentável, renovável e inesgotável.

Segundo o Portal Solar (2022, ONLINE), o baixo custo da Energia solar, para o consumidor acontece, por conta da captação da luz solar, a partir de placas fotovoltaicas, que

possui a capacidade de redução da conta de luz em até 95% (apesar do custo inicial de instalação), mas que duração de 25 a 30 anos de vida útil (podendo se autopagar, em apenas 7 anos).

Ainda, segundo o Portal Solar (2022, ONLINE), estudos realizados pelo Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, nos Estados Unidos indicam que os imóveis residenciais, com energia solar passa a ter uma valorização de 4% a 6%, nas áreas urbanas e rurais e nos condomínios, essa valorização pode chegar a 30%, devido ao sistema off-grid, que utiliza baterias que armazenam a energia captada, com a garantia de alimentação, mesmos nos dias chuvosos ou no período noturno. Outra vantagem apontada foi a de que o sistema é sustentável e podem ser reciclados ao final de sua vida útil, com uma eficiência de 97%.

O estudo teve como ponto de partida o seguinte questionamento: “A crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a busca pela diversificação da matriz elétrica, de fontes limpas e inesgotáveis, associado com o aumento na demanda por energias renováveis, com vistas ao desenvolvimento da indústria e atendimento às populações de áreas degradadas ou em processo de desertificação, pode impulsionar a geração de energia elétrica a partir de fontes como a fonte solar?”

O presente artigo buscou como objetivo geral o desenvolvimento de um método de geração de sistemas fotovoltaicos conectados à rede da concessionária de distribuição de energia em Fortaleza, Região Metropolitana de Fortaleza e Sertão Central, nas áreas fortemente degradadas com grandes riscos de desertificação e seu uso no setor industrial, em função da disponibilidade do recurso solar local, com baixo custo de instalação, através do sistema fotovoltaico integrado via rede de Geração Distribuída (GD).

E especificamente: a) compreender o desenvolvimento de um método que permita uma avaliação detalhada do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos conectados à rede onde a unidade geradora e a consumidora sejam instaladas em cidades diferentes; b) entender o setor industrial, em função da disponibilidade do recurso solar local, do custo total da instalação do sistema fotovoltaico integrado a rede e da tarifa industrial; e c) analisar o grande potencial de produção de energia fotovoltaica e as normas da ANEEL de implantação de mini geração com potência de 5 MW de GD (Geração Distribuída).

O estudo justifica-se em virtude da eficiência energética oriunda de fonte limpa e inesgotável, via energia solar assumiu um papel de grande importância nas discussões sobre a demanda de novas matrizes geradoras de energia renovável, de forma global e possui um papel preponderante nas políticas mundiais de conservação do meio ambiente, em especial no tocante às mudanças climáticas.

O estudo visa ainda frisar que, os incentivos voltados para a implementação das tecnologias sustentáveis são importantes por vários motivos. Dentre eles, destacam-se: a) empregos verdes (ocupações que ajudam a desenvolver e incentivar tecnologias sustentáveis); b) diminuição das emissões de CO₂ na atmosfera; c) benefícios ao meio ambiente; d) conforto ambiental, melhoria da qualidade de vida e melhoria da saúde da população; e e) retorno do investimento em eficiência energética a curto e longo prazo. A temática possui grande pertinência para o mundo acadêmico e para uma reflexão geral das pessoas.

O estudo foi organizado do seguinte modo retórico, para além desta introdução, o item 2 compõe o referencial teórico com as temáticas e suas descrições; o item 3, o desenvolvimento da metodologia bibliográfica, qualitativa e descritiva; no item 4 os resultados e discussões dos dados; e no item 5 a elaboração das conclusões finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energias renováveis – a energia solar

As energias renováveis sempre foram discutidas ao longo dos anos, devido sua relação com o meio ambiente e com o bem estar da população e seu impacto econômico. Embasado nessa visão, o desenvolvimento do presente estudo teve a preocupação do alinhamento, no tocante à produção e geração de energia solar no Nordeste lembrando que o foco na região, se deu, devido a sua localização geográfica privilegiada e pelas potencialidades apresentadas nos últimos anos, principalmente, no que diz respeito às políticas públicas de incentivo a utilização das energias renováveis.

Estudos da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2021) apontam que, na realidade, no Brasil, até o ano de 2035 serão gerados pelo sistema de Geração Distribuída (GD), mais de R\$ 13, 3 bilhões, em benefícios diretos para os consumidores desse tipo de captação de energia do sol, notadamente a população mais pobre e de regiões afastadas dos grandes centros. O estudo foi publicado em março de 2021, na revista científica *Renewable and Sustainable Energy Reviews* e são conclusivos em afirmar que, os consumidores do sistema GD serão os mais beneficiados, em relação ao sistema tradicional (ABSOLAR, 2021, ONLINE).

Segundo o estudo publicado pela ABSOLAR, com a instalação do sistema GD, as companhias de energia elétrica evitam custos futuros, já que, esse tipo de sistema gera muitos benefícios, dentre eles: a) alívio na operação da rede; b) redução da necessidade de novas linhas de transmissão, diminuição de novas usinas de geração; e c) redução de impactos e custos ambientais. Com isso, e, auxiliado pela reforma do marco regulatório da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o sistema de GD passa a assegurar que o consumidor seja tarifado de forma justa e as subsidiadas, de modo compensatório (ABSOLAR, 2021, ONLINE).

Como tradicionalmente esses sistemas foram projetados de forma centralizada, uma possível solução é a implementação da geração distribuída na reestruturação desses sistemas, que podem proporcionar os seguintes benefícios ao sistema elétrico: a) postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; b) baixo impacto ambiental; a redução no carregamento das redes; e c) a redução de perdas e a diversificação da matriz energética, entre outros (ANEEL, 2022, ONLINE).

Como ocorre com a matriz energética mundial, segundo relatório da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a produção de eletricidade é majoritariamente não renovável,

contemplando cerca de 80% de sua produção. A energia solar, além de ser uma fonte limpa e abundante, possui um potencial de exploração no Brasil, muito superior aos países que detêm a liderança em seu uso (ANEEL, 2022, ONLINE).

De acordo com a Resolução Normativa nº 1000/2021, da ANEEL, que entrou em vigor no dia 03 de janeiro de 2022 e que revogou a Resolução Normativa nº 414/2010 e as demais resoluções anteriores e estabeleceu Regras de Prestação de Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica em todo o território nacional estabelecendo novos regramentos e normas gerais (ANEEL, 2022).

A resolução fundamenta os direitos e deveres dos consumidores e demais usuários abordando os temas como conexão, contratos, tarifas sociais, medições, faturamentos, suspensão de prestação de serviços, Serviço de Atendimento ao Consumidor (Call Center), regras para fornecimento de iluminação pública, ressarcimento por danos causados, punição por procedimentos irregulares, regulamento para os veículos elétricos, dentre outros ANEEL, 2022).

Conforme estudos realizados o modelo de energia solar e publicado no seu site oficial, pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o aproveitamento da energia solar é obtido por efeito fotovoltaico ou térmico. Assim:

No efeito fotovoltaico (FV), a obtenção da energia elétrica ocorre pela incidência de fótons da radiação solar sobre um material semicondutor, previamente purificado e dopado. Esse semicondutor é o principal componente das tradicionais células solares, que interligadas constituem o núcleo dos chamados painéis solares. Além de atender a demanda por eletricidade pela indústria, comércio e residências, a energia elétrica obtida pelo efeito fotovoltaico também é utilizada na produção de hidrogênio e hidrocarbonetos sintéticos, por meio da eletrólise (BNDES. 2018, *online*).

2.2 Fontes e aproveitamento de matrizes energéticas no Brasil

O Sol é uma estrela que produz cerca de $4,0 \times 10^{23}$ quilowatts de potência por segundo e sua composição é de principalmente hidrogênio e hélio, por conta de suas altíssimas temperaturas e densidades alcançadas no seu núcleo acontece o processo de fusão nuclear, quando dois átomos de diferentes isótopos de hidrogênio interagem entre si dando origem então, ao hélio e energia (TAVARES, 2020).

Segundo Tavares (2020), a geração de energia solar se dá pelo chamado efeito fotovoltaico, que foi descoberto em 1839, por Edmond Becquerel. Por esse efeito, os fótons contidos na luz solar são transformados em energia elétrica por intermédio da utilização de células solares, onde o processamento mais usual de produção de energia elétrica acontece por

meio das células solares ou fotovoltaicas, ou seja, o silício. Conforme o autor que, 80% das células fotovoltaicas são fabricadas a partir do silício cristalino⁷.

De acordo com o que menciona Tavares (2020) a energia fotovoltaica pode ser obtida através da conversão da radiação solar diretamente em eletricidade. Esse processo é realizado por um dispositivo fabricado com material semicondutor chamado célula fotovoltaica, que se baseia no efeito de mesmo nome. Abaixo, nas figuras 1 e 2, pode-se observar o modelo simples de transformação de energia solar para residências:

Figura 1 - Sistema de captação de energia solar



Fonte: Ministério das Minas e Energia (MME) (2022).

⁷ O silício cristalino é obtido a partir do quartzo, que deve ser purificado até o grau solar, o chamado silício grau solar, que exige 99,9999% de pureza.

Figura 2 – Painéis solares fotovoltaicos para residências e mini indústrias



Fonte: Ministério das Minas e Energia (MME) (2022).

Conforme Tavares (2020), o efeito fotovoltaico é o surgimento de diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor ao ser exposta à luz. Sólidos possuem a banda de valência, com forte ligação entre elétrons e núcleo, banda de condução, onde há interação com os átomos vizinhos e a banda proibida ou gap, que separa as anteriores. O gap nos semicondutores é relativamente baixo, fazendo com que alguns elétrons sejam excitados da banda de valência para a de condução por meio da luz

De acordo com o Relatório Síntese do Balanço energético nacional 2021, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no dia 08 de fevereiro de 2022, no site oficial da empresa, as fontes de energias renováveis presentes na matriz energética brasileira são as seguintes: a) biomassa de cana-de-açúcar (19,1%); energia hidráulica (12,6%); c) lenha e carvão vegetal (8,9); e d) outras fontes renováveis (7,7%). Já as fontes não renováveis são respectivamente: a) petróleo e derivados (33,1%); b) gás natural (11,8%); c) carvão mineral (4,9%); d) urânio (1,3%); e) outras (0,6%) (EPE, 2022, ONLINE).

Conforme o relatório, esse panorama atual mostra que, a matriz energética brasileira ainda é bastante diversificada, onde a presença de fontes renováveis de matriz energética tem crescido cada vez mais no país, nos últimos anos. Pelos dados do relatório publicado neste ano de 2022, os percentuais mostram o atual panorama nacional é basicamente formado por duas vertentes principais: a) fontes renováveis de matriz energética (48,4%); e b) fontes não renováveis de matriz energética (51,6%) (EPE, 2022, ONLINE).

Segundo mostra os dados do relatório, em relação direta com a geração de energia destacam os seguintes panoramas: a energia elétrica se destaca como sendo a mais limpa, com um percentual de 82,9% originadas de fontes renováveis, embora a maior participação na sua geração, ainda seja através de grandes usinas hidrelétricas (65%), seguida da geração de energia

através de biomassa (9,1%), geração de energia eólica (8,8%) e a geração de energia solar (1,7%), embora os dados mostrem que, o setor de geração de energia proveniente da luz solar tem crescido nos últimos anos no país (EPE, 2022, ONLINE).

De acordo com o relatório da EPE a energia solar fotovoltaica também obteve um grande avanço no país, nos últimos anos. Apesar de representar menos de 2% de toda a geração de matriz elétrica no Brasil, na atualidade, a sua participação, desde a sua implantação no país dobrou entre os anos de 2019 a 2021, com um salto de 1%, em 2019, para 1,7% em 2021 (EPE, 2022, ONLINE).

Conforme dados do relatório da EPE, colhidos junto ao Ministério de Minas e Energia (MME), nos últimos três anos (2019-2021), o setor de geração de energia solar teve um crescimento bastante significativo no país, com destaque para as grandes usinas geradoras espalhadas por todas as regiões, as chamadas usinas do tipo ‘Utility Scale’ (Escala de Utilidade), cujo crescimento se deu na ordem de 200%, enquanto que as usinas conhecidas como pequenas centrais de geração de energia solar ou de Geração Distribuída (GD) passou de 2000% (EPE, 2022, ONLINE).

Ainda segundo os dados do relatório da EPE, com informações do Ministério das Minas e Energia (MME), apenas no ano de 2020, a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica obteve um crescimento de 66% em todo o território nacional. Também, segundo consta nos dados do MME, a participação do setor de geração de energia elétrica, por captação solar deverá continuar aumentando acima de 80% ao ano, até o ano de 2030 e podendo chegar a alcançar o índice de 85%, até o ano de 2050 (EPE, 2022, ONLINE).

Conforme dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) (2021, p. 13), o aproveitamento da fonte solar para geração de energia elétrica possibilita inúmeras vantagens, tanto do ponto de vista elétrico como ambiental e socioeconômico. E testifica:

Do ponto de vista elétrico, contribui para diversificação da matriz, aumento da segurança no fornecimento, redução de perdas e alívio de transformadores e alimentadores. Sob o aspecto ambiental, há a redução da emissão de gases do efeito estufa, da emissão de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. Com relação a benefícios socioeconômicos, a geração de energia solar fotovoltaica contribui com a geração de empregos locais, o aumento da arrecadação e o aumento de investimentos. (ABSOLAR 2021, p. 13)

Segundo informações do Ministério das Minas e Energia (MME) (2017, p. 6), o Brasil possuía, no final do ano de 2016, 81 Megawatt (MW) de energia solar fotovoltaica instalado, sendo: 24 Megawatt-pico (MWp) de geração centralizada e 57 Megawatt-pico (MWp) de geração distribuída. Segundo o MME, a capacidade brasileira não coloca o país entre os vinte

maiores líderes mundiais em produção, todos com capacidade instalada superior a 1 Gigawatt-pico (GWp).

De acordo com o MME (2021, p. 6), se comparado com outros países, mesmo reconhecendo a necessidade de avanço do Brasil, no uso da fonte solar torna-se importante salientar que distintamente das nações com liderança na produção mundial, de matriz energética com fulcro primordialmente nos combustíveis fósseis, a matriz energética brasileira é majoritariamente renovável, com rotunda presença na fonte hidroelétrica, o que provavelmente faz com que haja uma diminuição, no apoio a políticas de incentivo à fonte solar.

A Figura 3 apresenta os níveis de radiação solar global médio no Brasil com destaque para os estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins e todos os estados da região Nordeste.

Figura 3 – Média da radiação solar anual no Brasil



Fonte: Ministério das Minas e Energia (MME) (2022).

2.3 Fontes e aproveitamento de matrizes energéticas no Ceará

O avanço na geração de energias renováveis iniciou-se em 2002 com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que passou por algumas dificuldades, mas foi o responsável pelo incremento da energia eólica na matriz nacional que graças a seu potencial eólico essa difusão tornou-se um sucesso (LOSEKANN E HALLACK, 2021).

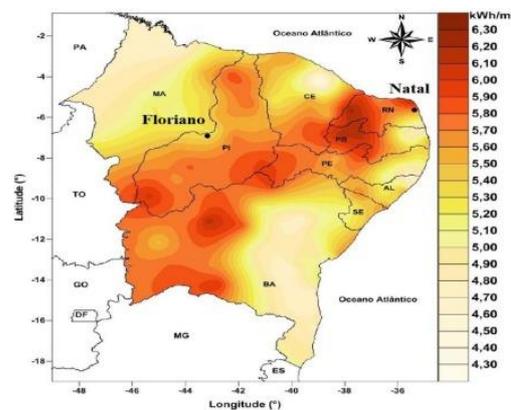
De acordo com Losekann e Hallak (2021), o Brasil conta ainda, com um grande potencial para a geração de energia solar, sobretudo no Nordeste, com destaque para o Ceará, que ocupa o 8º lugar no ranking nacional de geração de energias renováveis. Mas, no entanto, essa fonte perene de geração de energia, ainda se constitui numa pequena porção do total do potencial gerador de toda a matriz elétrica gerada em todo o território nacional.

Conforme Losekann e Hallak (2021), uma das maneiras de aumentar a participação popular, dessa fonte permanente e inesgotável de energia é através da geração elétrica nos domicílios, estabelecimentos comerciais e indústrias de pequenos e médios portes, por intermédio da instalação de painéis fotovoltaicos e também, por meio das usinas de energia solar. Segundo o autor existe, por parte dos defensores e investidores dessa matriz energética, um grande esforço para que a energia solar possa ter cada vez mais visibilidade e seja aproveitado todo o potencial ainda inexplorado no estado.

Segundo Losekann e Hallak (2021), na atualidade o sistema de compensação de energia elétrica de fonte solar é o grande impulsionador das instalações de painéis solares, principalmente nas regiões Sul e Nordeste do país, com destaque para o Estado do Ceará. O Brasil conta atualmente com 1,7% de participação da energia solar na matriz elétrica, representando em média 3 GW de energia solar, desta forma, distante dos líderes mundiais neste seguimento.

Conforme ressaltam Losekann e Hallak (2021), a energia solar traz inúmeros benefícios para os centros urbanos e rurais por produzir menos emissões de gases poluentes, além do baixo custo mensal para os consumidores em geral. Mencionam os autores que, as áreas rurais devido a pouca quantidade de prédios é um ambiente adequado para instalação de energia solar, por ter a capacidade de captação ainda maior e ter espaços de sobra para painéis e transformadores. A figura 4 mostra a incidência da radiação solar, na região Nordeste, com destaque para os Estados da Bahia, Ceará e Piauí.

Figura 4 – Radiação solar anual no Nordeste



Fonte: Ministério das Minas e Energia (MME), 2022.

Segundo Losekann e Hallak (2021), o aproveitamento da energia solar, no entanto, ainda requer avanços na tecnologia para que seu uso seja viabilizado economicamente. A

energia elétrica por meio energia solar pode ser obtida de duas formas: a) Direta: por meio de painéis de células fotovoltaicas ou por meio de coletores instalados no telhado das residências; e b) Indireta: por meio de usinas, construídas em áreas em que a insolação é abundante, onde são instalados inúmeros coletores solares.

2.4 Potencial de geração de energia solar implantados no Ceará

De acordo com o Portal Solar (2022, ONLINE), o Estado do Ceará, se destaca na região Nordeste, como um dos pioneiros na geração de energias por fontes renováveis, dentre elas, a energia solar, com todas as suas macrorregiões sendo propícias para a geração desse tipo de energia limpa, onde figuram como principais locais de captação, a capital, Fortaleza, a Região Metropolitana (RMF) e o Sertão Central (PORTAL SOLAR, 2022, ONLINE).

Conforme o Portal Solar (2022, ONLINE) consta nos anais da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que o Estado do Ceará tem uma capacidade instalada potencializada de 22,9 megawatts (MW), o que equivale a 3,6% da matriz energética gerada no estado. Ainda segundo o Portal Solar, o Estado do Ceará, se encontra na 8ª colocação no ranking dos estados brasileiros, na geração de energia solar, sendo que, a capital, Fortaleza, conta com 8,1 megawatts (MW) de potência, o correspondente a 1,3% do total, o que representa a 6ª posição no ranking municipal (PORTAL SOLAR, 2022, ONLINE).

Segundo dados do Portal Solar (2022, ONLINE), no Estado do Ceará, o potencial de geração de energia solar é 30 vezes maior do que toda a capacidade instalada no Brasil, segundo pesquisado pelo portal, os dados divulgados pelo próprio governo do estado, em parceria com a Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), quando foi observado que, o estado possui a capacidade de produção de 1,363 TWh/ano, o que corresponde atualmente, ao dobro da oferta interna de geração de eletricidade por essa modalidade, que o Brasil avaliava, em 2018, que de 636,4 TWh/ano (PORTAL SOLAR, 2022, ONLINE).

De acordo com o Portal Solar (2022, ONLINE), se encontra em 3º lugar, no quesito geração de energia solar, no Nordeste, ficando atrás apenas dos Estados da Bahia e do Piauí, no Brasil, com uma capacidade de geração de matriz energética correspondente a 10% de toda a região. Segundo os dados apurados pelo portal, se continuar ritmo, o Estado do Ceará, até o ano de 2023, multiplicará por quatro vezes, a sua capacidade de geração de energia, através de sistemas fotovoltaicos (PORTAL SOLAR, 2022, ONLINE).

2.4.1 Empreendimentos já licenciados em operação e que irão operar no Estado do Ceará.

De acordo com dados da ANEEL, colhidos pelo Portal Solar (2022, ONLINE), o Estado do Ceará possui uma capacidade instalada de geração de energia solar de 245 MW, somente nas três usinas atualmente em operação no estado ficando atrás apenas do estado da Bahia.

Isso sem falar que o estado possui inúmeras outras usinas de Microgeração de energia solar, com capacidade de 75 MW e de Minigeração, com capacidade de 5 MW a 75 MW, espalhada por todo o estado, sendo em Fortaleza, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Sertão Central, Sertão dos Inhamuns, Região Metropolitana do Cariri, região Metropolitana de Sobral, Tabuleiro de Russas e Vale do Jaguaribe (PORTAL SOLAR, 2022, ONLINE).

E a tendência é de um aumento de um aumento de mais 756,7 MW, de potência gerada, com a implantação de mais usinas de geração de energia solar nos municípios já licenciados pelo Conselho estadual do Meio Ambiente (COEMA) e da Superintendência do Meio ambiente do Estado do Ceará (SEMACE), como são os casos das cidades de Caucaia, com 135 MW; Limoeiro do Norte, com 154,5 MW; Tabuleiro do Norte, com 123,6 MW, Milagres, com 58,9 MW e Mauriti, com 284,7 MW (PORTAL SOLAR, 2022, ONLINE).

Também, de acordo com o Portal Solar (2022, ONLINE), Tais empreendimentos envolvem um investimento de R\$ 1,9 bilhão e sua implementação foi iniciada em julho de 2020, com previsão de entrega entre dezembro de 2021 a junho de 2022, segundo consta nos anais da ANEEL, onde a Agência Reguladora de serviços elétricos do país estipulou um prazo de 30 anos para a exploração do negócio sob regime de produção independente.

3 METODOLOGIA

Foi realizada uma análise concernente a efetividade dos sistemas fotovoltaicos sob a ótica da eficiência energética. Para isso foram comparados dados sobre pessoas físicas e/ou jurídicas que já fizeram investimentos em parques fotovoltaicos em municípios do Sertão Central, como Irauçuba, que estão com áreas degradadas pelo avanço da desertificação, além da capital, Fortaleza e Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

A metodologia utilizada para a produção deste trabalho foi a revisão bibliográfica, juntamente com um estudo de viabilidade econômico-financeiro, além da análise (econômica e ambiental) de uma empresa que possui um sistema fotovoltaico instalado no estado, desde 2014.

3.1 Desenho da pesquisa

Para a obtenção do êxito no que foi proposto seguiu-se o seguinte processo: 1 - o primeiro passo foi a construção de um banco de dados, onde estão contidas as informações referentes à implementação de um sistema fotovoltaico, bem como definição do público alvo, taxas e impostos relacionados à conta de energia, levantamento de orçamentos em diferentes empresas, análise de linhas de financiamento voltadas para a instalação de sistemas fotovoltaicos domésticos dentre outros; 2- o segundo passo, a utilização de conceitos de matemática financeira como, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback (tempo de retorno sobre o investimento) e, por último, a análise de cenários, conhecida como Análise de Sensibilidade e Risco; 3- o terceiro passo, por fim, é o cálculo dessas variáveis e a análise dos resultados.

3.2 Local e participantes da pesquisa

Quanto aos locais, visitamos sedes de algumas empresas que aderiram a implantação de usina geradora em Irauçuba, no Ceará, e unidade consumidora em Fortaleza. Por duas vezes, os pesquisadores Alisson Alves dos Anjos e Victor Sales de Oliveira participaram de visitas guiadas ao município de Irauçuba.

3.3 Coleta e análise de dados

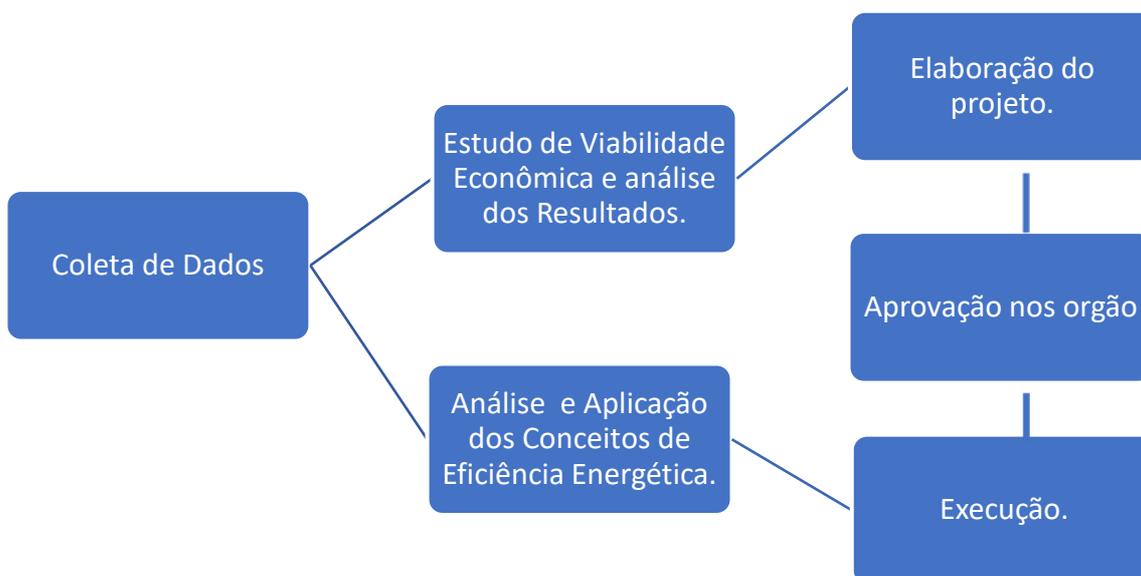
Saliente-se que algumas das dificuldades foram encontradas, no levantamento de dados da pesquisa, como descrito abaixo:

- a) Demora no atendimento: na empresa 1, para adquirir o orçamento nas empresas visitadas foram necessárias, no mínimo, duas visitas. Na empresa 2, as duas visitas não deram resultado, sendo necessário quase um mês para fornecimento do orçamento, que foi enviado por e-mail;
- b) Potência dos Sistemas Fotovoltaicos: os consumidores que possuem consumo de energia elétrica girando em torno de 1,0 MWh terão dificuldades de encontrar um sistema que não seja super dimensionado para seu projeto, sendo necessária a utilização do sistema de compensação de energia ou até o possível declínio na ideia de adquirir o sistema fotovoltaico.

4 CRONOGRAMA

O objetivo principal do trabalho foi o de mostrar o quanto uma pessoa comum precisa em dinheiro para implementar, em sua residência, a fonte renovável que mais se adeque a sua realidade e se essa fonte é sustentável. Para isso, seguiremos as seguintes etapas:

Figura 5 – Cronograma da pesquisa



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se os preços de cada sistema pesquisado, com suas potências e o preço do W para cada sistema citado. A Empresa 3, mesmo com um sistema de maior capacidade, possui um valor final menor quando comparada com a Empresa 2. A Empresa 1 apresenta como vantagem o sistema que atende aos consumidores de menor consumo mensal se comparados com as Empresas 2 e 3.

Tabela 1 - Levantamento de Preços dos Sistemas Fotovoltaicos nas Empresas 1, 2 e 3

Empresas	Capacidade do Sistema	Preço do Sistemas (R\$)	Preço do W (R\$/W)
Empresa 1	1,5 MWp	1.455.000,00	0,97
Empresa 2	2,6 MWp	2.821.000,51	1,08
Empresa 3	3,0 MWp	3.100.000,00	1,03

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Percebeu-se que, desde a criação do Sistema de Net Metering⁸ (Sistema de Compensação de Energia) introduzido pela Resolução Normativa nº 482/2012, aperfeiçoado e ampliado pela Resolução Normativa nº 1.000/2022, a geração distribuída de energia solar fotovoltaica avançou muito em todo o país, e, no Estado do Ceará, não diferente, já que segundo a ANEEL aumentou o número de unidades residências e estabelecimentos de comércios que usam a energia solar no estado.

De acordo com o Anuário Solarimérico ANEEL/2021, no período compreendido entre os meses de janeiro de 2020 a dezembro de 2021 houve um aumento de 4.400 residências e estabelecimento comerciais, que utilizam painéis solares para a produção de energia solar, por intermédio da Geração Distribuída (GD) fazendo com que o número total aumentasse mais do dobro, em ralação ao mesmo período dos anos de 2019/2020 (PORTAL SOLAR, 2022, ONLINE).

Pelo que se percebe, nos últimos anos, em todo o Estado do Ceará o número de residências e estabelecimentos comerciais e industriais, que geram energia solar para o próprio

⁸ O Sistema de Compensação de Energia, também conhecido como Net Metering, permite ao consumidor de mini e microgeração de energia, a obtenção de créditos (em kWh) por eventuais excedentes injetados na rede da concessionária que são descontados de faturas posteriores.

consumo, através do sistema de geração distribuída, mas que dobrou nos últimos anos, o que representou um crescimento acima da média brasileira. Segundo dados colhidos pelo Portal Solar (2022, ONLINE), junto a ANEEL, o segmento de geração distribuída cresceu 172%, no Estado do Ceará, enquanto que no restante do país, esse crescimento foi de 136%.

Viu-se também que, no Estado do Ceará os domicílios domésticos predominam sobre todas as unidades consumidoras, o que representa um percentual de 70%, o que equivale a 7.867 unidades, o setor do comércio, com 21%, ou seja, 2.365 unidades e o percentual restante está dividido igualmente, entre o setor industrial, comunidades rurais e o setor público, de modo geral, com 3° cada. Atualmente, o Estado do Ceará, dos 184 municípios, 178 destes contam com sistemas de geração distribuída somando 11.162 unidades consumidoras, com todo o sistema totalizando uma potência de 245 megawatts (MW), conforme informações da ANEEL, colhidas pelo Portal Solar (2022, ONLINE).

Tabela 2 – Números de unidades consumidoras no estado, por segmento

Segmento	Unidades consumidoras	Municípios	Percentual
Residências	7.867	178	70%
Comércios	2.365	178	21%
Indústrias	310	178	3%
Setor rural	310	178	3%
Setor público	310	178	3%

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Viu-se ainda que, o Estado do Ceará é o 8º colocado no ranking nacional de geração distribuída de energia solar e é também o 2º lugar do Nordeste, perdendo só para a Bahia, que atualmente possui 14.776 unidades consumidoras diversas, conforme informações da ANEEL, colhidas pelo Portal Solar (2022, ONLINE), dentre os municípios cearenses que mais geram energia pelo sistema de geração distribuída encontra-se a capital Fortaleza, com quase um terço de todas as unidades consumidoras do estado, com um total de 3.234 sistemas instalados e em funcionamento.

Por fim viu-se que, segundo informações do Portal Solar (2022, ONLINE), os municípios com maiores destaques em unidades consumidoras do estado são: a) Eusébio (na RMF), com 688 unidades; b) Juazeiro do Norte (no Cariri), com 593 unidades; c) Iguatu (no Cariri), com 457 unidades e d) Aquiraz (na RMF), com 207 unidades. Fortaleza, ainda se destaca dos outros municípios, pelo fato de ter um total de 37 MW de potência instalada, pelo

sistema geração distribuída estando na 4ª posição do ranking nacional ficando atrás apenas de Uberlândia (MG), com 48,6 MW, Cuiabá (MT), com 43,4 MW e Rio de Janeiro, com 37,1 MW.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo versou sobre o desenvolvimento de um sistema de geração de sistemas fotovoltaicos ligados à rede da concessionária de distribuição de energia, tanto nas áreas fortemente degradadas e com grandes riscos de desertificação como também e sua aplicação em Fortaleza e Região Metropolitana de Fortaleza, no setor industrial, em função da disponibilidade do recurso solar local, com baixo custo de instalação, através do sistema fotovoltaico e com a implantação de micro e mini geração com potência de 5 MW de Geração Distribuída (GD).

Sabe-se que, as energias de fontes intermitentes tornaram-se medidas necessárias para solucionar os problemas que o alto investimento inicial, para a geração distribuída das fontes renováveis de energia possui atualmente. Através do desenvolvimento de altas tecnologias em equipamentos modernos, a cada dia esse custo vem reduzindo ano após ano, dado as pesquisas e avanços tecnológicos, o que tem barateado os custos de instalação e aumentado a capacidade de geração da energia solar,

Dessa forma, as fontes de energias renováveis tendem a tornar-se ainda mais competitivas que as fontes não renováveis, se for levado em consideração os aspectos atuais de busca por soluções eficientes para resolver problemas em escala global por meio do crescimento da demanda por energia limpa, perene e inesgotável, como a solar, do aperfeiçoamento do uso de recursos naturais e redução gradual dos impactos ambientais.

A conversão das fontes de energias não renováveis por fontes de geração solar tornou-se, nos tempos atuais, uma realidade cada vez mais plausível, ante a matriz energética atual nacional, de fontes renováveis, mas que custam muito caro, além da degradação ambiental, caso da geração de energia pelas usinas hidrelétricas.

As opções por geração de energia por fontes renováveis, limpas e inesgotáveis, como a solar vêm crescendo de forma bastante significativa no país e no estado e tem um enorme potencial de crescimento futuro se for levado em consideração os impactos ambientais negativos, causados por fontes não renováveis e os gastos com sua manutenção, já que, as energias renováveis contínuas tornaram-se a melhor opção de investimento para ampliação da oferta de matriz elétrica.

A região do Nordeste brasileiro e o Ceará, em particular tem se destacado na implantação das fontes de energia solar. Destarte apresenta-se como coadjuvante na transição energética para fontes de geração de energia renovável e perene. Com os dados apresentados é possível concluir que as fontes de geração de energia solar, através da geração distribuída

possuem grande chance de se tornar uma fonte substituta das fontes de energia elétrica não renovável, dentro da matriz elétrica nacional.

De maneira mais específica, quando falamos do Nordeste, o Ceará se destacou nesse setor de geração de energia solar, pois, atualmente desponta como o 8º lugar no ranking nacional e o 2º lugar no Nordeste brasileiro. Para que as fontes renováveis intermitentes ganhem lugar de protagonista na transição energética faz-se necessário um comprometimento dos governos estaduais e federal em termos de fornecer incentivos e fomento para o desenvolvimento de estudos na área.

Sendo assim é necessário que seja feito reforços nas redes de transmissão para escoamento da energia produzida, realizar diagnóstico de localidades, com melhor potencial para instalação dos parques e usinas solares, verificação do potencial de geração de fontes solares dados níveis de radiação solar, mapas georreferenciais da economia e da infraestrutura dos locais de instalação.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica**. Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE. Rio de Janeiro, 2016. p.13.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST - Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição - Seção 3.7: Acesso de micro e minigeração distribuída (Revisão 7 - 14/12/2014)**. Brasília. 2014. p. 07.

BANDEIRA, F. P. M. **O aproveitamento da energia solar no Brasil – Situação e perspectivas**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2012.

ENERGIA solar fotovoltaica no Ceará. **Portal Solar**, s.d. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-no-ceara>. Acesso em: 16 abr. 2022.

KONZEN, G.; ANDRADE, G. N. O Efeito de uma Tarifa Binômica no Retorno Financeiro da Microgeração Fotovoltaica. *In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016, Belo Horizonte. Anais*, Belo Horizonte, 2016. p. 07.

LEITE, A. M. Impacto Ambiental das Usinas Hidrelétricas. *In: Semana do Meio Ambiente, 2, 2005, São Paulo. Anais*, São Paulo, 2005. p. 38.

LOSEKANN, L.; HALLACK, M. **Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2018.

MATAVELLI, A. C. **Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas**. Monografia (graduação em engenharia química), à Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Lorena, 2013.

MATRIZ energética brasileira: fique por dentro de sua evolução ao longo dos anos. **Além da energia**, 2022. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/matriz-energetica-brasileira>. Acesso em: 25 abr. 2022.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico – dezembro de 2016**. Brasília: MME, 2017. p. 6.

MONTENEGRO, A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. Dissertação (mestrado em engenharia civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Monografia (especialização em fontes alternativas de energia), Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

NETO, A. B. M.; NUNES, G. B.; SILVA, M. A. Uso de painéis solares e sua contribuição para preservação do meio ambiente. **Bolsista de Valor, Instituto Federal Fluminense**, n.1, p. 157-161, 2013.

SANTOS, W. S. Nordeste e sua disponibilidade para o consumo sustentável através de energias renováveis. *In: Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 7, 2015, São Cristóvão. Anais eletrônicos*. São Cristóvão, 2015. p. 405-413. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7825/2/NordesteDisponibilidadeEnergiasRenovaveis.pdf>
Acesso em: 23 mar. 2022.

SILVA, R. M. **Energia Solar**: dos incentivos aos desafios. **Texto para discussão**, Brasília, n.166, p. 14, 2015.

TAVARES, M. Aprendendo sobre o Sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 78-82, 2000.