



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PORTO NACIONAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DINÂMICA GEO-TERRITORIAL E GEO-AMBIENTAL

KLEBER FERNANDES LIMA

**ANÁLISE MACROAMBIENTAL APLICADA AO USO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA NA SEDE MUNICIPAL DE PORTO NACIONAL - TOCANTINS**

Porto Nacional - TO

2024

KLEBER FERNANDES LIMA

**ANÁLISE MACROAMBIENTAL APLICADA AO USO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA NA SEDE MUNICIPAL DE PORTO NACIONAL - TOCANTINS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo

Porto Nacional - TO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

F363a Lima, Kleber Fernandes.

Análise Macroambiental aplicada ao uso de energia solar fotovoltaica na sede municipal de Porto Nacional - Tocantins. / Kleber Fernandes Lima. – Porto Nacional, TO, 2024.

100 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Porto Nacional - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Geografia, 2024.

Orientador: Sandro Sidnei Vargas de Cristo

1. Análise Macroambiental. 2. Radiação Eletromagnética. 3. Energia Solar Fotovoltaica. 4. Metodologia PESTAL. I. Título

CDD 910

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

KLEBER FERNANDES LIMA

ANÁLISE MACROAMBIENTAL APLICADA AO USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA SEDE MUNICIPAL DE PORTO NACIONAL – TOCANTINS

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Data de aprovação 30 / 09 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



SANDRO SIDNEI VARGAS DE CRISTO

Data: 31/10/2024 11:23:18-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo - UFT

Documento assinado digitalmente



LUCAS BARBOSA E SOUZA

Data: 01/11/2024 14:30:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza

Documento assinado digitalmente



ROMARIO TRENTIN

Data: 04/11/2024 07:32:23-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Romário Trentin
(Examinador/Membro)

Porto Nacional – TO

RESUMO

Os seres humanos ao longo dos séculos aprenderam a utilizar diversas fontes de energia. Essa habilidade permitiu o desenvolvimento civilizacional e o ser humano foi capaz de habitar lugares de clima extremamente adverso. A energia está presente em todos os setores da sociedade, economia, trabalho, ambiente, relações internacionais, assim como as nossas próprias vidas, moradia, alimentação, saúde, transporte, lazer e entre outras. Com o crescimento populacional e, necessariamente havendo um consumo cada vez mais de energia, surge a preocupação de progredir com as fontes energéticas sem perder de vista a conservação dos recursos naturais. O aproveitamento da energia gerada pelo Sol é, na verdade, uma das alternativas de energia mais promissora atualmente. A energia solar fotovoltaica se destaca devido à crescente busca por uma fonte de energia renovável e sustentável, com baixo impacto ambiental, de fácil acesso e pelo fato de ser abundante em todo o território brasileiro. Diversos programas governamentais ao longo dos anos vêm favorecendo a essa expansão do mercado de energia solar e tem atraído diversos investimentos por parte de empresas. Neste contexto, a presente pesquisa, se desenvolve com objetivo geral de compreender o uso de energia solar na sede do município de Porto Nacional, Tocantins, através da análise da metodologia PESTAL. Metodologia PESTAL, que é uma ferramenta utilizada para compreender quais as oportunidades ou possíveis riscos que o ambiente externo pode impactar um determinado setor, que na presente pesquisa, é o setor de energia solar fotovoltaica. A partir dessa metodologia seis variáveis foram avaliadas: Política, Economia, Social, Tecnologia, Ambiental e Legal. Entre os principais resultados da pesquisa, destaca-se que existem diversas oportunidades e baixos riscos que vêm favorecendo à expansão do uso de energia solar fotovoltaica no município.

Palavras-chave: Análise Macroambiental. Radiação Eletromagnética; Energia Solar Fotovoltaica. Metodologia PESTAL.

ABSTRACT

The human beings through the centuries have learned to use different sources of energy. This ability allowed civilizational development and human beings were able to inhabit places with extremely adverse climates. The energy is present in all sectors of society, economy, work, environment, international relations, as well as our own lives, housing, food, health, transport, leisure and others. With population growth and, necessarily, increasing energy consumption, comes the concern of progressing with energy sources without losing sight of the conservation of natural resources. Using the energy generated by the Sun is, in fact, one of the most promising energy alternatives at the moment. The photovoltaic solar energy stands out due to the growing search for a sustainable energy source and renewable, with low environmental impact, easy access and the fact that it is abundant throughout the Brazilian territory. Many government programs over the years have favored this expansion of the solar energy market and have attracted several investments from companies. In this context, the present research is developed with the general objective of understanding the use of solar energy in the municipality of Porto Nacional, Tocantins, through the analysis of the PESTAL methodology. PESTAL methodology, which is a tool used to understand what opportunities or possible risks the external environment can impact on a given sector, which in this research is the photovoltaic solar energy sector. From this methodology, six variables were evaluated: Political, Economic, Social, Technology, Environmental and Legal. Among the main results of the research, it is highlighted that there are several opportunities and low risks that have been favoring the expansion of the use of photovoltaic solar energy in the municipality.

Keywords: Macroenvironmental Analysis. Radiation Electromagnetic; Photovoltaic solar energy. PESTAL methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Eletromagnético	24
Figura 2. Célula solar por Fritts em 1883	25
Figura 3. Propriedades da onda eletromagnética	28
Figura 4. Espectro Eletromagnético	28
Figura 5. Irradiância	31
Figura 6. Determinação da constante solar.....	32
Figura 7. Curvas da distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre	33
Figura 8. Incidência de radiação em função da quantidade de massa de ar.....	34
Figura 9. Comportamento da Radiação Solar na atmosfera	35
Figura 10. Piranômetro termelétrico	36
Figura 11. Heliógrafo	37
Figura 12. Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício cristalino	38
Figura 13. Funcionamento da célula solar	38
Figura 14. Inclinação do eixo da Terra em relação à altitude solar (γ_s)	40
Figura 15. Variação do ângulo de inclinação durante o ano para máxima produção de energia solar	42
Figura 16. Esquema de sistema solar fotovoltaico <i>on-grid</i>	43
Figura 17. Esquema de sistema solar FV <i>off-grid</i>	44
Figura 18. Esquema de sistema solar fotovoltaico híbrido	44
Figura 19. Linhas de financiamento	55
Figura 20. Uso de energia solar em zona rural no município de Porto Nacional	57
Figura 21. Sistema de tratamento de água com uso de energia solar FV	58
Figura 22. Sistema de abastecimento de água na comunidade Murui, em Santarém, no oeste do Pará	59
Figura 23. Histórico de eventos no desenvolvimento de células fotovoltaicas	60

Figura 24. Componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino	61
Figura 25. Payback de sistemas fotovoltaicos em anos	64
Figura 26. Funcionamento de energia Agrofotovoltaica	68
Figura 27. Projeto Agrofotovoltaico em Alagoas no cultivo de cana-de-açúcar	69
Figura 28. Comparativo do quantitativo de Sistema Solares Fotovoltaicos – 2018 a 2022	85
Figura 29. Cálculo no Plano Inclinado	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Climatologia e histórico de previsão do tempo em Porto Nacional	21
Gráfico 2. Principal motivação para adquirir um sistema fotovoltaico	53
Gráfico 3. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional em 2018	72
Gráfico 4. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional em 2019	74
Gráfico 5. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional em 2020	76
Gráfico 6. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional em 2021	78
Gráfico 7. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional em 2022	80
Gráfico 8. Quantidade de sistemas instalados na sede municipal de Porto Nacional, TO	82
Gráfico 9. Capacidade de geração de energia solar FV instalada por setor entre os anos de 2018 a 2022	86

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localização do município de Porto Nacional.....	19
Mapa 2. Mapa Brasileiro de radiação diária, média anual	65
Mapa 3. Índice de Radiação Global na Europa	66
Mapa 4. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2018	73
Mapa 5. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2019	75
Mapa 6. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2020	77
Mapa 7. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2021	79
Mapa 8. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2022	81
Mapa 9. Incidência de radiação solar	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Trajetória de Redução de Custos	64
Tabela 2. Quantidade de sistemas FV anual no período de 2018 a 2022	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CRESCESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FV	Fotovoltaica
GCE	Gestão da Crise de Energia Elétrica
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Energética Aplicada
MEPI	Índice de Pobreza Energética Multidimensional

MME	Ministério das Minas e Energia
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> – Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
PADIS	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico de Indústria de Semicondutores e Displays
PEST	Político, Econômico, Social e Tecnológico
PESTAL	Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
REM	Radiação Eletromagnética
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SIN	Sistema Interligado Nacional
SR	Sensoriamento Remoto
UFT	Universidade Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Caracterização da área de estudo	20
2 JUSTIFICATIVA	20
3 OBJETIVOS	23
3.1 Objetivo geral	23
3.2 Objetivos específicos	23
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
4.1 Efeito Fotovoltaico	24
4.2 Radiação Eletromagnética	26
4.3 Conceitos da Radiação Solar	30
4.4 Interação da Radiação Solar na Atmosfera	32
4.5 Interação da Radiação Solar na Atmosfera	35
4.6 Instrumentos de medição da Radiação Solar	37
4.7 Aproveitamento de energia da Radiação Solar	42
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	45
5.1 Levantamento de Material Bibliográfico	45
5.2 Levantamento de Material Quantitativo	45
5.3 Levantamento de Material Cartográfico	46
5.4 Levantamento de Material Qualitativo	46
5.5 Elaboração de Mapas e Imagens	47
6 FATOR POLÍTICO, ECONÔMICO, SOCIAL, TECNOLÓGICO, AMBIENTAL E LEGAL (ANÁLISE PESTAL)	49
6.1 Fator Político	50

6.2 Fator Econômico	52
6.3 Fator Social	56
6.4 Fator Tecnológico	59
6.5 Fator Ambiental	65
6.6 Fator Legal	69
7 RESULTADOS	72
7.1 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2018	72
7.2 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2019	74
7.3 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2020	76
7.4 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2021	78
7.5 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2022	80
7.6 Evolução do Uso da energia solar FV no período de 2018 a 2022	82
7.7 Geração de energia solar FV na área de pesquisa	86
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol é, na verdade, uma das alternativas de energia mais promissora atualmente. O Sol, sendo uma fonte de energia renovável, também é responsável pela origem de praticamente de todas as outras fontes de energias no planeta (CRESESB, 2014).

A Radiação Eletromagnética (REM) é uma fonte de energia emitida pelo Sol que é responsável pela manutenção da vida na Terra, sendo a principal fonte de energia para os seres vivos. Essa Radiação Eletromagnética (ou radiação solar em termo geral,) varia devido aos movimentos de rotação e de translação da Terra, que alteram o ângulo de incidência dessa radiação ao longo de todo o ano em uma determinada superfície. Parte dessa radiação continua diretamente à superfície e outra parte sofre dispersão (pelas nuvens ou pela massa de ar na atmosfera). Além da difusão, a absorção e a reflexão atmosféricas, são como mecanismos que impedem a chegada de parte da radiação solar até a superfície terrestre.

Além de interagir com a atmosfera, a Radiação Eletromagnética também interage com os alvos da superfície terrestre, podendo ser absorvida, refletida, transmitida e emitida. Essa interação, seja com o solo, vegetação, água ou qualquer outro alvo na superfície depende das características e do meio ambiente em que esses alvos se encontram (MOREIRA, 2001).

O uso da radiação solar remonta a muitos séculos atrás na história da humanidade. Os antigos gregos e romanos utilizavam a radiação solar para aquecer água em banhos públicos, por exemplo (LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, 2014.). No entanto, o uso da radiação solar como fonte de energia elétrica começou apenas no século XIX, com a invenção da célula fotovoltaica (CRESESB, 2014). A célula fotovoltaica é um dispositivo que converte a energia solar diretamente em eletricidade, sem a necessidade de motores, turbinas ou geradores. Desde então, a tecnologia das células fotovoltaicas tem sido aprimorada continuamente, tornando-se cada vez mais eficiente e acessível.

O aproveitamento da energia do Sol, bem como as demais fontes de energia renováveis são vistas como soluções para os desafios energéticos do século XXI, frente às mudanças climáticas e ao esgotamento dos combustíveis fósseis. A crise de 1973 foi um ponto de virada para a energia renovável, que se tornou uma alternativa viável e competitiva aos combustíveis fósseis.

Um papel especial ao número de energias renováveis é atribuído à energia solar fotovoltaica com aproveitamento da Radiação Eletromagnética através de células de silício.

Essa tecnologia permite a conversão de luz solar em energia elétrica e, devido ao seu grande potencial, será um pilar importante em sistemas de energia no futuro (DUNLOP, 2007).

O Brasil é um dos maiores países do mundo em extensão territorial, possuindo área territorial de 8.515.759 quilômetros quadrados (IBGE, 2022). Tal característica, associada à abundância de Radiação Eletromagnética em toda sua extensão faz do Brasil um grande promissor na geração de energia solar fotovoltaica. Nesse sentido o Brasil vem traçando um caminho para consolidação da energia solar fotovoltaica como sendo a energia do futuro como a implementação de políticas de incentivo tais como Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD).

Somente em 1990, o Brasil começou a acompanhar a tendência mundial no uso de energia solar fotovoltaica ao inserir sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). Mas o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no país ocorreu no ano de 2012, a partir da Resolução Normativa 482 de 2012, em que foram criadas regras da geração distribuída de energia permitindo que o consumidor pudesse gerar a sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis. Com essa resolução, a geração da energia solar fotovoltaica tornar-se mais viável permitindo ao consumidor fornecer o excedente de energia elétrica para a Concessionária de energia local para futura compensação de energia durante a noite, onde não há produção de energia. Esses créditos são compensados podendo reduzir o valor das tarifas de energia elétrica em até 95%.

Um reflexo desse desenvolvimento foi o aumento da produção de células fotovoltaicas e, com o avanço da tecnologia na área de semicondutores têm contribuído para queda significativa no preço de sistemas fotovoltaicos. Tais fatores ocasionaram a redução dos preços de equipamentos de uso dessa fonte e, ao mesmo tempo impulsionado o crescimento do uso de energia solar fotovoltaica.

Nos últimos anos, a energia solar FV tem se mostrado uma fonte de energia renovável e sustentável, sendo utilizada em diversas aplicações, desde pequenos sistemas de energia para residências e empresas até grandes usinas de energia solar. E cada vez mais é utilizada como alternativa aos combustíveis fósseis, que são fonte finitas e poluentes.

A cidade de Porto Nacional, vem se urbanizando nas últimas décadas, e tem passado por expansão significativa da malha urbana e as novas moradias e hábitos da população exigem maior consumo energético, principalmente para lidar com as altas temperaturas. Além de Porto Nacional congrega elementos naturais que contribuem para as altas temperaturas (como a latitude, a altitude e a posição em relação às massas de ar), o espaço urbano e as moradias

contribuem ainda mais nesse sentido. Em outras palavras, estamos vivendo em um mundo em aquecimento, e na escala local isso é potencializado sob a forma de um clima urbano. Assim, Porto Nacional torna-se cada vez mais dependente de formas alternativas de energia, pela alta demanda.

Assim, a presente pesquisa, se desenvolve com a intenção de analisar o uso da energia solar fotovoltaica, na sede do município de Porto Nacional, através da aplicação da metodologia PESTAL, a qual se utiliza de uma abordagem integrada de fatores como: Políticos, Econômicos, Sociais, Tecnológicos, Ambientais e Legais.

1.1 Caracterização da área de estudo

O município de Porto Nacional conta com uma área de 4.434,680km² com densidade demográfica de 14,53 hab./km² e está localizado na porção central do Estado do Tocantins (IBGE, 2022). Conforme o Censo 2022, a cidade de Porto Nacional tem 64.418 habitantes e se mantém na 4ª posição das cidades mais populosas do Tocantins, ficando atrás apenas da capital Palmas, Araguaína e Gurupi (IBGE, 2022). A sede do município está a 64km da capital do estado do Tocantins, Palmas, ficando na margem direita do Rio Tocantins (Mapa 1).

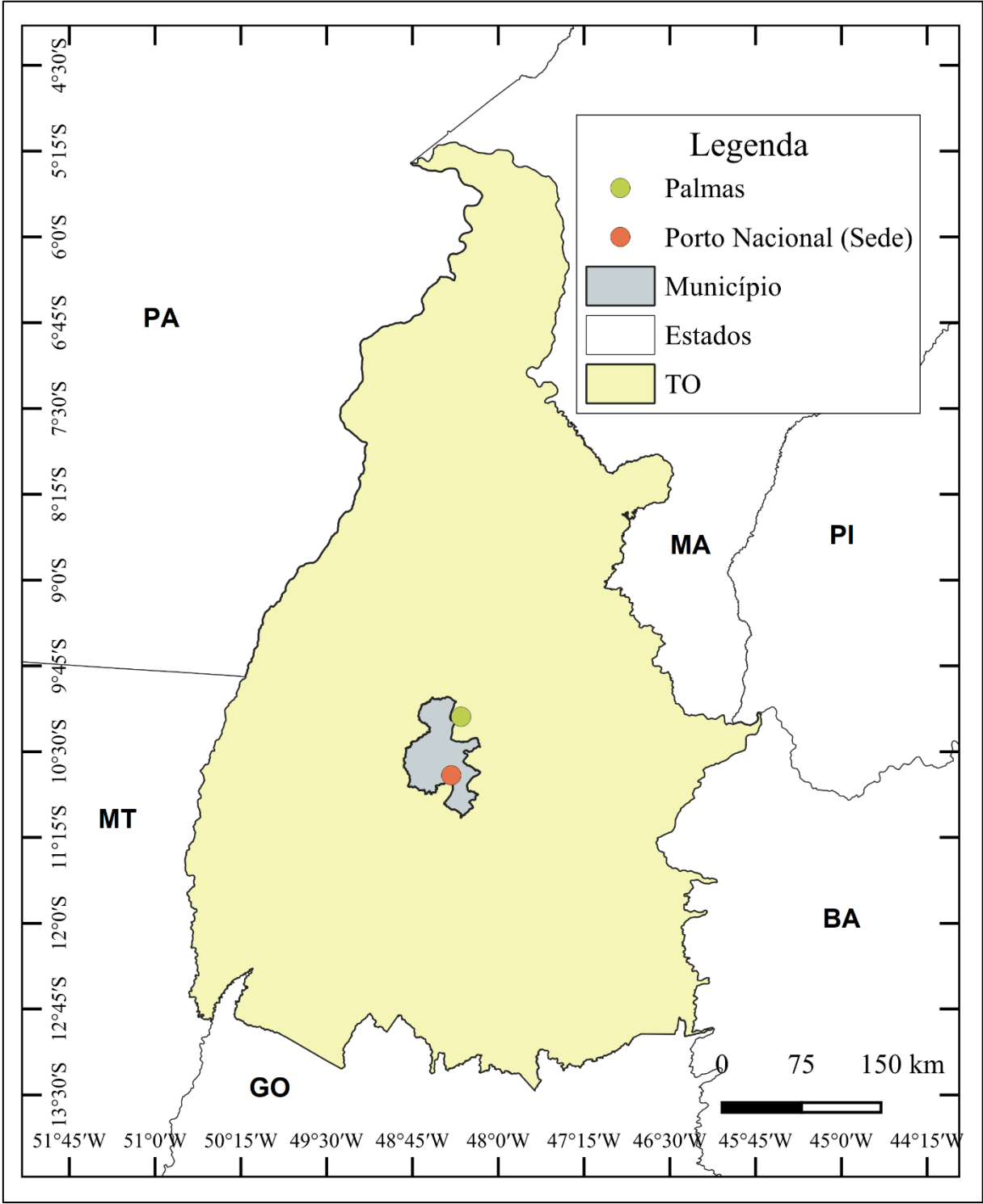
O município portuense é dividido pelo Rio Tocantins que, desde o ano de 2002, devido a construção da UHE Luiz Eduardo Magalhães, localizada no município de Miracema, o trecho que banha o município, transformou-se em um grande lago (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO NACIONAL, 2007). Os principais afluentes do rio Tocantins encontrados no município de Porto Nacional são, os Ribeirões São João, Areias e Água Suja. Conforme Prefeitura Municipal de Porto Nacional (2007),

Situado entre os paralelos 10° e 11°S, o município de Porto Nacional, limita-se ao Norte com Miracema do Tocantins; a Leste com Palmas e Monte do Carmo; ao Sul com Silvanópolis, Ipueiras e Brejinho de Nazaré e a Oeste com Nova Rosalândia, Fátima, Oliveira de Fátima, Pugmil e Paraíso do Tocantins.

A topografia do terreno na área urbanizada de Porto Nacional é brandamente ondulada, com declividades máximos de até 5% e com altitude média de 212metros (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO NACIONAL, 2007). O município portuense situa-se em uma região de abrangência do bioma Cerrado com vegetação predominantemente arbustiva, de raízes profundas, galhos retorcidos e casca grossa. (SENE; MOREIRA, 2019). A vegetação original

se encontra substituída, em grande parte, por pastagens e áreas agrícolas, o que transforma suas condições superficiais, o balanço de radiação e aspectos do ciclo hidrológico.

Mapa 1. Localização do município de Porto Nacional



Fonte: IBGE, 2023. Adaptação: Kleber F. Lima, 2023.

2 JUSTIFICATIVA

Os seres humanos ao longo dos séculos, aprenderam a utilizar diversas fontes de energia que se tornaram um fator importantíssimo no desenvolvimento civilizacional. Essa habilidade permitiu o ser humano habitar lugares de clima extremamente adverso (TEIXEIRA, et. al, 2009).

A energia, está presente em todos os setores da sociedade, economia, trabalho, ambiente, relações internacionais, assim como as nossas próprias vidas, moradia, alimentação, saúde, transporte, lazer e muito mais (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012).

Com o crescimento populacional, atrelado às condições de degradação ambiental e climática da atualidade, além do modo vigente de produção e consumo, o que eleva o consumo de energia para atender às novas demandas. E, necessariamente havendo um consumo cada vez maior de energia, surge a preocupação de progredir com as fontes energéticas sem perder de vista a preservação dos recursos naturais (GOLDEMBERG; LUCON, 2008). Neste contexto, a energia elétrica também adquire um papel importantíssimo no desenvolvimento de cada país, o que a torna indispensável na vida cotidiana.

Mesmo assim, no Brasil, entre os anos de 1990 e 2000 o consumo de energia elétrica aumentou em 49% enquanto a capacidade de geração de energia foi expandida em apenas 35% (TOLMASQUIM, 2006). Nesse período, a capacidade de geração de energia elétrica ficou abaixo da energia demandada no país.

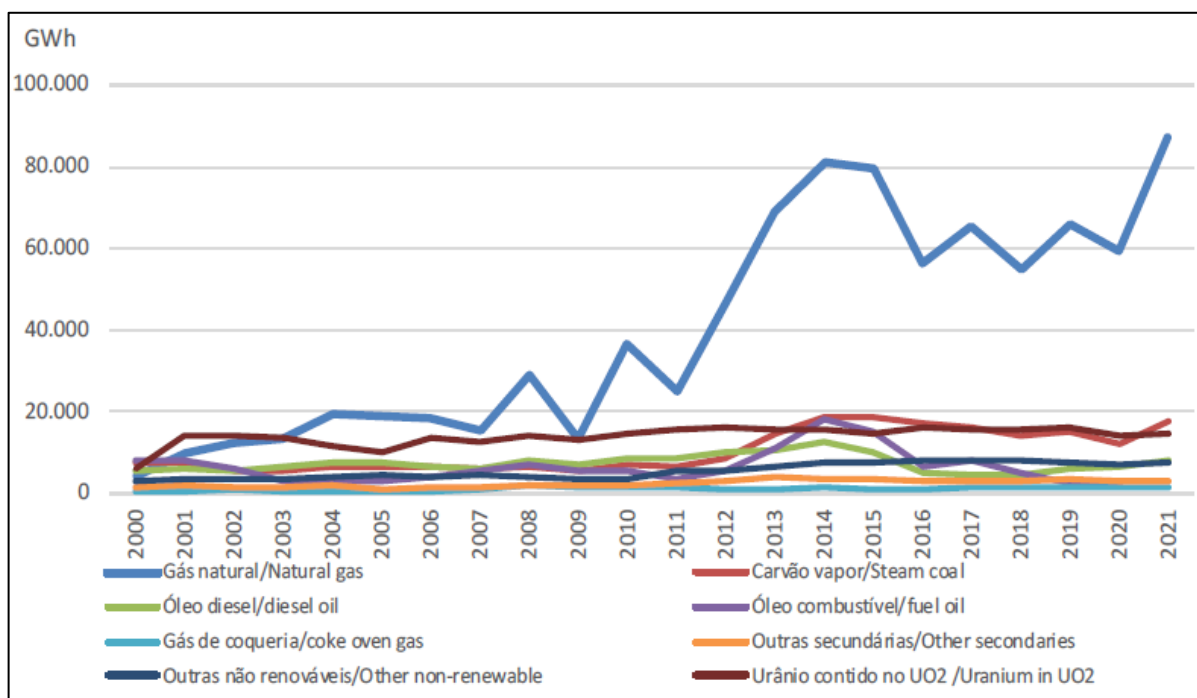
A política energética que o Brasil vem adotando nas duas últimas décadas, de forma a assegurar o fornecimento de energia elétrica, tem contribuído para aumentar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), que é prejudicial para o planeta.

Em 2021, o Brasil novamente passa por uma nova situação de crise energética, sendo a maior crise nos últimos 90 anos, resultante da falta de chuvas. A Agência Nacional de Energia elétrica (ANEEL), em agosto de 2021 anuncia uma nova bandeira tarifárias para as contas de luz dos consumidores, chamada escassez hídrica. A bandeira escassez hídrica torna o custo de energia elétrica mais caro, para cada 100kWh consumidos, com exceção das famílias inscritas na tarifa social, adiciona-se R\$14,20 às faturas de energia elétrica (ANEEL, 2023).

No Gráfico 1 é apresentado a participação da geração de energia elétrica por fontes não renováveis na matriz energética nacional. O destaque é do uso do gás natural como fonte de energia elétrica, que tem sido crescente a partir do ano de 2000. O aumento da participação do uso do gás natural tem sido a solução que o país tem adotado para evitar crise energética, seja

pelo aumento do consumo de energia elétrica e pela escassez hídrica. A forma que o Governo Federal tem utilizado para evitar o racionamento de energia é a contratação de usinas termelétricas a gás para suprir a demanda de energia no período de seca.

Gráfico 1. Geração de energia elétrica: fontes não renováveis



Fonte: EPE, 2022.

A forma que o país vem trabalhando para contornar os possíveis problemas energéticos não tem sido a melhor em questão de preservação ambiental, pois a melhor solução para os problemas de fornecimento de energia elétrica seria o incentivo do uso de fontes renováveis de energia que, além de necessário, é vital para a preservação dos seres vivos, pois os impactos ambientais causados pelas emissões de gases de efeito estufa são irreversíveis, a exemplo o aumento do buraco na camada de ozônio, o aquecimento global e as mudanças climáticas, entre outros (REGINATO, 2020).

O Brasil apresenta soluções com a qual podemos ter um fornecimento de energia de forma sustentável. O país, em todo o seu território possui grandes capacidade em geração de energia por fontes renováveis, das quais já estão ao alcance da tecnologia atual.

Um papel especial no número de energias renováveis é atribuído à energia solar fotovoltaica (EPE, 2022). A tendência de se utilizar energia solar fotovoltaica (FV) é crescente no país, tanto pela grande extensão territorial como pelo índice de radiação solar. Ainda assim, necessita-se de estímulos eficientes que permitem explorar esse potencial solar.

No contexto da questão apresentada, é que a presente pesquisa, através da aplicação da metodologia PESTAL, que envolve as variáveis política, econômica, social, tecnológica, ambiental e legal, busca realizar uma análise macroambiental, identificando os condicionantes do uso de energia solar fotovoltaica na sede municipal de Porto Nacional.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Realizar uma análise macroambiental aplicada ao uso de energia solar fotovoltaica na sede municipal de Porto Nacional – Tocantins.

3.2 Objetivos específicos

- Apresentar conceitos para compreensão da Radiação Eletromagnética, bem como da sua interação na atmosfera.
- Analisar a distribuição geográfica e a evolução do uso da energia solar fotovoltaica na sede do município de Porto Nacional, entre os anos de 2018 a 2022;
- Apresentar a distribuição geográfica e a evolução do uso da energia solar fotovoltaica na sede do município de Porto Nacional, entre os anos de 2018 a 2022;
- Analisar a eficácia da aplicação da Análise Macroambiental PESTAL no estudo do uso de energia solar na sede municipal de Porto Nacional.

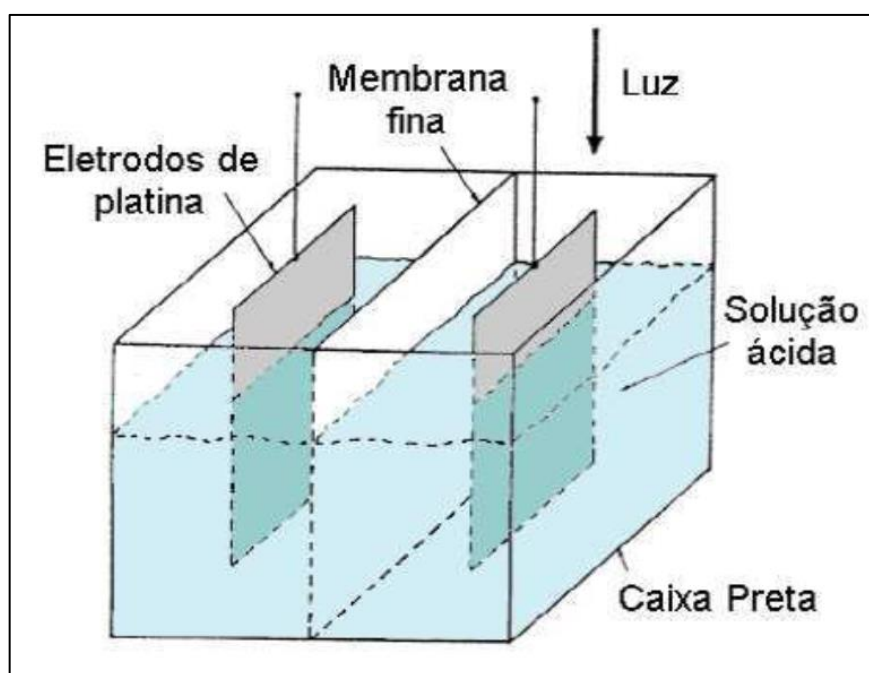
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente fundamentação tem por objetivo apresentar conceitos e aspectos que sirvam como embasamento teórico da pesquisa. Desta forma, são destacados itens como: Efeito Fotovoltaico; Sensoriamento Remoto e Radiação Eletromagnética; Conceitos de Radiação Solar; Interação da Radiação Solar; Instrumentos de Medição da Radiação Solar; Aproveitamento da Energia Solar e Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.

4.1 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é conhecido como a conversão direta da luz em energia elétrica. O seu princípio subjacente, o efeito fotoelétrico, foi descoberto pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel (CRESESB, 2014). O experimento de Becquerel (Figura 1) consistia em emergir dois eletrodos separados por uma membrana em uma solução ácida em uma caixa preta e depois iluminá-la com diferentes tipos de luzes, incluindo a luz solar. Ele percebeu que certos tipos de materiais sob a luz solar produziam corrente elétrica e concluiu que a eletricidade nesses materiais era devido à luz que incidia na célula. Ele havia descoberto a base do efeito fotovoltaico, embora a implementação prática só ocorresse gerações depois.

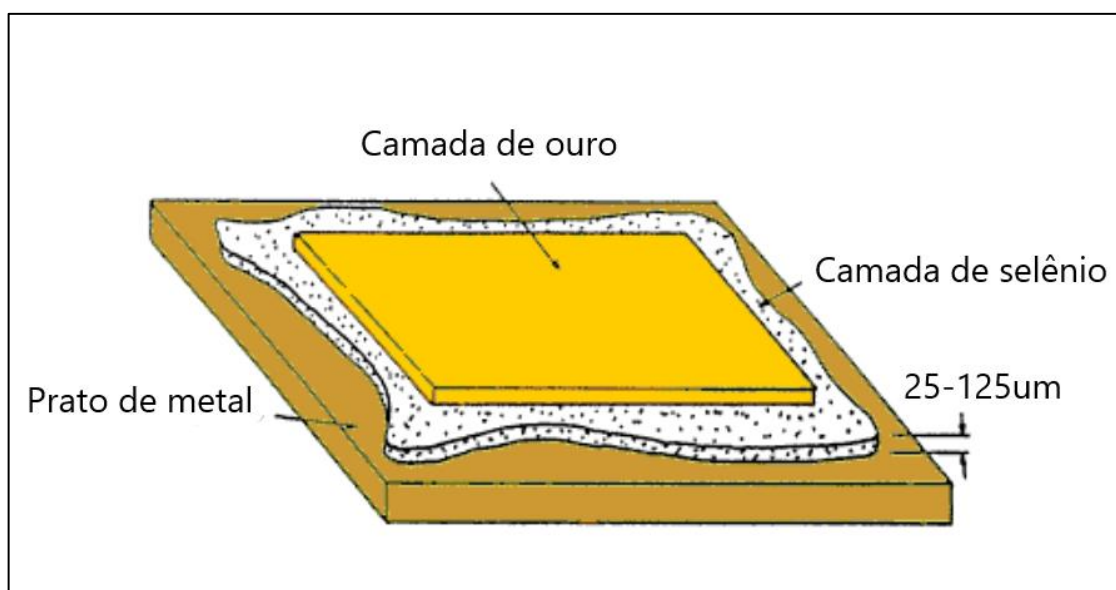
Figura 1. Experimento efeito fotoelétrico.



Fonte: Honsberg; Bowden, 2023.

Vários pesquisadores trabalharam nesta área durante o século XIX buscando compreender e explicar esse efeito. Um passo significativo ocorreu em 1883 quando o novaiorquino Charles Fritts construiu uma célula fotovoltaica (Figura 2) a partir de células de selênio com uma fina camada de ouro (FITTS, 1883). Sua invenção foi um marco importante no desenvolvimento da energia solar, abrindo caminho para o uso de células solares como fonte de energia renovável. Ele reconheceu a enorme capacidade dessas células solares com produção em baixo custo e observou que a energia poderia ser armazenada em baterias caso não fosse utilizada de imediato.

Figura 2. Célula solar por Fritts em 1883.



Fonte: Honsberg; Bowden, 2023.

Em 1887, Heinrich Hertz, quando estava investigando a natureza eletromagnética da luz teorizada por Maxwell, percebeu que uma faísca saltaria mais facilmente entre duas esferas eletricamente carregadas quando suas superfícies eram iluminadas pela luz de outra faísca, coincidentemente descobriu o efeito fotoelétrico (BELICH JR, 2012). Até então, o efeito fotoelétrico ficou entendido como a emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto à luz.

Max Planck, um físico alemão contribuiu significativamente para o entendimento do efeito fotoelétrico em 1900. Planck propôs em seus estudos sobre a interação entre a luz e a matéria, que a energia da luz é quantizada em pacotes chamados de fótons dependente da frequência da luz incidente. Quando a energia quantizada é suficiente para liberar um elétron, ele será ejetado do material, caso contrário não haverá emissão de elétrons. Essa teoria

revolucionou a compreensão da natureza da luz e explicou por que certos materiais emitem elétrons quando expostos à luz.

A partir do entendimento do efeito fotoelétrico, outros materiais que pudessem reproduzir este mesmo efeito, foram objetos de estudo para fabricação de células fotovoltaicas. Os materiais semicondutores (como o silício) têm a particularidade de apresentar um comportamento diferente diante da eletricidade (condução de cargas) dependendo se uma fonte externa de energia, como a radiação solar incidente. As células atuais são produzidas do silício e que foi descoberto em 1954 por Calvin Fuller (WOLF, 1972) e desde então essa tecnologia tem se desenvolvido constantemente e tornando cada vez mais eficiente, permitindo o aproveitamento da energia elétrica originada na energia fornecida pelo Sol (AYRÃO, 2018).

4.2 Radiação Eletromagnética

A luz solar é a forma de Radiação Eletromagnética mais familiar aos seres humanos. A luz refletida por objetos físicos viaja em linha reta até o olho do observador. Ao atingir a retina, gera sinais elétricos que são transmitidos ao cérebro pelo nervo óptico. Esses sinais são usados pelo cérebro para construir uma imagem dos arredores do espectador. O processo da visão é intimamente análogo ao processo de sensoriamento remoto; na verdade, a própria visão é uma forma de sensoriamento remoto (REDDY, 2008).

O que é a luz? Por séculos, para essa pergunta não houve quem pudesse dar uma resposta até a unificação da eletricidade com o magnetismo em uma única teoria (YOUNG; FREEDMAN, 2015) por James Clark Maxwell em 1860. Maxwell foi o primeiro pesquisador a entender verdadeiramente a natureza fundamental da luz.

Utilizando as propriedades do campo elétrico e do campo magnético, Maxwell calculou a velocidade de propagação dessas ondas, que possuía um valor numérico precisamente igual ao valor da velocidade da luz. Ele concebeu que a Radiação Eletromagnética como uma onda eletromagnética que se desloca pelo espaço à velocidade da luz e que a luz era, provavelmente, por natureza uma onda eletromagnética.

O fluxo de Radiação Eletromagnética (Solar) quando se propaga pelo espaço, interage com objetos e superfícies.

Este fluxo depende fortemente das propriedades físico-químicas dos elementos irradiados, e o fluxo resultante constitui uma valiosa fonte de informações a respeito daquelas superfícies ou objetos. Dentro deste contexto, pode-se conceituar Sensoriamento remoto como um conjunto de atividades cujo objetivo consiste na caracterização das propriedades físico-químicas de alvos naturais, através da

detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante por eles refletido e/ou emitido. De todas as formas de energia existentes a de especial importância para o sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética ou energia radiante, cujas fontes principais são o Sol e a Terra. (ROSA, 2009, p. 17 e 18).

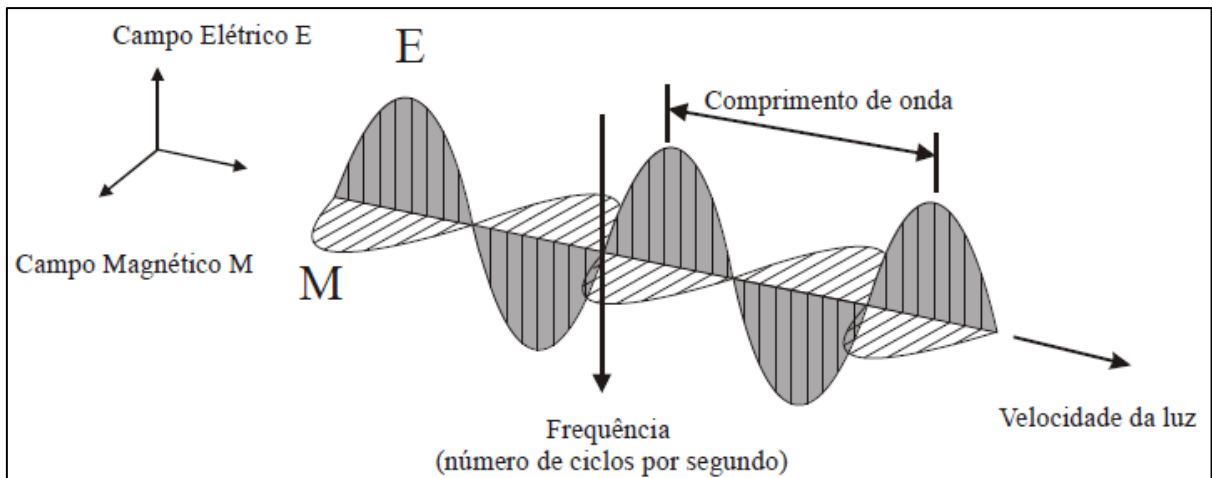
A natureza da Radiação Eletromagnética é explicada por duas teorias: a ondulatória e a corpuscular. Isso significa que a REM se propaga pelo espaço vazio, como a luz solar, tanto na forma de onda (ondulatório) quanto na forma de energia (corpuscular) (MENESES; ALMEIDA, 2012). A teoria do modelo ondulatório de Maxwell conseguiu demonstrar que a aceleração de uma carga elétrica provoca perturbações no campo elétrico e magnético, e que essas perturbações se propagam no vácuo na forma de ondas eletromagnéticas (NOVO, 2010).

Para Maxwell, o estado eletromagnético em um ponto no vácuo é expresso em dois vetores E (campo elétrico) e B (campo magnético). Portanto, a Radiação Eletromagnética se desloca no espaço em forma de ondas eletromagnéticas, não necessitando de algum meio físico para ser propagada ou transmitida. Essas perturbações (ondas eletromagnéticas) quando ocorrem no vácuo, se propagam a uma velocidade fixa (NOVO, 2010).

As ondas eletromagnéticas possuem três propriedades, sendo elas, o comprimento da onda (λ), frequência e amplitude (A). O comprimento da onda é a medida da distância de um pico da onda ao outro pico de outra onda. A frequência é o número de comprimentos de onda (quantidade de ciclos) que passam por um ponto por unidade de tempo, como por exemplo, a cada segundo. A amplitude é a altura de cada pico que é a metade da distância entre o pico máximo e o pico mínimo (LIU, 2007).

A Figura 3 mostra um típico exemplo de onda eletromagnética em um plano cartesiano ao longo da direção z . O campo elétrico E está na direção do eixo x , enquanto que o campo magnético B na direção do eixo y , ambos em função do tempo. O campo elétrico e o campo magnético variam em forma de senoide na direção z , cada qual em seu eixo específico (BRAZ, 2020). Os campos oscilam perpendicularmente e permanecem em fase, isto é, a medida de o campo elétrico oscila o campo magnético também oscila.

Figura 3. Propriedades da onda eletromagnética.

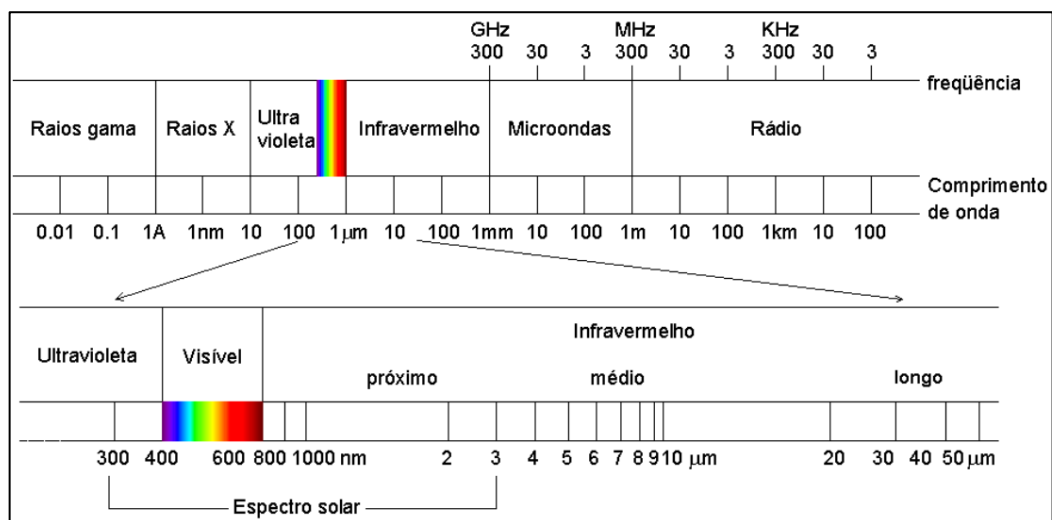


Fonte: Novo, 2010.

Como a Radiação Eletromagnética se propaga constantemente na velocidade da luz, aproximadamente a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, o que faz diferenciar uma radiação da outra é o comprimento de onda. O conjunto de todas essas radiações forma o espectro eletromagnético (MOREIRA, 2001).

O espectro eletromagnético demonstrado na Figura 4, é uma forma representativa das principais regiões de Radiação Eletromagnética em função do comprimento de onda e está subdividido em faixas (BAPTISTA, 2021). Neste caso, a frequência da onda está diretamente proporcional à velocidade de propagação e inversamente proporcional ao comprimento de onda. Portanto, quanto maior for a frequência, menor será o comprimento de onda.

Figura 4. Espectro Eletromagnético.



Fonte: Dornelles, 2008.

As diferentes Radiações obtidas pelas reações nucleares ocorridas no Sol, receberam denominações decorrente dos processos utilizados na sua produção ou determinação (STEFFEN, 1996) tais como: Raios Gama, Raios X, Raios Ultravioleta, Luz Visível, Infravermelho, Micro-ondas e Ondas de Rádio.

A faixa da Radiação Eletromagnética em que o sensoriamento remoto se baseia engloba os comprimentos de onda de luz visível, infravermelho e micro-ondas (MOREIRA, 2011). Baptista (2021, p. 43) afirma que: “Os sistemas de radar são expressos por frequência e não pelo comprimento de onda. Entende-se por frequência da onda a quantidade de ciclos (o conjunto de um vale e de uma crista) que passam por uma determinada seção transversal ou um ponto fixo de referência por segundo.”

O modelo corpuscular é outra forma de compreender a natureza da Radiação Solar. Baptista (2021, p. 43) enumera que “a radiação eletromagnética é composta por unidades discretas ou partículas de energia que são chamadas de FÓTONS ou QUANTA. Ou seja, numa onda caminham diversos corpúsculos de energia ou os fótons”.

O efeito fotoelétrico ficou compreendido como a emissão de elétrons por um material metálico quando exposto a uma determinada frequência de Radiação Solar. Quanto maior a frequência da luz maior será a energia de emissão dos elétrons (ROSA, 2009).

A compreensão do efeito fotoelétrico ocorreu em 1905, pelo físico Albert Einstein, aplicando o conceito de quantização de energia de Planck em todas as ondas eletromagnéticas. A proposta de Einstein foi chamada de quantização do campo eletromagnético pelo qual recebeu o prêmio Nobel (DIONÍSIO, 2005).

Segundo Einstein, a quantidade de energia de um fóton é caracterizada pela equação:

$$E = h \times f \quad (1)$$

onde “ h ” é a constante de Planck e “ f ” é a frequência da luz incidente. A Radiação Solar no modelo corpuscular é mais evidente em regiões de espectros de maior frequência e sua interação com a matéria. Essa dualidade de teorias mostra que a luz tanto é onda eletromagnética bem como uma fonte de energia.

Esse conceito de dualidade é extremamente importante para o sensoriamento remoto, pois sempre que alguém estiver analisando qualquer tipo de imagem de sensoriamento remoto, a coexistência da radiação eletromagnética na forma de onda e na forma de energia deverá ser considerada para que se possa explicar tudo o que se observa nas imagens com referência às características dos objetos. (MENESES; ALMEIDA, 2012, p. 4).

Existem fenômenos que são melhor estudados e compreendidos pela teoria ondulatória e outros fenômenos encontram melhor explicação pela teoria corpuscular. Os fenômenos de refletância, de transmitância e de absorbância de energia tendem a serem compreendidos pela teoria ondulatória, pois a sua interação com a vegetação, água e o solo é controlada pelo comprimento de onda, que pode variar conforme suas características biofísicas (BRAZ, 2020). Mas também, em relação aos fenômenos de absorbância e emitância são compreendidos pelo modelo corpuscular.

4.3 Conceitos da Radiação Solar

O Sol é a principal fonte de Radiação Eletromagnética da Terra devido à alta temperatura de sua superfície (fotosfera), de aproximadamente 6000K (MENESES; ALMEIDA, 2012). A depender da literatura a Radiação Eletromagnética é denominada Radiação Solar, termo que será adotado.

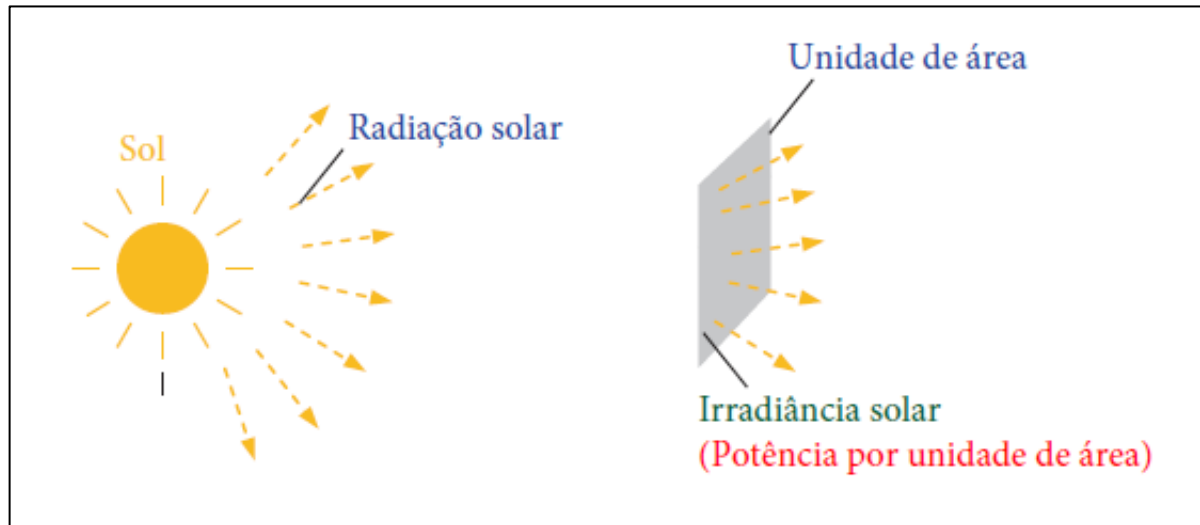
Compreender os conceitos da Radiação Solar produz melhor entendimento acerca da viabilidade da aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto no estudo dos recursos naturais. A seguir será apresentado alguns desses conceitos de Radiação Solar.

Segundo Novo (2010, p. 9) “[...] a irradiância representa a intensidade do fluxo radiante, proveniente de todas as direções, que atinge uma dada superfície”. Assim, a irradiância é calculada como a quantidade total de radiação incidente sobre uma superfície

A quantidade total de radiação eletromagnética recebida pela Terra é determinada pela projeção da sua superfície sobre um plano perpendicular à propagação da radiação (πR^2 , onde R é o raio da Terra). Como o planeta roda em torno do seu eixo, esta radiação é distribuída, embora de forma desigual, sobre toda a sua superfície ($4\pi R^2$). Daí que a radiação solar média recebida sobre a terra, designada por insolação, seja 342 W/m², valor correspondente a 1/4 da constante solar. O valor real recebido à superfície do planeta depende dos fatores astronômicos, da latitude geográfica, da época do ano (em função da posição da Terra ao longo da eclíptica), do estado de transparência da atmosfera sobre a localidade, em particular da nebulosidade. (ROSA, 2009, p. 27)

A irradiância é definida como a intensidade da irradiância solar (Radiação Eletromagnética) por unidade de área (Figura 5), que geralmente é expressada por metro quadrado (W/m²). Sua medição é em relação à área, como se a Radiação Solar fosse uma superfície de unidade imaginária. O sol ao passar por ciclos normais de atividades de máximos e mínimos faz essa irradiância solar variar ao longo do dia. No entanto, a distância do sol tem um efeito muito maior. Durante a noite é zero e atinge o pico máximo em torno do meio-dia.

Figura 5. Irradiância solar.



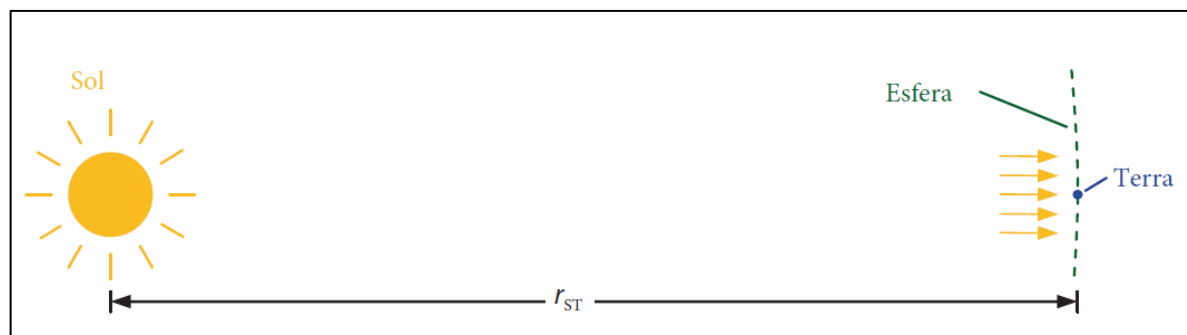
Fonte: Dunlop, 2007. Adaptado e traduzido por Kleber F. Lima, 2024.

Visando obter um padrão que viesse a servir de referência à análise da variação da irradiância, estabeleceu-se a *constante solar* (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Mertens (2014, p. 21) diz que “O Sol irradia continuamente uma quantidade de energia igual a $P_{Sol} = 3,845 \times 10^{26} \text{ W}$ em todas as direções e que a Terra recebe apenas uma pequena fração.”

A Figura 6 apresenta como se determina a constante solar. Para cálculo da constante solar adota-se uma esfera de raio r_{ST} (raio do centro do Sol à Terra) em torno do Sol. A esta distância, a quantidade de radiação do sol já está distribuída por toda a área da esfera.

Figura 6. Determinação da constante solar



Fonte: Mertens, 2014. Adaptado e traduzido por Kleber F. Lima, 2024

Assim, na posição da Terra obtemos a seguinte densidade de potência ou irradiância. A constante solar sofre pequenas oscilações em decorrência da dinâmica do plasma solar, sendo que isso também afeta, ainda que de modo discreto, a quantidade de radiação recebida pela Terra.

Outro termo importante para o estudo em questão é a insolação. A insolação é definida como a irradiação solar recebida ao longo de um período de tempo, tipicamente um dia. Geralmente medida em função do tempo, depende da nebulosidade que se manifesta a cada dia, havendo uma variação típica de acordo com as estações do ano (chuvosa ou seca). É normalmente utilizado para avaliar o potencial de energia solar de uma localização através do cálculo da energia média recebida sobre uma superfície por dia.

4.4 Interação da Radiação Solar na Atmosfera

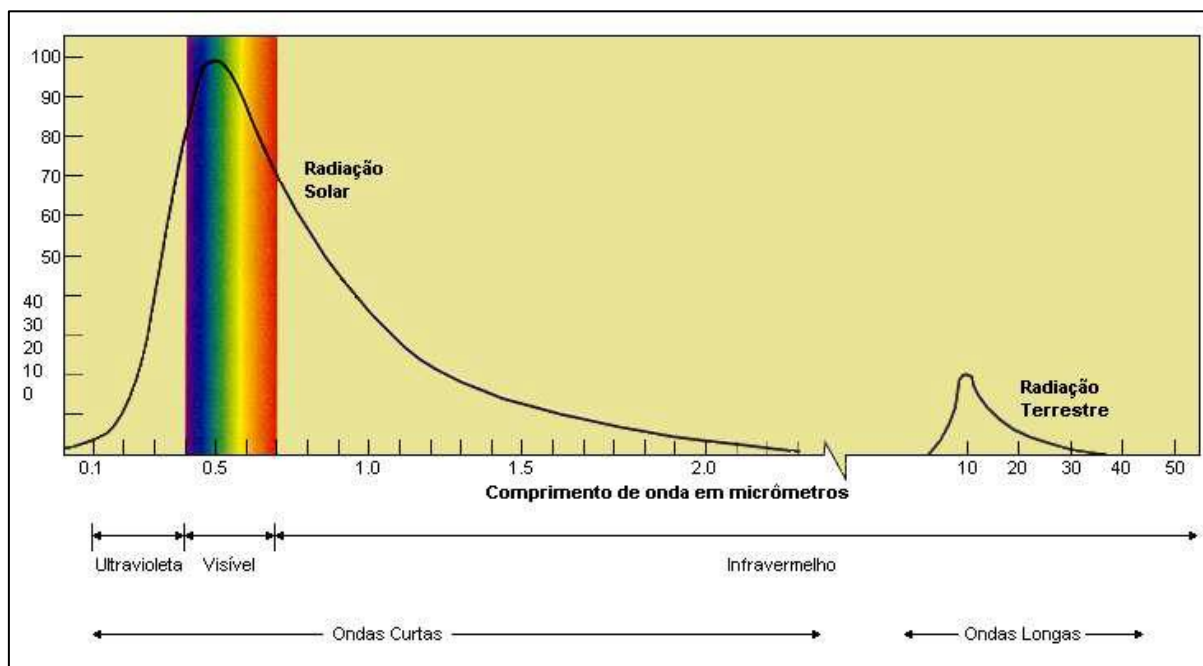
A primeira importante interação da Radiação Solar com a matéria é a interferência atmosférica. Nem todo espectro eletromagnético consegue penetrar na atmosfera da Terra porque ela possui bloqueadores de algumas radiações solares.

O planeta Terra possui um campo magnético e funciona como um grande ímã. Baptista (2021, p. 50) sustenta que o “magnetismo é formado pelo atrito gerado na rotação do núcleo externo e do interno, que determinam linhas de indução magnética que saem de um polo em direção ao outro, envolvendo e protegendo o planeta”.

A camada de ozônio atua também como filtro de Radiação Solar. Ela bloqueia os comprimentos de onda de raios ultravioleta, que em função do comprimento de onda se classificam em UVA, UVB e UVC (BAPTISTA, 2021). Balogh (2011, p. 5) afirma que “a camada de ozônio absorve 100% da radiação UVC, 90% da radiação UVB e praticamente não absorve a radiação UVA”.

A atmosfera da Terra não é transparente para radiação proveniente do Sol. Os gases e aerossóis formam barreiras impedindo que a Radiação Solar chegue à terra (LIU, 2014). A Figura 7 mostra a distribuição do espectro de energia eletromagnética do Sol no topo da atmosfera e na superfície terrestre observada ao nível do mar.

Figura 7. Curvas da distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre.



Fonte: Baptista, 2021.

Os gases presentes na atmosfera conseguem absorver parte da Radiação Eletromagnética como o ozônio (O₃), o vapor d'água (H₂O), o oxigênio (O₂) e o gás carbônico (CO₂). A energia solar (Teoria Corpuscular) incidente decresce abruptamente abaixo dos comprimentos de ondas do ultravioleta atingindo valores mínimos além dos comprimentos de onda de 3,0 μm (MENESES; ALMEIDA, 2012).

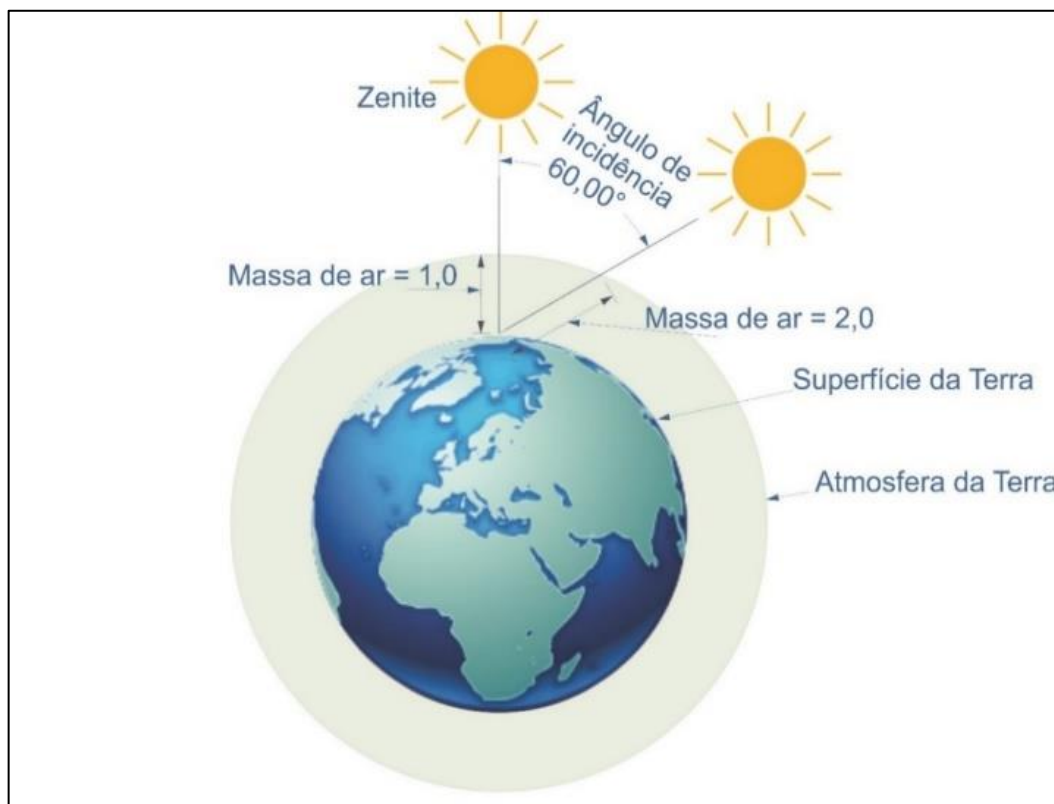
A quantidade de Radiação Solar que é absorvido ou disperso na atmosfera depende da quantidade de atmosfera que passa antes de atingir a superfície da Terra. O espectro eletromagnético muda quando se passa através da atmosfera. O efeito torna-se maior, quanto maior for o percurso da luz. A Figura 8 mostra diferentes espectros de acordo com o percurso dos raios através da atmosfera.

Quando o Sol quando estando no zênite, ponto no céu onde o sol incide diretamente em cima de uma localização particular, a quantidade de atmosfera que os raios solares têm que passar para chegar à superfície da Terra é mínima, com massa de ar igual a 1,0. Jucá e Carvalho (2013, p. 17) relata que a “Massa de ar igual a 1,0 não é sinônimo de meio dia terrestre, pois o Sol, ao meio dia, não está necessariamente no zênite local.”.

À medida que o Sol se aproxima do horizonte, tem-se o ângulo zênite (ângulo entre o feixe solar e o zênite), que vai aumentando a quantidade de atmosfera (massa de ar) que os raios

solares terão que atingir a mesma localização. Ao atingir aproximadamente $60,00^\circ$, a massa de ar é equivalente a 2,0 e com ângulo de 60° , a massa de ar chega a 2,0. (CRESESB, 2014).

Figura 8. Incidência de radiação em função da quantidade de massa de ar.

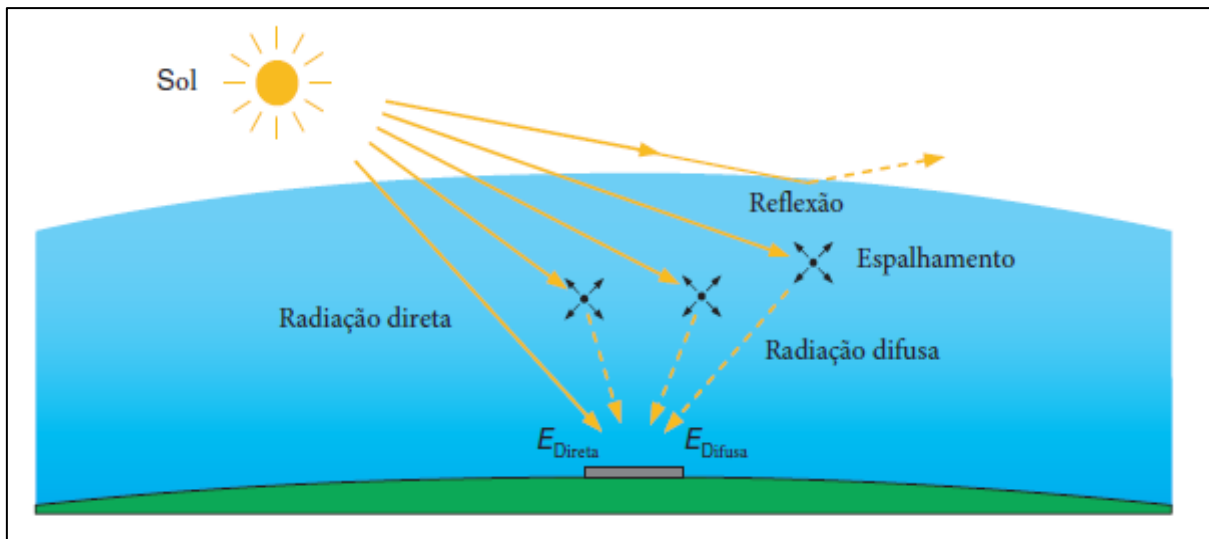


Fonte: CRESESB, 2014. Adaptado por Kleber F. Lima, 2023.

A luz solar sobre a superfície da terra compreende uma porção direta e uma porção difusa. Na Figura 9 pode-se observar o comportamento da radiação solar na atmosfera. A Radiação Solar viaja desimpedida no espaço sideral e quando atinge a atmosfera da Terra, essa permite que parte dessa radiação continue diretamente à superfície sem dispersão. Chamam-na de radiação direta, pois vem diretamente do sol projetando fortes sombras em objetos.

Por outro lado, outra parte dessa Radiação Solar sofre dispersão, seja pelas nuvens ou pela atmosfera, espalhando em várias direções, sem ter direção definida. Sendo assim, um ponto na terra pode receber a radiação difusa a partir de várias direções de uma só vez, em adição à radiação direta do sol. Existe ainda, composta pela radiação difusa, aquela que é refletida espalhando ou voltando para o espaço, chamada de reflexão de albedo.

Figura 9. Comportamento da Radiação Solar na atmosfera.



Fonte: Mertens, 2014. Adaptado e traduzido por Kleber F. Lima, 2024.

De toda radiação solar, 51% é absorvida pela superfície terrestre (radiação direta e difusa); 6% é refletida pela atmosfera, 20% é refletida para o espaço pelas nuvens, 4% é refletida pela superfície e 19% absorvida pela atmosfera (O_3 , H_2O , CO_2 etc.). (REBOLLAR; RODRIGUES, 2011). Somando todas as radiações determina-se a radiação solar global.

4.5 Instrumentos de Medição da Radiação Solar

A medição da radiação solar, tanto da global como das componentes direta e difusa, na superfície terrestre é de grande importância para o estudo das influências das condições climáticas e atmosféricas, como também para o desenvolvimento de projetos que visam a captação e a conversão da energia solar. Com um histórico dessas medidas, pode-se viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos em uma determinada região, garantindo o máximo aproveitamento do recurso ao longo do ano, onde as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações (CRESCER, 2014, p. 85).

A Radiação Solar é a variável mais importante para o desenvolvimento de um projeto de aproveitamento de energia solar FV, pois a partir desse dado é possível identificar e selecionar a localização ideal para se instalar um sistema solar FV, bem como calcular a produção de energia diária, mensal e anual.

A medição dos dados solares tem como objetivo a obtenção do valor da irradiância ao longo do tempo (minuto, hora, dia ou ano). Conhecer os valores da irradiância e de suas componentes direta e difusa incidentes em uma superfície tornam-se necessários para aproveitamento da energia gerada pelo Sol (CRESESB, 2014).

Na Figura 10, o instrumento de medição comumente usado, capaz de medir a radiação solar é o piranômetro. Já na Figura 11, o Heliógrafo mede a insolação (tempo) nas estações climatológicas. Ele ajuda a dimensionar a produção de energia fotovoltaica em épocas diferentes do ano, em função da nebulosidade.

Figura 10. Piranômetro termelétrico.



Fonte: CRESESB, 2014.

Figura 11. Heliógrafo.



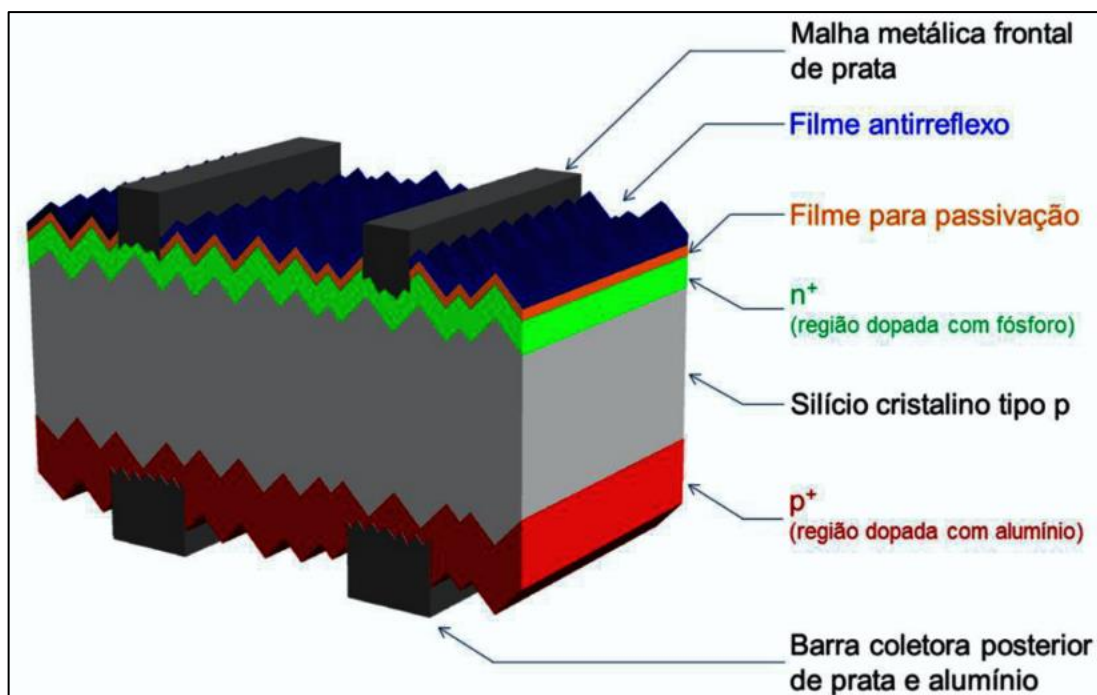
Fonte: CRESESB, 2014.

4.6 Aproveitamento da Radiação Solar

O aproveitamento da Radiação Solar ocorre através do efeito fotovoltaico. No efeito fotovoltaico (FV), o aproveitamento do recurso solar é na forma de energia elétrica, pela incidência de fótons (com comprimento de onda adequado) em um material semicondutor, previamente purificado e dopado. O material semicondutor é o principal elemento das chamadas células solares, que interligadas são denominados módulos fotovoltaicos. (CRESESB, 2014).

A Figura 12 mostra a estrutura básica de uma célula de silício cristalino. O semicondutor utilizado para fabricação de células solares é o silício dopado com boro, com regiões n+ dopadas com fósforo e p+ dopada com alumínio. O filme antirreflexo é para absorção de toda luz solar. A malha metálica de prata e a barra coletora de prata e alumínio tem função de contato frontal e posterior.

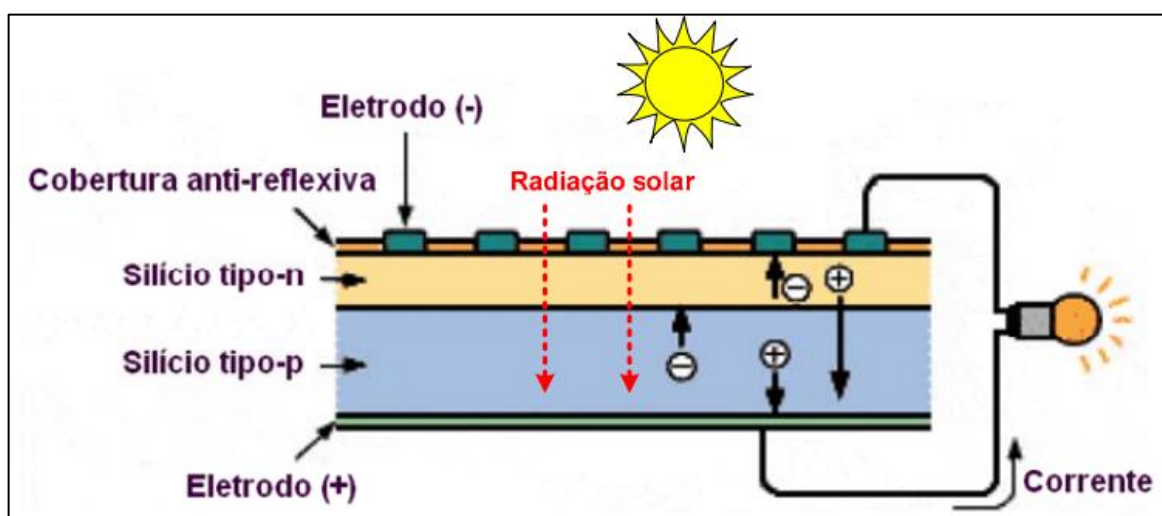
Figura 12. Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício cristalino.



Fonte: CRESESB, 2014.

O princípio de funcionamento da célula solar é exemplificado na Figura 13. Quando uma célula solar recebe incidência da luz solar, os fótons da luz absorvida emitem elétrons que se movem sobre a estrutura cristalina do material formando corrente elétrica.

Figura 13. Funcionamento da célula solar.



Fonte: CRESESB, 2014.

Além de conceitos apresentados anteriormente e do princípio de funcionamento da célula solar, para que se tenha um aproveitamento de energia proveniente do Sol de forma eficiente, algumas variáveis devem ser consideradas como a angulação e a direção dos painéis solares. O ângulo e a direção dos painéis solares dependem, principal da posição geográfica.

Cada localidade, de forma geral, possui uma melhor angulação e direção para posicionamento do painel solar. A inclinação e orientação dos painéis dependem da razão entre a radiação direta e difusa na localidade. Ruther (2004, p. 28) nota que “a orientação ideal é a de uma superfície voltada para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte)”.

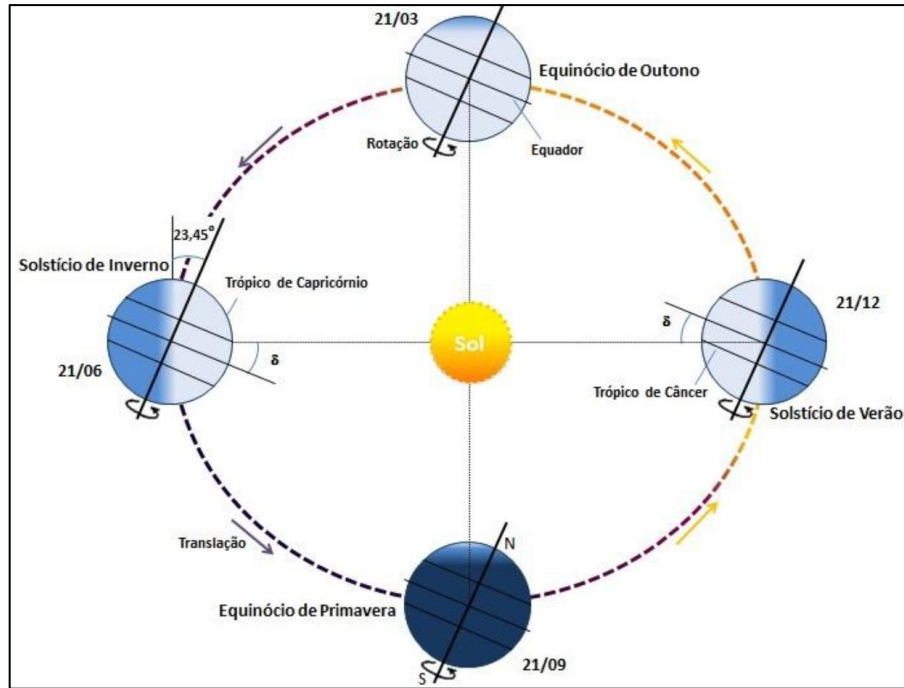
Sendo assim, vale introduzir alguns conceitos que envolvem os movimentos e posicionamentos do planeta em relação ao Sol. Esses conceitos têm por finalidade encontrar a máxima incidência de radiação solar em um dado local.

A disponibilidade da radiação solar na superfície terrestre depende das condições climáticas (como umidade do ar, nebulosidade, albedo, etc.), da latitude local e da posição no tempo, isto é, da hora do dia e dia do ano (ANEEL, 2008). Quanto a este último, se deve aos dois grandes movimentos que a Terra realiza: a revolução anual da Terra em torno do Sol (trajetória elíptica) e rotação diária sobre seu eixo.

A inclinação da Terra em relação a esses movimentos como mostra a Figura 14, mostra que o eixo polar da Terra está inclinado por um ângulo de $23,45^\circ$ para o plano da órbita da Terra sobre o Sol. O ângulo de declinação (δ), que varia ao longo do ano é o ângulo entre o plano do Equador e o eixo de rotação da Terra. Este ângulo varia de $+23,45^\circ$ em 21 de junho para $-23,45^\circ$ em 21 de dezembro.

Quando a Terra está no equinócio de Outono ou de Primavera, quando o dia e a noite têm a mesma duração (21 de março e 21 de setembro), a declinação solar é nula (CRESESB, 2014). Quando o ângulo de declinação está em $-23,45^\circ$, um ponto no hemisfério sul terá seu mais longo período de luz do dia, chamado o solstício de verão (21 de dezembro). Quando o ângulo de declinação está em $23,45^\circ$, um ponto no hemisfério sul terá período de escuridão mais longo, chamado o solstício de inverno (21 de junho) (MESSENGER, 2005).

Figura 14. Inclinação do eixo da Terra em relação à altitude solar (γ_s)



Fonte: CRESESB, 2014.

Diversas expressões para calcular a declinação em graus têm sido relatadas. No entanto, a equação de Cooper (VIANELLO; ALVES, 1991, p. 449) foi adotada neste texto.

$$\delta = 23,45^\circ \text{sen} \left[\frac{360^\circ(n+284)}{365} \right] \quad (3)$$

Esta fórmula concede apenas uma boa aproximação da declinação solar. Em qualquer caso, para determinar a localização do Sol no céu a qualquer hora do dia, em qualquer época do ano em qualquer local no planeta, a declinação é um parâmetro importante.

Orientação e Inclinação

A placa solar deve ser posicionada de maneira correta para que haja uma máxima captação da radiação solar. Portanto, devem-se observar duas condições essenciais que são descritas a seguir.

Os efeitos da inclinação e orientação dos painéis no Rendimento do gerador dependem da razão entre a radiação direta e difusa locais, bem como da fração de albedo (reflexão dos arredores), que é característica do ambiente que circunda a instalação. Como regra

geral, a inclinação ótima com relação à horizontal para incidência solar máxima em regime anual é dada pela latitude local. (RUTHER, 2004, p. 28)

A melhor orientação para que os módulos fotovoltaicos tenham um bom desempenho é a de estarem orientados em direção à linha do Equador. Essa orientação irá permitir uma maior geração de energia durante o ano inteiro. Caso o local onde se deseja instalar um gerador fotovoltaico seja no hemisfério norte, sua orientação deve ser para o sul geográfico ou, seja no hemisfério sul sua orientação será ao norte geográfico.

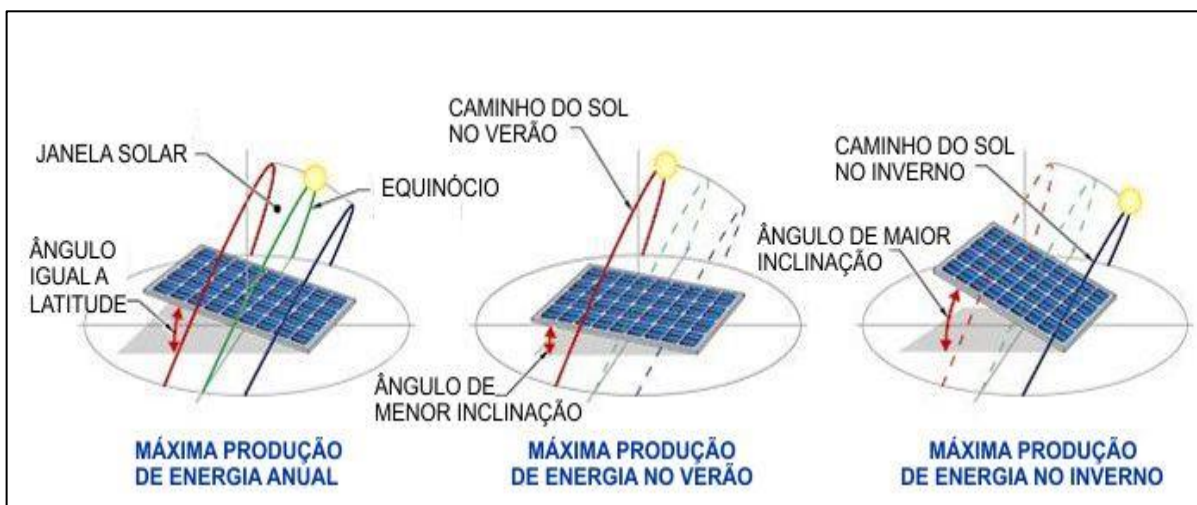
Sabendo da posição em que o painel solar será posicionado, valerá ainda saber qual o ângulo de inclinação para a máxima geração de energia ao longo do ano (DUNLOP, 2007). Mas, havendo pequenas variações na inclinação, desde que seja em torno de 10° não ocasionam prejuízos na geração de energia. Por exemplo, se a latitude em um local é de 28° , então, a variação da inclinação por estar em torno de 18° a 38° .

Para locais que se localizam próximos à linha do equador, aconselham-se uma inclinação de no mínimo de 10° para evitar as chamadas sombra temporal, provocadas pelas sujidades no painel e também no favorecimento da limpeza do painel pela ação do vento e das chuvas.

No entanto, as alterações do caminho do sol e as variações sazonais do clima local podem afetar o ângulo de inclinação ideal para um sistema de energia solar em um determinado local. Entretanto, o sistema pode ser automatizado, com uso de rastreadores que acompanham o caminho do Sol, vindo a apresentar melhor desempenho, mas em contrapartida, o custo será mais alto, bem como a de sua manutenção frequente (CRESESB, 2014).

A Figura 15 ilustra a produção de energia através de painéis solares em determinadas épocas do ano. Quando o Sol está no equinócio o ângulo de posicionamento do painel solar é igual ao da latitude. Quando o Sol se posiciona no verão esse ângulo de inclinação é menor ao da latitude. E quando o Sol se posiciona no inverno o ângulo de inclinação é maior que o da latitude local.

Figura 15. Variação do ângulo de inclinação durante o ano para máxima produção de energia solar.



Fonte: Dunlop, 2007. Adaptado e traduzido por Kleber F. Lima, 2023.

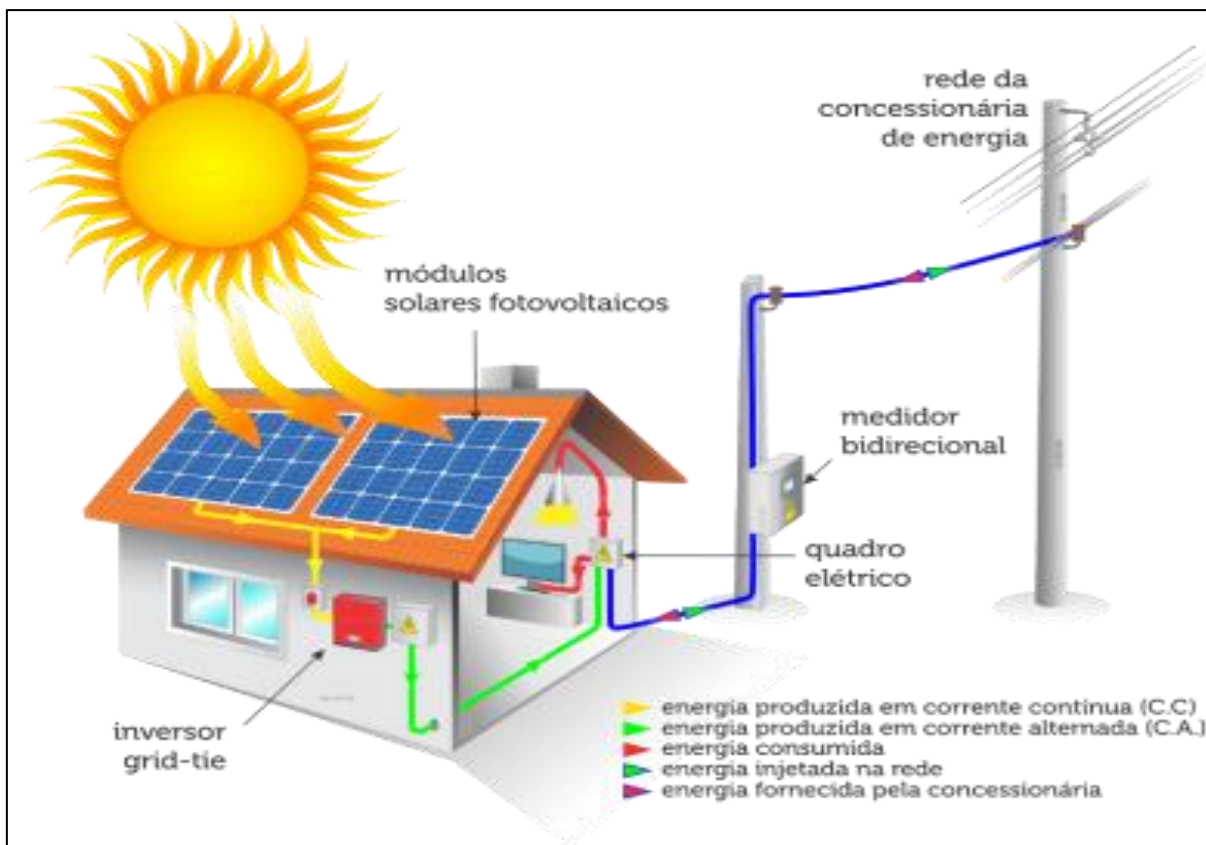
4.7 Tipos de Sistemas Solares Fotovoltaicos

Quanto aos tipos de sistemas fotovoltaicos mais conhecidos são chamados de *on-grid*, *off-grid* e híbrido. Os sistemas FV chamados de *on-grid* são aqueles que são conectados à rede elétrica da concessionária de energia. A Figura 16 exemplifica um sistema FV conectado à rede. Os componentes desse sistema são os módulos solares fotovoltaicos e inversor solar.

Os módulos FV expostos à luz solar produz energia elétrica e esta energia é enviada ao inversor FV, que tem a função de converter e parametrizar a energia gerada pelos módulos com a energia da rede da concessionária, fornecendo uma energia de qualidade aceitável, em conformidade com as normas em vigência (POMÍLIO *et al.*, 2021).

O medidor bidirecional registra tanto a energia que é consumida da rede da concessionária quanto a energia excedente produzida pelo sistema FV. Se no fechamento da fatura de energia do mês o excedente de energia for maior que o consumido da rede da concessionária de energia, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) para abater na fatura dos meses subsequentes ou para abater no consumo de energia em outro imóvel.

Figura 16. Esquema de sistema solar fotovoltaico on-grid.

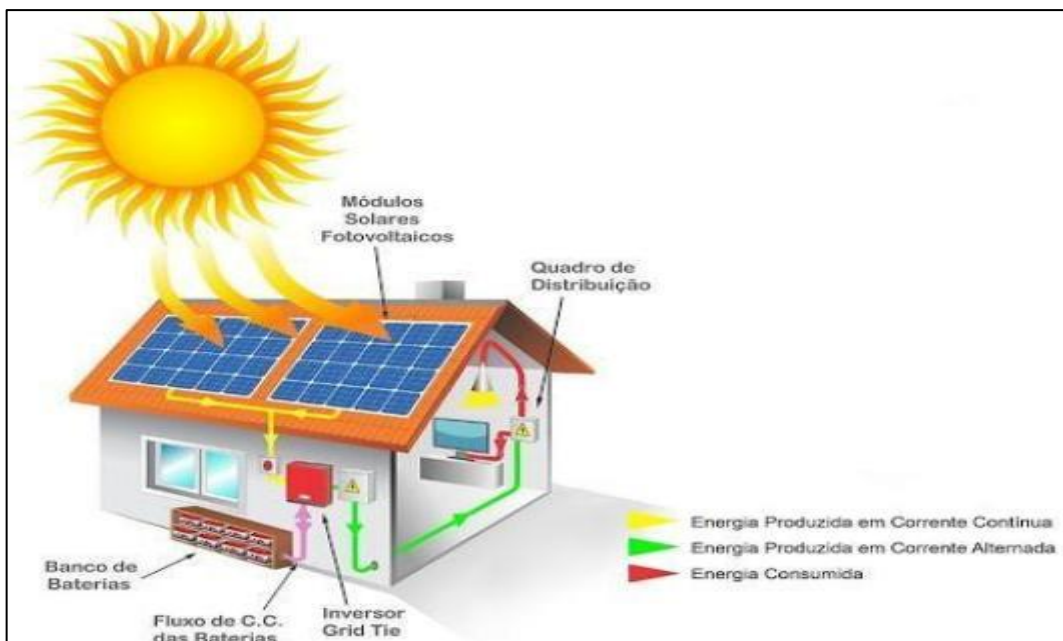


Fonte: LUZ SOLAR, 2021.

Os sistemas solares FV *off-grid*, são sistemas que estão isolados da rede elétrica da concessionária de energia. Comumente são utilizados em zona rural onde não há acesso à rede de energia elétrica da concessionária.

A Figura 17 exemplifica um sistema FV fora da rede (*off-grid*). Os componentes de um sistema FV *off-grid* são os módulos FV, controlador de carga, inversor *off-grid* e baterias. O controlador de carga tem a função de controlar o armazenamento da energia nas baterias. A principal função do controlador de carga é preservar a vida útil da bateria, recebendo a carga de forma adequada (TIEPOLO, 2015). O inversor *off-grid* converte a energia das baterias em energia elétrica adequada ao uso de equipamentos elétricos.

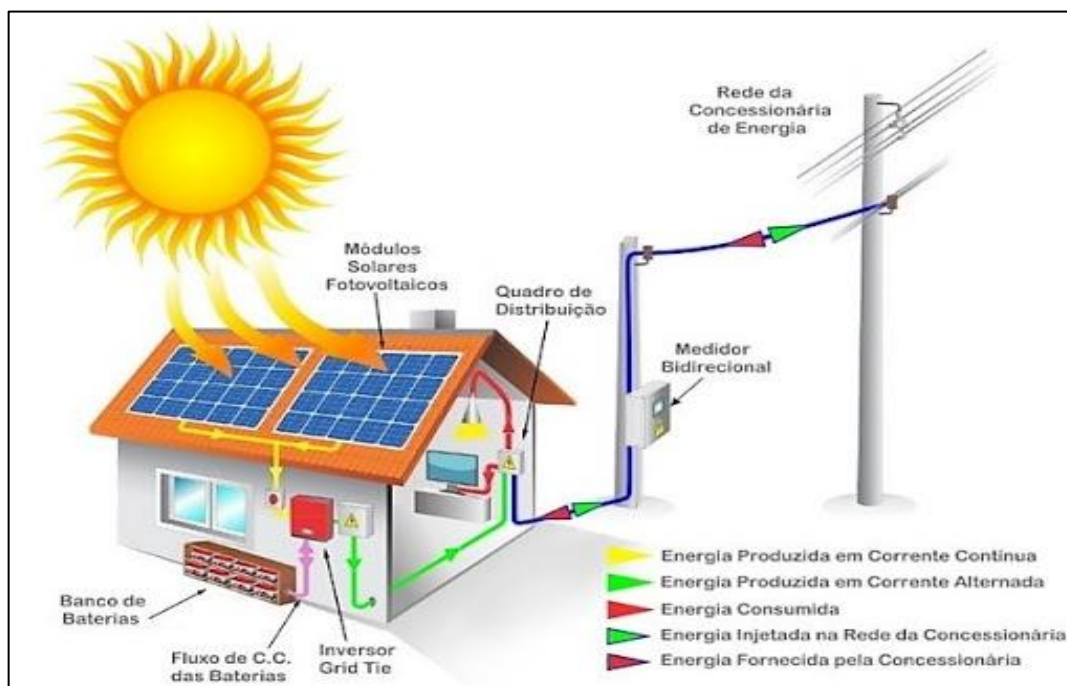
Figura 17. Esquema de sistema solar FV *off-grid*.



Fonte: LIMA, 2024.

Os sistemas FV híbridos (Figura 18) é a combinação dos sistemas *on-grid* e *off-grid*. Neste caso, o inversor híbrido tem a função de controlar o carregamento das baterias e de converter a energia dos módulos em energia elétrica em corrente alternada.

Figura 18. Esquema de sistema solar fotovoltaico híbrido.



Fonte: OCA SOLAR, 2024.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento deste estudo compreende uma revisão de literatura narrativa baseada em conteúdos técnicos e científicos relacionados ao Efeito Fotovoltaico, princípios físicos de Sensoriamento Remoto; conceitos e interação da Radiação Solar na atmosfera; instrumentos de medição da radiação solar, formas de aproveitamento da Radiação Solar e ao mercado de energia solar fotovoltaica.

O conteúdo deste estudo não abrange todas as investigações científicas sobre o tema em estudo, porém expressa uma visão exploratória na literatura contemporânea que são necessários para compreender os fatores tem influenciado, através do método de análise PESTAL, o uso de energia solar FV no município de Porto Nacional – TO.

Para desenvolvimento deste estudo, a metodologia utilizada foi de caráter bibliográfica, quantitativa e explicativa para levantamento dos dados utilizados para construção da análise PESTAL.

5.1 Levantamento de Material Bibliográfico

A coleta dos dados consistiu em levantamento bibliográfico, na busca de dados teóricos através de pesquisas em livros, artigos, dissertações e sites governamentais relacionados à compreensão do tema em questão. A seleção de cada aspecto de fundamentação deste trabalho foi realizada de forma individual, de maneira que obtivesse abundância de dados.

Nesse levantamento bibliográfico foram abordados alguns princípios da Radiação Eletromagnética (Radiação Solar) desde a descoberta desse efeito por Becquerel até à sua compreensão na atualidade. Conhecer as características da REM se faz necessário para compreensão e desenvolvimento da pesquisa.

O levantamento bibliográfico da área em estudo também se fez necessário para compreender desenvolvimento do tema em questão. Para obtenção desses dados foi utilizado o site do IBGE e Secretaria de Planejamento de Porto Nacional – TO (SEPLAN-PN).

5.2 Levantamento de Material Quantitativo

O levantamento quantitativo foi utilizado para contabilizar os sistemas solares fotovoltaicos instalados na sede do município portuense entre os anos de 2018 a 2022. Esses

dados foram fornecidos pela concessionária de energia elétrica Energisa - TO, localizada na cidade de Palmas - TO, através da gerência do Departamento de Projetos após contato pessoal.

A planilha disponibilizada, em formato do software do Office Excel com extensão *xlsx*, contém 4 colunas renomeadas como NOME_CIDADE, BAIRRO, DATA_DE_APROVAÇÃO e POT_INSTALADA. Primeiramente, um filtro foi aplicado na coluna BAIRRO para mostrar somente bairros da sede de Porto Nacional, ocultando os bairros dos distritos de Luzimangüês, Escola Brasil, Pinheirópolis e zona rural.

Um outro filtro foi aplicado na coluna DATA_DE_APROVAÇÃO para organizar de forma crescente, as datas de aprovação. E por último um filtro para organizar os bairros em ordem alfabética. A partir desses filtros foi possível quantificar os sistemas FV por mês, ano e bairro para criação de gráficos e mapas.

5.3 Levantamento de Material Cartográfico

Para caracterização da área em estudo, foi utilizado base *geopackage*, da base cartográfica do IBGE, escala 1:250.000 através do seu servidor FTP, selecionando limite unidade federação, limite município e limite área densamente edificada.

Os dados cartográficos para delimitação de bairros na sede municipal em estudo foram obtidos de forma presencial, pela Secretaria de Planejamento de Porto Nacional (SEPLAN-PN) em formato digital para uso de software AutoCad.

As imagens de Radiação Solar foram obtidas pelo Atlas Solarimétrico do Tocantins produzido pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins (SEMARH) e disponibilizado de gratuitamente na forma digital. O Atlas reuni informações solarimétricos há mais de 30 anos no Estado.

Os demais dados cartográficos necessários para desenvolvimento desse estudo foram obtidos gratuitamente através do site da *Solar Geographical Information System* (SOLARGIS). Essas imagens contêm informações da Radiação Solar Global, Direta e Difusa.

5.4 Levantamento de Material Qualitativo

Posteriormente, foi realizada uma seleção de materiais baseada na análise qualitativa que pudesse atingir o objetivo deste estudo. O levantamento de material descritiva foi para classificar as variáveis que envolve a metodologia de análise PESTAL como: política,

economia, social, tecnologia, ambiental e legal que envolve a energia solar fotovoltaica no Brasil e no município de Porto Nacional - TO

A busca por informações nos fatores políticos, econômicos e legais foi realizada em sites governamentais, em Projetos de Leis, em Regulações, em Resoluções, em Normas e incentivos governamentais.

As seguintes bases de pesquisa que foram utilizadas: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), o Ministério das Minas e Energia (MME), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

No fator Social também foram avaliadas as políticas governamentais no que diz respeito ao incentivo do uso de energia solar FV, se existe conscientização da população acerca dos impactos ambientais e quais os benefícios de utilizar a energia solar FV.

No fator Tecnológico foi considerado o avanço da tecnologia que com o passar dos anos vem reduzindo o custo dos equipamentos de uso da energia solar FV, com isso, dando mais acesso a essa fonte de energia renovável. Dentre as fontes está a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

No fator Ambiental foram considerados a disponibilidade de luz solar, do clima e condições climáticas, localização geográfica e topografia do terreno e gases de efeito estufa (GEE). A redução de dependência de combustíveis fósseis foi um ponto considerado nesse fator e quais benefícios ambientais, ajudando a mitigar as mudanças climáticas e a preservar o meio ambiente.

Todos esses fatores se entrelaçam mostrando que diversas ações no incentivo ao uso de energia solar FV trazem benefícios gerais.

5.5 Elaboração de Mapas e Imagens

A elaboração do mapa de localização, foi desenvolvido a partir da base cartográfica do IBGE, escala de 1:250.000, baixado do seu servidor FTP no software QGIS, versão 3.14.16, de licença gratuita. Destaca-se a parceria com o Laboratório de Geoprocessamento do Curso de Geografia, Campus de Porto Nacional, da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

Os mapas com o quantitativo de sistemas solares FV foram produzidos a partir do software AutoCad 2022, versão acadêmica.

Com os dados obtidos pela Energisa/TO, e com o mapa digital fornecido pela Secretaria de Planejamento de Porto Nacional/TO (SEPLAN-TO), foi possível desenvolver os mapas no

período de 2018 a 2022 (Figuras 20 a 24). O uso do software AutoCad foi devido o formato de arquivo fornecido pela SEPLAN/PN.

6 ANÁLISE MACROAMBIENTAL: FATORES POLÍTICO, ECONÔMICO, SOCIAL, TECNOLÓGICO, AMBIENTAL E LEGAL

O método de análise PEST foi conceituado por Francis Joseph Aguilar, em 1967, em seu livro “*Scanning the Business Environment*” (SAMMUT-BONNICI; GALEA, 2015). A partir de então, surgiram algumas variações conforme as necessidades de análises. A diferença entre o PEST e o PESTAL está na inclusão de dois fatores: Ambiental e Legal.

A análise PESTAL é uma metodologia que pode ser utilizada para avaliar o ambiente em que uma tecnologia, como neste caso, a energia solar, está sendo utilizada ou pode ser utilizada. Esse método foi escolhido pois abrange seis fatores: político, econômico, social, tecnológico, ambiental e legal, fatores relevantes para o estudo.

Johnson, *et al.* (2011), menciona que este método objetiva realizar uma análise para identificação de possíveis pontos que indicam o sucesso ou fracasso de uma estratégia de mercado.

A seguir, cada fator será analisado da seguinte forma:

- Fator Político: Políticas governamentais que incentivam a utilização de fontes de energia renovável; políticas de incentivo fiscal, como redução de impostos para empresas que utilizam energia solar FV; regulação e legislação, estabilidade política.
- Fator Econômico: Aumento da tarifa de energia; Taxa de juros de financiamento; Redução de custos de produção de equipamentos solares, como painéis solares e baterias; Valorização de Imóveis; Redução de IPTU.
- Fator Social: qualidade de vida; inclusão social; Acesso à energia em lugares remotos; saneamento básico.
- Fator Tecnológico: Desenvolvimento de novas tecnologias de produção de painéis solares, inversores e baterias;
- Fator Ambiental: Necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A utilização dessa fonte de energia reduzirá o uso de termelétricas e a dependência de fontes de energia não renovável, como o petróleo, carvão e gás, reduzindo os impactos ambientais associados a essas fontes de energia.
- Fator Legal: Apesar de existirem alguns aspectos que sejam similares aos fatores políticos e econômicos, a existência de leis que regulamentam a geração de energia solar FV, como a legislação que permite a Geração distribuída (GD) de energia solar FV,

pode facilitar o uso dessa fonte de energia. No entanto, a burocratização para instalações de grande porte, tem gerado atrasos projetos de usinas solares.

Os fatores que compõem o método de análise PESTAL, no uso de energia solar fotovoltaica, não são independentes entre si, ou seja, um fator pode influenciar um outro ou mais fatores dentro da mesma análise.

O Fator Político e Legal, que correspondem a leis e incentivos governamentais favorecem ao Fator Tecnológico, seja com isenção de impostos na importação de insumos ou com estabelecimento de empresas do ramo no país, que por sua vez, influencia o Fator Econômico, reduzindo o custo de equipamentos.

A redução de custos influencia o Fator Social promovendo bem-estar, pois haverá maior acessibilidade por parte da população ao uso dessa fonte de energia renovável que, recairá no Fator Ambiental, reduzindo a participação do uso de termelétricas.

Portanto, ao mencionar um fator de análise, outros fatores podem estar envolvidos também.

6.1 Fator Político

O incentivo ao uso de energia solar fotovoltaica tem adquirido destaque nos últimos anos, principalmente devido a busca por fontes de energia renovável. No entanto, esse incentivo foi possível através de leis e políticas governamentais.

O fator político tem influência no uso de energia solar FV no município de Porto Nacional, pois através das políticas governamentais, quanto à utilização de fontes de energia renovável, é que podem aumentar a demanda por essa tecnologia.

Em 2002, o Governo Federal, como forma de incentivar o uso de fontes alternativas de energia cria o programa PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas). Apesar desse projeto incentivar a participação de energias renováveis conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), a energia solar não foi contemplada por “não se tratar de uma fonte considerada viável e estratégica, principalmente por seu custo de produção ser consideravelmente superior às demais fontes.” (ABINEE, 2012, p. 42).

No entanto, algumas iniciativas governamentais foram desenvolvidas que favoreceram o uso de sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural (FLANAGAN; CUNHA, 2002), programas como Programa Luz Solar, criado em Minas Gerais; o Programa Luz do Sol, no Nordeste e o Programa Luz no Campo, de nível nacional (GALDINO; LIMA, 2002).

Em 2015 o Ministério das Minas e Energia, pela Portaria MME nº 538/15, cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) como forma de ampliação da Geração Distribuída (GD) (MME, 2015).

A Geração Distribuída corresponde a geração de energia elétrica junta ou próxima do local de consumo, independente da potência, tecnologia e fonte de energia, diferente da Geração Centralizada proveniente das Usinas Hidrelétricas. Com a GD todas as regiões no Brasil podem ter acesso a energia elétrica, permitindo que áreas rurais prosperem, reduzindo os problemas sociais nas cidades.

Uma política chave de incentivo ao uso de energia solar FV, tornando-a mais econômica e atraente para os consumidores, foi o estabelecimento do *Net Metering* pela Resolução 482/2012. O *Net Metering* é uma política estabelecida que permite que os proprietários de sistemas solares FV residenciais ou comerciais recebam créditos na sua conta de energia quando geram mais energia do que consomem.

Em outras palavras, o *Net Metering* é um sistema de compensação de energia elétrica que credita aos proprietários pela eletricidade que adicionam à rede. Isso acontece quando o sistema de energia solar FV produz mais energia do que é consumida no local durante o dia e a energia excedente é injetada para a rede elétrica da concessionária de energia local.

Essa energia injetada na rede elétrica é utilizada para compensar o consumo de energia elétrica em período noturno ou quando o sistema de energia solar FV não estiver funcionando. Portanto, o *Net Metering* permite que os clientes dos serviços públicos gerem a sua própria eletricidade de forma limpa e eficiente.

O Governo Federal, através da ANEEL, promoveu em 13 de novembro de 2015 o 2º Leilão de Energia de Reserva sendo destinado à contratação de energia elétrica para novos empreendimentos de geração das fontes de energia solar fotovoltaica e eólica. Neste certame, o setor fotovoltaico alcançou contratação de 2.453 lotes, com montante de 548,2MW de capacidade de geração de energia (ANEEL, 2015).

A principal forma de contratação de energia no território brasileiro ocorre através de leilão de energia, onde novas usinas recebem concessão para operar por um período de tempo estabelecido, com o objetivo de atender as distribuidoras de energia. Isso mostra que as fontes de energia renováveis vêm ganhando representatividade no mercado brasileiro de energia, bem como o interesse de investidores nesse segmento.

O Governo Federal instituiu, em 2018, a Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica (PRONASOLAR), tendo como principal objetivo a ampliar a utilização do uso de energia solar

fotovoltaica por meio de linhas de crédito facilitadas e condições de juros e pagamentos acessíveis.

Em 2021, o Governo Federal através da Resolução ANEEL REN 940/2021 regulamenta o Programa Mais Luz para levar energia solar FV às comunidades isoladas na Amazônia Legal. O Programa visa levar energia a comunidades isoladas como ribeirinhos, indígenas e quilombolas e reduzir gases de efeito estufa (GEE) substituindo geradores de energia elétrica a diesel ou gasolina.

Esse fator, apesar de estar relacionado a programas nacionais, também tem relação com o uso de energia solar fotovoltaica no município de Porto Nacional, uma vez que o poder público municipal e as políticas adotadas, relativas ao setor, estão no mesmo contexto.

6.2 Fator Econômico

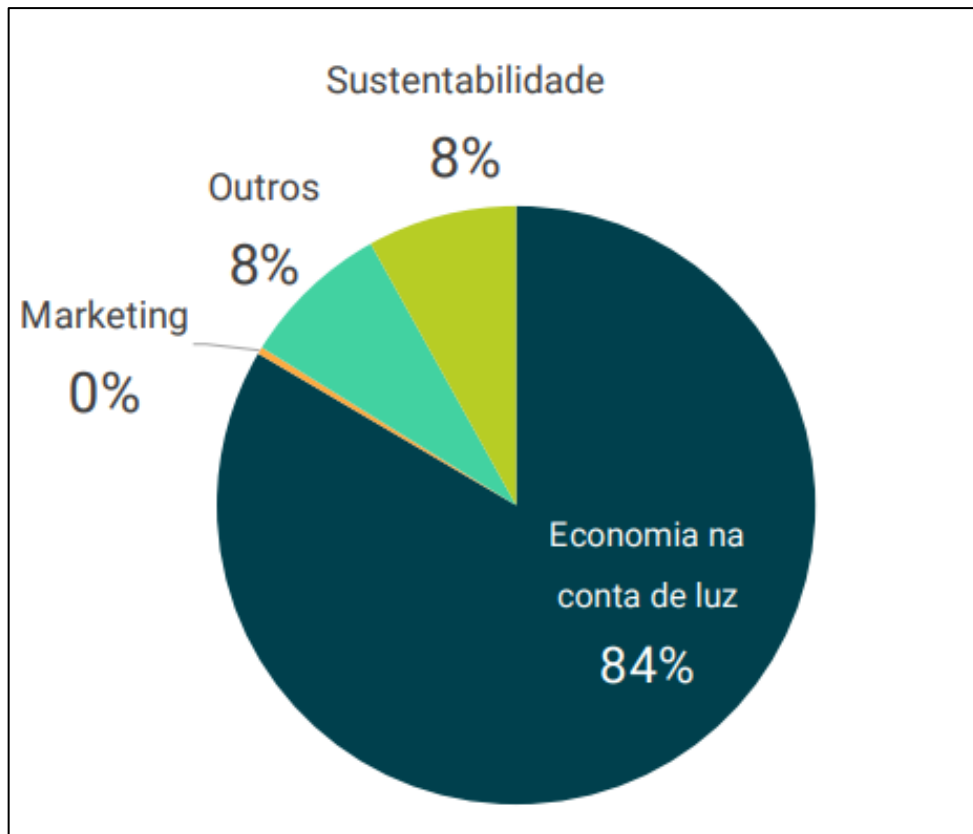
O fator econômico influencia tanto a demanda como a oferta do uso de energia solar fotovoltaica e representa o poder de compra por parte da população, variação da renda familiar, inflação, políticas fiscais, taxa de juros, crescimento econômico do país, acesso ao crédito, entre outras formas de investimento (GONDIM, 2013).

Os objetivos que os consumidores possuem, de forma geral, envolvem questões econômicas, funcionais e emocionais. Nesse conceituação, o objetivo econômico está relacionado com os impactos financeiros; já o objetivo funcional está relacionado à utilidade (eficiência) e o objetivo emocional envolve a autoestima (TYBOUT; CALDER, 2013).

Segundo pesquisa realizada pela Greener, no Brasil, a principal motivação para se adquirir um sistema de energia FV está relacionada à economia na fatura de energia elétrica como mostrado no Gráfico 2, o qual mostra que o principal interesse por adquirir sistema fotovoltaico é para economia na conta de luz (84%). Esse interesse se justifica devido ao aumento das tarifas de energia elétrica na maioria dos estados brasileiros, bem como das elevadas taxas extras, conhecidas como “bandeiras” em período de escassez hídrica com baixos níveis nos reservatórios das usinas hidrelétricas.

O segundo motivo apresentado, está relacionado à sustentabilidade com 8% do total. Meso assim, é preciso sensibilizar a população em relação à importância em investir em soluções sustentáveis. Ainda com o mesmo percentual de 8%, inserido em Outros, destaca-se a valorização de imóveis como um dos motivos para uso de energia solar FV na área de pesquisa.

Gráfico 2. Principal motivação para adquirir um sistema fotovoltaico.



Fonte: Greener, 2020.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), 2024 tem média e alta probabilidade de ser mais quente que o ano 2023 por causa do fenômeno El Niño e da destruição ambiental (OMM, 2024). Com o aumento de temperatura, o consumo de energia aumenta, resultando em mais gastos.

Neste contexto, a economia de energia na sede municipal de Porto Nacional, seria o fator principal para aquisição de sistema de energia solar FV. O preço praticado em 2024 pela concessionária Energisa/TO, descrito na conta de energia custa R\$1,013800kWh com tributos. Já o preço produzido por um sistema solar FV na mesma localidade custa R\$0,883440kWh com tributos. O cliente pagará somente a diferença de preço, R\$0,13036kWh consumido da concessionária.

Como exemplo, uma edificação com consumo de 1.000kWh/mês, que não utiliza sistema de energia solar FV, pagaria R\$1.013,80. Para uma edificação com energia solar FV produzindo os 1.000kWh/mês pagaria R\$130,36. Isso representa uma redução do custo do kwh de aproximadamente 90%. Neste cálculo não inclui taxa de iluminação pública e outros custos.

O uso de energia solar fotovoltaica indicam uma tendência de valorização do imóvel, pois é bem vista nas negociações de compra e venda. Estudos realizados no exterior, com base em histórico de transações comerciais mencionam essa tendência. Edificações com características sustentáveis possuem maior valorização (FUERST *et al.*, 2015).

Dentre as características que definem uma construção sustentável está a economia de energia, seja por aproveitamento da luz solar como iluminação natural ou pela utilização de sistemas de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica. O Ministério do Meio Ambiente diz que as moradias com características sustentáveis estão em alta no mercado imobiliário e pode valer de 10% a 30% a mais (MMA, 2013).

Ainda, o Governo Federal por meio do Decreto nº 11.456 de 28 de abril de 2023 incluiu o segmento de energia solar fotovoltaica no Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS), criado em 2007. Com prorrogação até 2026, o Decreto oferece isenção de imposto de importação, IPI e PIS-COFINS, que passou a incluir células solares como incentivo financeiro à produção de energia solar fotovoltaica, favorecendo as indústrias de painéis solares. (incentivo para produção de silício no Brasil).

O fator econômico foi um dos temas abordados pelo ProGD, envolvendo aspectos relacionados a financiamento de sistemas FV. O relatório da ProGD (2019, p. 21) menciona que, “Em suma, nessas reuniões foram discutidas possibilidades para oferta de linhas de crédito específicas dos bancos públicos com o objetivo de massificar o uso da geração distribuída, em especial a de painéis solares fotovoltaicos”.

A Figura 19 apresenta algumas condições de financiamento existentes atualmente, as quais vem ocorrendo ao longo dos anos e tem incentivado o uso de fonte renovável de energia em todo o país. Ao longo de 2023, o financiamento de sistemas de energia solar FV representou 41% no montante de vendas (GREENER, 2024).

Figura 19. Linhas de financiamento.

Banco	Público Alvo	Linhas de financiamento identificadas	Prazo de Amortização	Taxa de juros	Faixa de valores	Obs.
Caixa Econômica Federal	PF	Construcard PF	Até 240 meses	Entre 2,5% a.m.+TR* e 3,1% a.m.+TR	Financiamento mínimo de R\$ 1 mil	Menor taxa é para cliente com relacionamento+ alienação de imóvel. Maior é para cliente sem relacionamento
Caixa Econômica Federal	PJ	PROGER PJ	Até 60 meses, com até 12 meses de carência	TJLP*+5% a.a.	Empresas com faturamento < R\$ 7,5 milhões/ano	Recursos FAT*, bens de origem estrangeira devem ser internalizados
Banco do Brasil	PF	BB Crediário	Até 54 meses, com até 59 dias de carência	A partir de 3,31% a.m.	Teto de R\$50 mil por operação	Financia até 100% de bens novos
Banco do Brasil	PJ	Proger Urbano Empresarial	Até 72 meses, com até 12 meses de carência	A partir de 0,97% a.m.	Empresas com faturamento < R\$ 10 milhões/ano	
Banco do Brasil	PJ	BB Crédito Empresa	Até 60 meses, com até 3 meses de carência	A partir 1,8% a.m.	Empresas com faturamento < R\$ 90 milhões/ano	
Banco do Nordeste	PJ	FNE Verde	Até 20 anos, com até 8 anos de carência	De 7,65% a 11,18% a.a., a depender de setor (rural ou não) e faturamento		Uso do sistema fotovoltaico como garantia
Banco do Nordeste	PJ e agricultor	FNE Sol	Até 12 anos, com até 1 ano de carência	De 6,5% a 11% a.a.		Uso do sistema fotovoltaico como garantia. Criação desta linha específica em 2016
Banco do Nordeste	Agricultor Familiar	PRONAF* Eco e PRONAF Mais Alimentos	Até 10 anos, com até 3 anos de carência	Entre 2,5% a.a. e 5,5% a.a.	Financiamento máximo até R\$ 150 mil (individual) / até R\$ 750 mil (coletivo)	
BNDES	PJ	BNDES Automático (indireto, via instituições credenciadas)	Até 36 meses, com máximo de 12 meses de carência	a partir de TJLP+1,6%+ spread instituição credenciada a.a.	(i)empresas com faturamento < R\$ 90 milhões/ano (ii) financiamento até R\$ 20 milhões (iii)GD pequeno porte (< ~4MWp)	
BNDES	PJ	BNDES Finem Eficiência Energética (direto)	Varia de acordo com cliente	A partir TJLP+1,5%+ spread de risco a.a.	(i) financiamento mínimo: R\$ 5 milhões (ii)GD qualquer porte (>~0,5 MWp)	Spread de risco: até 4,86% a.a.
BNDES	PJ	Finame - BK Aquisição	Até 60 meses, carência máxima de 24 meses	A partir de TJLP+1,6%+ spread instituição credenciada a.a.	GD qualquer porte	Aquisição e Comercialização de Bens de Capital nacionalizados
BNDES	PJ	Cartão BNDES	Até 48 meses	1,32% a.m.	(i) empresas com faturamento < R\$ 90 milhões/ano (ii) financiamento até R\$ 1milhão	

Fonte: MME, 2019.

Outro benefício econômico advindo dessa fonte de energia solar FV é a geração de empregos locais. Tanto a instalação como a manutenção de sistemas FV exigem mão de obra qualificada, criando assim, oportunidades de empregos em diversas áreas.

Segundo dados da IRENA (2023), em 2022 o Brasil foi o 4º país que mais gerou emprego no setor de energia solar FV com cerca de 214 mil empregados. Segundo infográfico da ABSOLAR (2024) nº 67, o Brasil acumula desde 2012 até abril de 2024 mais de 1,2 milhão de novos empregos. Como o mercado de energia solar FV é crescente no país, a tendência de geração de empregos é ascendente.

Esse fator econômico, conforme discussão apresentada, apresenta uma forte relação com o uso de energia solar fotovoltaica na sede municipal de Porto Nacional, uma vez que o a busca por esta modalidade de energia passa pela possibilidade de redução de custos por parte da população, além de representar uma forma de investimento.

6.3 Fator Social

O acesso à energia elétrica, mesmo que ainda não tenha sido contemplada na Constituição Federal do Brasil, é um direito social pois está intimamente ligada ao direito à moradia como prevê a Constituição. Uma Proposta de Emenda à Constituição (PEC) 44/2017, que ainda está em tramitação, propõe categorizar o acesso a energia como direito social na Constituição. Os direitos sociais referem-se à qualidade de vida e devem ser garantidos pelo Estado.

O Estado assegura a todas as pessoas, na medida do possível, em qualquer lugar do território brasileiro, o acesso a energia elétrica. No entanto, esse direito, o Estado tem transmitido, por meios de relações contratuais, a empresas concessionárias que, são obrigadas contratualmente a criarem infraestruturas e levarem energia a todas as pessoas, até mesmo em locais onde comercialmente não compensasse.

Mas, o Brasil, sendo um país de dimensões continentais e, com relevo bastante diversificado, as empresas concessionárias encontram dificuldades de conseguir interligar todas as pessoas ao sistema de energia. Com isso, o atendimento das solicitações de acesso a energia a lugares remotos, protocoladas nessas concessionárias são a longo prazo e muitas vezes tardias, deixando proprietário reféns da boa vontade das concessionárias ou, obrigando assim, muita das vezes, o proprietário a arcar com toda infraestrutura pra se ter acesso à energia.

Diante da indisponibilidade de acesso à energia convencional, o uso de energia solar FV, como fonte alternativa de energia tem sido uma opção viável e baixo custo, em relação à energia convencional e a outras fontes de energia. Em comunidades isoladas, onde há indisponibilidade de acesso a energia, o uso de energia solar fotovoltaica é uma alternativa de energia promissora, tanto de vista econômico, ambiental e social.

A utilização de energia solar fotovoltaica também promove inclusão social. Em comunidades isoladas, normalmente são constituídas por moradores de baixa renda e/ou de baixo nível de educação. Esses moradores, por falta de acesso a energia, ficam marginalizadas, privadas de informações aumentando a vulnerabilidade dessas pessoas.

A Figura 20 mostra o uso de um sistema solar FV isolado em zona rural no município de Porto Nacional, próximo ao Projeto de Assentamento Flor da Serra. Diante da falta de rede de energia próximo à localidade e da falta de condições para regularização da terra a energia solar FV é a melhor opção. Nessa local mora um senhor de mais de 76 anos sozinho. Com a utilização da energia solar FV ele pode ter geladeira, iluminação, TV, lavadora de roupa, liquidificador e telefone rural. Tal investimento trouxe melhoria na qualidade de vida.

Figura 20. Uso de energia solar em zona rural no município de Porto Nacional.



Fonte: Kleber F. Lima, 2024.

A ausência de acesso aos serviços energéticos modernos por comunidade ou pessoas prefigura pobreza energética. A pobreza energética, na sua forma simplificada, pode ser definida como a incapacidade de um grupo familiar alcançar certos níveis de serviços de energia ou a privação do uso de energia (BOUZAROVSKI; PETROVA, 2015).

O Índice de Pobreza Energética Multidimensional (MEPI), considerando o contexto desta pesquisa, relaciona-se a duas diferentes dimensões como o acesso físico e a propriedade de eletrodomésticos. O acesso físico corresponde ao acesso à eletricidade e a propriedade de eletrodomésticos está relacionado ao uso de equipamentos de conservação de alimentos e de acesso à comunicação.

Como o setor energético está quase totalmente privatizado no Brasil, entende-se que o atendimento às demandas sociais e os investimentos, de um modo geral, estão sempre condicionados ao lucro que podem proporcionar. Caso contrário, dependem de investimentos públicos junto às empresas privadas do setor. Nesse aspecto, é preciso cuidar para que a privatização não aprofunde as desigualdades regionais e sociais.

A implementação de energia solar FV é uma solução para a questão de saneamento básico, principalmente em zona rural. Sistemas de energia solar FV podem alimentar bombas de água, proporcionando acesso a água potável em áreas remotas, contribuindo assim, para a melhoria das condições de vida e saúde dessas comunidades rurais.

Sistemas de energia solar FV simples e de baixo custo podem salvar vidas, modificando a forma de viver, fornecendo oportunidades e melhorando a qualidade de vida de seus moradores. A Figura 21 mostra um sistema de tratamento de água com uso de energia solar FV e a Figura 22 mostram um sistema de abastecimento subterrâneo de água.

Figura 21. Sistema de tratamento de água com uso de energia solar FV.



Fonte: DINIZ, 2015.

Figura 22. Sistema de abastecimento de água na comunidade Murui, em Santarém, no oeste do Pará.



Fonte: PROJETO SAÚDE E ALEGRIA, 2019.

Esse fator social, também pode ser relacionado ao uso de energia solar fotovoltaica no município de Porto Nacional, uma vez que ocorre a maior concentração dos sistemas nos setores mais estruturados da área de pesquisa, o que representa a maior concentração nos locais onde a população tem maior poder aquisitivo.

6.4 Fator Tecnológico

O avanço contínuo da tecnologia tem desempenhado um papel fundamental no aprimoramento e na eficiência de equipamentos de uso de sistemas solares fotovoltaicos. Essas inovações tem proporcionado uma diminuição nos custos de equipamentos dessa fonte de energia, tornando assim, mais acessível aos consumidores, bem como na melhoria na eficiência e aumento de tempo da garantia.

Nas últimas décadas, diversas tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas foram desenvolvidas (CRESESB, 2014). Neste sentido, a Figura 23 mostra os eventos históricos relacionados ao desenvolvimento de células fotovoltaicas.

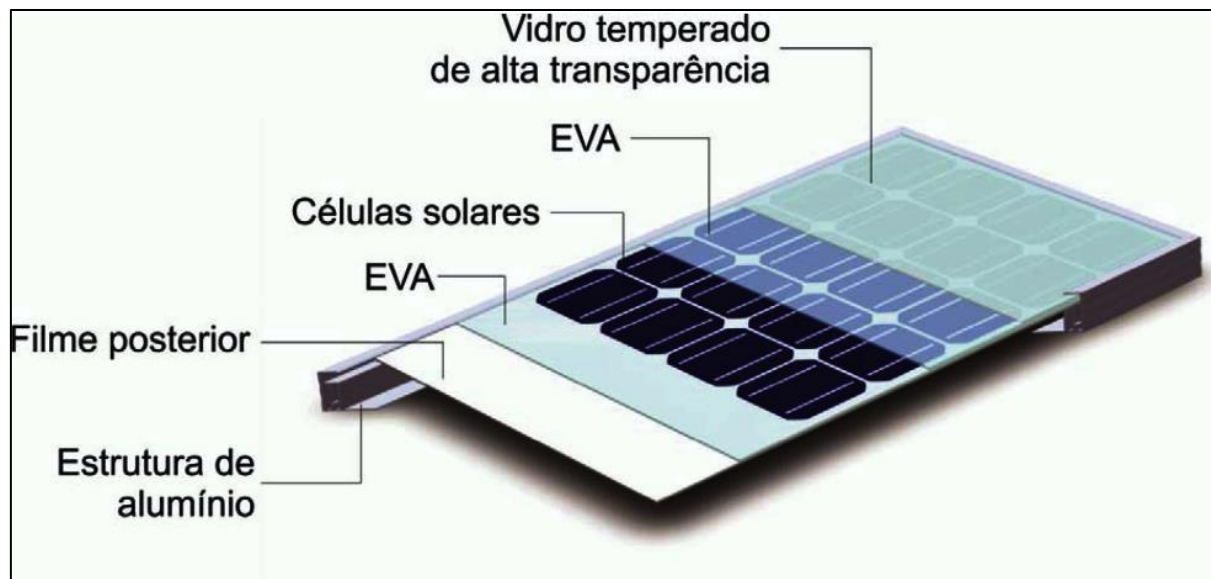
Figura 23. Histórico de eventos no desenvolvimento de células fotovoltaicas.

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)
1880	Retificador de Ponto de Contato (Braun)
	Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day)
	Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensitividade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	
	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski)
	Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger)
	Teorias de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Krönig & P)
	Teorias de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember)
	Aplicações Fotométricas (Lange)
	1% de Eficiência em Células de Sulfeto de Tálio (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl)
	Teoria da Junções <i>p-n</i> (Shockley)
1954	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1955	Junções <i>p-n</i> Difundidas (Fuller)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al)
	Teorias de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W)
	Teoria da Resposta Espectral, Mecanismo de Perdas (Wolf)
	Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach)
	Células de Si <i>n/p</i> Resistentes a Radiação (Kesperis & M.)
	Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violeta com 15,2% de Eficiência
1976	Células de Silício Amorfo (a-Si)
1992	Células Metal-Insulator-Semicondutor (MIS) de 24% de Eficiência
1998	Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%
1999	Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp
2002	Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999
2005	Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino
2006	Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34%
	Células de Tripla Junção Superam os 40 % de Eficiência
2008	Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011)
	Expansão de Módulos de Filme Fino (a-Si, CdTe e módulos CIS)
2009	Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)
2011	Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada (EPIA, 2012)
2012	Potência Instalada Acumulada Supera 100 GWp (EPIA, 2013)

Fonte: CRESESB, 2014.

Um módulo fotovoltaico é composto por um conjunto de células fotovoltaicas conectadas eletricamente. A Figura 24 mostra um esquema dos componentes em um módulo fotovoltaico com células fotovoltaicas.

Figura 24. Componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino.



Fonte: CRESESB, 2014.

A tecnologia que envolve o módulo fotovoltaico está no material de fabricação das células fotovoltaicas e são classificadas em três gerações. A primeira geração de células fotovoltaicas iniciou a partir da década de 1950 com a utilização do silício cristalino como material semiconductor. Nessa geração incluem duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). Esta tecnologia é confiável e tem sido a tecnologia mais utilizada no mundo por apresentar melhor eficiência energética (CRESESB, 2014).

Os módulos fotovoltaicos com células de silício monocristalino são mais caras porém, são mais eficientes, isto é, tem maior aproveitamento da Radiação Solar. Os fabricantes de módulos fotovoltaicos garantem que o módulo FV pode produzir energia por 25 anos e com garantia de 3 a 5 anos contra defeitos de fabricação a depender do fabricante.

Nos anos de 1990, a segunda geração de células fotovoltaicas baseada na tecnologia de filmes finos (película fina) começou a ser desenvolvida. Os semicondutores mais utilizados são o silício amorfo (a-Si), o telureto de cádmio (CdTe) e o seleneto de cobre gálio índio (CIGS) (CRESESB, 2014).

Como opção mais barata, essa geração apresenta desvantagens por possuir menor eficiência e vida útil que a da primeira geração e o processo de produção dessas células FV

contribui para a poluição do meio ambiente (SOBRINHO, 2016). Falcão (2005) menciona que a toxicidade das células FV de cádmio (CdTe) é um aspecto que se deve considerar na hora de utilizar essa tecnologia pois necessita de processos rigorosos de controle.

A terceira geração de células FV ainda está em etapa de desenvolvimento e estão divididas em três tipos: célula fotovoltaica multijunção, célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*) que são células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas e poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*) (CRESESB, 2014). Assim como na segunda geração, a tecnologia das células FV possuem baixa eficiência e curto tempo de vida (7 anos).

Segundo pesquisa da Greener (2024) os módulos FV com células de silício monocristalino e policristalino são as mais utilizadas no mundo, e atualmente, um módulo fotovoltaico pode ter de 36 a 216 células fotovoltaicas a depender da forma de aplicação. Geralmente, o mercado fornece módulos FV com maior área de captação de luz e mais eficiência, com capacidade de produzir até 700W, reduzindo a quantidade de estrutura de fixação, bem com o tempo de mão de obra.

A tendência é que o mercado de energia solar FV trabalhe somente com módulos FV com maior eficiência energética e de alta capacidade para produção de energia elétrica em edificações e, para isso, os inversores são modernizados para suportar o avanço tecnológico dos módulos FV.

A primeira geração de inversores foram lançados em 1991 com eficiência energética de 90%. Em 2004 surgiu a segunda geração de inversores com eficiência de 98%. A partir de 2007 surge nova geração de inversores com maior capacidade de geração e para sistemas trifásicos (KEREKES *et al.*, 2011).

Os inversores centrais geralmente são utilizados para instalações de grande porte em solo, a partir de 1MW. Atualmente, a máxima capacidade de geração de energia elétrica de um inversor central é de 5,5MW. Os inversores centrais possuem perdas por sobreamento parcial e somente pessoal qualificado que pode fazer substituição.

Os inversores *string* utilizam módulos FV interligados em serie e possui mais eficiência do que os inversores centrais durante sombreamento. O termo *string* se refere ao conjunto de módulos FV em série. Esses inversores são utilizados em sistemas de pequeno e médio porte (CRESESB, 2014).

As desvantagens do inversor *string* está ligada diretamente à manutenção em relação a *string* e ao sombreamento dos módulos FV. Caso um módulo fotovoltaico esteja parcialmente

sombreado em uma *string* com 15 módulos FV, todos os demais módulos ficam com geração reduzida igual à do módulo FV sombreado.

Outra desvantagem do inversor *string* é a alta tensão nas *strings* podendo causar mortes. A tensão de uma *string* é limitada pelo fabricante na folha de dados do inversor. Para um inversor *string* de 15kW a faixa de tensão por *string* é de 180 a 850Vdc.

O micro inversor foi desenvolvido meados de 1990 e tem a mesma função de um inversor *string*. A ideia é tornar um sistema FV mais eficiente, e com tamanho reduzido pode ser instalado embaixo do módulo FV (NAZER *et al.*, 2021).

Diferente do inversor *string*, o micro inversor trata os módulos FV independente para mitigar problemas de perda de energia que ocorre nos inversor *string*. O micro inversor trabalha com nível de tensão de até 60Vdc, tensão de energia que não causa mortes. Outra vantagem do micro inversor é a garantia que pode chegar a 25 anos, enquanto que no inversor *string* pode chegar a 10 anos.

Com avanço da tecnologia, os equipamentos para uso de sistemas fotovoltaicos vêm sofrendo uma queda significativa no preço. Na Tabela 1 pode ser visto a evolução dos preços da energia solar em relação à potência dos sistemas.

No entanto, vai se tornando cada vez mais clara a oportunidade de explorar a energia fotovoltaica no Brasil, não apenas pela alta incidência de irradiação, que é sem dúvida um fator relevante, mas também pela firme trajetória de aumento de eficiência e queda dos custos de implantação de módulos e sistemas fotovoltaicos em nível internacional e nacional. Some-se a estes fatores de atratividade a presença no Brasil de vasta disponibilidade de matérias-primas na base da cadeia fotovoltaica e o elevado potencial de mercado dadas as dimensões territoriais e as taxas de crescimento sustentáveis desde a estabilização política e econômica (ABINEE, 2012, p. 92).

Segundo informações da CEMIG (2012) o custo de instalação no Brasil, publicados em um estudo está na margem 5,00-10,00 U\$/W (CEMIG, 2012). No mesmo ano a EPE estimou o custo do Wp (Watt pico) no Brasil em torno de R\$7,7.

Com o passar dos anos há um declínio do preço do custo Wp oriundos do avanço tecnológico. A projeção de preço para 2023 para sistemas de utilização residencial e comercial seriam de R\$4,10/Wp e R\$3,80/Wp respectivamente (EPE, 2014).

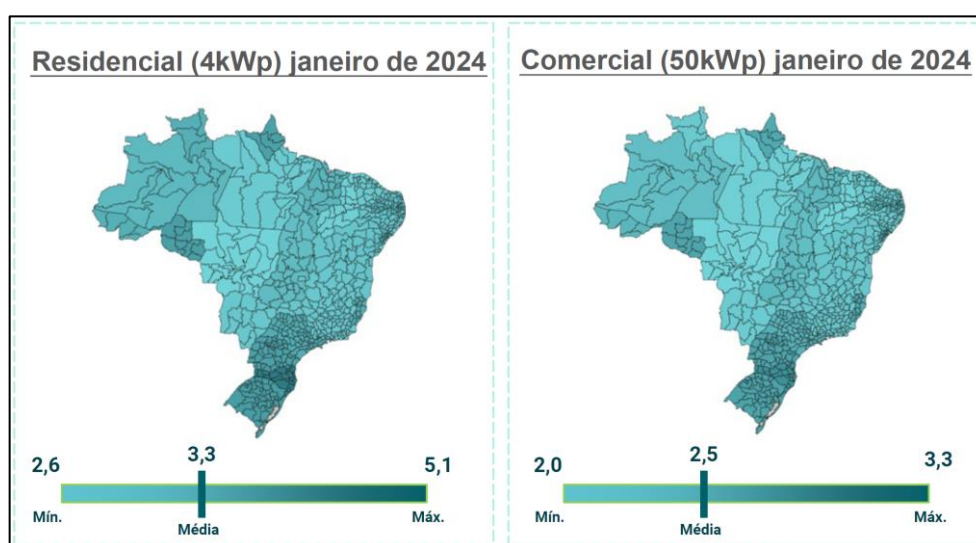
Tabela 1. Trajetória de Redução de Custos

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Residencial (R\$/Wp)	7,7	7,2	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,8	4,5	4,4	4,2	4,1
Comercial (R\$/Wp)	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	4,1	3,9	3,8

Fonte: EPE , 2014.

De acordo com levantamento da consultoria da Greener (2024), o tempo de retorno financeiro (payback) vem apresentando melhora. A Figura 25 apresenta o tempo de retorno financeiro em anos, bem como a média nacional para sistemas de residenciais de 4kWp e comerciais de 50kWp. A unidade de medida kWp refere-se à soma da geração de energia de cada módulo FV no sistema FV.

Figura 25. Payback de sistemas fotovoltaicos em anos.



Fonte: Greener, 2024. Adaptado por Kleber F. Lima, 2024.

A energia solar fotovoltaica proporciona um bom investimento em qualquer lugar do país a longo prazo, que varia de acordo com o tamanho do sistema, a quantidade de energia consumida, a localização geográfica e da forma de investimento, se por meio de financiamento ou por capital próprio.

Esse fator tecnológico, também tem relação com o uso de energia solar fotovoltaica na área de pesquisa, uma vez que a melhoria da tecnologia significa melhor eficiência e

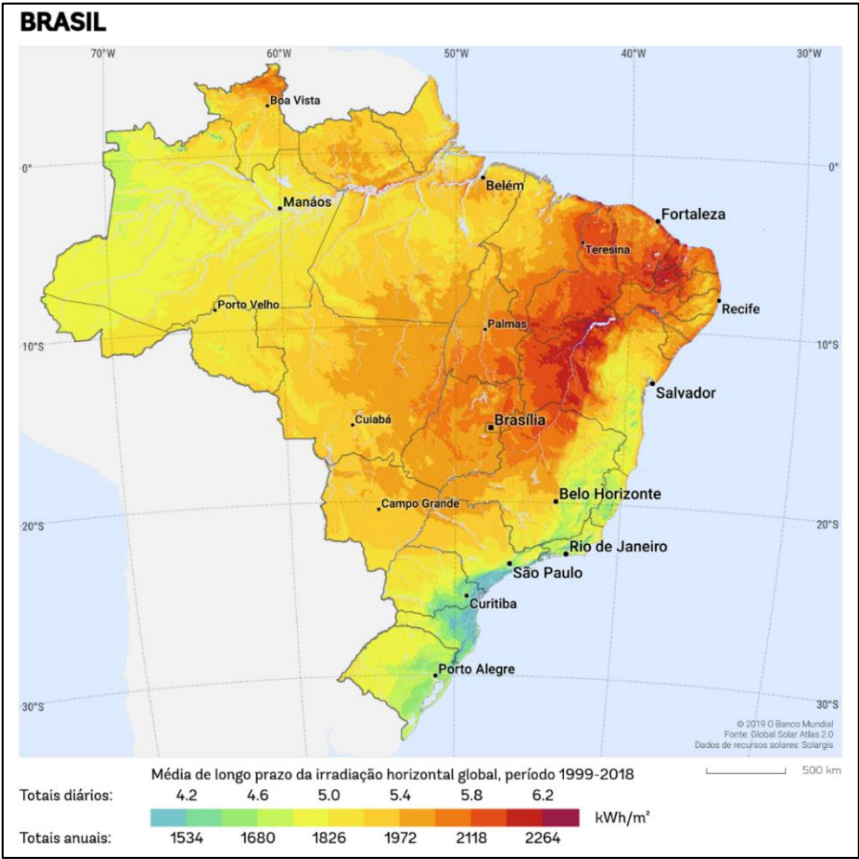
consequentemente maior produção de energia, o que estimula a busca de implantação e ampliação dos sistemas.

6.5 Fator Ambiental

Pode-se mencionar que o aspecto mais favorável à energia solar em todo o território nacional brasileiro é a disponibilidade da radiação solar. Segundo o Mapa 2, pode ser observado que a radiação solar é relativamente bem distribuída por todas as regiões do país. No litoral leste, onde as áreas são mais povoadas e demandam mais energia, apresentam índices mais baixos de radiação.

A região Nordeste apresenta índices maiores de incidência solar, pois as condições climáticas são estáveis com baixa nebulosidade. Na região central da Bahia são apresentados os valores máximos de radiação solar no país com média de 6,5 kWh/m²/dia (ANEEL, 2008). A região Sul do país possui os menores índices de radiação solar devido ao clima subtropical. Nessa região a nebulosidade é maior principalmente no inverno.

Mapa 2. Mapa Brasileiro de radiação diária, média anual

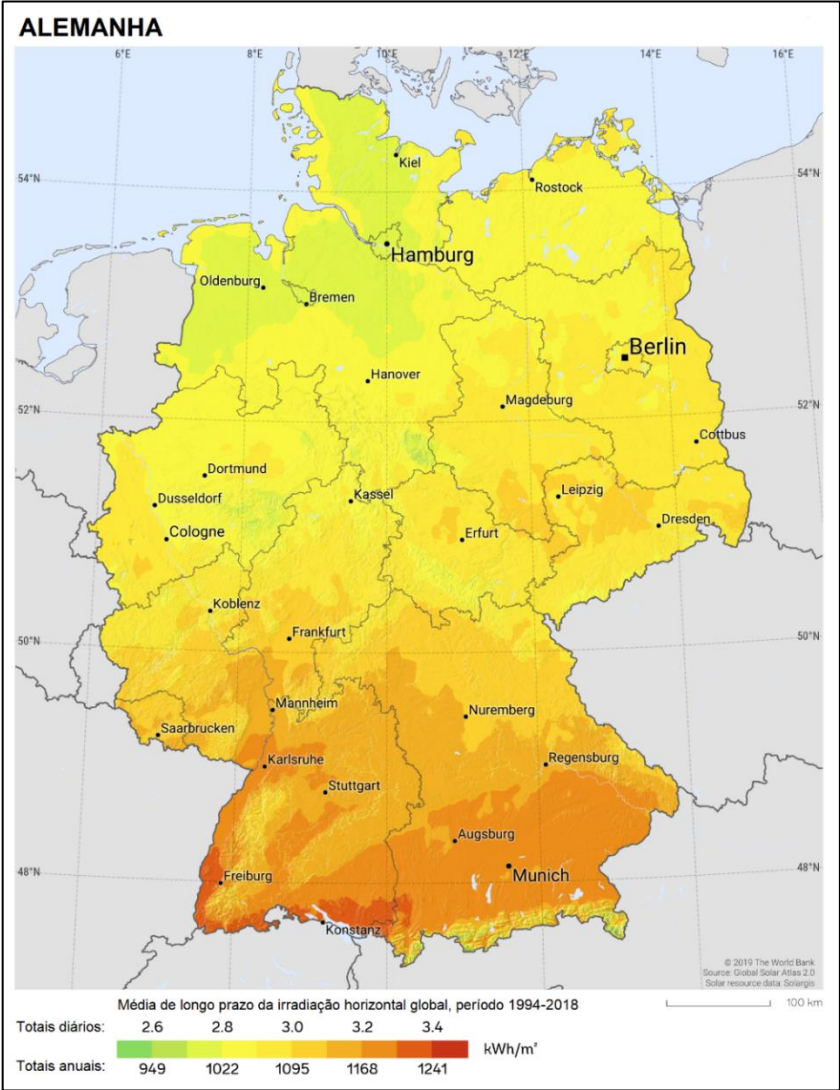


Fonte: SOLARGIS, 2024. Adaptado por Kleber F. Lima.

Portanto, a radiação solar é abundante, pois a maior parte do território brasileiro estão inserida na faixa tropical, uma região de grande incidência de radiação solar e de aproveitamento de energia solar (ABINEE, 2012) e não há grandes variações da insolação durante o dia.

Quando compara-se a quantidade da radiação solar no Brasil (Mapa 2) com a radiação solar na Alemanha (Mapa 3), que ocupa a 4ª posição no ranking mundial de energia solar, compreende-se a grande vantagem do Brasil de se tornar uma grande potência na geração de energia solar, pois o menor índice de radiação em todo território nacional é 40 % maior do que o maior índice de radiação na Alemanha, que é líder mundial em energia solar (CRESCER, 2014; RUTHER; ZILLES, 2010).

Mapa 3. Índice de Radiação Global na Europa.



Apesar de possuir menor incidência de radiação e de condições climáticas menos favoráveis, comparada ao Brasil, a Alemanha tem sido um país bem-sucedido no aproveitamento desse recurso por meio de tecnologias e políticas de incentivo e tem apresentado uma capacidade superior à do Brasil, que possui maior índice de radiação solar.

Portanto, em qualquer região do país que apresenta menores índices de radiação solar, mesmo assim, tais regiões apresentam grande potencial de aproveitamento energético, se comparado à Alemanha onde essa tecnologia é largamente utilizada.

O Brasil possui como riqueza natural, grandes jazidas de quartzo de boa qualidade, além de um enorme parque industrial onde se extrai esse mineral e o beneficia, transformando-o em silício grau metalúrgico (CGEE, 2010). Por certo é uma vantagem adicional o fato de o Brasil possuir indústrias de silício em grau metalúrgico instaladas em seu território pois foi esse o caminho dos países que se destacam a nível mundial em energia solar.

Sabe-se que existem impactos negativos ao meio ambiente dependendo do tipo de fonte de energia decorrentes da geração de energia elétrica. A geração de energia solar fotovoltaica está livre de consumo de combustíveis fósseis e de emissões de gases do efeito estufa (GEE).

No entanto, durante o ciclo de vida de um sistema solar fotovoltaico há um grande consumo de energia, bem como emissão de alguns GEE durante estágios no processo de fabricação de células solares, na montagem e fabricação dos painéis solares, no transporte de materiais, na instalação e no descarte ou reciclagem desses equipamentos.

Analisando as taxas de emissão de GEE e o tempo de recuperação de energia são indicadores capazes de avaliar os impactos ambientais no ciclo de vida de equipamentos de energia solar fotovoltaica (PENG *et al.*, 2013).

Para saber a pegada de carbono exata de um painel fotovoltaico, serão consideradas todas as emissões de GEE emitidas durante a fabricação, durante o transporte, durante a vida útil de produção de energia e, de quando é reciclado.

Segundo relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) de 2022, as emissões de GEE durante o ciclo de vida de um painel fotovoltaico (fabricação, transporte, operação, reciclagem e efeito albedo), estima-se que para cada kWh produzido por um painel fotovoltaico, instalado em telhado, emite em média 41 gCO₂eq/kWh. Essa média é bem inferior quando comparada a uma usina de carvão que emite uma média de 820gCO₂eq/kWh (IPCC, 2022).

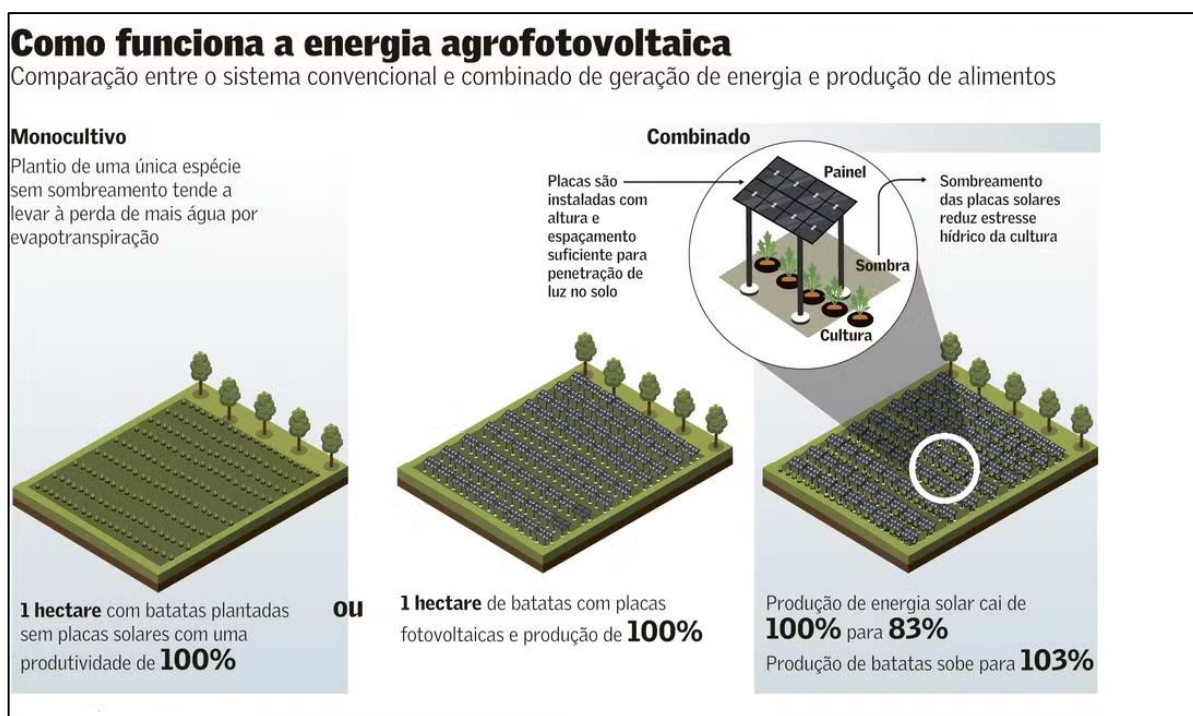
Apesar da energia solar fotovoltaica não ser isenta de emissões de GEE, não existe qualquer emissão de poluentes na etapa de geração de energia com estes sistemas, não produz

poluição sonora e nem poluição no ar. Portanto, a energia solar fotovoltaica possui baixo impacto ambiental a respeito de emissões de GEE, sendo uma fonte de energia limpa. As emissões de GEE na produção vem sendo reduzidas com o avanço da tecnologia.

Já o correto descarte de resíduos de equipamentos fotovoltaicos é um tema que ainda precisa ser pensado, caso contrário, se tornará um problema ambiental. Apesar dos painéis solares durarem muitos anos, é preciso planejar o descarte dessas placas solares e o reaproveitamento dos materiais recicláveis.

Recentemente, o Brasil tem dados seus primeiros passos no avanço da integração da agricultura com a produção de energia solar fotovoltaica, chamada de agrofotovoltaica ou agrovoltaico. Essa integração implica na instalação de painéis solares montados a uma altura mais elevada do que a convencional, permitindo que o solo abaixo para a produção de alimentos. A Figura 26 mostra como funciona a integração da energia solar fotovoltaica com a agricultura.

Figura 26. Funcionamento de energia agrofotovoltaica.



Fonte: Vilarino, 2024.

O agrofotovoltaico vem apresentando diversos benefícios como: adaptação da energia solar com o cultivo, melhor aproveitamento da terra com duplo uso do solo, economia de água

em até 20% na irrigação, aumento da remoção de Gases de Efeito Estufa, aumento da renda e proteção contra fenômenos sazonais e condições meteorológicas extremas.

A figura 27 mostra um projeto implementado no Estado de Alagoas pela Universidade Federal de Alagoas, onde uma pesquisa constatou um aumento de 6% a 23% na produtividade da cana-de-açúcar após a instalação dos painéis solares fotovoltaicos (FAPEAL, 2024)

Figura 27. Projeto Agrofotovoltaico em Alagoas no cultivo de cana-de-açúcar.



Fonte: FAPEAL, 2024.

Relacionando-se a discussão apresentada e, considerando que o município de Porto Nacional tem destacado na produção de grãos no Estado do Tocantins, a implementação do agrofotovoltaico seria uma excelente opção, tanto na produção de energia limpa e renovável, como na conservação do Cerrado, evitando que mais áreas sejam desmatadas.

6.6 Fator Legal

A legislação até pouco tempo não tinha dado o devido respaldo no desenvolvimento dessa fonte de energia e dessa forma afetando os empreendimentos de energia solar FV. Segundo ABINEE (2012, p. 45) “A maior parte dos obstáculos tem origem na ausência de

regulamentação para vários aspectos do aproveitamento da energia solar, e no detalhamento da regulamentação existente”.

Segundo a Lei 9.074, de 26 de dezembro de 1996, que estabelece concessão mediante licitação ou de autorização para hidrelétricas de 1MW até 50MW e térmicas de até 5MW. A omissão de outras fontes, como a solar fotovoltaica e por não ter desenvolvimento mais acentuado, não teve tratamento específico, dificultando sua inserção na matriz energética brasileira. Também a Lei estabelece que empreendimentos de até 5MW ficam dispensados de concessão, permissão ou autorização, devendo comunicar ao poder concedente (ABINEE, 2012).

O maior avanço para energia solar fotovoltaica foi a Resolução 482/2012. Essa Resolução possibilita que o fluxo de energia deixe de ser unidirecional (concessionária-consumidor) e passe a ser bidirecional. Esta permite que consumidores possam instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras, podendo injetar o excedente de energia na rede, gerando créditos que poderão ser aproveitados pelo consumidor nas próximas faturas da concessionária (*Net Metering*). A Resolução estabelece prazo de validade dos créditos num prazo de 60 meses, impondo limite à produção igualando ao consumo (ANEEL, 2021).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), ano base 2013, a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica era de 5MW, sendo que 3MW de autoprodução de energia e 2MW de serviço público e/ou produção de energia independente. Isto mostra, que aos poucos, o Brasil estava tomando posicionamento quanto à regulamentação e/ou políticas de incentivo que promova a inserção de energia solar fotovoltaica nas redes das concessionárias (EPE, 2014).

O Ministério de Minas e Energia, em 2013, por meio das Portarias nº 226/2013 e nº 300/2013, incluiu a energia solar fotovoltaica nos leilões de energia A-3/2013 e A-5/2013, respectivamente, abrindo a possibilidade de competir igualmente com outras fontes, como eólica e térmicas, na modalidade ‘por disponibilidade’ (EPE, 2014).

Quanto a certificação e normatização uma publicação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) de normas visando maior segurança e padronização das instalações. Dentre elas estão:

- ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- ABNT NBR 16149:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- ABNT NBR 16150:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;

- ABNT NBR 16274:2014 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho (EPE, 2014, p. 9).

Todos os equipamentos utilizados em sistemas de energia solar FV devem possuir registro nacional. O registro ficou estabelecido pela Resolução Conmetro nº 05 de 2008, do qual o Inmetro autoriza a utilização do selo de identificação da conformidade - a Etiqueta Nacional de Energia – bem como a comercialização dos equipamentos.

O Ministério das Minas e Energia informa que

A Etiqueta Nacional de Energia é obrigatória no Brasil para os principais equipamentos fotovoltaicos, sendo importados ou de fabricação nacional. Entretanto, a obrigatoriedade é condicionada à potência elétrica do equipamento (p.ex. inversores) e/ou ao seu tipo construtivo. O equipamento recebe uma etiqueta que deve ser adesivada ao produto e que tem como objetivos principais mostrar ao consumidor que o produto está conforme os requisitos do Inmetro e informar algumas características importantes do mesmo. A Etiqueta é obtida em atendimento aos ensaios do RAC-FV, estabelecido pela Portaria Inmetro nº 4 de 2011. Esta Portaria foi revisada em 2014 e em 2016, pelas Portarias Inmetro nº 357/2014 e nº 17/2016, respectivamente. Os Registros dos produtos geralmente precisam ser renovados e reavaliados após um período. Para isso, é necessário que, periodicamente, ensaios de manutenção sejam realizados em amostras retiradas das fábricas ou do comércio. Quando um Registro é suspenso, o modelo do equipamento não pode ser importado, fabricado ou comercializado no país. (MME, 2015, p.149).

Outros incentivos legais foram incluídos ao longo dos anos, que é resultado pela do crescimento de participação de uso de energia solar FV no país. Dentre os incentivos cito:

- Lei nº 13.169 que isenta PIS e COFINS da energia injetada na rede;
- Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD);
- Projeto de Lei 371, de 2015, que permite o resgate do FGTS para aquisição de sistemas de microgeração;
- Programa IPTU Verde que oferecem desconto para quem possuir energia solar. Alguns municípios já aderiram ao programa;
- Lei 14.300/22 que converte o marco legal da GD em lei.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item estão os resultados obtidos e a discussão dos mesmos, a qual traz uma análise individual dos anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, quanto a presença de sistemas de energia solar, bem como uma análise da evolução dos sistemas instalados na sede municipal de Porto Nacional, entre os anos de 2018 a 2022.

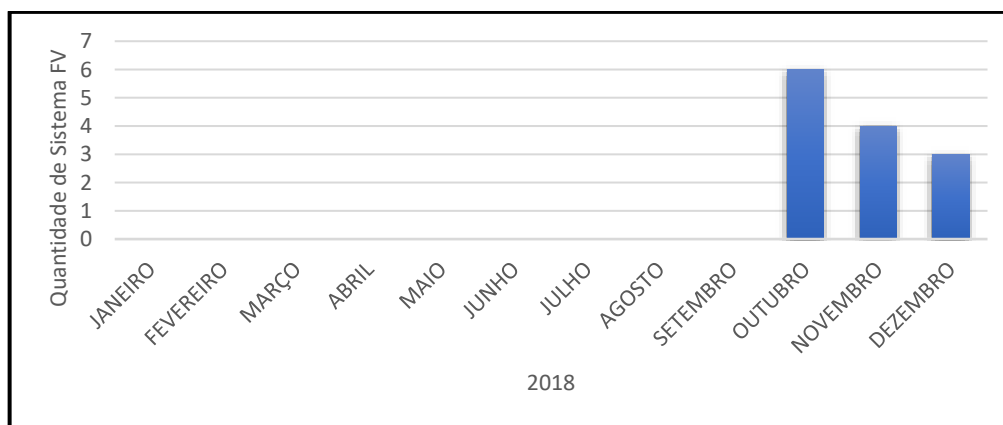
7.1 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2018

Observando-se o Gráfico 3, pode-se verificar que no ano de 2018, somavam apenas 13 sistemas de energia solar instalados no quarto trimestre deste ano.

Quanto a distribuição geográfica dos sistemas, Mapa 4, pode-se verificar que apenas os setores, Umuarama e Jardim Brasília, localizados nas porções, centro e sudoeste, da área de estudo, apresentavam um maior número de sistemas. Estes setores, que apresentavam uma infraestrutura urbana melhor na época, também representam o início do uso da energia solar na sede municipal de Porto Nacional. Pelos dados obtidos, somente em outubro de 2018 foram registrados os primeiros sistemas solares FV.

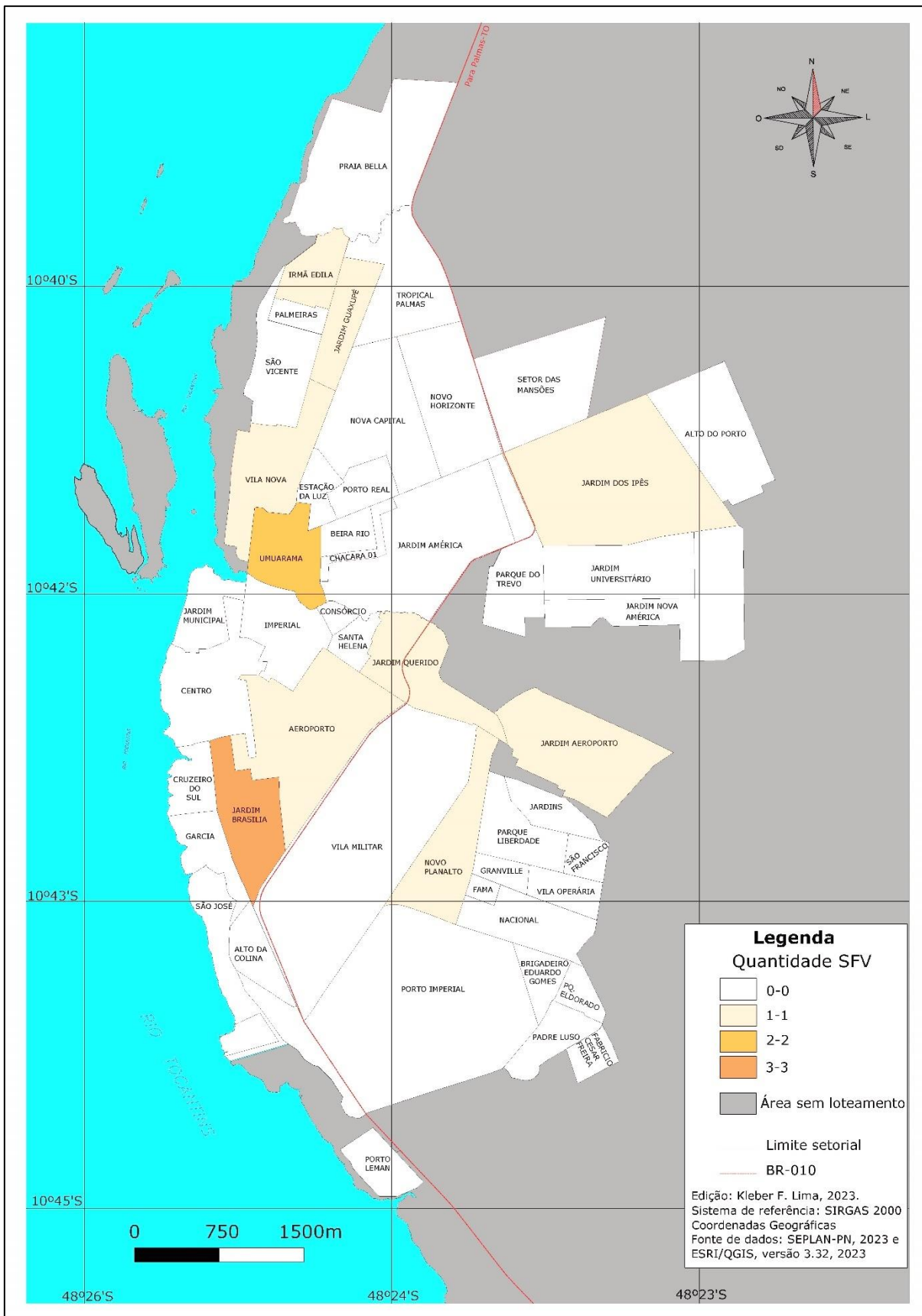
O fator político foi decisivo no uso de energia solar em Porto Nacional. Além das políticas implementadas desde 2012, com três meses após a criação do PRONASOLAR, que facilitara a aquisição de sistemas de energia solar FV por meio de financiamentos, começou-se a implementação de sistemas FV em Porto Nacional.

Gráfico 3. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional até 2018.



Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

Mapa 4. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2018.

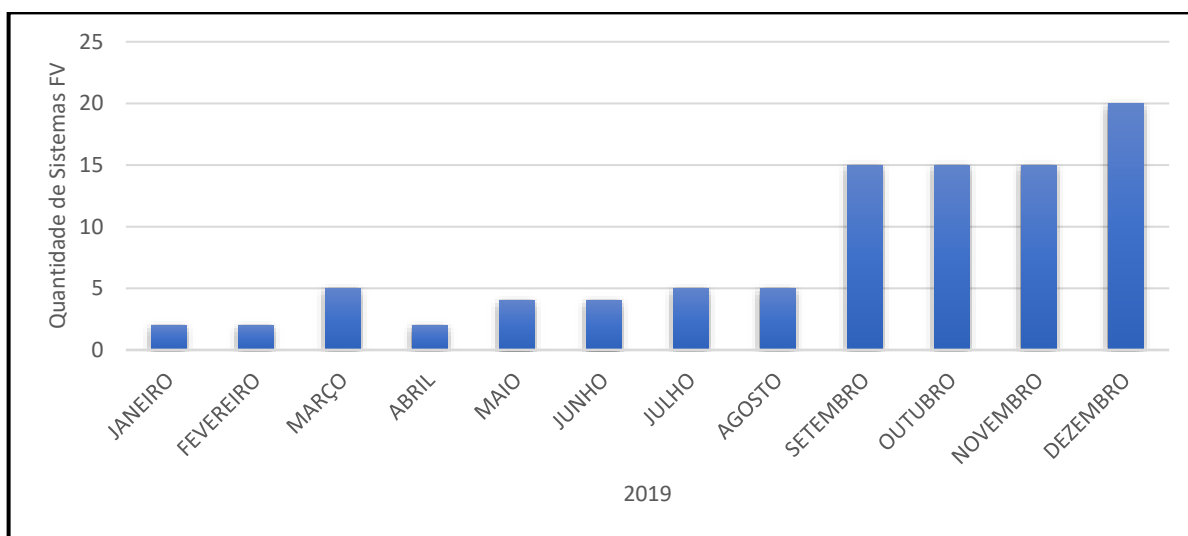


Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

7.2 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2019

No Gráfico 4 verifica-se que em todos os meses de 2019, houveram instalações de sistemas solares fotovoltaicos. Nos primeiros 8 meses do ano, a instalação de SFV permanece baixa, não ultrapassando a quantidade de 5 sistemas instalados. Nos meses de setembro, outubro e novembro triplicou o número de sistemas FV em relação à máxima nos meses anteriores. Em dezembro somou-se a quantidade de 20 sistemas instalados.

Gráfico 4. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional até 2019.

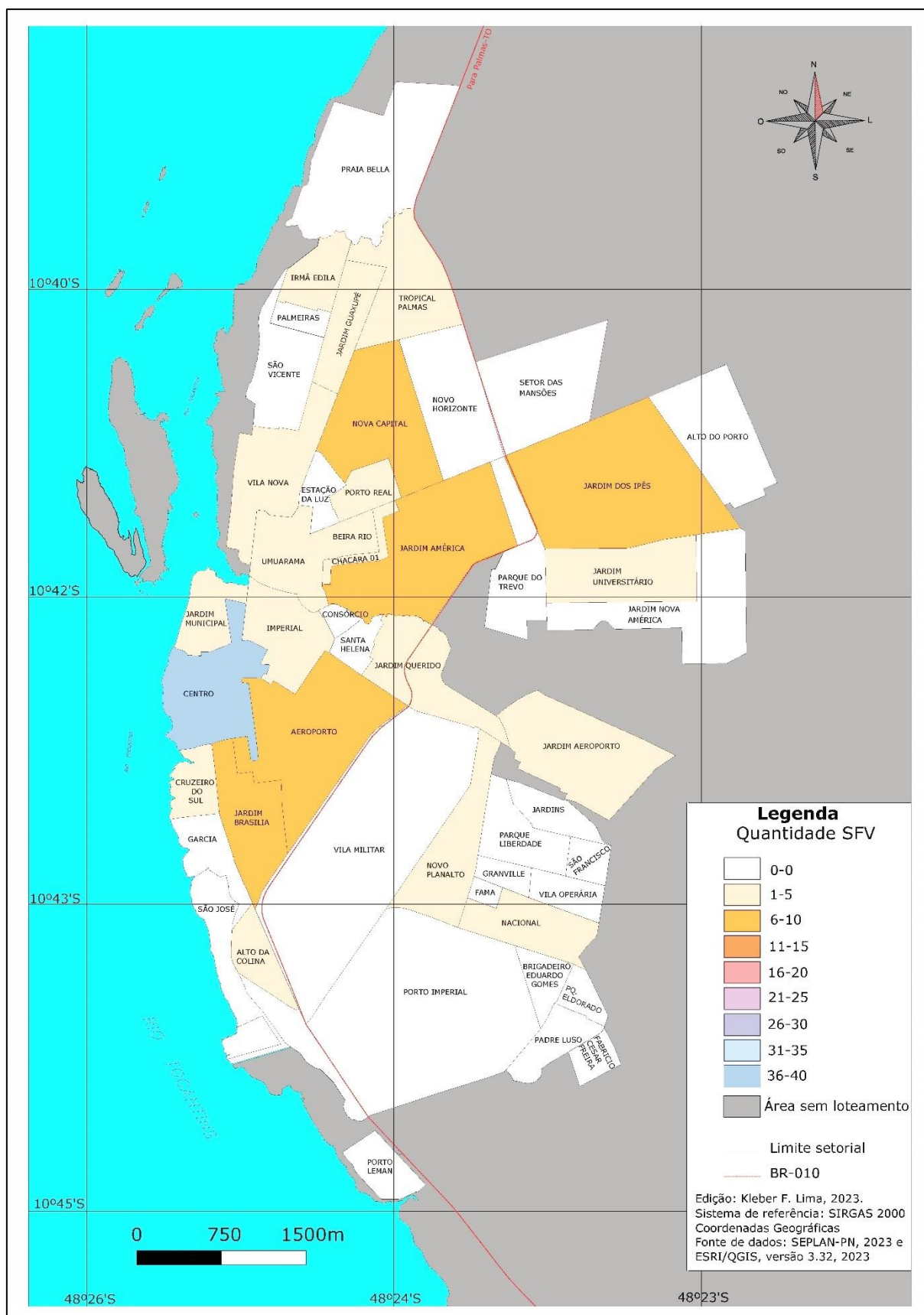


Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

Quanto à distribuição dos sistemas, observa-se na Mapa 5, a maior concentração de sistemas solares fotovoltaicos localizada no setor central, com quantidade superior a 36 sistemas e inferior a 40 sistemas. O setor Centro, limitado a oeste pelo Rio Tocantins, é um setor mais densamente ocupado, com diversidade em termos sociais e de renda, e comporta a maior parte dos comércios do município.

Na sequência, setores como Jardim Brasília, Umuarama, Jardim América, Nova Capital e Jardim dos Ipês veem se destacando em números de sistemas FV, são com moradias mais novas. A instalação do sistema FV é mais comum em novas construções do que em construções mais antigas. O crescimento na implementação de sistemas FV ocorreu no final do período de seca, entre abril e setembro, resultado do alto consumo de energia e das bandeiras tarifárias do Governo Federal.

Mapa 5. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2019.

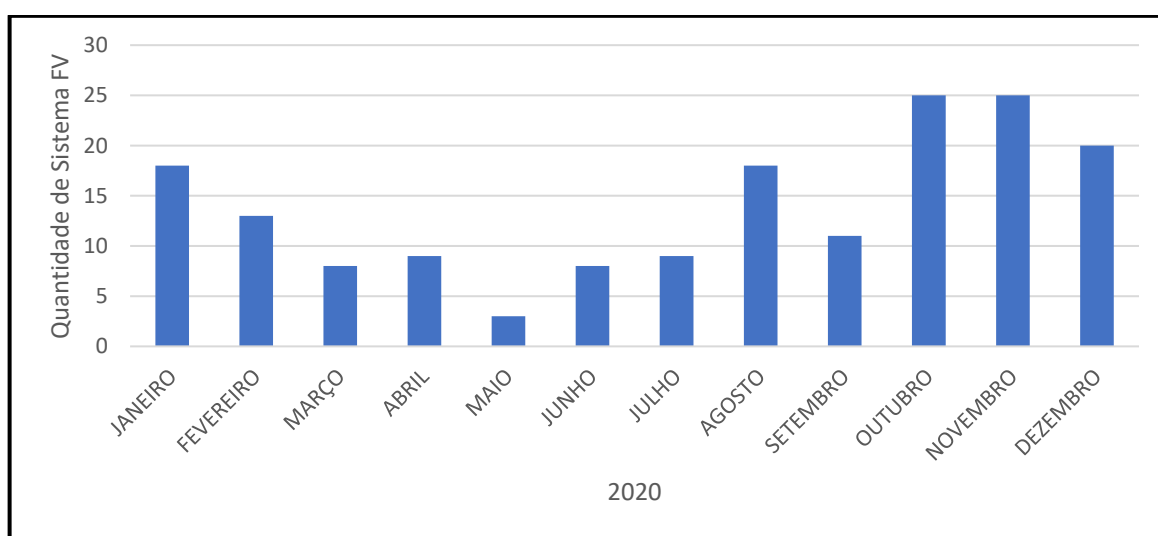


Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

7.3 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2020

Observando o Gráfico 5, há um decréscimo de instalação de sistemas FV, chegando a 3 sistemas instalados no mês de maio. De outubro a abril, período chuvoso, vem apresentando um aumento na quantidade de sistemas, provavelmente influenciado pelo período de seca de maio a setembro. Em outubro e novembro tem-se os maiores quantitativos de SFV do referido ano, 25 sistemas em cada mês.

Gráfico 5. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional até 2020.

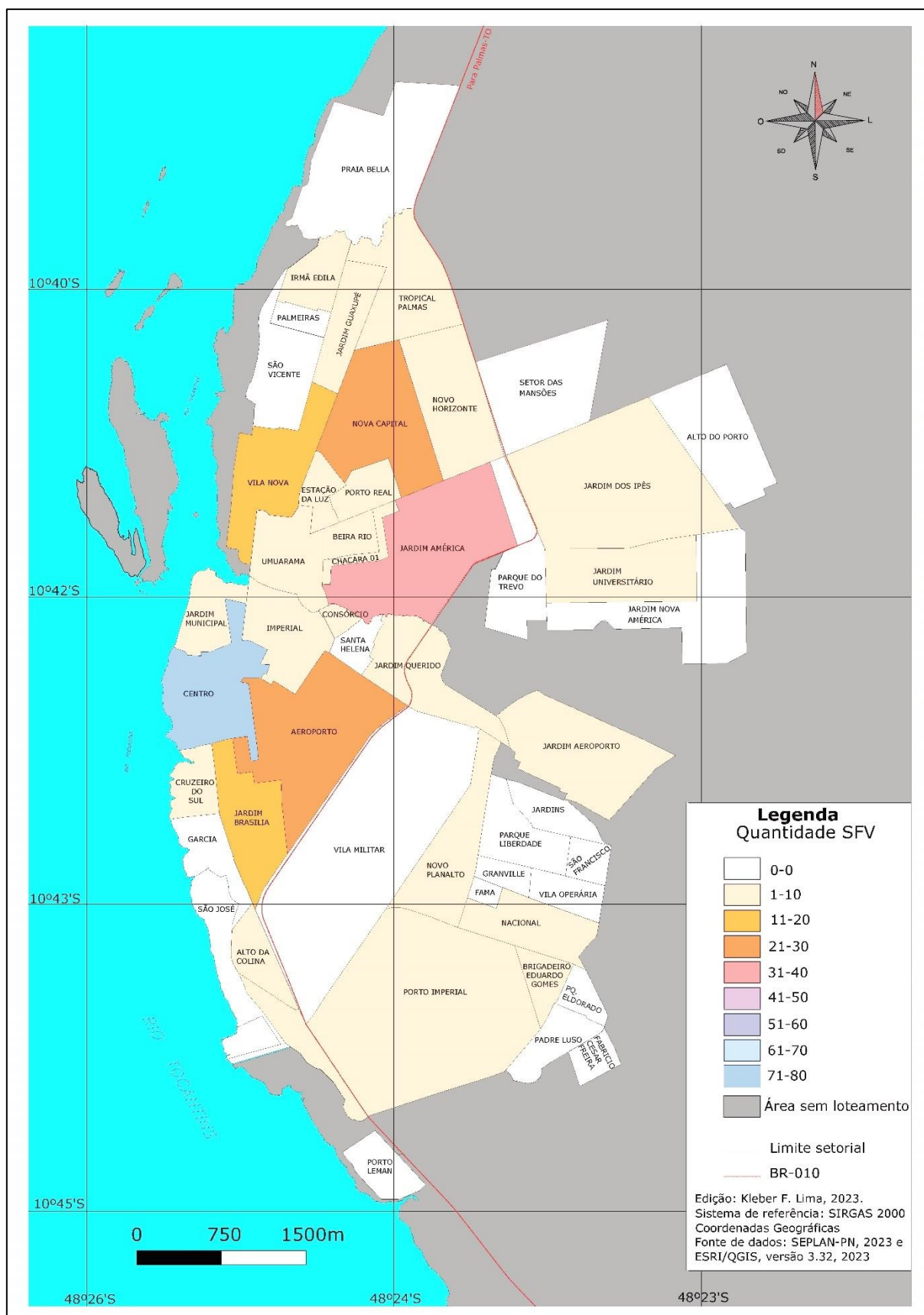


Fonte: Energisa, 2022. Organizado por Kleber F. Lima, 2023.

Observando-se na Mapa 6, o setor Centro continua apresentando a maior quantidade de sistemas solares fotovoltaicos na área de pesquisa. Na sequência está o setor Jardim América, localizado junto à margem direita do Ribeirão São João, seguido pelos setores Aeroporto, localizado na margem esquerda do Ribeirão São João e Nova Capital na porção norte do perímetro urbano.

Do total de setores, ainda em 2020, 19 setores sequer tiveram um sistema FV instalado, que são setores menos desenvolvidos, com alta porcentagem de vazios urbanos (lotes) e composta na sua maioria, de famílias de classe baixa, um baixo padrão de ocupação, onde a desigualdade social é percebida.

Mapa 6. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2020.

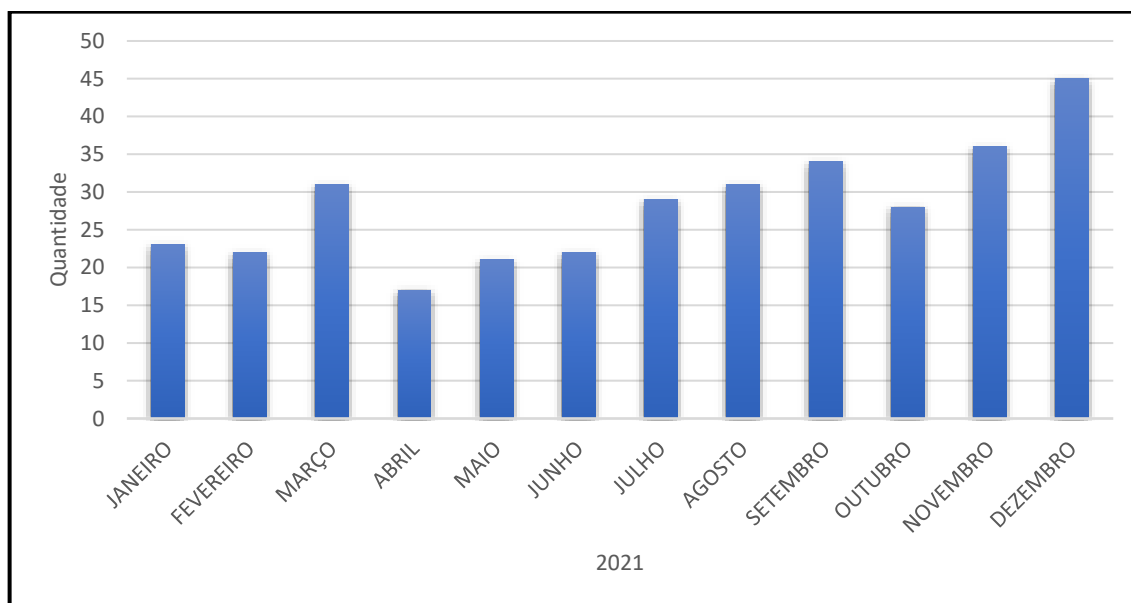


Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

7.4 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2021

Observando o Gráfico 6, há um aumento gradual da quantidade de SFV em comparação aos anos anteriores. A quantidade de sistemas FV é ascendente a partir do mês de abril, com pequeno declínio no mês de outubro e novamente crescente nos meses de novembro e dezembro, chegando à máxima anual com 45 sistemas solares instalados no mês de dezembro.

Gráfico 6. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional até 2021.

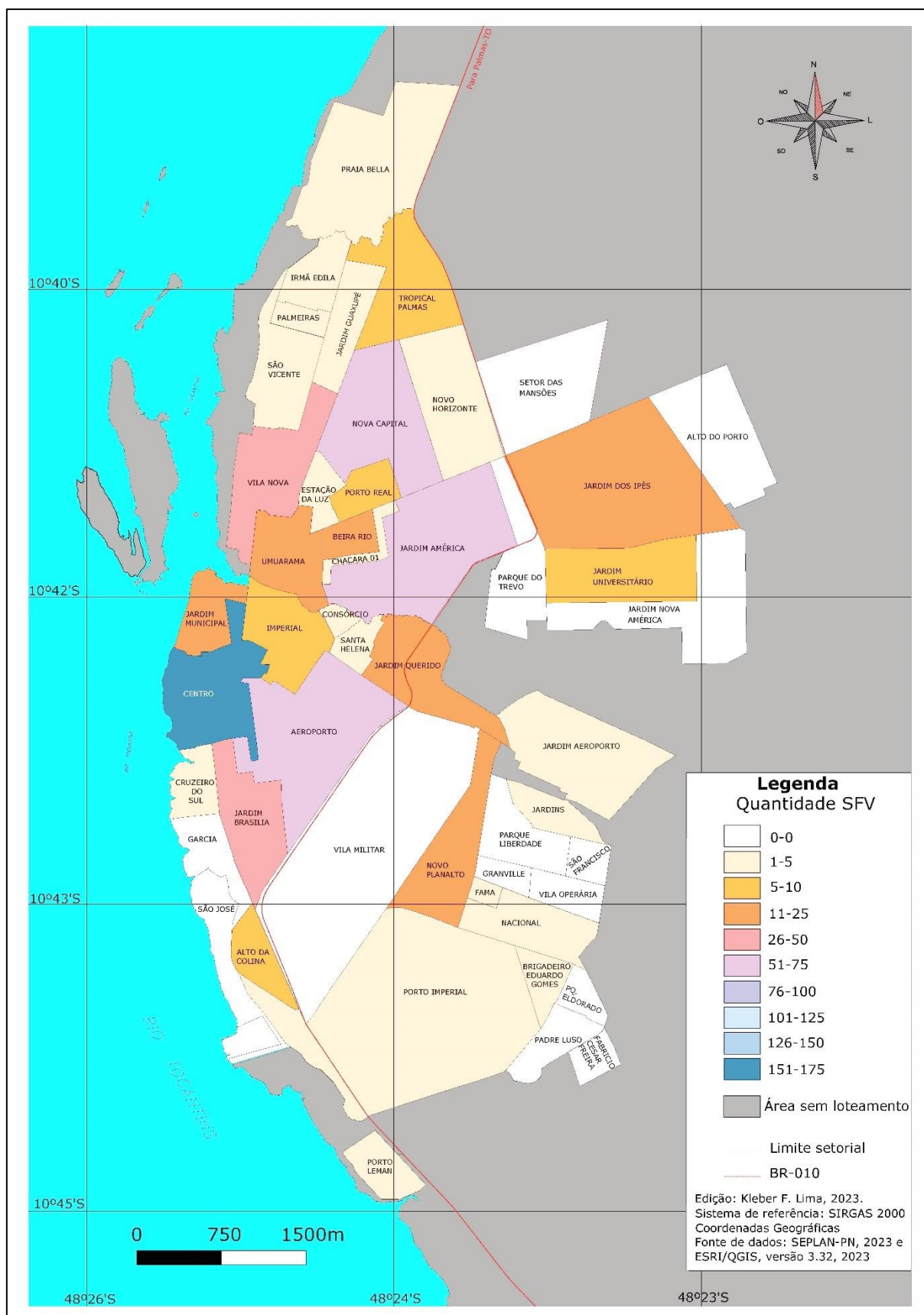


Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

De acordo com a Mapa 7, além do setor Centro que se destaca no quantitativo de sistemas instalados, o setor Jardim América também apresenta um número significativo. Estes setores, Centro e Jardim América, são setores com um bom padrão de ocupação das edificações, bem estruturados e com a população de melhor poder aquisitivo.

No mesmo sentido, aparece o setor Nova Capital, seguido pelos setores Jardim Brasília, Aeroporto e Vila Nova, os quais também apresentam uma boa estruturação urbana e um bom padrão construtivo das edificações, representando melhor poder aquisitivo pela população local.

Mapa 7. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2021.

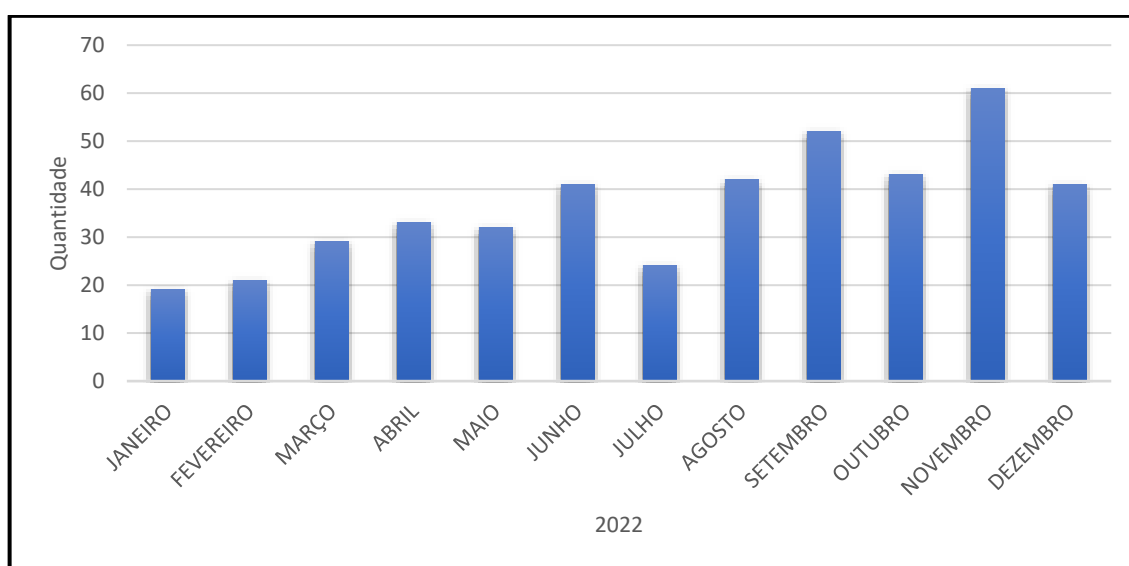


Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

7.5 Evolução do uso de energia solar FV na área de pesquisa em 2022

Conforme o Gráfico 7, percebe-se um aumento gradual da quantidade de SFV durante o ano, em comparativo com os anos anteriores. A quantidade de sistemas FV é ascendente a partir do mês de março, com pequeno declínio no mês de julho e novamente crescente nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. Neste ano, à máxima anual de instalação de sistemas, ocorre em novembro com 61 sistemas solares instalados.

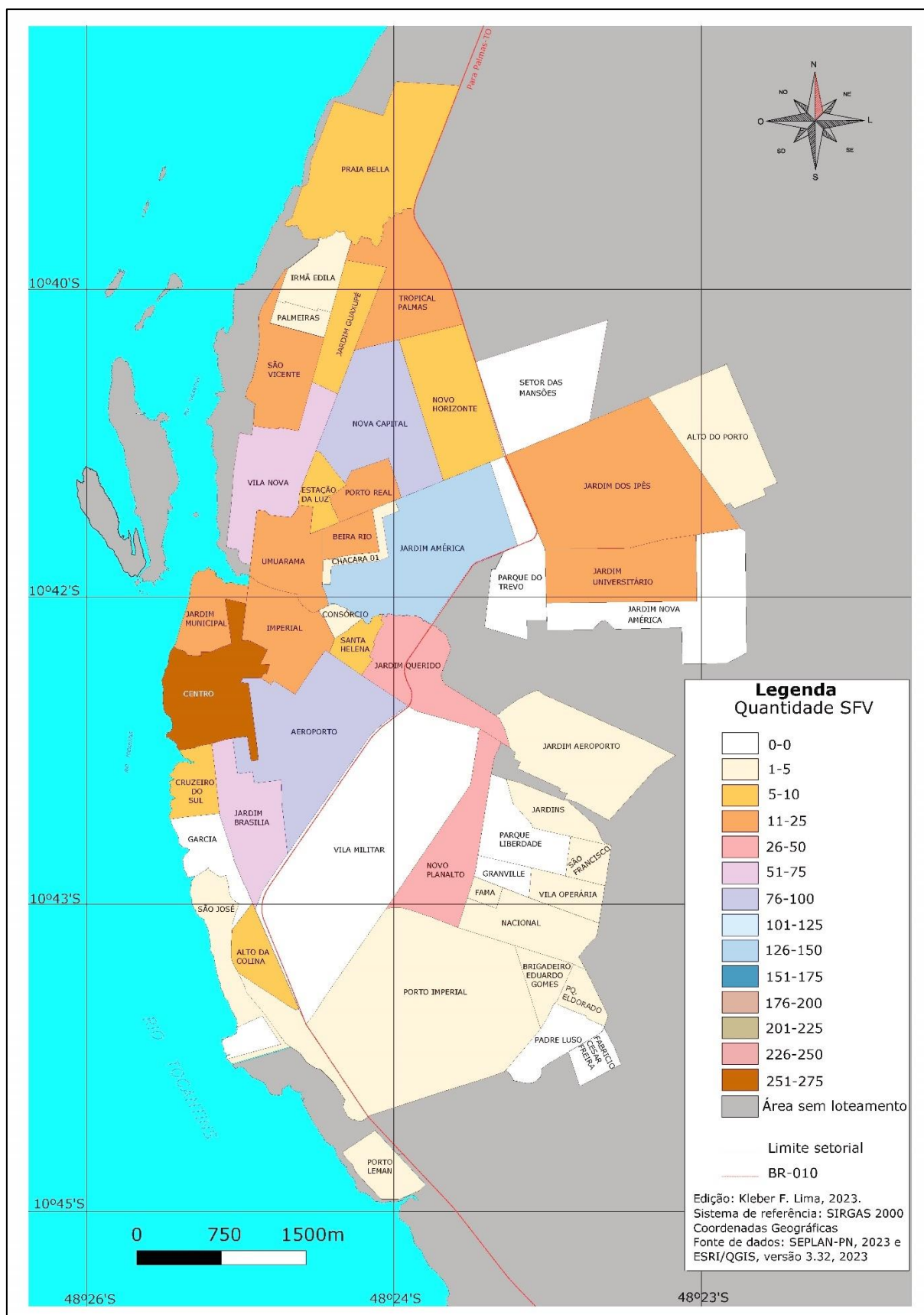
Gráfico 7. Quantidade de sistemas instalados na sede de Porto Nacional até 2022.



Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

Observando-se a Mapa 8, ocorre um aumento significativo de setores com números significativos de sistemas instalados. Entre estes, destacam-se os setores Centro, Jardim América, Nova Capital, Aeroporto, Jardim Brasília e Vila Nova. A exemplo da observação anterior, estes setores, são os setores da área de pesquisa que apresentam melhores padrões de ocupação, bem estruturados e com a população de melhor poder aquisitivo.

Mapa 8. Distribuição de sistemas FV por setor até dezembro de 2022.



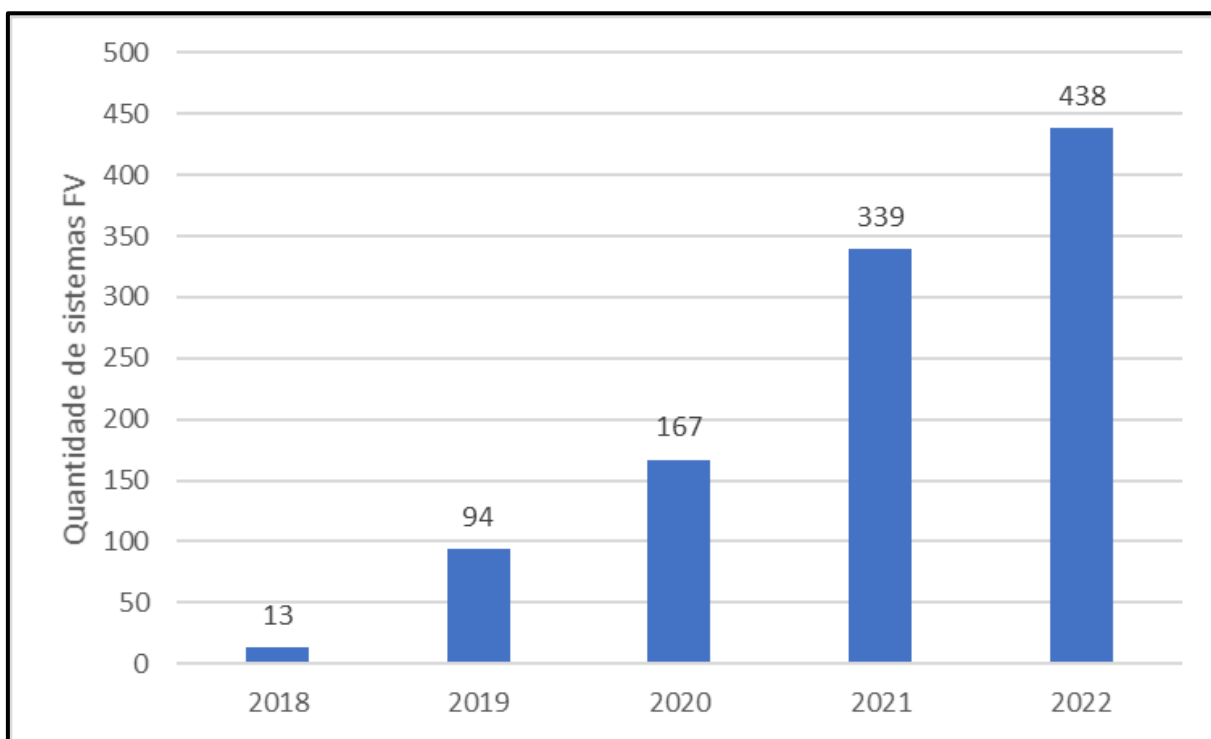
Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

7.6 Evolução do Uso da energia solar FV no período de 2018 a 2022

Observando-se o Gráfico 8, percebe-se de maneira geral, um aumento significativo no quantitativo de instalação de sistemas sensores FV no período de análise, cerca de 425 sistemas a mais no ano de 2022 em relação ao ano de 2018. Na busca de um detalhamento da situação, pode-se observar que do ano de 2018, que apresentava um total de 13 sistemas, para o ano de 2019, houve um aumento de 81 sistemas, significando um aumento de 723%.

No ano de 2020, houve um aumento de 73 sistemas instalados, em relação ao ano de 2019, representando um aumento de 177% no quantitativo de sistemas. Em 2021, foram instalados 172 sistemas a mais do que o ano de 2020, isto significa um aumento de 203% no quantitativo de sistemas instalados. Já no ano de 2022, ocorreu um aumento de 99 sistemas instalados, representando um aumento de 129% no quantitativo de sistemas instalados.

Gráfico 8. Quantidade de sistemas instalados na sede municipal de Porto Nacional, TO.



Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

A Tabela 1 apresenta o quantitativo de sistemas FV instalados no período de 2018 a 2022.

Tabela 1. Quantidade de sistemas FV anual no período de 2018 a 2022.

SETORES	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
Aeroporto	2	5	19	25	43	94
Alto da Colina	-	1	-	6	9	16
Alto do Porto	-	-	-	-	1	1
Beira Rio	-	2	5	8	9	24
Brigadeiro Eduardo Gomes	-	-	1	1	2	4
Centro	-	37	43	89	85	254
Chácara 01	-	1	1	1	-	3
Chácara Jordy	-	-	-	-	-	-
Consórcio	-	-	2	-	2	4
Cruzeiro do Sul	-	2	1	2	1	6
Estação da Luz			2	3	3	8
Fabício Cesar Freire	-	-	-	-	-	-
Fama	-	-	-	1	-	1
Garcia	-	-	-	-	-	-
Imperial	-	1	-	7	6	14
Irmã Edila	1	-	-	1	-	2
Jardim América	-	10	27	43	70	150
Jardim Brasília	3	5	11	18	35	72
Jardim dos Ipês	1	5	3	7	2	18
Jardim Guaxupé	1	-	-	3	5	9
Jardim Municipal	-	3	1	8	5	17
Jardim Querido	1	1	5	12	17	36
Jardins	-	-	-	1	1	2
Lake Side	-	-	-	-	-	-
Nacional	-	1	-	1	2	4
Nova Capital		9	15	30	40	94
Novo Horizonte	-	-	2	2	4	8
Novo Planalto	1	2	2	8	13	26
Padre Luso	-	-	-	-	-	-
Palmeiras	-	-	-	3	1	4
Parque do Trevo	-	-	-	-	-	-
Parque Eldorado	-	-	-	-	1	1
Pinheirópolis	-	-	-	-	-	-
Porto Imperial	-	-	1	1	1	3
Porto Leman	-	-	-	1	3	4
Porto Real	-	3	1	6	14	24
Praia Bella	-	-	-	4	5	9
Santa Helena	-	-	-	3	3	6
Santa Rita	-	-	-	-	1	1
São Francisco	-	-	-	-	2	2
São José	-	-	-	-	1	1
São Vicente	-	-	-	7	5	13
Setor das Mansões	-	-	-	-	-	-
Tropical Palmas	-	1	3	6	5	15
Umuarama	2	5	5	7	8	25
Universitário		1	5	1	5	14
Vila Nova	1	2	9	20	24	56
Vila Operária	-	-	-	-	1	1

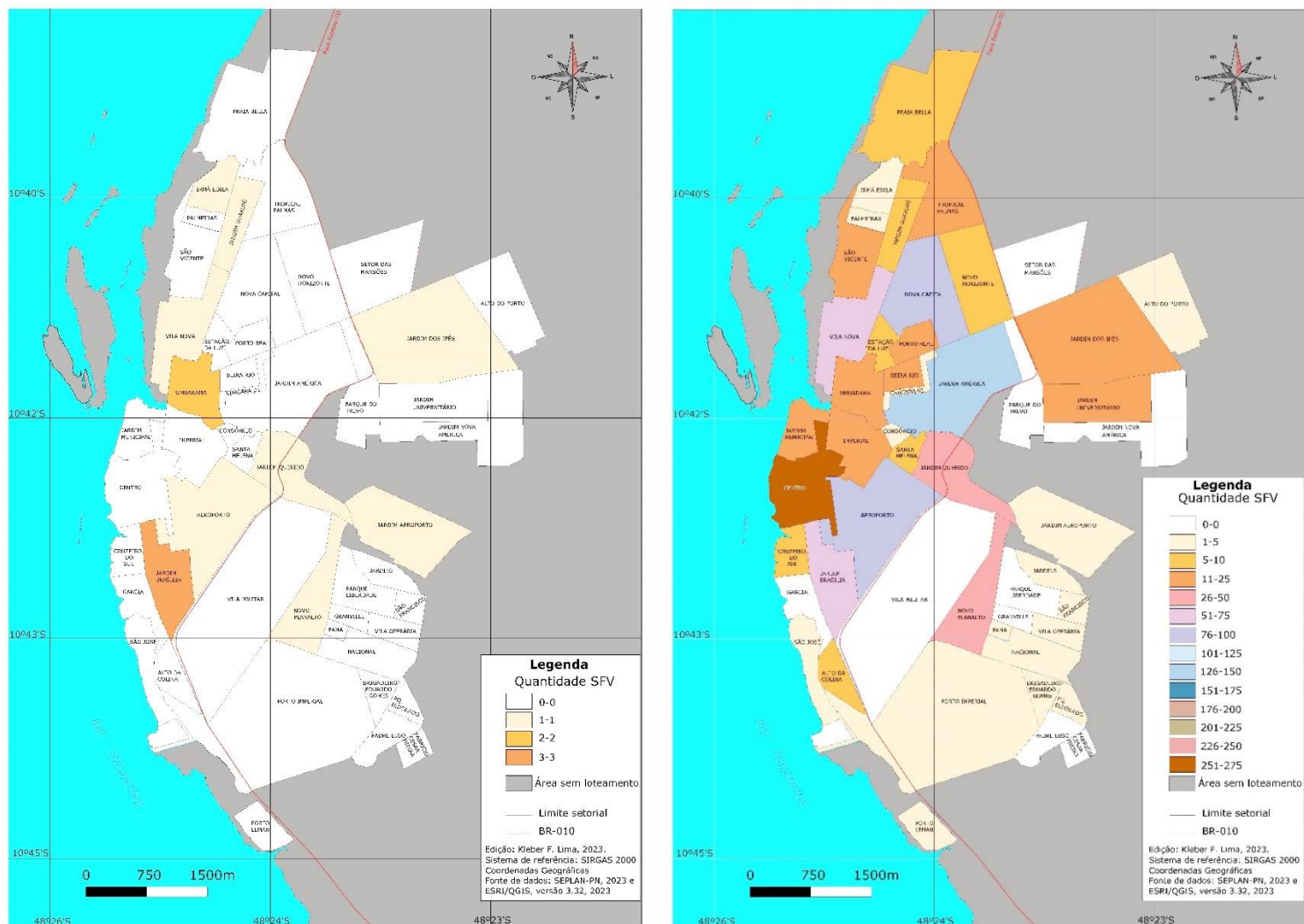
Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

De acordo com figura 28 abaixo, pode-se verificar que no período de análise, ou seja, de 2018 a 2022, ocorreu uma expansão na instalação de sistemas solares FV, do centro da área urbana, para as áreas mais periféricas do perímetro urbano da cidade.

Assim, pode-se observar que a expansão quantitativa da instalação dos sistemas acompanha a estruturação dos setores ao longo dos anos, quanto a melhor infraestrutura urbana, um melhor padrão das edificações, seguidos de uma melhora no poder aquisitivo da população que ocupa os mesmos.

Para exemplificar a referida observação, percebe-se que primeiramente, em 2018, apenas os setores Jardim Brasília, Aeroporto e Umuarama, localizados mais na porção central da área de estudo, possuíam sistemas instalados. Já em 2022, percebe-se uma expansão dos sistemas instalados, desde a porção central até as áreas mais periféricas da área de pesquisa, com destaque para os setores Centro, Jardim América, Nova Capital, Aeroporto, Vila Nova, Jardim Brasília e Umuarama.

Figura 28. Comparativo do quantitativo de Sistema Solares Fotovoltaicos – 2018 a 2022



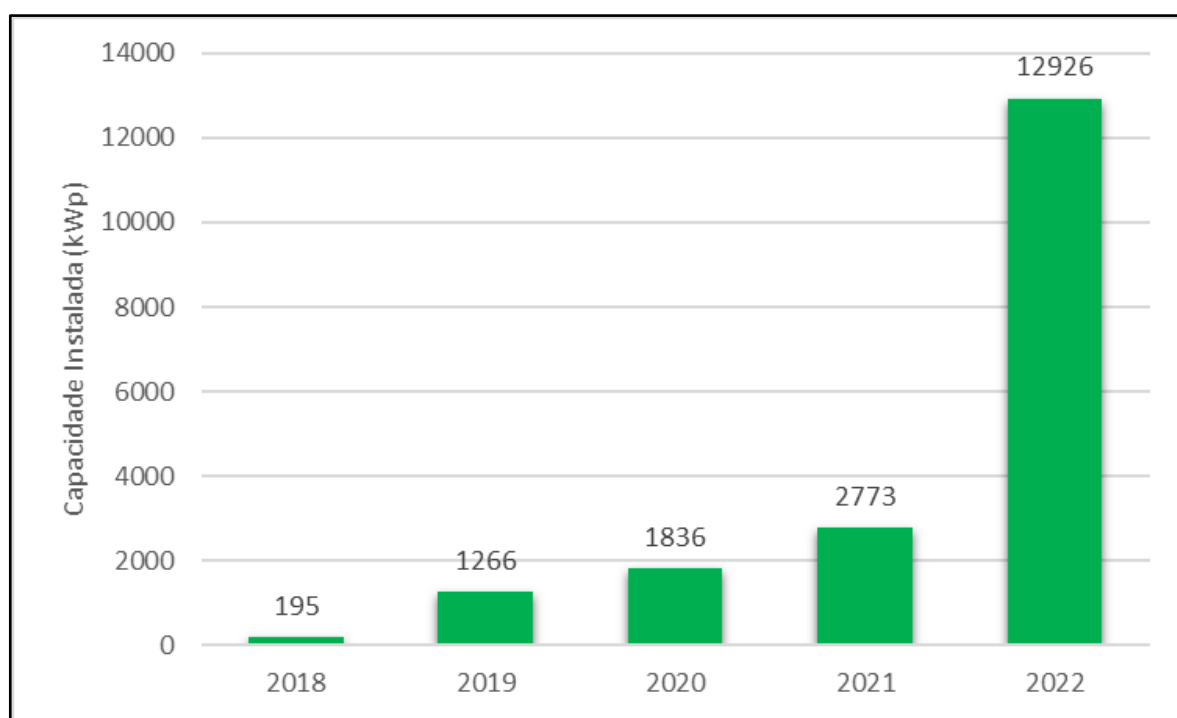
Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

7.7 Geração de energia solar FV na área de pesquisa

Entre 2018 a 2022 foram contabilizados 1051 sistemas de energia solar fotovoltaica na sede municipal de Porto Nacional. Ao tratar da capacidade de geração percebe-se que o uso de energia solar FV é ainda maior comparada a quantidade de sistemas instalado entre os anos de 2018 a 2022.

Na Figura 28 acima, a diferença da quantidade de sistemas instalados entre 2021 e 2022 foi de 99 sistemas fotovoltaicos. Mas, comparando com os dados no Gráfico 9, que mostra o crescimento da capacidade de geração, em 2021 a capacidade de geração de energia foi de 2.773kW, enquanto que em 2022 foi de 12.926kW. O crescimento em 2022 foi de 212% se comparando à soma da capacidade de geração dos anos anteriores.

Gráfico 9. Capacidade de geração de energia solar FV instalada por setor entre os anos de 2018 a 2022.



Fonte: Energisa, 2022. Elaborado por Kleber F. Lima, 2023.

Um fator ambiental que beneficia o município de Porto Nacional quanto ao uso de energia solar FV é abundancia de irradiação solar em todo os meses do ano como mostra o Atlas Solarimétrico do Tocantins. O Gráfico 11 apresenta a irradiação solar média por mês, bem como os valores mensais conforme o plano inclinado.

Ainda, de acordo com as observações na evolução quantitativa dos sistemas solares FV na área de pesquisa, percebe-se que o uso de energia solar FV na sede de Porto Nacional, aparece de maneira tardia e lenta, a exemplo do não acompanhamento das políticas que têm sido implementadas no país, a partir da REN 482, em 2012. Somente em 2018, com um atraso de cerca de seis anos, é que surgem as primeiras instalações de sistemas e, portanto o início do uso da energia solar no município.

No entanto, diversos fatores podem ter influenciado a essa suposta lentidão no uso de energia solar FV no município como: a falta de conhecimento e da eficiência dessa fonte de energia gerando insegurança energética, o alto custo de equipamentos dificultando o acesso por parte da maioria da população, o alto preço de financiamento e a ausência de financiamento para tal finalidade, a falta de acessibilidade por parte de empresas integradoras de energia solar, a falta de conhecimento da incidência de radiação solar, fator primordial para uso dessa fonte de energia, entre outros.

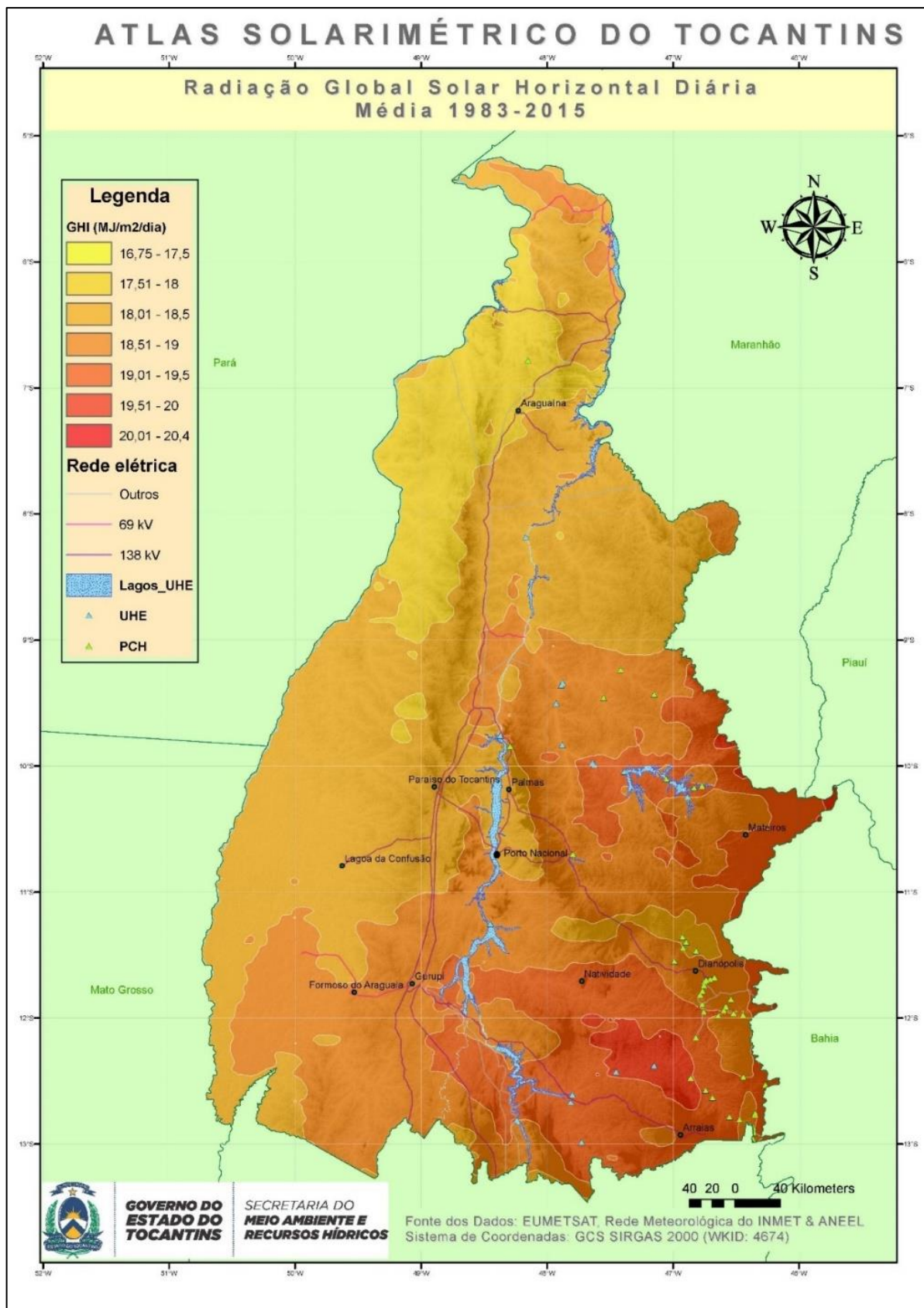
Com a criação do ProGD, em 2015, ofertou-se vários benefícios para o consumidor dentre eles o baixo custo de investimento e a possibilidade de melhores taxas de financiamento em bancos públicos, porém não foram suficientes para fomentar o uso de energia solar FV no município a partir daquele ano.

Com a criação do PRONASOLAR, em 2018, apresenta-se como a melhor proposta já feita para expansão do uso de energia solar FV no Brasil, o que proporcionou que após três meses deste programa, começasse o uso de energia solar FV em Porto Nacional. Outros fatores políticos contribuíram também para a expansão do uso de energia solar fotovoltaica no município como a Lei 14.300/22 que tornou o marco legal em Lei. Os benefícios concedidos através de decretos e resoluções passam a ser garantidos por força de Lei.

Um fator ambiental que beneficia o município de Porto Nacional quanto ao uso de energia solar FV é abundância de irradiação solar em todo os meses do ano como mostra o Atlas Solarimétrico do Tocantins (Mapa 4). O Atlas Solarimétrico, proposto pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos teve como principal objetivo proporcionar a geração de emprego e renda, bem como no incentivar ao uso de energia solar FV.

Na margem direita do Rio Tocantins, onde se localiza a sede do municipal de Porto Nacional, os valores de GHI (Radiação Global Solar Horizontal) diária média são de 17,51 – 18 MJ/m²/dia. Já na margem esquerda do Rio Tocantins, os valores de GHI são de 18,01 – 18,5 MJ/m²/dia, portanto mais elevada a geração.

Mapa 9. Incidência de radiação solar.



Fonte: SEMARH, 2015.

O Sundata, software no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB) traz informações mais precisas de irradiação solar diária, em relação a uma determinada localidade.

A Figura 29, gerada pelo Sundata, apresenta valores de irradiação solar média por mês da sede de Porto Nacional, a uma distância de 3,9km do ponto de referência das coordenadas informadas, bem como os valores mensais conforme o plano inclinado, ângulo igual a latitude, maior média anual e maior mínimo mensal.

As maiores médias de irradiação solar estão em agosto e setembro, meses mais quentes do ano e com baixa umidade do ar. A menor média é apresentada em março para inclinação 0° N e a média anual é de 5,26kWh/m². dia. Para os planos inclinados 11° N, 13° N ou 6° N, a média anual é de 5,35, 5,36 e 5,33 (kWh/m². dia) sucessivamente. O plano inclinado serve para instalação de painéis solares para que se tenha melhor aproveitamento da irradiação solar.

Figura 29. Cálculo no Plano Inclinado.

Estação: Porto Nacional Município: Porto Nacional , TO - BRASIL Latitude: 10,701° S Longitude: 48,449° O Distância do ponto de ref. (10,7075° S; 48,414167° O): 3,9 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☒	Plano Horizontal	0° N	5,29	5,26	4,93	5,12	5,11	4,97	5,18	5,68	5,79	5,47	5,13	5,18	5,26	,86
☒	Ângulo igual a latitude	11° N	4,99	5,09	4,94	5,36	5,58	5,54	5,73	6,07	5,90	5,35	4,87	4,85	5,35	1,22
☒	Maior média anual	13° N	4,92	5,04	4,92	5,38	5,64	5,63	5,81	6,12	5,91	5,31	4,81	4,78	5,36	1,34
☒	Maior mínimo mensal	6° N	5,14	5,18	4,95	5,27	5,38	5,30	5,50	5,91	5,87	5,42	5,01	5,01	5,33	,96

Fonte: SunData v3.0, CRESESB, 2018.

Segundo pesquisa realizada no site da Econodata, junho de 2022, existem, no mínimo 17 empresas fornecedoras de equipamentos solares existentes em Porto Nacional. A concorrência torna-se primordial para trazer benefícios para a população, com o barateamento de equipamentos, trazendo mais investimentos e renda para a população.

Cabe destacar, como fator ambiental no uso de energia solar FV é a redução de emissões de dióxido de carbono na atmosfera. O software de monitoramento de sistemas fotovoltaicos Solarman Business, do fabricante DEYE, apresenta fórmula de economia de carvão e de redução de CO2 na atmosfera apresentadas nas fórmulas 4 e 5.

$$PCE(t) = 0,0004 \times \text{Produção total (kWh)} \quad (4)$$

$$RE(t) = 0,000581 \times \text{Produção total (kWh)} \quad (5)$$

Onde:

PCE = Padrão de Carvão Economizado, em toneladas;

RE = Redução de Emissões, em toneladas.

Com base na capacidade de geração de energia desde 2018 a 2022, soma-se um total de 18996kWp. Para sabermos aproximadamente a quantidade de kWh por mês, multiplica-se 18996 por 0,11. Esse fator multiplicador foi obtido somando-se a produção anual em 2022 de um sistema de energia solar FV em Porto Nacional e dividindo pelo número de meses. Portanto, estima-se que 2.089,56kWh são produzidos.

Utilizando as fórmulas 3 e 4, o uso de energia solar FV na sede de Porto Nacional pode economizar 0,8356 toneladas de carvão e a redução de 1,2137 toneladas de CO₂ na atmosfera por mês a partir de 2023. Desta maneira, pode-se observar a importância do uso da energia solar FV na sede municipal de Porto Nacional, sendo muito importante do ponto de vista ambiental, contribuindo para melhoria da qualidade de vida local e porque não, global.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, conclui-se que, a sede municipal de Porto Nacional tem um grande potencial para geração de energia solar FV, pois a mesma está situada em uma região geográfica, com alta capacidade para geração, devido à sua localização próxima à linha do Equador, o que proporciona uma alta incidência de irradiação solar ao longo do ano.

Além da sua localização geográfica, da alta incidência de radiação eletromagnética, o avanço tecnológico também é um fator relevante para expansão dessa fonte de energia em todo o município, principalmente em sua sede.

Ainda, destaca-se que o uso da energia solar FV em Porto Nacional é benéfico, tanto para a economia do município, quanto para o meio ambiente, pois reduz a dependência de fontes de energia não renováveis. Para incentivar o uso de energia solar no município, o governo municipal poderia adotar o IPTU verde, programa existente em algumas cidades do Brasil, que reduz o referido imposto para quem gera energia solar.

Destaca-se ainda, que através da análise metodológica PESTAL, foi possível analisar-se os fatores políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais, de maneira integrada, os quais demonstraram oportunidades de uso de energia solar fotovoltaica na sede municipal de Porto Nacional, bem como prever o que poderá acontecer em um cenário futuro nesta temática.

Enfim, o uso de energia solar FV, na sede municipal de Porto Nacional, pode contribuir para sustentabilidade energética e ambiental da cidade, além de trazer benefícios econômicos e sociais para seus habitantes.

REFERÊNCIAS

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

DINIZ, M. Comunidades isoladas da Amazônia usam energia solar para purificar a água. Agência Brasil, 2015. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2015-07/comunidades-isoladas-da-amazonia-purificam-agua-com-energia#>. Acesso em: 18 mai. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA [ABSOLAR]. Panorama da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil e no Tocantins. 2018. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/411901/>. Acesso em: 22 fev. 2023.

_____. **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo 2024**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 22 mai. 2024.

ANEEL [Agencia Nacional de Energia Elétrica]. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**. 3 ed. Brasília, DF, 2008.

_____. **ANEEL realiza 2º Leilão de Energia de Reserva na sexta-feira (13/11)**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/noticias_area/arquivo.cfm?tipo=PDF&idNoticia=8923&idAreaNoticia=425/1000. Acesso em: 8 mai. 2024.

_____. **Resolução Normativa Nº. 1000/2021**. Brasília, 2021.

_____. **Bandeiras Tarifárias**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 10 abr. 2023.

AYRÃO, V. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. International Copper Association Brazil. Rio de Janeiro, 2018

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abr. de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2002. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/552314/publicacao/15716463>. Acesso em: 15 abr. 2023.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL Nº 940, de 29 de junho de 2021. Regulamenta as disposições do Decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020, que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/copy2_of_programa-de-eletrificacao-rural/normativos/documentos/ren-940-2021.pdf. Acesso em: 29 mai. 2024.

BALOGH, T. S. *et al.* **Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção.** Anais Brasileiros de Dermatologia, v. 86, n. 4, p. 732-742, 2011 Tradução. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abd/v86n4/v86n4a16.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2023.

BAPTISTA, G. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** Figshare Book, 2021. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.15087123.v1>

BELICH JR, H. **Física Moderna.** Vitória: UFES, Núcleo de Educação Aberta e a Distância, 2012.

BOUZAROVSKI, S., PETROVA, S. A global perspective on domestic energy deprivation: overcoming the energy poverty-fuel poverty binary. **Energy Research & Social Science.** Vol. 10, p. 31–40, ISSN 2214-6296, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>. Acesso em: 30 mar. 2023.

CGEE [Centro de Gestão e Estudos Estratégicos]. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão: Série Documentos técnicos 2** Brasília, DF, 2010.

BRAZ, A. M. **Sensoriamento remoto I.** 1 Ed. Indaial: UNIASSELVI, 2020.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig.** Belo Horizonte, 2012.

CLIMATEMPO. **Climatologia de Porto Nacional, BR.** São Paulo, 2022 Disponível em <https://www.climatempo.com.br/climatologia/598/portonacional-to>. Acesso em: 04 mai. 2023.

ENERGISA. **Ilumina Pantanal Completa 2 Anos Levando Luz, Saúde e Cultura Para a Maior Planície Alagável do Mundo.** Mato Grosso, 2023. Disponível em: <https://www.grupoenergisa.com.br/noticias/sustentabilidade/ilumina-pantanal-completa-2-anos-levando-luz-saude-e-cultura-para-maior>. Acesso em 29 mar. 2024.

CRESESB, **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro. Ago 2014. Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf
Acesso em: 04 fev. 2023.

_____. **Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar).** 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 20 de junho de 2022.

DIONISIO, P. H. Albert Einstein e a Física quântica. **Caderno Brasileiro De Ensino De Física, 22(2)**, 147–164. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6382/13263>. Acesso em: 18 mai. 2023.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e pva.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1607471>. Acesso em: 3 jun. 2024.

DUNLOP, J. P. **Photovoltaic Systems**. 2nd Ed. USA: ATP, 2007.

EMBRAPA [Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária]. **Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107363/1/500P-Geotecnologias-e-geoinformacao-ed01-2014.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2023.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional 2014: Ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/balanco-energetico-nacional/5-edicoes-anteriores/5-10-ben-2013-ano-base-2012-pdf/pdf/view>. Acesso em: 12 abr. 2023.

_____. **Balanco Energético Nacional 2022: Ano base 2021**. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

FALCÃO, V. D. **Fabricação de Células Solares de Cds/CdTe**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 120 p. 2005. Disponível em: http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/dissertacaofinal_viviennedenise.pdf. Acesso em: 20 mai. 2022.

FAPEAL. **Pesquisa financiada pelo Governo capta energia solar potencializando produção da cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://www.fapeal.br/2024/01/pesquisa-financiada-pelo-governo-capta-energia-solar-potencializando-producao-da-cana-de-acucar/>. Acesso em: 4 set. 2024.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FRITTS, C. E. On a new form of selenium cell, and some electrical discoveries made by its use. **American Journal of Science**, s3-26(156), 465–472, 1883. Disponível em: <https://doi.org/10.2475/ajs.s3-26.156.465>. Acesso em: 3 de jul. 2023.

FLANAGAN, P.; CUNHA, A. M. U. S. Agency for International Development (USAID). **Trade Guide on Renewable Energy in Brazil**. October 2002.

FUERST, F. *et al.* **Does energy efficiency matter to home-buyers?** An investigation of EPC ratings and transaction prices in England. *Energy Economics*, v.48, p. 145-156, 2015.

GALDINO, M. A.; LIMA, J. H. G. **PRODEEM - O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica**. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Congresso Brasileiro de Energia 2002.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Editora da USP, 2008.

GONDIM, G. C. M. **Análise de Ciclos Imobiliários e de Estratégias de Investimentos**. 48f. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica do Rio de Janeiro,

Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

GREEN, M. Silicon Photovoltaic Modules: A Brief History of the First 50 Years, **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**. Wiley InterScience, 2005.

GREENER. **Estudo Estratégico Geração Distribuída: Mercado Fotovoltaico** – 2º Semestre 2020 Brasil. São Paulo, 2020. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/12882/1618412133Estudo_Estratgico_de_Ger_ao_Distribuda_2_sem_2020_-_Mercado_Fotovoltaico_.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

GREENER. **Geração Distribuída: Estudo Estratégico 2024**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2024/>. Acesso em: 16 jun. 2023.

HASAN, R.; *et al.* **Grid-Connected isolated PV microinverters: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 67. P. 1065 – 1080. School of Engineering, Deakin University, Waurn Ponds, Australia. 2017.

HINRICHS, R.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. **Energia e Meio Ambiente**. 4.Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

HIOKI, A. T., LINSINGEN, *et al.* Análise macroambiental do mercado de microgeração distribuída fotovoltaica no Brasil. **Revista Da FAE**, 25(1), 2022. Disponível em <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/747>. Acesso em: 12 abr. 2023.

HONSBURG, C., BOWDEN, S. **PVeducation**. Disponível em: <https://pveducation.org/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. **Cidades e Estados**: Porto Nacional, 2023. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to/porto-nacional.html>. Acesso em: 12 set. 2022.

IEMA [Instituto de Energia e Meio Ambiente]. **INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EM USINAS TERMELÉTRICAS**: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional (ano-base 2020). São Paulo, 2022. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/07/IEMA_inventariotermeletricas_2022.pdf. Acesso em: 26 jan. 2024.

IRENA [International Renewable Energy Agency]. **Renewable energy and jobs: Annual review 2023**. Abu Dhabi and International Labour Organization, Geneva, 2023.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022. Disponível em https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf. Acesso em 22 out. 2023.

IPEA [Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada]. **Impactos Fiscais da Crise de Energia Elétrica: 2001 e 2002**. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1995/1/TD_816.pdf. Acesso em 12 abr. 2023.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. New Jersey: Prentice-Hall, 2000.

JOHNSON, G. *et al.* **Fundamentos da Estratégia**. Bookman, 366 p, 2011.

JUCÁ, S. C. S.; CARVALHO, P. C. M. **Métodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos: Aplicações em dessalinização**. 1 Ed. Duque de Caxias: Creative Commons, 2013.

KEKERES, T. A. **New High-Efficiency Single-Phase Transformerless PV Inverter Topology**. IEEE Transaction on industrial electronics, vol.58, nº1, 2011.

KRAUTER, C. W.; KISSEL, M. RE in Latin America: Actual state and potential of renewable energies in the region. **Refocus magazine Volume 6**, Issue 1, January–February 2005, Pages 20-22, 24-26, 2005. [https://doi.org/10.1016/S1471-0846\(05\)00289-1](https://doi.org/10.1016/S1471-0846(05)00289-1). Acesso em: 9 jan. 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, A. **Projeto energia solar off-grid download Gratuito Para Baixar pdf**. Disponível em: <https://blog.cursoeletricaecia.com.br/projeto-de-energia-solar-off-grid-gratuito-baixar/>. Acesso em 12 jan. 2024.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. Uniderp, 2007. ISBN: 85-7704-040-0. 908p

LUZ SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico?** Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 05 fev. 2024.

LYNN, P. A. **Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics**. 1st Ed. United Kingdom. John Wiley& Sons, 2010.

MELO, F. H. de; FONSECA, E. G. da. **Proálcool, energia e transportes**. São Paulo: FIPE: Pioneira, 1981. Disponível em https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6280/1/PPE_v13_n02_Proalcool.pdf. Acesso em: 15 abr. 2023.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: UnB; CNPq, 2012. p. 82-102.

MERTENS, K. **Photovoltaics: fundamentals, technology and practice**. 1st Ed. India: Wiley, 2014.

MESSENGER, R. **Photovoltaic systems engineering**. 2nd Ed. Jerry Ventre. 2005.

MMA [Ministério do Meio Ambiente]. **MMA orienta sobre obras sustentáveis**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/mma-orienta-sobre-obras-sustentaveis>. Acesso em: 18 mai. 2024.

MME [Ministério das Minas e Energia]. **Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD**. Brasília, DF, 2015. Disponível em <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/document-0-896106613761072.pdf> . Acesso em: 10 abr. 2023.

_____. **Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD**. Brasília, DF, 2019. Disponível em <http://antigo.mme.gov.br/documents/20182/6dac9bf7-78c7-ff43-1f03-8a7322476a08>. Acesso em: 10 abr. 2023.

_____. **Luz Para Todos: energia solar já beneficiou mais de 150 mil consumidores da Amazônia Legal**. Brasília, 2024. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/luz-para-todos-energia-solar-ja-beneficiou-mais-de-150-mil-consumidores-da-amazonia-legal>. Acesso em: 04 jun. 2024.

MORAES, E. C. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: RUDORFF, B. F. T.; *et al.* **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 22. Capítulo 1. (INPE-8984-PUD/62). Disponível em: < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/ibi/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18>>. Acesso em 21 jul. 2022

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2001.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

NAZER, A; *et al.* **Optimal Photovoltaic Multi-String Inverter Topology Selection based on Reliability and Cost Analysis**. IEEE Transactions on Sustainable Energy. v12. N°2. 2021.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2010. 388 p.

_____. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, 4 Ed. Editora Edgard Blucher, 2018. 388 p.

OCA SOLAR. **Sistema Fotovoltaico Híbrido: Entenda o Que é e Suas Aplicações**. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>. Acesso em: 11 fev. 2024.

OMM. Organização Meteorológica Mundial. **Cientista apresenta argumentos para sinalizar possível novo recorde de temperatura**. 2024. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/onu-preve-que-2024-sera-ainda-mais-quente-que-2023/#:~:text=Segundo%20a%20ONU%2C%20desde%20os,segunda%20metade%20do%20s%C3%A9culo%20XIX>. Acesso em: 29 de jan. 2024.

PENG, J.; LU, L.; YANG, H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 19, p. 255-274, 2013.

POMÍLIO, J. A. *et al.* **Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Sistemas e Energia. 21 p. 2021. Disponível em: <https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/cap1.pdf>. Acesso em: 24 de julho de 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO NACIONAL. **Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de Porto Nacional**. Porto Nacional: Prefeitura Municipal de Porto Nacional, 2007.

PROJETO SAÚDE E ALEGRIA. **Sistemas de abastecimento de água e energia solar serão entregues em Murui no Lago Grande**. 2019. Disponível em: <https://saudeealegria.org.br/redemocoronga/sistemas-de-abastecimento-de-agua-e-energia-solar-serao-entregues-em-murui-no-lago-grande/>. Acesso em: 05 mar. 2024.

REBOLLAR, P. B. M, RODRIGUES, P. R. **Energias Renováveis: Energia Solar**. Edição livro digital; JELARE. Unisul, 2011.

REDDY, M. A. **Textbook of Remote Sensing and Geographical Information Systems**. 3 Ed. Hyderabad: BS Publications, 2008.

REGINATO, V. S. C. Sensoriamento remoto aplicado à identificação de potencial solar em escalas regionais. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.1, n.2, p.11-28. 2020

ROSA, R. **Cartografia Básica**. Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia. 2004. 72p

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7 Ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

RUTHER, R.; ZILLES, R. Eletricidade Solar para os Telhados do Brasil. **Jornal Valor Econômico**, 2010.

SAMMUT-BONNICI, T., GALEA, D. **PEST Analysis**. Wiley Encyclopedia of Management. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd. Disponível em <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom120113>. Acesso em: 05 mai. 2023.

SEEG [Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa]. **Emissões por Setor - Energia. SEEG Brasil, 2021**. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>. Acesso em: 05 jun. 2024.

SEMARH, Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Atlas Solarimétrico do Tocantins. 2015 Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1hJy1cXWmLeC3wYdL29PwkT22Bj3LmWuu/view?pli=1>. Acesso em: 29 out. 2023.

SENE, E. de; MOREIRA, J. C. **Geografia geral e do Brasil: espaço geográfico e globalização**. São Paulo: Editora Scipione, 3ª edição, 2019.

STEFFEN, C.A. Técnicas radiométricas com o SPIX:TRON SE-590. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 8., Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE. 1996, v.1. p. 9-I-k.

SOBRINHO, L. C. O. **Desenvolvimentos e Pesquisas na Terceira geração de células Fotovoltaicas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 80 p. 2016. Disponível em: <https://silo.tips/download/desenvolvimentos-e-pesquisas-na-terceira-geracao-de-celulas-fotovoltaicas-louise>. Acesso em: 30 mai. 2024.

SOLARGIS [Solar Geographic Information System]. **Solar resource maps of Brazil**. 2023. Disponível em: https://solargis.com/file?url=download/Brazil/Brazil_GHI_mid-size-map_lang-PT_156x175mm-300dpi_v20200522.png&bucket=globalsolaratlas.info. Acesso em: 05 nov. 2023.

SOVERNIGO, M. H. **Impacto dos Aerogeradores sobre a Avifauna e Quiropterofauna no Brasil**. Monografia de Graduação (Bacharelado em Ciências Biológicas). Florianópolis, SC: UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2009 (61p). Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/132383>. Acesso em: 20 ago. 2023.

TAUANE, M. Prefeitura de Porto Nacional sai na frente e inaugura primeira usina municipal de geração de energia solar do Tocantins. **Prefeitura de Porto Nacional**, 05 maio 2023. Disponível em <https://www.portonacional.to.gov.br/index.php/blog-de-noticias/40-sec-de-infraestrutura/4190-prefeitura-de-porto-nacional-sai-na-frente-e-inaugura-primeira-usina-municipal-de-geracao-de-energia-solar-do-tocantins>. Acesso em: 16 jun. 2023.

TEIXEIRA, W.; *et al.* **Decifrando a Terra**. 2. ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 623p.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. 2015. 227 p. Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba - PR. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gerson-Tiepolo/publication/275828862_ESTUDO_DO_POTENCIAL_DE_GERACAO_DE_ENERGIA_ELETRICA_ATRAVES_DE_SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS_CONECTADOS_A_REDE_NO_ESTADO_DO_PARANA/links/55477b830cf2b0cf7acd06df/ESTUDO-DO-POTENCIAL-DE-GERACAO-DE-ENERGIA-ELETRICA-ATRAVES-DE-SISTEMAS-FOTOVOLTAICOS-CONECTADOS-A-REDE-NO-ESTADO-DO-PARANA.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19. Acesso em: 23 de julho de 2022

TOLMASQUIM, M. As origens da crise energética brasileira. **Ambiente & Sociedade - Ano III**, São Paulo, Nº 6/7 – 1º Semestre de 2000/2º Semestre de 2000. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2000000100012>. Acesso em: 14 jan. 2023.

TYBOUT, A. M.; CALDER, B. J. **Marketing**. São Paulo: Saraiva, 2013.

VAREJÃO-SILVA, M. A., **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2, Recife, 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 449p.

VILARINO, C. **Brasil dá os primeiros passos para integrar agricultura e energia solar | Fazenda Sustentável | Globo Rural**. Disponível em: <https://globorural.globo.com/google/amp/sustentabilidade/noticia/2024/01/brasil-da-os-primeiros-passos-para-integrar-agricultura-e-energia-solar.ghtml>. Acesso em: 4 set. 2024.

WOLF M. **Historical Development Solar Cells**, Proc. 25th Power Sources Symp, 1972.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física III: eletromagnetismo**. 14. ed. Rio de Janeiro: Pearson Education do Brasil, 2015.

ZILLES, R.; *et al.* **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Oficina de Textos, São Paulo, 2012.