**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA**

**CAMPUS MONTEIRO**

**CST EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**

**FRANCISCO MATHEUS DE PAIVA SOUSA**

# ANÁLISE DE CARACTERISTICAS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM EDIFICACÕES RESIDENCIAIS

**MONTEIRO – PB**

**2022**

**FRANCISCO MATHEUS DE PAIVA SOUSA**

# ANÁLISE DE CARACTERISTICAS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM EDIFICACÕES RESIDENCIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Monteiro, como pré-requisito para obtenção do Título de Tecnólogo em Construção de Edifícios, orientado pelo Prof. Whelson Oliveira de Brito.

**MONTEIRO- PB**

**2022**

**FRANCISCO MATHEUS DE PAIVA SOUSA**

**ANÁLISE DE CARACTERISTICAS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM EDIFICACÕES RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC**)** apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Monteiro, como pré-requisito para obtenção do Título de Tecnólogo em Construção de Edifícios, orientado pelo Prof. Whelson Oliveira de Brito.

Aprovado em 09 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mestre. Whelson Oliveira de Brito (Orientador - IFPB)

Prof. Doutor. Wamberto Raimundo da Silva Júnior (Examinador – IFPB)

Prof. Especialista. Adri Duarte Lucena (Examinador – IFPB)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP
Bibliotecária responsável Daiana da Silva Amaral, coordenadora substituta campus Monteiro, Portaria Nº 090/2015.

S725a Sousa, Francisco Matheus de Paiva.

Análise de características da energia solar fotovoltaica em edificações residenciais / Francisco Matheus de Paiva Sousa. - Monteiro - PB. - 2022.
40fls. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia IFPB Campus Monteiro.

Orientador: Profº. Msc. Whelson Oliveira de Brito.

Energia-natural; fotovoltaica; irradiação-solar. I. Título.

CDU 620.91

Dedico este trabalho, ao meus pais por todo apoio em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado e capacitar durante toda esta trajetória.

Aos meus pais Gilvan e Madalena e as meus irmãos Júnior e Iara, por todo o carinho e apoio para que eu pudesse chagar à conclusão do curso.

Ao meu orientador Prof. Me. Whelson Oliveira de Brito, pela disponibilidade e ensinamentos durante essa etapa tão importante da minha graduação.

A todos professores que com toda dedicação e competência souberam transmitir os seus conhecimentos. Aos meus colegas e demais servidores do IFPB Campus Monteiro que fizeram parte desta trajetória, muito obrigado por todos.

Agradeço a Essol Energia Solar pelo compartilhamento das informações necessárias para realização deste estudo.

E por fim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte desta etapa decisiva em minha vida.

## RESUMO

Atualmente, o uso da energia elétrica tornou-se essencial na vida do ser humano, e também contribui para o desenvolvimento socioeconômico. Diante do cenário que vivemos com os baixos níveis dos reservatórios que é a principal fonte de geração de energia elétrica do Brasil, a partir desse cenário de escassez hídrica, o governo acaba acrescentando bandeiras tarifarias na conta de energia, onde gera um acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade. Diante disso a energia solar fotovoltaica se torna uma alternativa para complementar a matriz elétrica brasileira. O Brasil apresenta altos índices de irradiação solar em maior parte do seu território durante todo o ano, possibilitando uma geração limpa e sustentável. Diante deste contexto foi realizada uma pesquisa na cidade de Monteiro no cariri Paraibano, com proprietários de sistemas fotovoltaicos, em três residências com padrões de consumo diferentes, onde essa pesquisa teve como objetivo verificar a viabilidade técnica e econômica do sistema de energia solar fotovoltaica. Considerando um período de vida útil de um sistema de energia solar como sendo estimado em 25 anos, os resultados se demonstraram bastantes satisfatórios em relação ao período de retorno do investimento.

**Palavras-chaves:** Energia solar fotovoltaica, Irradiação solar, Residência.

## ABSTRACT

Currently, the use of electricity has become essential in human life, and also contributes to socioeconomic development. Given the scenario that we live with the low levels of reservoirs that is the main source of electricity generation in Brazil, from this scenario of water shortage, the government ends up adding tariff flags on the energy bill, which generates an increase in the value of energy to be passed on to the final consumer, depending on the conditions of electricity generation. Therefore, photovoltaic solar energy becomes an alternative to complement the Brazilian electricity matrix. Brazil presents high solar irradiation indexes in most of its territory throughout the year, enabling a clean and sustainable generation. In view of this context a research was carried out in the city of Monteiro in the cariri Paraibano, with owners of photovoltaic systems, in three residences with different consumption patterns, where this research aimed to verify the technical and economic feasibility of the photovoltaic solar energy system. Considering a useful life of a solar energy system as being estimated at 25 years, the results proved to be quite satisfactory in relation to the payback period of the investment.

**Keywords:** Photovoltaic solar energy, Irradiation solar, Residence.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA – International Energy Agency

MME - Ministério de Minas e Energia

PRS - Período de Retorno Simples

# SÍMBOLOS

GWh – Gigawatt - hora

$Km^2$ - Quilômetro Quadrado

kW – Kilowatt

$kWh/m^2$ - Quilowatt-hora por metro quadrado

$kWh/m^2/dia$ - Quilowatt-hora por metro quadrado dia

kWh/Mês – Quilowatt-hora por mês

kWp – Quilowatt pico

Mtep - Milhões Toneladas Equivalente de Petróleo

MW – Megawatt

# LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte .....19
Gráfico 2 - Consumo de eletricidade nas residências .....20
Gráfico 3 - Evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil .....21
Gráfico 4 - Capacidade Instalada de Mini e Micro Geração Distribuída no Nordeste24
Gráfico 5 - Estimativa de Produção Mensal Residência 1.....32
Gráfico 6 - Estimativa de Produção Mensal Residência 2.....32
Gráfico 7 - Estimativa de Produção Mensal Residência 3.....33

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação Capacidades Instalada das Fontes no Parque Gerador (GW) ..23
Tabela 2 - Irradiação solar média anual para algumas cidades do estado da Paraíba .....26
Tabela 3 - Irradiação Solar no Plano Inclinado Monteiro – PB .....29
Tabela 4 - Dados do sistema da residência 1 .....30
Tabela 5 - Dados do sistema da residência 2 .....30
Tabela 6 - Dados do sistema da residência 3 .....31
Tabela 7 - Economia Anual (R$) das três residências .....34
Tabela 8 - Período de Retorno Simples (anos) das três residências .....35

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Energética Mundial 2021 ..... 15
Figura 2 - Crescimento da Geração Energia Solar ..... 17
Figura 3 - Mapa brasileiro de irradiação solar global horizontal média anual ..... 22
Figura 4 - Total Anual da Irradiação no Plano Inclinado na Latitude – Média Anual . 25
Figura 5 - Abrangência do Semiárido Brasileiro ..... 25
Figura 6 - Residência em Monteiro – PB ..... 28
Figura 7 - Localização Geográfica da cidade de Monteiro – PB ..... 29

# Sumário

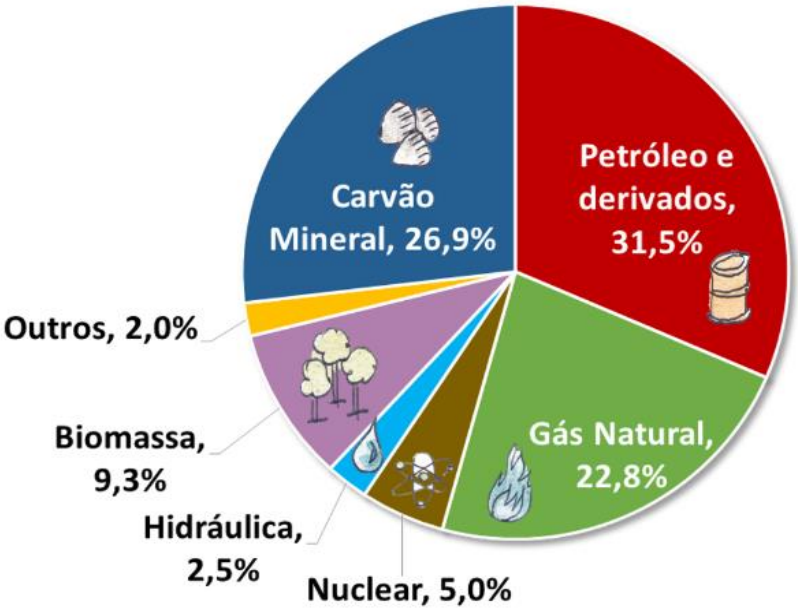
**1. INTRODUÇÃO ..... 15**
1.1. JUSTIFICATIVA ..... 16
1.2. OBJETIVOS ..... 17
1.2.1. OBJETIVOS GERAIS ..... 17
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 17
1.3. METODOLOGIA ..... 18
**2. FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA ..... 19**
2.1. CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO ..... 19
2.2. EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL ..... 20
2.3. EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA PARAIBA ..... 23
**3. MATERIAIS E MÉTODOS ..... 27**
3.1. CARACTERÍSTICAS DAS EDIFICAÇÕES ..... 27
3.2. ÁREA PARA A INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS ..... 27
3.3. LOCALIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR ..... 28
**4. RESULTADOS OBTIDOS ..... 30**
4.1. ARRAJOS DOS CONJUTOS DOS MÓDULOS DE CADA RESIDÊNCIA ..... 30
4.2. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO MENSAL ..... 31
4.3. ANÁLISE ECONOMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ..... 34
**5. CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 36**
**6. REFERÊNCIAS ..... 37**

# 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o uso da energia elétrica tornou-se essencial na vida do ser humano, e também contribui para o desenvolvimento socioeconômico. A matriz energética mundial é composta por várias fontes primárias, dentre as quais destacam-se petróleo, gás natura, carvão mineral, urânio, energia elétrica, energia solar, energia eólica, além da energia proveniente da biomassa (TORRES, 2012). As quatro primeiras fontes citadas, são fontes não renováveis e dispõem de reservas limitadas. Torna-se, pois, necessário o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis bem como uma utilização eficiente das tecnologias atuais (SILVA, 2012).

De acordo com a mostrado na Figura 1, retirado da Agência Internacional de Energia, o mundo possui uma matriz energética composta, principalmente, por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural.

Figura 1 - Matriz Energética Mundial 2021




Fonte: (IEA, 2021).

Segundo o Balanço Energético Nacional a matriz energética do Brasil é muito diferente da mundial. Apesar do consumo de energia de fontes não renováveis no mundo ser maior do que a renováveis, no Brasil usamos mais fontes renováveis que no resto do mundo. O Brasil é privilegiado por estar localizado em uma região onde sua maior parte do território favorece para a geração de energia solar fotovoltaica.

Com altos níveis de radiação solar em grandes extensões, o Brasil é um dos países com condições mais adequadas para o uso de energia solar (SILVA et al., 2011).

Dentre as energias renováveis que vem apresentando um afetivo crescimento mundial nas últimas décadas, está a energia solar fotovoltaica, por possibilitar a geração de energia elétrica de forma distribuída, não necessitando, portanto, de extensas linhas de transmissão e distribuição, por ser uma fonte silenciosa, que possibilita a instalação de sistemas de diferentes potências e ainda por integrar-se à edificações no meio urbano, sem necessidade de áreas extras para sua instalação (Rüther,2004).

Segundo o Ministério de Minas e Energia, nos últimos três anos, o crescimento da energia solar centralizada (gerada por grandes usinas) foi de 200%, enquanto que a solar distribuída (pequenas centrais de geração) passou de 2.000%. Só em 2020, a capacidade instalada em energia solar fotovoltaica cresceu 66% no país.

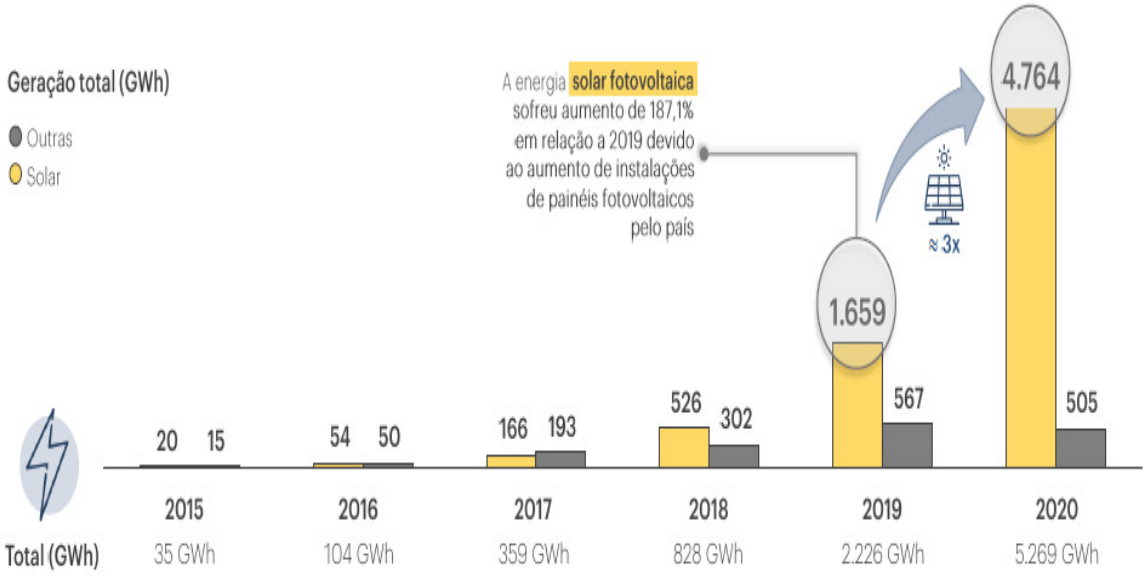
## 1.1 JUSTIFICATIVA

Diante do cenário que vivemos com os baixos níveis dos reservatórios que é a principal fonte de geração de energia elétrica do Brasil, segundo dados BEN (Balanço Energético Nacional) cerca de 65,2% da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas. Com esse cenário de escassez hídrica, o governo acaba acrescentando bandeiras tarifarias na conta de energia, onde gera um acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade.

Perante esse cenário de escassez hídrica, a energia solar fotovoltaica se torna uma alternativa para complementar a matriz elétrica brasileira. O Brasil possui altos níveis de radiação solar, podendo se tornando uma grande potência em gerar eletricidade a partir do sol. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² no país. A partir desses fatores que contribui para a geração de energia solar, os números de instalações desse sistema de geração de energia vêm crescendo como mostra a Figura 2.

De acordo com a mostrado na Figura 2, retirado do Balanço Energético Nacional, realizado pela EPE, nota-se que a energia solar fotovoltaica vem crescendo devido ao aumento de instalações de painéis fotovoltaicas pelo país.

Figura 2 - Crescimento da Geração Energia Solar




Fonte: (BEN, 2021).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

O principal objetivo desse trabalho é avaliar as características da energia solar fotovoltaica em edificações, com o intuito de verificar a viabilidade técnica e econômica desse sistema de geração de energia.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mostrar os aspectos da evolução da energia solar fotovoltaica.
- Avaliar fatores que contribui para a geração de energia solar fotovoltaica no Estado da Paraíba.

## 1.3 METODOLOGIA

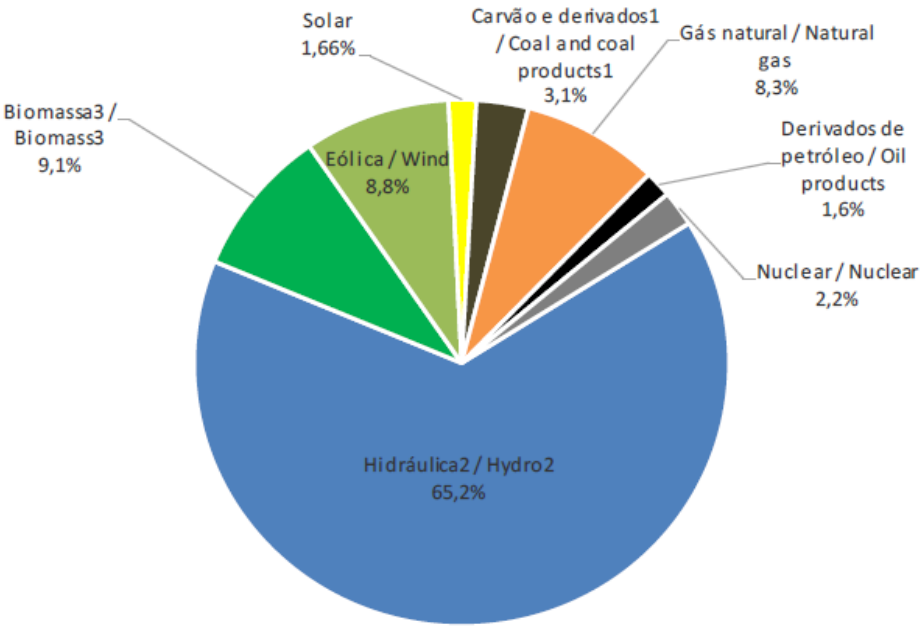
Para alcançar os objetivos propostos, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre o tema, onde foram coletadas informações a partir da leitura de revisão bibliográfica da literatura, consistindo de livros científicos, teses, dissertações, normas, sites e documentos governamentais, sobre os conceitos da energia solar fotovoltaica com a finalidade de descobrir as características e os aspectos evolutivo desse sistema.

# 2. FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA

## 2.1 CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

A oferta de energia no Brasil no ano de 2020, atingiu 287,6 Mtep, registrando uma queda em relação ao ano anterior. Segundo o Balanço Energético Nacional, o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que corresponde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 84,8% da oferta interna de eletricidade no Brasil. Como pode ser visualizado no Gráfico 1.

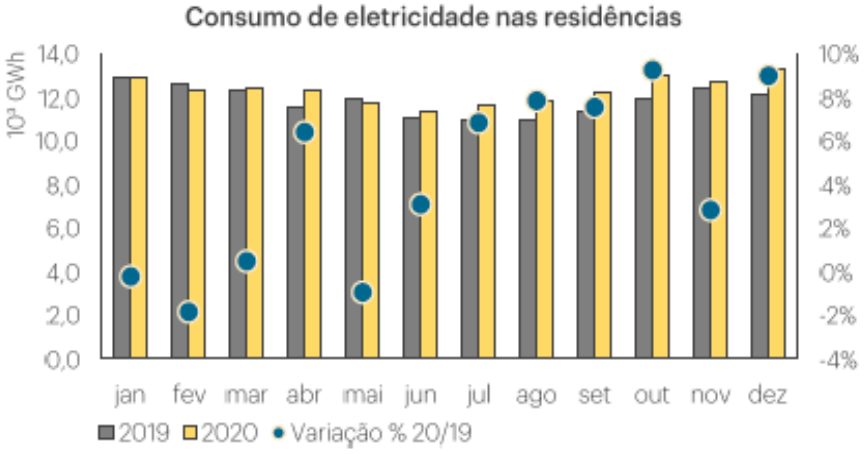
Gráfico 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte




Fonte: (BEN, 2020).

O consumo de energia elétrica no ano de 2020 no setor industrial e o transporte de carga e de passageiros, responde por aproximadamente 63% do consumo de energia do país. O setor residencial, por sua vez, apresentou um crescimento de 3,4% de 2019 para 2020, essa variação foi reflexo das medidas de distanciamento social causado pela pandemia da covid-19.

Gráfico 2 - Consumo de eletricidade nas residências




Fonte: (MME, 2020).

No setor residencial, a combinação dos fatores afastamento do trabalho, home office, auxilio emergencial e aquisição de eletrodomésticos para o aumento do conforto nas residenciais provocou o aumento de taxas de variação de consumo de eletricidade em relação a 2019 (MME,2020).

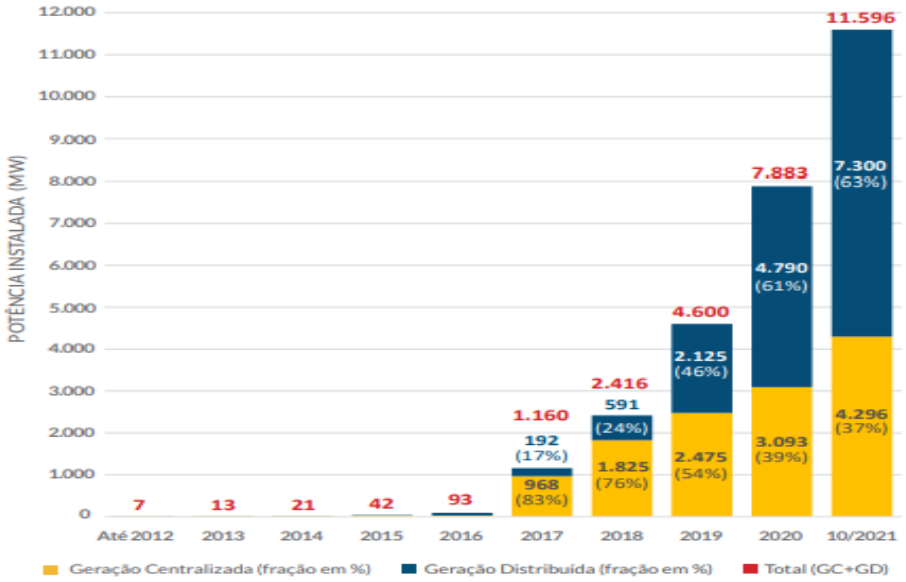
## 2.2 EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Um grande marco para a evolução da energia solar fotovoltaica em residências no Brasil aconteceu em 2012, quando houve a criação da Resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica. Onde essa resolução contribuiu para o avanço dos sistemas de geração distribuída local, além de apresentar um sistema de compensação de créditos aos consumidores.

A resolução 482 da ANEEL permiti aos consumidores realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica, sistema que compensa o consumidor pela energia elétrica injetada na rede. Quando o sistema solar gera menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica (RÜTHER,2004).

A partir dessa resolução pode observar o crescimento da evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil do ano de 2012 até 2021 no Gráfico 3 a seguir.

Gráfico 3 - Evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil



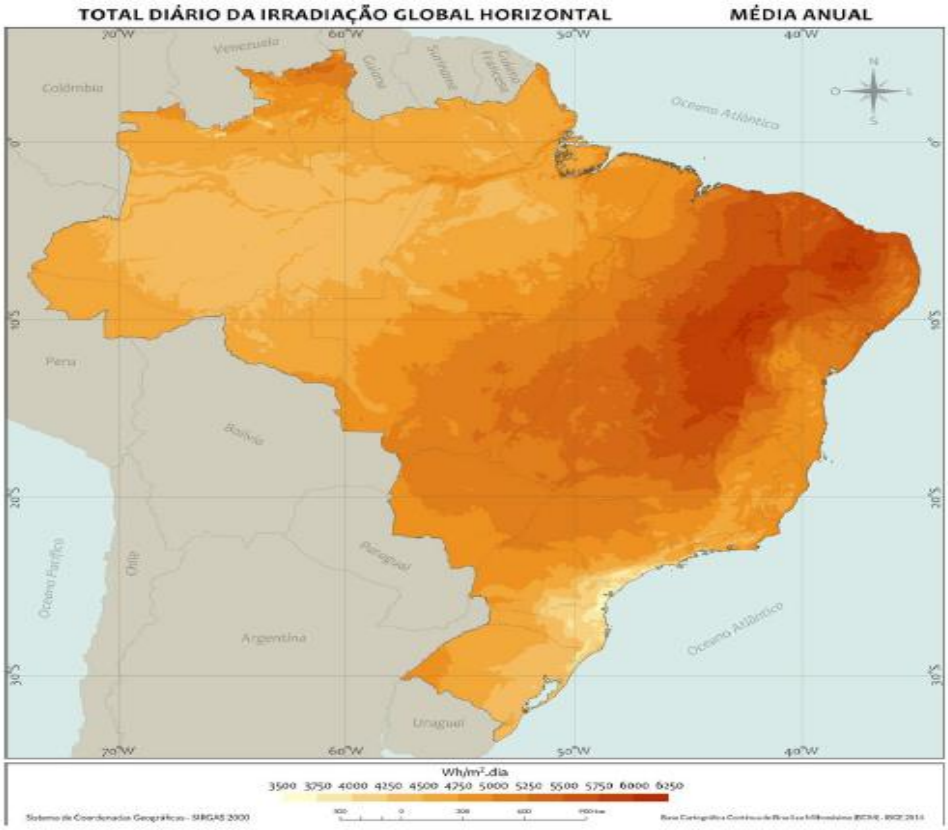

Fonte: (ANEEL/ABSOLAR, 2021).

Em 1º de março de 2016, com a REN 687/2015, a ANEEL revisou a regulamentação e estendeu a abrangência dos telhados solares para os conceitos de condomínio, consórcio, cooperativa e também autoconsumo remoto. Esta resolução é de suma importância para o setor residencial, pois pode resolver o problema da não coincidência temporal entre geração e consumo, já que os sistemas fotovoltaicos geram energia elétrica durante as horas de sol e o maior consumo da classe residencial é registrado à noite (TORRES, 2012).

Outro fator importante a ser destacar especificamente no Brasil para evolução da geração de energia através do sol, é que o Brasil é privilegiado também em termos de radiação solar. O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial de energia solar durante todo ano (MARTINS, 2004). Em relação à disponibilidade de recursos naturais, a posição do Brasil é vantajosa, tornando-se um desafio considerável assegurar a sustentabilidade dos recursos a serem explorados (PEREIRA JR. et al., 2011).

De acordo com a mostrado na Figura 3, retirado do Atlas Brasileiro de Energia Solar, a irradiação global anual pode ser medida em kWh/m² e varia de acordo com as regiões do país.

Figura 3 - Mapa brasileiro de irradiação solar global horizontal média anual




Fonte: (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1.500 – 2500 kWh/m²) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900 – 1.250 kWh/m²), França (900 – 1.650 kWh/m²) e Espanha (1.200 – 1.850 kWh/m²), onde há fortes incentivos governamentais para a implementação de projetos que aproveitem os recursos solares (PERREIRA et al.,2006).

Diante desses fatores que contribui citados acima, a energia solar fotovoltaica vem ganhando representatividade no cenário energético brasileiro. Segundo o BEN em 2020 a micro e mini geração distribuída atingiu 5.269 GWh com uma potência instalada de 4.768 MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 4.764 GWh e 4.635 MW de geração e potência instalada respectivamente.

De acordo com a mostrado na Tabela 1, retirado do Balanço Energético Nacional, dentre as fontes a energia solar fotovoltaica apresentou maior destaque variação capacidades instaladas.

Tabela 1 - Variação Capacidades Instalada das Fontes no Parque Gerador (GW)

| Fonte | 2019 | 2020 | Δ20/19 |
|---|---|---|---|
| Hidrelétrica | 109.058 | 109.271 | 0,2% |
| Térmica² | 41.219 | 43.057 | 4,5% |
| Eólica | 15.378 | 17.131 | 11.4% |
| Solar | 2.473 | 3.287 | 32,9% |
| Nuclear | 1.990 | 1.990 | 0,0% |
| **Capacidade disponível** | **170.118** | **174.737** | **2,7%** |

Fonte: (BEN, 2020).

Como mostra a Tabela 1, a capacidade em 2020 mostra o papel da energia solar fotovoltaica na expansão desse segmento de geração de energia. A busca por novas alternativas para a geração de energia, no caso a energia solar (MARINOSKI et al., 2004) torna-se necessária para o favorecimento do estabelecimento de energia, diversificando a matriz energética e auxiliando na demanda crescente por energia (RÜTHER et al., 2008).

## 2.3 EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA PARAIBA

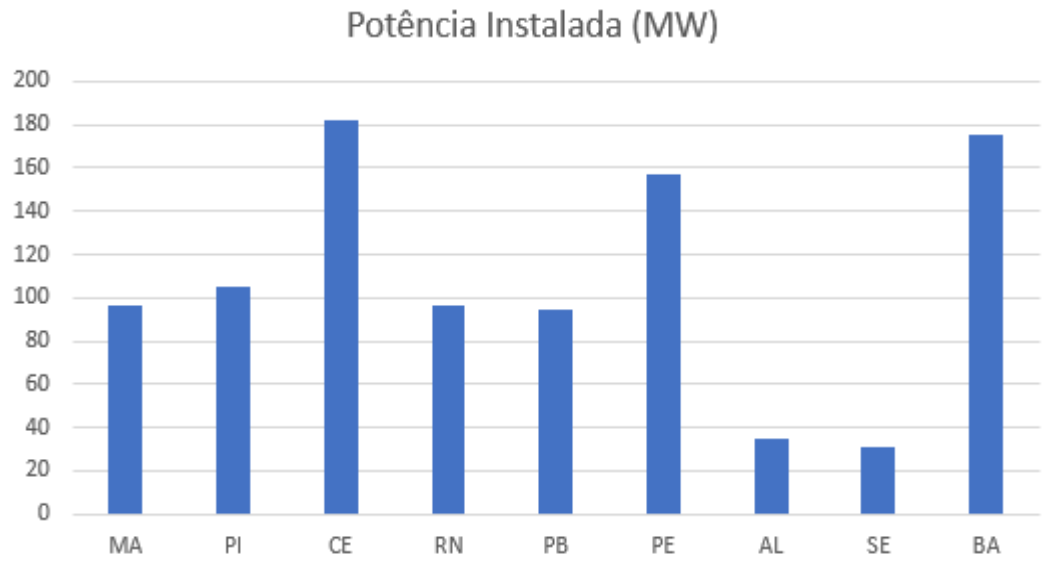
Com uma área de 56.585 km² e uma população de 3,944 milhões de habitantes, o estado da Paraíba, localizada na região Nordeste do Brasil, apresenta uma das condições mais favoráveis para a captação de energia solar, uma vez que apresenta cerca de 5,7 KWh m²/dia (XAVIER, 2015), considera-se que a Paraíba, principalmente na região oeste do estado possui radiação comparável às melhores regiões do mundo.

O primeiro sistema fotovoltaico distribuído do estado foi colocado em operação em maio de 2014 na cidade de Patos, regional Oeste (PEQUENO, 2018). Entre todas as regiões brasileira, a Paraíba também se destaca em irradiação solar, apesar do bom desempenho a Paraíba ainda não se destaca no cenário nordestino em geração de energia solar fotovoltaica, onde grande parte da produção do Nordeste vem dos estados do Ceará, Bahia e Pernambuco, respectivamente 182,2

MW, 175 MW e 157,4 MW de capacidade instalada, enquanto que no estado da Paraíba gera menos que 95 MW (ANEEL, 2021).

Segundo a ANEEL (2021) o Estado da Paraíba é responsável por cerca de 9,7% da energia fotovoltaica distribuída gerada no Nordeste. Como pode ser visto no Gráfico 4, que mostra a potência instalada nos estados do Nordeste.

Gráfico 4 - Capacidade Instalada de Mini e Micro Geração Distribuída no Nordeste

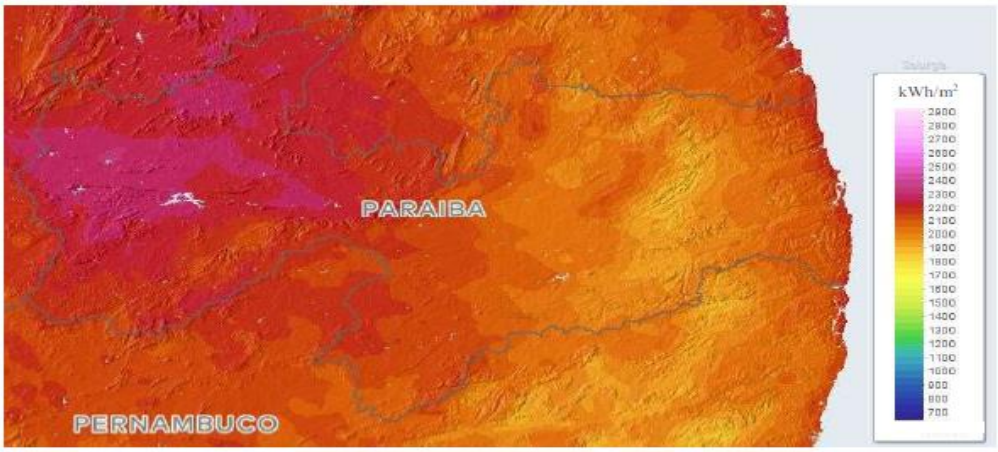



Fonte: (ANEEL/ABSOLAR, 2021).

Quanto à geração distribuída, considerando dados da ANEEL (2021), é possível identificar a potência instalada de 94,7 MW no Estado, que é cerca de 9,73% da energia fotovoltaica distribuída gerada no Nordeste, ficando apenas a frente de Alagoas e Sergipe, cada um estado com 35 MW e 30,9 MW respectivamente.

Com mostra a Figura 4 retirada do Atlas Solar Global, observa-se que o estado da Paraíba possui alto potencial, principalmente a região oeste do estado para instalação de sistemas fotovoltaicos. Apesar desse fator que contribui para o crescimento da geração de energia solar, a Paraíba ainda continua inferior quando comparado com o restante do nordeste brasileiro.

Figura 4 - Total Anual da Irradiação no Plano Inclinado na Latitude – Média Anual

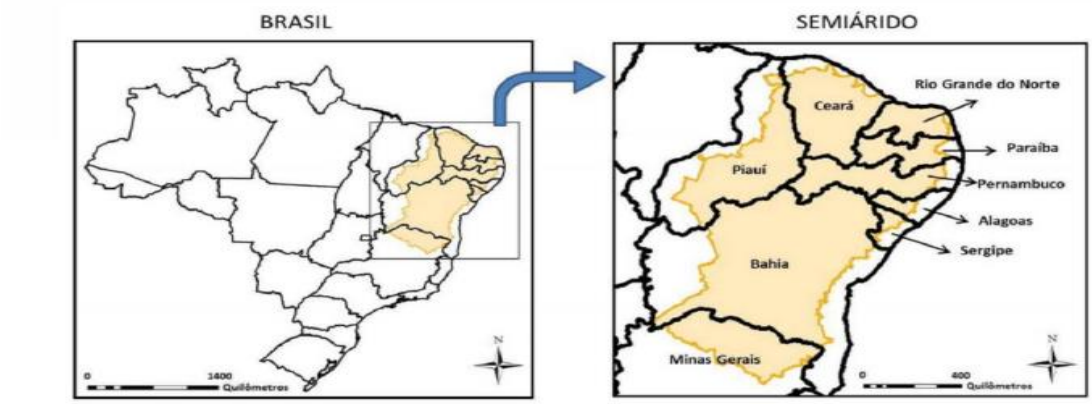



Fonte: (SOLARGIS, 2018).

Segundo DUTRA (2020), o nordeste brasileiro, de maneira geral, é a parte do território nacional que apresenta as características mais favoráveis à implementação da tecnologia fotovoltaica.

A maior parte do território do paraibano está inserido no semiárido brasileiro que possui altos índice de radiação solar, como pode ver na Figura 5. A Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF, 2017) aponta o semiárido nordestino como uma região tecnicamente viável para implementação de sistemas de energia solar, já que seu índice de radiação solar é de 11.400 MW/ano, valor próximo da potência instalada da Usina Hidrelétrica de Itaipu (12.600 MW).

Figura 5 - Abrangência do Semiárido Brasileiro




Fonte: (ROSA, 2013).

Um estudo realizado por (Trindade et al.,2012) analisou a irradiação solar incidente nas cidades paraibanas de Campina Grande, Guarabira, João Pessoa,

Patos, e Sousa e foi constatado que, entre os meses de outubro a dezembro, todas as cidades consideradas apresentam irradiação superior a 6 kWh/m²/dia, destacando-se as cidades de Patos com 6,88 kWh/m²/dia, seguida de Sousa com 6,65 kWh/m²/dia e João Pessoa com 6,61 kWh/m²/dia. DUTRA (2020), ainda afirma que tendo isso em vista, percebe-se que a Paraíba, e em especial o oeste do estado, apresenta potencial para se tornar protagonista na evolução dos sistemas solares fotovoltaicos no país.

Segundo (CANTO, 2018), o município de Sousa já gera 2,5 vezes mais energia elétrica através da conversão fotovoltaica que a capital João Pessoa. Na Tabela 2 pode-se observar os valores de irradiação solar média anual no plano inclinado para as cidades da Paraíba que concentram a maior parte dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Tabela 2 - Irradiação solar média anual para algumas cidades do estado da Paraíba

| Cidade | Irradiação média anual (kWh/m²) |
|---|---|
| Campina Grande | 2050 |
| João Pessoa | 2150 |
| Patos | 2250 |
| Sousa | 2250 |

Fonte: (PEREIRA et al., 2017).

Os setores residencial e comercial são responsáveis por 74% da geração de energia solar no estado da Paraíba. Do total instalado na Paraíba até 2017, a maior parte da energia provém dos setores residencial (594,65 Kw) e comercial (500,07 Kw) representado respectivamente cerca de 40% e 34%, enquanto que o restante se divide entre os setores industrial, rural e do poder público (CAVALCANTE, 2018).

Apesar de todos esses fatores que contribui para a geração da energia solar fotovoltaica, existi algumas barreiras que impedem a disseminação ainda maior desse sistema no estado. Embora a Paraíba apresente condições climatológicas favoráveis, a viabilidade de um sistema leva em consideração muitos outros fatores, a exemplo podemos citar o preço da tarifa de energia cobrada pela distribuidora local, custo do ICMS e o tempo de retorno do capital investido (CAVALCANTE, 2018).

# 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capitulo apresenta-se os materiais e métodos adotados para o levantamento dos dados que serviram para a realização desta pesquisa, estes dados necessários para a realização deste estudo, foram coletados durante os meses de setembro e novembro de 2021. Este trabalho foi conduzido por meio de pesquisa realizada a partir de levantamentos de artigos científicos, dissertações, teses, livros relacionados ao tema e além disso, foi realizada uma pesquisa com os proprietários de sistemas fotovoltaicos residenciais e empresas do ramo. O estudo teve como objetivo verificar a viabilidade técnica e econômica de sistemas de energia solar fotovoltaica localizados em Monteiro no cariri Paraibano.

## 3.1 CARACTERÍSTICAS DAS EDIFICAÇÕES

As edificações onde foram feitas a coleta dos dados, são casas com apenas pavimento térreo, as residências possuem telhados constituído por linha, caibro, ripa e telha cerâmica, onde são instalados os módulos fotovoltaicos. As casas não apresentam nenhuma redução por causa de sombreamento, por se encontrar em uma região que a maioria das edificações possuem altura similares.

## 3.2 ÁREA PARA A INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS

De acordo com os telhados das edificações analisadas, verifica que a instalação dos painéis fotovoltaicos consume em média 15 m² para a instalação de 8 painéis de 340 W. Onde foi verificado que as residências não apresentam áreas com sombreamentos que pudessem comprometer o desempenho do sistema. Como pode ser visto na Figura 6, imagem fornecida pela Essol Energia Solar, de uma das residências analisadas em Monteiro - PB.

Figura 6 - Residência em Monteiro – PB

Fonte: Essol Energia Solar.

A instalação dos módulos fotovoltaicos nos telhados como pode ser visto na Figura 6, os módulos fotovoltaicos são fixados sobre o telhado, através do uso de uma estrutura metálica, mantendo o telhado que continuará a desempenhar a função de escoamento das águas. Segundo (TORRES, 2012) o espaço entre a superfície do modulo e a cobertura do telhado não deve ser muito grande, apenas o suficiente para permitir a eficaz ventilação do telhado e evitar que as folhas fiquem presas, podendo desta forma, obstruir o escoamento das águas da chuva.

## 3.3 LOCALIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR

Os níveis de irradiação solar diária média anual das residências analisadas apresentam mesmo níveis, pois todas as casas analisadas para esse trabalho se encontram na cidade de Monteiro que está localizada no Cariri Paraibano, possuindo as seguintes coordenadas geográfica: latitude 7° 53’ 20’’ Sul e longitude: 37° 7’ 12’’ Oeste.

Figura 7 - Localização Geográfica da cidade de Monteiro – PB

Fonte: (Google Maps, 2021).

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios mensais registrados na cidade de Monteiro, considerando o plano inclinado. Como pode observar na tabela 3 o mês de junho apresenta menor irradiação solar em relação os outros meses.

Tabela 3 - Irradiação Solar no Plano Inclinado Monteiro – PB

| Inclinação | Irradiação solar diária mensal [kWh/m² .dia] | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média |
| 0° N | 6,30 | 6,13 | 6,15 | 5,70 | 4,90 | 4,40 | 4,56 | 5,31 | 6,28 | 6,51 | 6,78 | 6,43 | 5,79 |
| 8° N | 5,99 | 5,96 | 6,15 | 5,89 | 5,19 | 4,71 | 4,85 | 5,55 | 6,36 | 6,38 | 6,46 | 6,07 | 5,80 |
| 5° N | 6,12 | 6,03 | 6,16 | 5,83 | 5,09 | 4,60 | 4,75 | 5,47 | 6,35 | 6,44 | 6,59 | 6,21 | 5,80 |
| 24° N | 5,16 | 5,39 | 5,88 | 5,99 | 5,54 | 5,12 | 5,23 | 5,76 | 6,24 | 5,85 | 5,60 | 5,14 | 5,58 |

Fonte: (CRESESB, 2021).

# 4. RESULTADOS OBTIDOS

## 4.1 ARRAJOS DOS CONJUTOS DOS MÓDULOS DE CADA RESIDÊNCIA

Para a realização deste trabalho, foram analisadas residências com padrões de consumos diferentes, conforme a geração de cada sistema apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6 fornecidas pela Essol Energia Solar, que a partir desses dados foi feita uma comparação se o sistema fotovoltaico se torna viável para diferentes classes de consumos.

Tabela 4 - Dados do sistema da residência 1

| Residência 1 | |
|---|---|
| N° de Módulos | 6 módulos de 335W |
| Área (m²) | 12m² |
| Geração | 270 kWh/mês |
| Inversor (Wp) | RENOVIGI 3k |

Fonte: Essol Energia Solar.

Tabela 5 - Dados do sistema da residência 2

| Residência 2 | |
|---|---|
| N° de Módulos | 12 módulos de 330W |
| Área (m²) | 26m² |
| Geração | 540 kWh/mês |
| Inversor (Wp) | RENOVIGI 3k |

Fonte: Essol Energia Solar.

Tabela 6 - Dados do sistema da residência 3

| Residência 3 | |
|---|---|
| N° de Módulos | 17 módulos de 440W |
| Área (m²) | 32m² |
| Geração | 1000 kWh/mês |
| Inversor (Wp) | SAJ 6k |

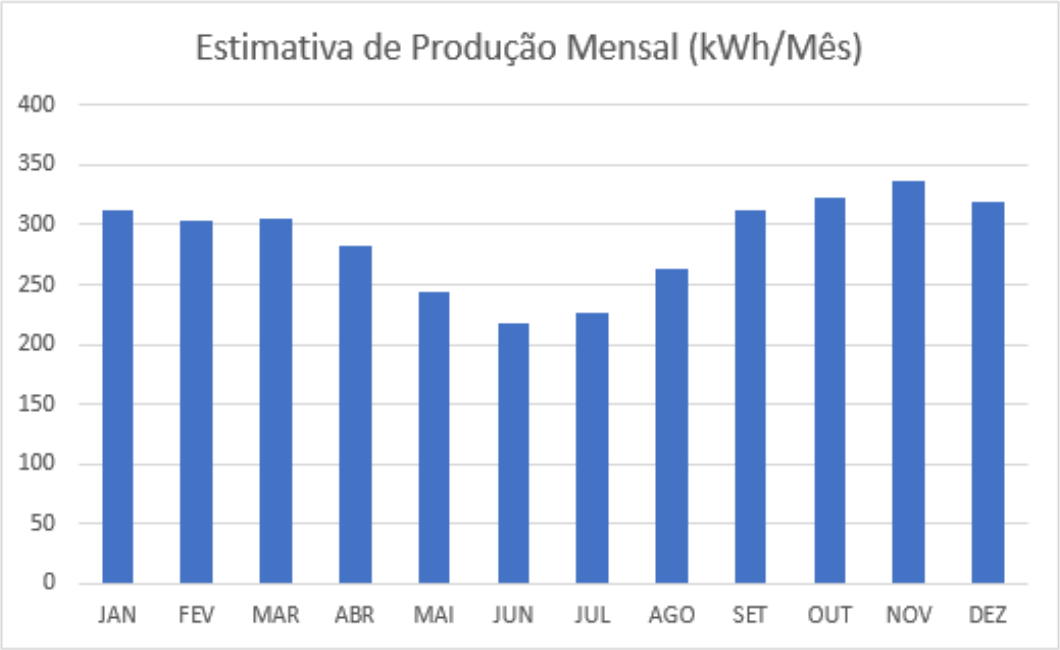
Fonte: Essol Energia Solar.

## 4.2 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO MENSAL

Resultados da produção mensal na cidade de Monteiro - PB, são muito semelhantes ao que (TORRES, 2012) encontrou na região de Petrolina - PE, essa semelhança ocorre devido as duas cidades está localizada no semiárido nordestino, onde as médias de irradiação nas cidades de Monteiro e Petrolina são respectivamente 5,79 kWh/m².dia e 5,73 kWh/m².dia no plano horizontal.

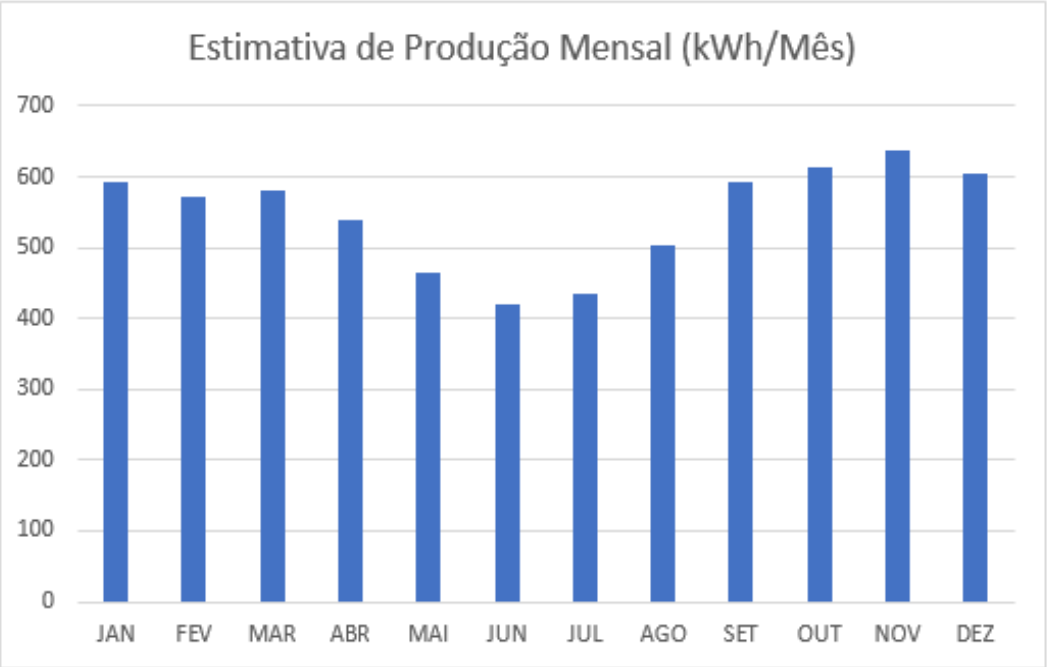
De acordo com dados gerados pelo Simulador Solar (PV Operation e Interpolação de medição via satélite), o qual se baseia nos dados de consumo energético e na radiação solar do local selecionado, calcula-se a expectativa de produção mensal de energia. Pode-se observar a produção mensal de cada uma das residências analisadas nos Gráficos 5, 6 e 7 a seguir.

Gráfico 5 - Estimativa de Produção Mensal Residência 1



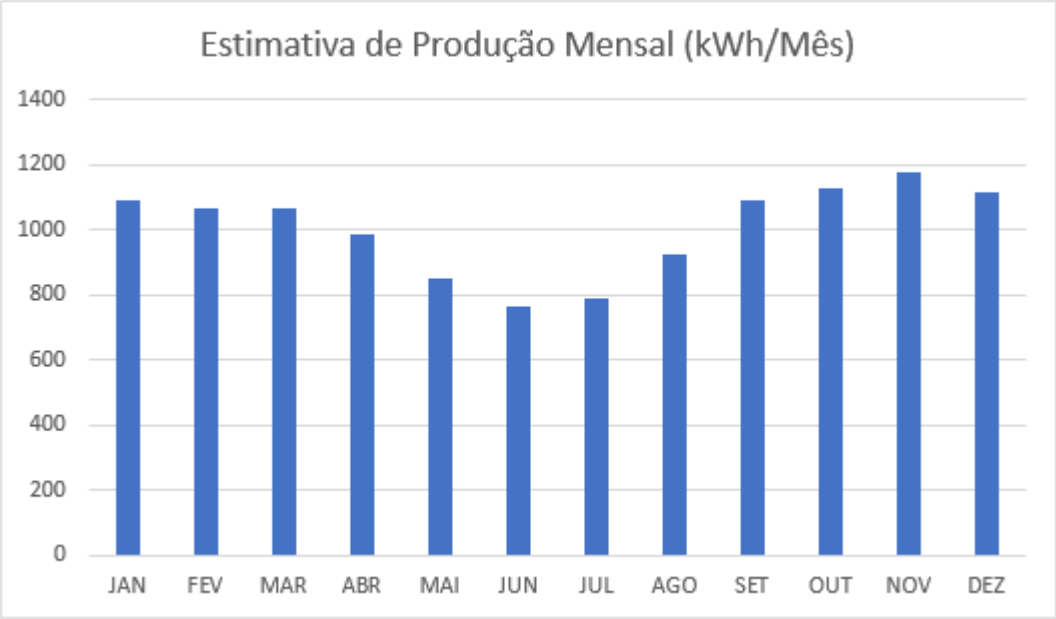

Fonte: (PV Operation e Interpolação de medição via satélite, 2021).

Gráfico 6 - Estimativa de Produção Mensal Residência 2




Fonte: (PV Operation e Interpolação de medição via satélite, 2021).

Gráfico 7 - Estimativa de Produção Mensal Residência 3




Fonte: (PV Operation e Interpolação de medição via satélite, 2021).

Como pode observa nos gráficos 5,6 e 7 os meses abril, maio, junho, julho e agosto a produção de energia fica abaixo da média de geração mensal, devido a irradiação solar emitida ser menor nessa estação do ano que normalmente é o período de chuvas na região. Segundo Pereira et al. (2006), o decréscimo natural da incidência de radiação solar no topo da atmosfera que ocorre no inverno é decorrente de fatores astronômicos associados ao sistema Sol - Terra.

Nesses períodos em que a geração solar for inferior à demanda ou no período noturno, a diferença de energia será suprida pelo fornecimento da concessionária. E no período em que geração mensal for superior a demanda o excedente poderá ser convertido em créditos de kWh para abatimento do consumo na mesma unidade geradora ou em outras do mesmo consumidor. Essa proposta de sistema de compensação de energia tornou-se possível com a publicação da Resolução n. 482/2012 da ANEEL.

## 4.3 ANÁLISE ECONOMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Em uma pesquisa realizada por (CAVALCANTE, 2018), onde foi questionada a renda familiar, de modo a identificar a faixa social que utiliza a tecnologia fotovoltaica e foi possível identificar que 44% apresentam uma renda média acima de dez mil reais mensais enquanto que 24% possui renda inferior a cinco mil reais.

Nos últimos anos, o sistema de geração da energia solar teve uma boa redução nos preços dos equipamentos, segundo a (IDEAL, 2016) o Brasil apresentou reduções no valor do sistema residencial chegando em alguns casos a cerca de 6,44 R$/Wp em 2016.

Apesar do panorama atual ter demostrado que o sistema fotovoltaico tem se tornado cada vez mais viável economicamente, foi possível calcular a economia gerada pelo o sistema fotovoltaico durante um ano através da Equação 1 (Lisita Junior, 2005):

$$Eco\ (R\$) = Eg(ano) \times T$$

Onde:

Eco (R$) – Valor em reais economizado durante o ano

Eg – Energia produzida em um ano pelo sistema fotovoltaico (kWh)

T – Tarifa em R$/kWh cobrada pelas concessionárias

Obtém os valores a seguir na Tabela 7, aplicando a equação para cada uma das residências.

Tabela 7 - Economia Anual (R$) das três residências

| Local | Tarifa única com impostos (R$) | Geração Fotovoltaica (kWh) | Economia Anual (R$) |
|---|---|---|---|
| Residência 1 | R$ 0,51 | 3240 | R$ 1.652,40 |
| Residência 2 | R$ 0,51 | 6480 | R$ 3.304,80 |
| Residência 3 | R$ 0,51 | 12000 | R$ 6.120,00 |

Fonte: (Autoria Própria, 2021).

A partir desses valores encontrados acima na Tabela 7, que indicam o quanto as residências economizaram por ter instalado o sistema fotovoltaico, é possível determinar o Período de Retorno Simples (PRS), que é a relação entre o investimento feito para a aquisição do sistema fotovoltaico e a economia financeira anual da fatura de energia elétrica (TORRES, 2012). Cálculo é realizado pela equação 2 (Lisita Junior, 2005):

$$PRS = \frac{investimentoinicial}{economiaporano}$$

Onde:

PRS – Período de Retorno Simples em (anos)

Investimento inicial em reais (R$)

Economia por ano em (R$)

Tabela 8 - Período de Retorno Simples (anos) das três residências

| Local | Investimento Inicial (R$) | Economia Anual (R$) | Periodo de Retorno Simples (anos) |
|---|---|---|---|
| Residência 1 | R$ 11.600,00 | R$ 1.652,40 | 7,02 |
| Residência 2 | R$ 20.000,00 | R$ 3.304,80 | 6,05 |
| Residência 3 | R$ 38.100,00 | R$ 6.120,00 | 6,23 |

Fonte: (Autoria Própria, 2021).

Aplicando a Equação 2 para cada residência, mostra que além da redução no consumo de energia ao longo do período, a implantação do projeto torna-se vantajosa em relação à questão econômica com retornos em menos de 8 anos. Segundo Dutra (2020), a partir de um financiamento, muitos consumidores optam por investir em um sistema fotovoltaico, visto que o dinheiro que seria usado para pagar a conta de energia elétrica pode ser empregado nas parcelas do financiamento. Ele ainda afirma, como no geral um sistema fotovoltaico tem retorno de seu valor em até 10 anos, o usuário pode desfrutar do lucro nos próximos 15 anos de vida útil dos painéis.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração distribuída de energia solar fotovoltaica já é uma realidade que vem ganhando cada vez mais espaço nos telhados das edificações brasileiras, onde percebe-se uma crescente no interesse do consumidor em gerar a sua própria energia a partir da resolução 482 da ANEEL que permiti aos consumidores realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica, compensando o consumidor pela energia elétrica injetada na rede. Além disso, outro fator que contribui para esse crescimento é a irradiação solar incidente no território brasileiro que é superior à de países que são referência na geração de energia através do sol. Apesar dos fatores citados acima a geração distribuída no Brasil ainda há muito a se progredir para alcançar resultados satisfatórios.

Ao logo da pesquisa, pode observar a evolução da energia solar fotovoltaica no estado da Paraíba, que foi o principal objetivo da pesquisa. Constatou-se que a Paraíba tem ótima viabilidade técnica para implantação de sistemas fotovoltaicos, embora tenha um dos melhores níveis de irradiação solar do Brasil, mas quando comparada a geração de energia solar com outros estados do nordeste fica a desejar.

Após a elaboração deste cenário, realizou-se o estudo, onde foi realizada uma pesquisa com os proprietários de sistemas fotovoltaicos residenciais e empresas do ramo. O estudo teve como objetivo verificar a viabilidade técnica e econômica de sistemas de energia solar fotovoltaica localizados em Monteiro no cariri Paraibano. Dados mostram que a cidade de Monteiro também apresenta bons índice de irradiação solar, tornando um local propicio para a instalação do sistema. Os resultados da pesquisa demonstram que a implantação do sistema solar fotovoltaico instalados nas residências pesquisadas, além da redução no consumo de energia ao longo do período, a implantação do projeto tornou-se vantajosa em relação à questão econômica com retornos em menos de 8 anos.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf . Acesso em: 17 de outubro de 2021.

ANEEL. **Resolução Normativa n°687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf . Acesso em: 18 de outubro de 2021.

BEN. **Balanço Energético Nacional 2021.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021 . Acesso em: 12 de outubro de 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Programa Luz para todos. 2017. **Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF).** 2017. Disponível em: https://www.chesf.gov.br/ . Acessado em 03 de novembro de 2021.

CALVALCANTE, R. C. **Análise das barreiras e incentivos para a implantação da energia fotovoltaica na Paraíba** / Rafael de Carvalho Cavalcante. João Pessoa, 2018.

CANTO, R., 2018. **O sol que castiga o sertão é realidade como fonte de energia na Paraíba.** Disponível em: https://envolverde.cartacapital.com.br/o-sol-que-castiga-o-sertao-e-realidade-como-fonte-de-energia-na-paraiba/. Acesso em 1 de novembro de 2021.

DUTRA, A. E. **Impactos socioeconômicos da energia solar fotovoltaica no estado da Paraíba.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020.

IEA. **Matriz Energética Mundial 2018**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

INSTITUTO PARA DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica.** Florianópolis, SC, Brasil. 2016.

LISITA JÚNIOR, O. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede:** Estudo de caso de 3kWp instalados no estacionamento do IEE-USP. 2005. 87p. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Física de São Paulo, 2005. Disponível em http://lsf.iee.usp.br/lsf/pdf/mestrado/Mestrado_Orlando_Lisita.pdf Acesso em: 17 de novembro de 2021.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I.T.; RÜTHER, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA/SC. In: **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável; X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** 18-21 de julho de 2004, São Paulo, SP, Brasil, 18 a 21 de jul. 2004.

MME. **Relatório síntese 2021, ano base 2020.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021 . Acesso em: 10 de outubro de 2021.

PASSINI, A.F.C.; RITTER, L.G.; RENZ, V.D.; GARLET, G.; CONCEIÇAO, S.R.; NECKEL, A.; **Energia fotovoltaica: uma alternativa de eficiência energética em posto de combustível.** Porto Alegre – RS, 2014.

PEQUENO, D. **Geração distribuída de energia solar fotovoltaica no estado da paraíba: estudo da eficiência energética de projetos em operação.** Campina Grande - PB, 2018.

PEREIRA JR, A.O.; PEREIRA, A.S.; ROVERE, E. L.; BARATA, M.M,L; VILLAR, S.C.; PIRES, S.H. **Strategies topromo terenewable energy in Brazil. Renewableand Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.1, p. 681-688, 2011.

PEREIRA, E. B et al. **Atlas brasileiro de energia solar. 1.** Ed. São José dos Campos – SP: INPE, 2006. V.1. 60 p.

PEREIRA, E. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

ROSA, D. J. M.; ZILLES, R.; FEDRIZZI, M. C.. **Sistemas Fotovoltaicos de Dessalinização de Água Salobra para Uso Domiciliar na Região Rural do**

**Semiárido Brasileiro.** In: REUNIÓN DE TRABAJO - ASADES, 36., Tucuman, 2013. **Anais...** Tucuman: ASADES, 2013.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificação urbanas e interligadas à rede elétrica pública no Brasil.** Editora UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, 2004.

RUTHER, R.; SALAMONI, I. T.; MONTENEGRO, A. A.; BRAUN, P.; DEVIENNE, R. **Programa de Telhados Solares Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica Pública no Brasil.** XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2008, Fortaleza - CE, 2008.

SILVA, G. T. F. da; WEISS, M. A.; FREITAS, A. **Energias renováveis e potenciais efeitos para o desenvolvimento regional no Brasil.** RCE, Vol. 15, No 28: Jan./Jun. 2011.

SOLARGIS. **Global Solar Atlas**. Disponível em: http://globalsolaratlas.info/. Acesso em 1 de novembro de 2021.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

TRINDADE, W. J., DINIZ, J. A. A., RODRIGUES, E. P., 2012. **Estudo da energia solare análise de seus potenciais no Brasil, Nordeste e no estado da Paraíba,** VII CONNEPI – VII Congresso Norte Nordeste de pesquisa e inovação, Palmas.

XAVIER, G. A. et al. (2015). **Análise de externalidades da geração fotovoltaica distribuída no Brasil.** 2015. Tese do programa de pós-graduação em engenharia agrícola (Doutorado), Universidade Federal da Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA**
Campus Monteiro
Pb-264, S/N, Serrote, CEP 58500-000, Monteiro (PB)
CNPJ: 10.783.898/0008-41 - Telefone: (83) 3351-3700

# Documento Digitalizado Restrito

## Entrega de trabalho de conclusão de curso

**Assunto:** Entrega de trabalho de conclusão de curso
**Assinado por:** Matheus Paiva
**Tipo do Documento:** Anexo
**Situação:** Finalizado
**Nível de Acesso:** Restrito
**Hipótese Legal:** Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Francisco Matheus de Paiva Sousa**, **ALUNO (201825010005) DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS - MONTEIRO**, em 15/08/2022 17:04:00.

Este documento foi armazenado no SUAP em 15/08/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 596667
Código de Autenticação: 4963ec077a