

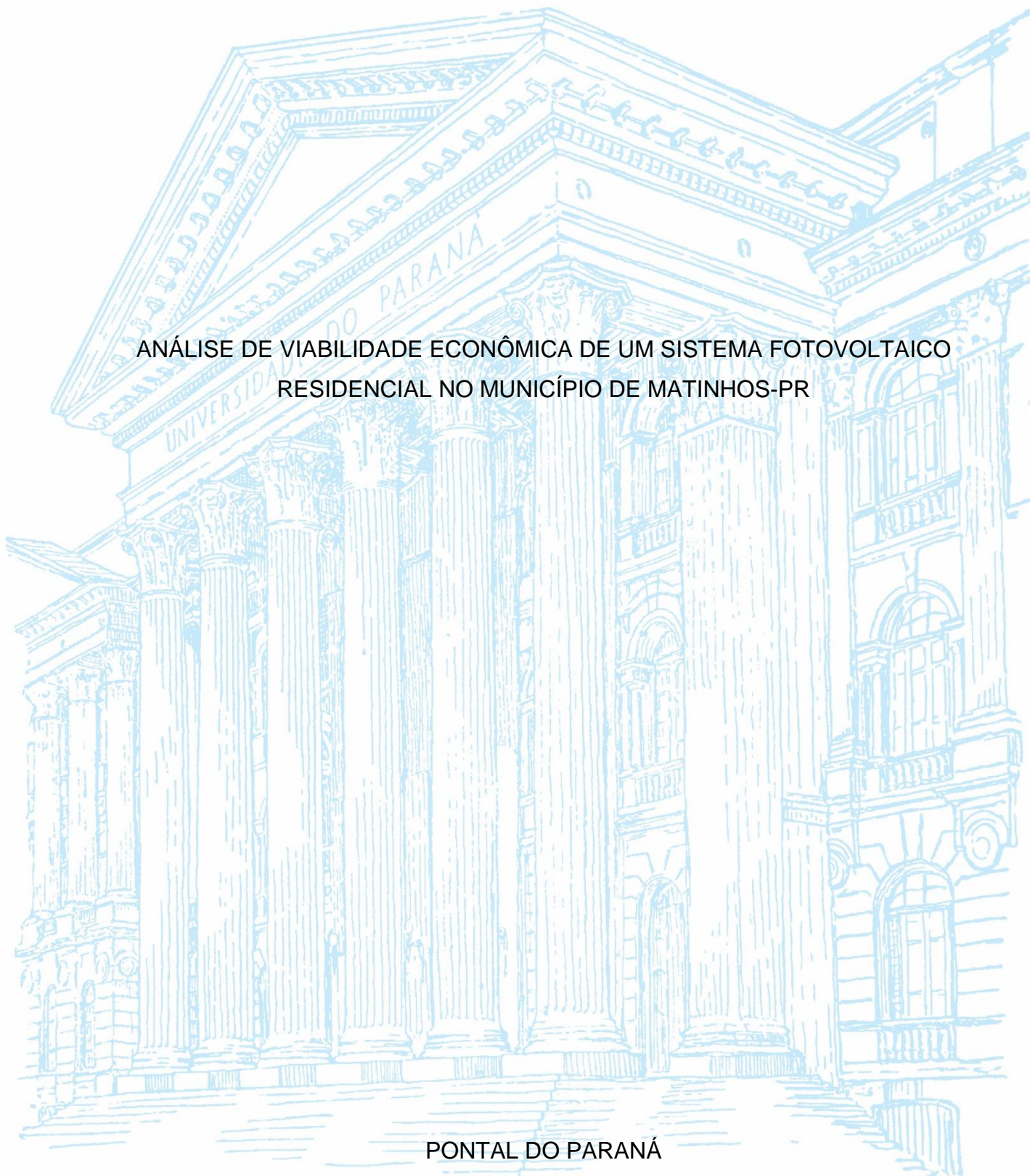
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HELOISE CRISTINE CORREA DE OLIVEIRA

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE MATINHOS-PR

PONTAL DO PARANÁ

2022



HELOISE CRISTINE CORREA DE OLIVEIRA

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE MATINHOS-PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof(a) Dr(a). Juliana Almansa Malagoli.

PONTAL DO PARANÁ

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

O48a Oliveira, Heloise Cristine Correa de
Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial no município de Matinhos - Pr / Heloise Cristine Correa de Oliveira. – Pontal do Paraná, 2022.
1 arquivo [65 f.] : PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Almansa Malagoli

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Civil.

1. Energia solar. 2. Energia elétrica. 3. Sistemas de energia fotovoltaica. I. Malagoli, Juliana Almansa. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD - 620



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO
TERMO DE APROVAÇÃO

Heloise Cristine Correa de Oliveira

**“ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE MATINHOS-PR”**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Profa. Dra. Juliana Almansa Malagoli

Prof. Orientadora - CPP-CEM/UFPR

Prof. Ma. Eliane Pereira de Lima

Departamento de Engenharia Civil-Curitiba-PR/UFPR

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira

CPP-CEM/UFPR

Pontal do Paraná, 12 de setembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA ALMANSA MALAGOLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/09/2022, às 18:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Eliane Pereira de Lima, Usuário Externo**, em 13/09/2022, às 13:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **VIRNEI SILVA MOREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/09/2022, às 13:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4876199** e o código CRC **522DE739**.

Referência: Processo nº 23075.057802/2022-37

SEI nº 4876199

Dedico este trabalho a minha mãe, Lizete Fernandes Correa, que sempre priorizou meus estudos e me incentivou a ir além, sendo meu maior exemplo de empenho e perseverança, e ao meu marido, João Julio de Souza Roque, que foi fundamental durante toda minha jornada acadêmica me apoiando incondicionalmente para a realização do meu sonho. Dedico também à minha cachorra, Glória Cristina, que teve sua partida precoce no início desse trabalho e será eternamente lembrada, uma singela homenagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, Lizete Fernandes Correa, por todo esforço e sacrifício empenhados para me dar uma educação de qualidade, por ter me dado a mentalidade certa para enfrentar todos os desafios que apareceram no meu caminho, além de ser um grande exemplo de estudante para mim.

Agradeço ao meu marido, João Julio de Souza Roque, por todo amor, carinho, cuidado e paciência que tem comigo diariamente, por nunca me deixar desamparada, sendo um dos grandes pilares da minha vida, e por todo o esforço que teve para garantir que nada me impedisse de alcançar meu objetivo, você é um homem exemplar e minha motivação diária.

Agradeço a minha orientadora, Professora Dra. Juliana Almansa Malagoli, pela paciência, colaboração, amizade, por ser uma excelente profissional e por garantir que a realização deste trabalho, fosse possível.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha vida, desde o ensino básico até a graduação, em especial a todos do corpo docente da UFPR-CEM, que transmitiram o conhecimento necessário para que eu chegasse até aqui, cada um reserva um pedaço único na minha trajetória. Agradeço também a todos os motoristas do Intercampi, o qual eu usufruí regularmente durante todos esses anos.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante todos esses anos de academia, por todas as risadas, bons momentos, cumplicidade e parceria. Em especial, a dupla que esteve comigo desde o primeiro semestre da faculdade, Polyana de Andrade e Marcelo Mota Correia Junior, que dividiram comigo todo o peso da graduação e tornaram essa caminhada leve e divertida, obrigada por sempre me acolherem e me ampararem, não seria possível sem vocês. Os que surgiram nos períodos seguintes também possuem espaço garantido no meu coração e espero levá-los para a vida: Joice Consulin Ribeiro, Matheus Guilherme de Jesus e Kallany Thoaldo Falavine.

Agradeço ao Vinicius e a Raquel, por disponibilizarem os dados necessários para a realização desta pesquisa e pela nossa grande amizade. Agradeço também ao Cristian, da Impact Home, que dedicou seu tempo para sanar todos os questionamentos que surgiram.

Por fim, agradeço a Heloise do passado por nunca ter desistido e ter criado força para vencer até os desafios mais impossíveis, tenho muito orgulho da mulher que nos tornamos e tenho certeza de que esse é só o início da nossa jornada.

“A maior glória de viver não está em nunca cair, mas em nos levantar toda vez que caímos.” – *Nelson Mandela*

RESUMO

A tecnologia do sistema fotovoltaico voltada para geração de energia solar ganhou destaque no cenário mundial devido ao aumento significativo da demanda de energia elétrica ocasionado, principalmente, por grandes empresas e indústrias e impulsionado pelo crescimento populacional. O presente trabalho consiste na análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial no município de Matinhos, no litoral do Paraná. A metodologia baseou-se inicialmente no levantamento dos dados de consumo elétrico anuais da residência e na análise do potencial solar da região. A partir disso, realizou-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico, definindo os equipamentos a serem utilizados e a capacidade teórica de geração. O dimensionamento resultou em um sistema composto por 5 módulos fotovoltaicos com potência unitária de 550 Wp, totalizando 2,75 kWp, uma *string box* e dois micro inversores com potência de 2,0 kW cada. Ademais, do dimensionamento, têm-se uma capacidade para geração de energia elétrica anual de 2998,59 kWh. A análise de viabilidade econômica foi elaborada através de estudos financeiros realizados para verificar o tempo de retorno do investimento. Por fim, destaca-se que os resultados encontrados demonstraram que o projeto pode ser considerado viável economicamente.

Palavras-chave: Energia elétrica. Energia solar. Sistema fotovoltaico. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The technology of photovoltaic system focused on solar energy generation has gained prominence in the world scenario due to the significant increase in demand for electricity caused mainly by large companies and industries and driven by population growth. The present work consists of the economic feasibility analysis of a residential photovoltaic system in the municipality of Matinhos, on the coast of Paraná. The methodology was initially based on a survey of the annual electric consumption data of the residence and on the analysis of the solar potential of the region. From this, the dimensioning of the photovoltaic system was performed, defining the equipment to be used and the theoretical generation capacity. The sizing resulted in a system composed of 5 photovoltaic modules with unitary power of 550 Wp, totaling 2.75 kWp, a string box and two micro inverters with power of 2.0 kW each. Furthermore, from the dimensioning, there is a capacity for the annual generation of electric energy of 2998,59 kWh. The economic viability analysis was elaborated through financial studies performed to verify the return time of the investment. Finally, it is highlighted that the results found demonstrated that the project can be considered economically viable.

Keywords: Electrical energy. Solar energy. Photovoltaic system. Economic viability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE ELÉTRICA NO BRASIL.....	20
FIGURA 2 - COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR.....	21
FIGURA 3– ÂNGULOS SOLARIMÉTRICOS NOTÁVEIS.	23
FIGURA 4 – SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (<i>ON GRID</i>).	24
FIGURA 5 – SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO (<i>OFF GRID</i>).....	25
FIGURA 6 – FUNCIONAMENTO DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	25
FIGURA 7 – PAINEL SOLAR DE SILÍCIO MONOCRISTALINO.....	26
FIGURA 8 – PAINEL SOLAR DE SILÍCIO POLICRISTALINO.....	27
FIGURA 9 – PAINEL SOLAR DE SILÍCIO AMORFO.....	28
FIGURA 10 – INFLUÊNCIA NA RADIAÇÃO INCIDENTE NA PLACA.	28
FIGURA 11 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA. ..	29
FIGURA 12 – ESQUEMA DE LIGAÇÃO <i>STRING BOX</i>	30
FIGURA 13 – MICROINVERSOR E INVERSOR COMUM.	31
FIGURA 14 – MEDIDOR BIDIRECIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.	31
FIGURA 15 – LOCALIZAÇÃO DA RESIDÊNCIA DO ESTUDO.....	32
FIGURA 16 – IRRADIAÇÃO MÉDIA NO MUNICÍPIO DE MATINHOS-PR.....	33
FIGURA 17 – IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO NA LATITUDE.	35
FIGURA 18 – INCLINAÇÃO DO MÓDULO SOBRE A INCIDÊNCIA SOLAR.	36
FIGURA 19 – MÓDULO FOTOVOLTAICO MODELO HY-M10/144.....	45
FIGURA 20 – MICRO INVERSOR SUN-2000G3.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1– IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO.....	34
GRÁFICO 2 –VALOR ACUMULADO EM TODA VIDA ÚTIL DO SISTEMA.....	55
GRÁFICO 3 – DIFERENÇA NO VALOR DA FATURA.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO ÓTIMO.....	36
TABELA 2 – BANDEIRAS TARIFÁRIAS.....	39
TABELA 3 – HISTÓRICO ANUAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.	42
TABELA 4 – IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA MENSAL.	43
TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO.	45
TABELA 6 – ESPECIFICAÇÕES DO MICRO INVERSOR.	47
TABELA 7 – LEVANTAMENTO DE CUSTOS.....	48
TABELA 8 – GERAÇÃO TEÓRICA DE ENERGIA.....	48
TABELA 9 – CRÉDITOS A PARTIR DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA.	49
TABELA 10 – CRÉDITOS DO SISTEMA DURANTE TODA SUA VIDA ÚTIL.....	50
TABELA 11 – ECONOMIA MENSAL.	51
TABELA 12 – HISTÓRICO DE REAJUSTES TARIFÁRIOS	52
TABELA 13 – PROJEÇÃO DE REAJUSTES NO CIP.....	53
TABELA 14 - ECONOMIA ANUAL E VALOR ACUMULADO DO PROJETO.....	54
TABELA 15 - VPL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO.	56

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AAEE - Anuário Estatístico de Energia Elétrica
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ART - Assinatura de Responsabilidade Técnica
CIP - Contribuição de Iluminação Pública
COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPEL - Companhia Paranaense de Energia
CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
GD - Microgeração distribuída
ICMS - Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MPPT - Maximum Power Point Tracking
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
PIS – Programas de Integração Social
PNE - Plano Nacional de Energia
PTI - Assessoria de Energias Renováveis de Itaipu e do Parque Tecnológico Itaipu
SELIC - Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SIN - Sistema Interligado Nacional
TIR - Taxa Interna de Retorno
UC - Unidade Consumidora
UHE - Usina Hidrelétricas
UTE - Usinas Termoelétricas
UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UVC - Unidade de Valor para Custeio
VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	20
2.1.1 Radiação Solar e Irradiância	21
2.1.2 Horas de Sol Pleno (HSP)	22
2.1.3 Orientação dos Módulos Fotovoltaicos.....	22
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	23
2.2.1 Sistema Fotovoltaico <i>on grid</i>	23
2.2.2 Sistema fotovoltaico <i>off grid</i>	24
2.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	25
2.3.1 Tipos de Tecnologias.....	26
2.3.2 Influenciadores de Desempenho	28
2.3.3 Associação de Dispositivos Fotovoltaicos	29
2.4 STRING BOX	29
2.5 MICRO INVERSOR	30
2.6 MEDIDORES BIDIRECIONAIS	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	32
3.2 ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR.....	33
3.2.1 Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB).....	33
3.2.2 Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná	34
3.3 INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	35
3.4 LEVANTAMENTO DO CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA	37
3.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
3.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	38
3.6.1 Levantamento Orçamentário	38

3.6.2 Bandeiras Tarifárias.....	38
3.6.3 Composição Tarifária e Impostos	39
3.6.4 Valor Presente Líquido (VPL)	40
3.6.5 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	40
3.6.6 Payback.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 HISTÓRICO DE CONSUMO DA RESIDÊNCIA	42
4.2 RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE	42
4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	43
4.3.1 Memorial de Cálculo	44
4.4 ANÁLISE FINANCEIRA.....	47
4.4.1 Orçamentos	47
4.4.2 Geração Teórica De Energia	48
4.4.3 Créditos Acumulados com a Geração Teórica de Energia	49
4.4.4 Fatura de Energia para o Custo de Disponibilidade	50
4.4.5 Viabilidade Econômica	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

No cenário global o impacto das mudanças climáticas no meio ambiente é um assunto de grande debate. Deste modo, é frequente a discussão em prol do melhor uso dos recursos naturais e de sua preservação. Desta maneira, um dos tópicos debatidos é a utilização de um modelo mais limpo de geração de energia, tendo como principal alternativa a energia solar (PEREIRA, 2015).

No sistema fotovoltaico são instalados painéis solares, geralmente, em telhados ou áreas de maior incidência solar, que recebem radiação solar e geram eletricidade em corrente contínua, que ao passar pelo inversor de frequência, é convertida em corrente alternada com uma tensão de 110V/220V/380V e frequência de 60 Hz (TECLUZ, 2019). O sistema é ligado paralelamente à rede de distribuição, sem alterar a instalação já existente. Esse modelo pode gerar energia inclusive em dias nublados e chuvoso, a quantidade produzida depende da intensidade de radiação solar recebida.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamenta a micro e minigeração de energia através das Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, atualizada pela Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015, onde permite que o consumidor brasileiro gere energia para sua residência ou empresa e conceda à concessionária local o excedente, que será convertido em créditos para o produtor podendo ser usado num período de 60 (sessenta) meses (ANEEL, 2015).

O Brasil vive um momento desfavorável em relação ao fornecimento de energia elétrica. Segundo a ANEEL, 67% da energia gerada no país vem de hidrelétricas, com a atual escassez de chuvas e a ausência de um plano de ação do governo para construção de uma matriz elétrica mais sustentável e segura, tem-se um cenário onde as tarifas de eletricidade aumentam cada vez mais (ANEEL, 2021).

Nos dias atuais uma possível falta de energia elétrica pode resultar em danos ao desenvolvimento nacional, já que a eletricidade é parte essencial da vida das pessoas e é a base da evolução tecnológica. Neste contexto, para evitar tal situação o país possui um vasto sistema de transmissão de energia, denominado Sistema Interligado Nacional (SIN), pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O SIN age quando a demanda energética não pode ser suprida pelas hidrelétricas existentes, acionando usina termoeletricas, chamadas de usinas de base, que dão o suporte necessário ao sistema. A desvantagem do uso das usinas de base é o seu

potencial poluente, pois o processo de geração de energia através destas produz gases de efeito estufa, lançados na atmosfera. (ONS, 2021).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a localização e extensão do território nacional favorecem para que o Brasil receba energia solar correspondente a 50 mil vezes o seu consumo anual de eletricidade. Em contrapartida esse potencial é pouco utilizado, já que existem poucos equipamentos de conversão fotovoltaica em funcionamento (MMA, 2021).

A estimativa da ANEEL é que até o ano de 2024 sejam instalados aproximadamente 1,2 milhão de geradores de energia fotovoltaica em residências e empresas, representando 15% da matriz energética nacional. Acredita-se que até 2030 o mercado da energia fotovoltaica deverá movimentar 100 bilhões na economia e gerar 1 milhão de empregos (DUSOL, 2019).

Neste contexto, a produção de energia a partir de fontes mais limpas e sustentáveis pode contribuir para o crescimento econômico nacional e minimizar impactos ambientais causados pelas atuais matrizes energéticas. O presente trabalho tem como proposta a análise do potencial fotovoltaico e da viabilidade econômica da instalação de um sistema ligado à rede elétrica em Matinhos, no litoral do Paraná.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Nascimento (2004), um dos principais instrumentos de combate às mudanças climáticas é o aproveitamento em maior escala de energias renováveis, que gerem menor quantidade de poluentes. Além disso, faz necessário a utilização de tecnologias modernas e limpas, que causem menos impactos ao meio, algo pouco explorado até então (UCZAI *et al.*, 2012).

Segundo o Plano Nacional de Energia (PNE) – 2030, daqui uma década o consumo de eletricidade poderá chegar a 950 e 1250 TWh/ano, fazendo-se necessária a implantação de uma potência hidrelétrica adicional significativa. Esse cenário indica um possível esgotamento a longo prazo do potencial hidrelétrico brasileiro. É necessária a ampliação da geração elétrica por meios mais sustentáveis, que atendam a demanda com os menores custos e impactos ambientais possíveis (PNE, 2007).

Um projeto sustentável deve ser ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente justo (GOULART, 2013). A energia fotovoltaica não emite

resíduos poluentes, assim como não causa a destruição de reservas naturais, assim, promove inúmeros benefícios à sociedade e possibilita a geração de eletricidade de forma estática, silenciosa, renovável e ecologicamente correta. A ampliação desse nicho ainda depende de incentivos, tendo como maior desmotivador o preço da implantação de um sistema fotovoltaico (PNE, 2007).

É evidente a importância da energia de fontes sustentáveis no cenário ambiental e socioeconômico, assim, incentivos financeiros (financiamentos facilitados, menores taxas de juros etc.) poderiam melhorar a aceitação e aumentar implantação desses sistemas. O presente trabalho se propõe, através de um estudo comparativo realizado em uma residência unifamiliar, a avaliar a viabilidade econômica da implantação e manutenção de um sistema fotovoltaico na residência. A pesquisa pode contribuir como ferramenta para a tomada de decisão por parte de pessoas que pretendam usar a microgeração de energia para suas residências e empresas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica com base nos valores de investimento financeiro e no rendimento acumulado durante o período de vida útil das placas voltaicas de uma residência localizada em Matinhos, na região litorânea do Paraná.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento do consumo médio de energia elétrica na região estudada;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico para o atendimento da demanda energética da região de estudo;
- Avaliar o potencial fotovoltaico de geração de energia elétrica do sistema instalado;
- Estimar o tempo de retorno do investimento financeiro durante o período de vida útil dos painéis solares;

- Analisar a viabilidade econômica do sistema instalado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido da seguinte maneira:

- No primeiro capítulo está apresentada a introdução, os objetivos e a justificativa;
- O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica sobre os aspectos que norteiam geração de energia fotovoltaica;
- No terceiro capítulo descreve a metodologia a ser utilizada nessa pesquisa;
- O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos;
- O quinto e último capítulo é conclusivo, onde se encontram as considerações finais e previsão de futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico elucidar conceitos básicos para a elaboração do projeto e dimensionamento de um sistema de geração de energia fotovoltaico, além de descrever os equipamentos que compõem o sistema, como os módulos fotovoltaicos e micros inversores.

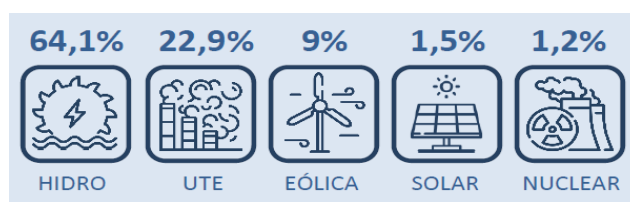
2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Um tema de grande interesse e debate mundial é a conservação do meio ambiente. Os cientistas e pesquisadores buscam soluções para minimizar e evitar os danos causados pela interação humana, de forma que não mude o vigente crescimento tecnológico e nem o estilo de vida da população. Atualmente, um dos pilares da sociedade é a energia, e a maneira como esta é gerada.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão. (CRESESB, 2014, p. 50).

O procedimento mais simples de geração de energia elétrica é através do sistema fotovoltaico. Além de proporcionar benefícios como a diminuição de custos com os sistemas de transmissão e distribuição, contribui para a sustentabilidade e desenvolvimento socioeconômico em localidades não eletrificadas (ELYSIA, 2021). Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (AAEE) desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2019 o Brasil gerou um total de 170Gw de energia elétrica, sendo que a geração fotovoltaica representa apenas 1,5% como mostra a FIGURA 1, enquanto as usinas hidrelétricas (UHE) e as usinas termoeletricas (UTE) representam 64,1% e 22,9% respectivamente (ANEEL, 2016).

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE ELÉTRICA NO BRASIL.



FONTE: EPE (2020).

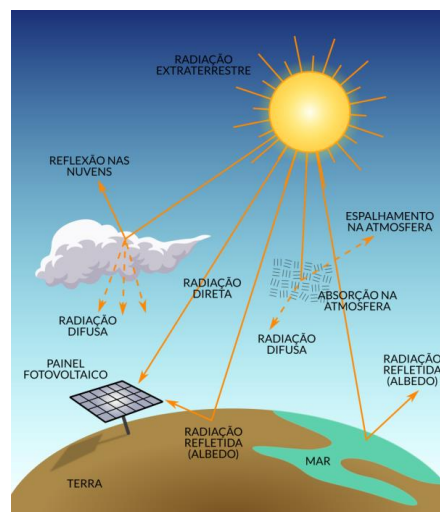
Mesmo ainda sendo pouco expressiva no cenário energético nacional, a energia solar teve um crescimento de 92,1% entre os anos de 2018 e 2019 (EPE, 2020). O Brasil possui alta incidência de radiação solar, seu tamanho e localização favorecem para que o país receba energia solar correspondente a 50 mil vezes o seu consumo anual de eletricidade. Entre os benefícios dessa matriz energética pode-se destacar: o recurso ser inesgotável, ter baixa manutenção e poder ser implantada em lugares remotos.

O presente trabalho pretende abordar os conceitos relacionados a produção da energia solar fotovoltaica. Este sistema utiliza células fotovoltaicas agrupadas em série, formando os chamados módulos fotovoltaicos. O conjunto de módulos fotovoltaicos compõe o arranjo fotovoltaico. Nas células ocorre o Efeito Fotovoltaico, onde a energia solar em forma de radiação é convertida em energia elétrica. Em dias nublados ou de pouca irradiância incidente também é possível produzir energia solar, pois o sistema fotovoltaico não depende da radiação direta e funciona também através de radiação difusa e albedo.

2.1.1 Radiação Solar e Irradiância

A energia solar, após processo de fusão nuclear, propaga-se pelo espaço como radiação solar (CRESESB, 2014). Esta é definida como a quantidade de energia solar incidente em uma superfície durante um período, expressa em Wh ou kWh). A radiação que incide sobre a superfície terrestre é composta por três componentes (FIGURA 2):

FIGURA 2 - COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR.



FONTE: Tiepolo et al (2017).

Sendo que, Radiação direta – vem diretamente da direção do sol sem sofrer perturbações e encontrar obstáculos, atinge o solo de maneira quase perpendicular; Radiação difusa – atinge a superfície depois de sofrer espalhamento causado por obstáculos como nuvens, gotas de chuva, etc.; Albedo – é a radiação refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, terrenos rochosos, etc.) (TIEPOLO et al, 2017).

A irradiância é a grandeza responsável por quantificar a radiação solar, equivale a potência luminosa por unidade de área, dada em W/m^2 (watt por metro quadrado) (CRESESB, 2014). Quanto maior for a potência da radiação solar, mais energia é transformada. Com o valor da irradiância é possível avaliar a eficiência de sistemas fotovoltaicos.

2.1.2 Horas de Sol Pleno (HSP)

A HSP é caracterizada como o intervalo de tempo, em horas, em que se concentraria, ao longo do dia, uma hipotética irradiância solar constante de $1000W/m^2$. Ela é calculada dividindo a irradiação média do local (kWh/m^2) pelo valor definido como padrão, $1kW/m^2$. Vale lembrar que a HSP é uma estimativa para auxiliar nos cálculos de dimensionamento do sistema, podendo variar a depender dos valores de irradiância (CRESESB, 2014).

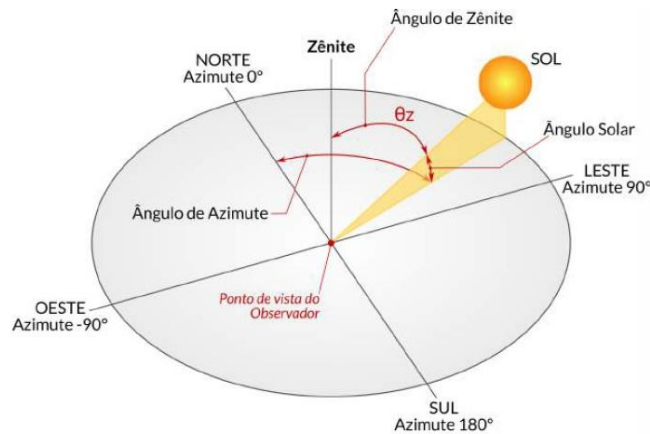
2.1.3 Orientação dos Módulos Fotovoltaicos

Como citado anteriormente, a radiação direta é aquela que incide diretamente, com diferentes inclinações, em cada ponto da superfície. É a única radiação capaz de ser captada de maneira otimizada, já que é possível estimar seu ângulo de incidência, este tópico será baseado nela.

Além disso, para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico um dos fatores de influência é o Ângulo Azimutal, que pode ser definido como o ângulo de orientação dos raios solares em relação ao norte geográfico (norte verdadeiro). Diferentes ângulos azimutais podem ser descritos ao longo do dia a partir do movimento natural do sol, desde o nascente até o poente. O azimutal é considerado nulo quando o observador vê o sol a sua frente durante o meio-dia solar, no hemisfério sul esse fenômeno ocorre quando o observador está orientado para o norte geográfico. O contrário ocorre no hemisfério norte, onde o ângulo azimutal é determinado em relação ao sul geográfico (VILLALVA e GAZOLI, 2012). Vale ressaltar que o azimutal nulo pode não coincidir com o horário de meio dia.

Assim, pode-se definir que para este estudo de caso a melhor orientação para os módulos fotovoltaicos é com a sua face voltada para o norte geográfico. Maximizando o aproveitamento da luz solar ao longo do dia e alcançando seu ápice de incidência ao meio-dia solar (FIGURA 3).

FIGURA 3– ÂNGULOS SOLARIMÉTRICOS NOTÁVEIS.



FONTE: Pereira et al (2017).

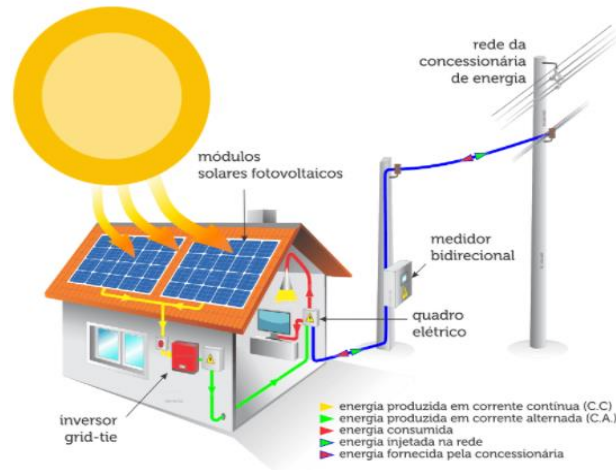
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

De acordo com Pereira e Oliveira (2015), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois tipos, são eles: *on grid* e *off grid*.

2.2.1 Sistema Fotovoltaico *on grid*

É o sistema que está conectado à rede de distribuição elétrica. Neste trabalho será abordado o dimensionamento de um sistema *on grid* (FIGURA 4). Por haver a conexão com a rede, a energia produzida pode enfrentar três possíveis situações:

- A quantidade de energia gerada ser equivalente a consumida;
- A quantidade gerada é insuficiente para abastecer a Unidade Consumidora (UC), sendo necessário consumir a energia proveniente da concessionária;
- A quantidade gerada é maior que a consumida, o excedente será concedido para a fornecedora local, que será convertido em créditos para o consumidor. (ANEEL, 2015).

FIGURA 4 – SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (*ON GRID*).

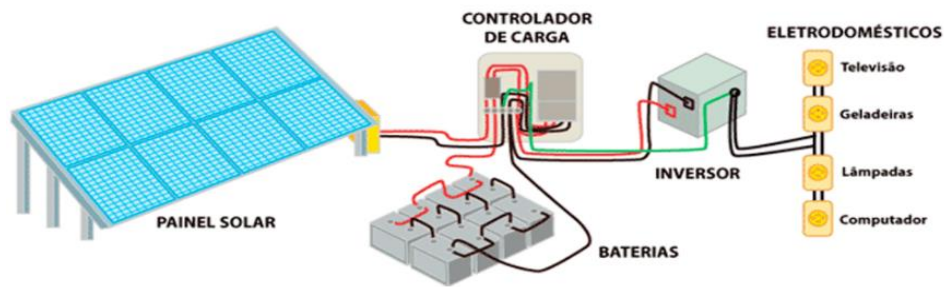
FONTE: Universal Automação (2021).

2.2.2 Sistema fotovoltaico *off grid*

Este sistema não possui ligação com nenhuma rede externa, usa bancos de baterias para armazenar a energia gerada (FIGURA 5). As configurações possíveis para a alimentação de carga são:

- Carga CC sem armazenamento de energia: Não há necessidade de um inversor, nem de armazenamento, a energia é consumida quando é gerada por aparelhos que funcionem em corrente contínua;
- Carga CC com armazenamento de energia: A energia é consumida em corrente contínua, a energia produzida pode ser armazenada, para proteção das baterias de armazenamento é utilizado o controlador de carga;
- Carga CA sem armazenamento de energia: O sistema de geração fotovoltaica é conectado direto com os aparelhos, através de um inversor CC-CA, a energia é consumida quando é gerada.
- Carga CA com armazenamento de energia: A energia produzida é armazenada em bancos de baterias que se conectam com o sistema fotovoltaico através de um inversor CC-CA, para garantir a segurança da bateria é utilizado o controlador de carga.

FIGURA 5 – SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO (OFF GRID).



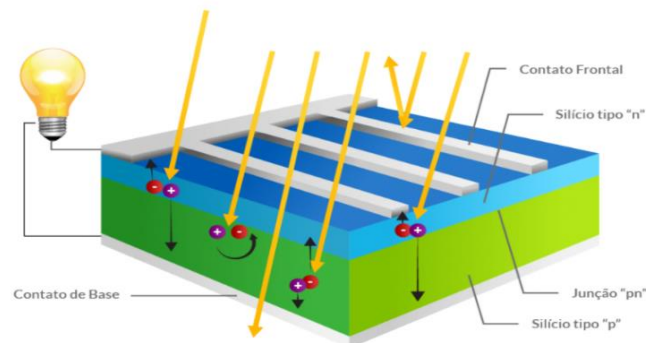
FONTE: SecPower (2021).

2.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Os painéis solares têm a função de converter energia proveniente da radiação solar em eletricidade, são compostos por células solares fotovoltaicas, geralmente, em grande quantidade para permitir a máxima geração de energia possível. Além disso, esse um conjunto de células é o responsável por abastecer os aparelhos elétricos, configurando um sistema fotovoltaico (ELYSIA, 2019).

A capacidade máxima de geração depende de alguns fatores incluindo a orientação e o ângulo de inclinação dos painéis solares, a eficiência do painel solar, além de quaisquer perdas devido a sombreamento, sujeira e até temperatura ambiente. O material mais comumente usados para a fabricação de painéis solares é o silício. Todos os painéis possuem um padrão simples de funcionamento (FIGURA 6), os módulos solares de silício possuem camadas positivas e negativas, que criam um campo elétrico.

FIGURA 6 – FUNCIONAMENTO DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA.



FONTE: Blue Sol (2021).

2.3.1 Tipos de Tecnologias

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CRESESB, 2014) podem ser utilizadas diversas tecnologias para a construção das células voltaicas, entre elas estão: Silício (SI), Telureto de cádmio (CdTe), Disselineto de Cobre, Índio e Gálio (CGIS) e alguns polímeros orgânicos.

i. Células de Silício Monocristalino

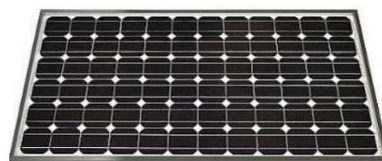
Os painéis solares monocristalinos são o modelo mais usado e produzido no mercado fotovoltaico. Considerado produto solar “premium” devido ao seu *design* elegante e desempenho eficiente. Desta maneira, é obtido através de um único cristal de silício ultrapuro, que passa por uma desoxidação, purificação e solidificação antes de receber o tratamento, que utiliza um processo chamado de Czochralski onde o material é fundido com uma certa quantidade de dopante, sendo o mais utilizado o Boro.

Após o tratamento o cristal é fatiado em lâminas finas de 300 micrometros (μm), então é novamente purificado e dopado utilizando a difusão. Por utilizar um único cristal na sua composição permite que os elétrons possuam espaço de fluxo suficiente, tornando os painéis monocristalino mais eficientes que os policristalinos (FIGURA 7).

As características são:

- Eficiência média do painel solar monocristalino: 15 – 22%;
- Técnica: Czochralski;
- Forma: Arredondada;
- Tamanho padrão das células fotovoltaicas: 10x10cm; 12,5x12,5cm; 15x15cm;
- Cor: azul escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul acinzentado (sem antirreflexo).

FIGURA 7 – PAINEL SOLAR DE SILÍCIO MONOCRISTALINO.



FONTE: Portal Solar (2021).

ii. Células de Silício Policristalino

Também conhecidos como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si) foram implementados no mercado na década de 80, produzidos a partir de cristais de silício que são fundidos em forma de blocos, preservando a formação de múltiplos cristais. Após o processo de fundição são serrados em blocos quadrados e, em seguida, fatiados em células. Apesar de possuírem eficiência inferior ao modelo monocristalino, são mais econômicos, já que seu processo de obtenção é mais simples (FIGURA 8).

As características são:

- Eficiência média do painel solar policristalino: 14 – 20%;
- Técnica: Fundição de polisilício, Aquecimento em forma;
- Forma: Quadrada;
- Tamanho padrão das células fotovoltaicas: 10x10cm; 12,5x12,5cm; 15x15cm;
- Cor: azul (com antirreflexo), cinza prateado (sem antirreflexo).

FIGURA 8 – PAINEL SOLAR DE SILÍCIO POLICRISTALINO.



FONTE: Portal Solar (2021).

iii. Células de Silício Amorfo

Tradicionalmente, é usado em aplicações de pequena escala (calculadoras e pequenos eletrônicos) e em larga escala. Ademais, são obtidas através do processo chamado de “empilhamento” que consiste na deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal, resultando em taxas de eficiência entre 6-9%. Portanto, o produto possui espessura reduzida, fazendo com que a célula tenha flexibilidade mecânica, podendo ser utilizada em diferentes superfícies (FIGURA 9).

FIGURA 9 – PAINEL SOLAR DE SILÍCIO AMORFO.



FONTE: Portal Solar (2021).

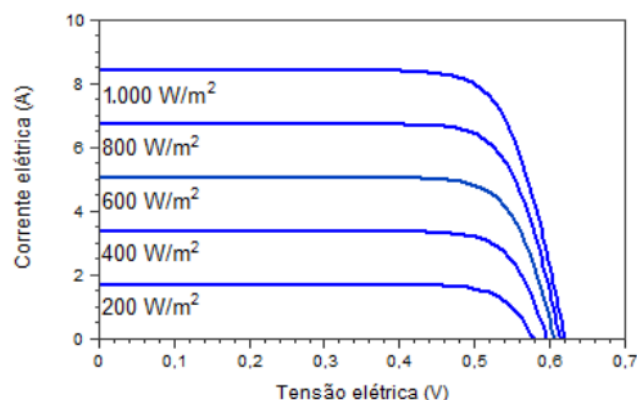
2.3.2 Influenciadores de Desempenho

A capacidade de geração de energia dos dispositivos fotovoltaicos pode ser influenciada por dois fatores externos: a irradiação solar incidente e a temperatura de operação da célula.

i. Irradiância solar

A corrente gerada por uma célula fotovoltaica aumenta de maneira proporcional a irradiação solar incidente. Quanto maior a irradiação maior será a corrente, conseqüentemente a potência será maior. Se a temperatura se manter fixa o valor da tensão aumenta de forma logarítmica (CRESESB, 2014), conforme representado na FIGURA 10.

FIGURA 10 – INFLUÊNCIA NA RADIAÇÃO INCIDENTE NA PLACA.



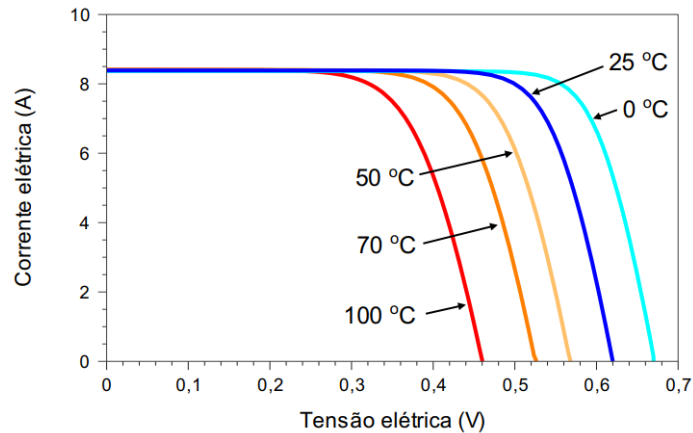
FONTE: CRESESB (2014).

ii. Temperatura

Diferente da irradiação solar, a temperatura não influencia de maneira proporcional a geração de corrente. O aumento da temperatura da célula fotovoltaica tende a reduzir a sua eficiência, pois diminui a tensão da mesma (CRESESB, 2014).

A FIGURA 11 demonstra a influência da temperatura da célula fotovoltaica, sob irradiação constante.

FIGURA 11 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA.



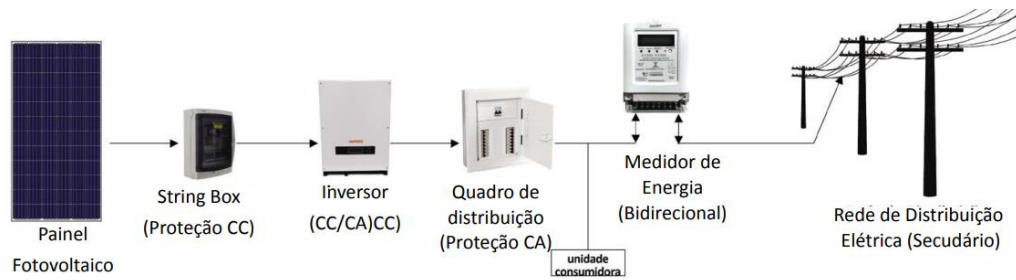
FONTE: CRESESB (2014).

2.3.3 Associação de Dispositivos Fotovoltaicos

As células e módulos fotovoltaicos podem ser associados em série e/ou paralelo. Quando ligadas em paralelo, ocorre um aumento da corrente e a tensão não é alterada. Quando ligadas em série, a tensão aumenta e a corrente não é alterada. Para a escolha do inversor, deve-se analisar qual será a disposição do sistema (CRESESB, 2014).

2.4 STRING BOX

É o equipamento responsável por proteger a parte de corrente contínua do sistema fotovoltaico, sua instalação é feita entre os módulos e o inversor. A *String box* conecta o cabeamento que sai dos painéis solares ao inversor, enquanto garante que o sistema não sofrerá sobretensão e sobrecorrente causadas por descargas atmosféricas, além de permitir o seccionamento do circuito (CANAL SOLAR, 2019). A falta desse equipamento pode ocasionar a queima de componentes do sistema, a parada de operação e incêndios.

FIGURA 12 – ESQUEMA DE LIGAÇÃO *STRING BOX*.

FONTE: Komeco (2019).

2.5 MICRO INVERSOR

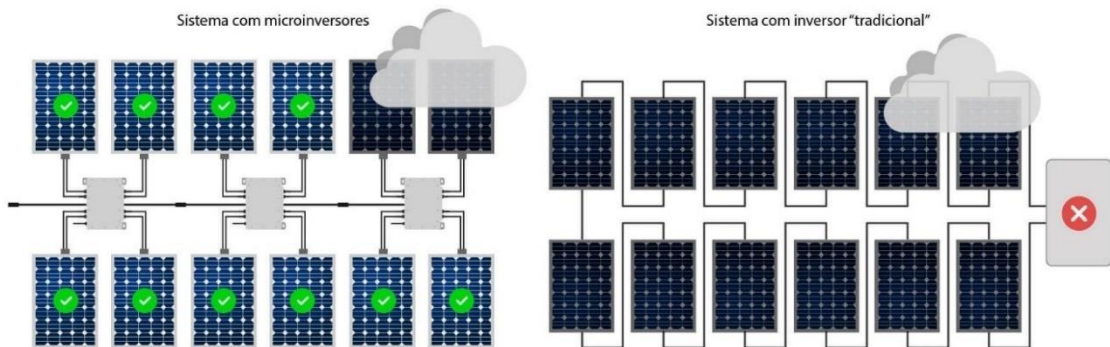
O micro inversor é um equipamento com funções equivalentes aos inversores comuns, porém, com tamanho reduzido e benefícios adicionais, capaz de converter a energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), tornando possível sua utilização pela unidade consumidora.

O modelo de tamanho reduzido gerencia os módulos fotovoltaicos de forma individualizada, limitando-se a conjuntos de até 4 placas, sendo essa a principal diferença entre ele e o modelo comum, que pode atender grandes conjuntos ligados em séries. Essa individualização garante que o sistema aproveite o seu potencial energético de forma otimizada. Algumas das vantagens que os micros inversores possuem são:

- Vida útil e Garantia: os equipamentos possuem de 10 a 15 anos de garantia contra defeitos de fabricação e vida útil de 25 a 30 anos, semelhante à dos módulos fotovoltaicos;
- Otimização energética: em um sistema de micro inversores o gerenciamento dos MPPTs (*Maximum Power Point Tracking*) se dá de forma individualizada, a sigla caracteriza os algoritmos dos inversores que identificam o ponto de máxima potência para o funcionamento dos módulos fotovoltaicos;
- Otimização do potencial solar: por serem instalados em vários conjuntos de poucos módulos garantem que o desempenho de um único painel não influencia o sistema como um todo, mesmo em casos de sombreamento;
- Facilidade de expansão: é possível a ampliação do projeto apenas com a instalação de mais placas e da adição proporcional de novos inversores ao conjunto;

- Segurança e monitoramento: em caso de sobrecarga do sistema é possível desligar as placas danificadas de forma individualizada, garantindo a segurança do restante do sistema, além disso o monitoramento do desempenho dos painéis pode ser feito de forma remota, inclusive por *Wi-fi*.

FIGURA 13 – MICROINVERSOR E INVERSOR COMUM.



FONTE: NeoSolar (2022).

2.6 MEDIDORES BIDIRECIONAIS

Os medidores bidirecionais são instalados em UC que possuem geração de energia fotovoltaica, com a função de registrar a energia elétrica produzida e consumida pela unidade, além de injetar o excedente de energia no sistema elétrico da Companhia de distribuição local. O valor excedente será convertido em créditos de energia válidos por 60 meses (ANEEL, 2015). Além disso, é de responsabilidade da rede distribuidora a obtenção e instalação do medidor bidirecional, sem custos adicionais para a UC em caso de microgeração distribuída (GD), como também a operação, manutenção e eventual troca do equipamento (ANEEL, 2016).

FIGURA 14 – MEDIDOR BIDIRECIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.



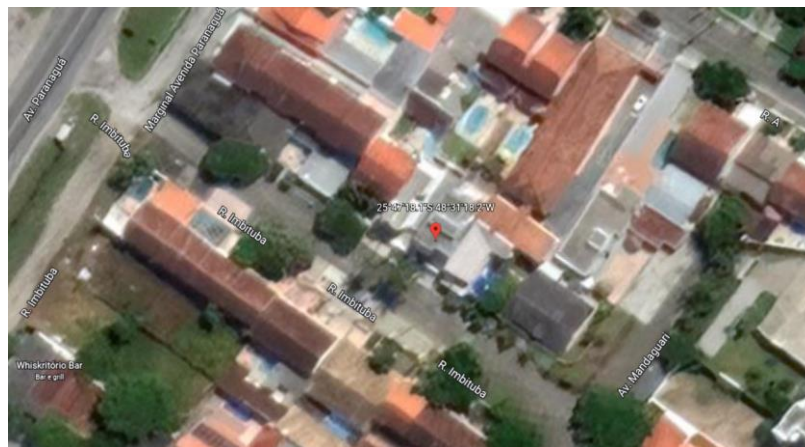
FONTE: GreenVolt (2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo será realizado no município de Matinhos-PR, em uma residência do tipo sobrado de área 140,00 m², localizado sob as coordenadas de Latitude 25°47'18.1"S e Longitude 48°31'18.2"O, onde residem quatro pessoas (FIGURA 15). Neste contexto, obtive os dados do consumo energético e o histórico de pagamento, foi selecionada uma residência física. Além disso, os dados necessários são fornecidos pela companhia de distribuição elétrica e são fundamentais para o dimensionamento do sistema e sua posterior análise financeira. Desta forma, considerou-se a residência escolhida, será realizado um levantamento do potencial de geração energética para a região e em seguida será avaliada a viabilidade econômica da instalação do projeto.

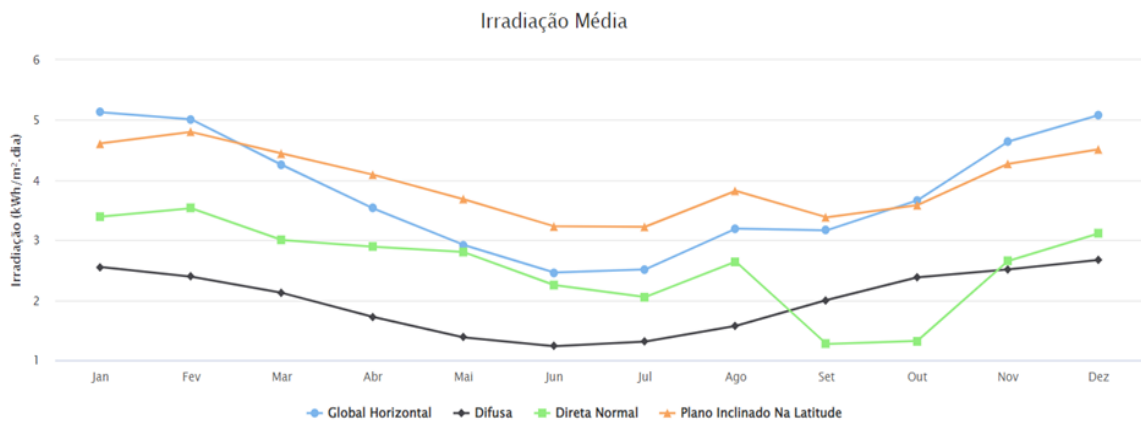
FIGURA 15 – LOCALIZAÇÃO DA RESIDÊNCIA DO ESTUDO.



FONTE: Google Earth (2022).

O clima do município é quente e temperado, subtropical, de verão quente e temperatura média de 21,3°C, com uma variação de até 7,9°C durante o ano, possui grande índice pluviométrico de 1964 mm por ano (CLIMATE-DATA.ORG, 2022). Segundo o Atlas de Energia Solar – PR, a irradiação média anual no plano inclinado é de 3,99 KWh/m². dia, conforme FIGURA 16.

FIGURA 16 – IRRADIAÇÃO MÉDIA NO MUNICÍPIO DE MATINHOS-PR.



FONTE: Tiepolo et al (2017).

3.2 ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR

A avaliação do recurso solar do local de instalação deve ser o primeiro passo para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico, a fim de obter os dados da irradiação solar incidente sobre o conjunto fotovoltaico. Tornando possível o cálculo da geração teórica de energia. Segundo o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, publicado pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), a radiação solar incidente perpendicularmente à camada mais externa da atmosfera é de $1.367 \text{ W/m}^2\text{m}$, porém 27% desse total é perdido antes de atingir a superfície terrestre.

O levantamento de dados da irradiação solar é feito a partir de consulta a dados fornecidos por estações meteorológicas de confiança, em geral disponibilizados em plataformas *online*. Os dados utilizados no presente estudo foram extraídos do Centro de Referência Para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) e do Atlas de Energia Solar do Paraná.

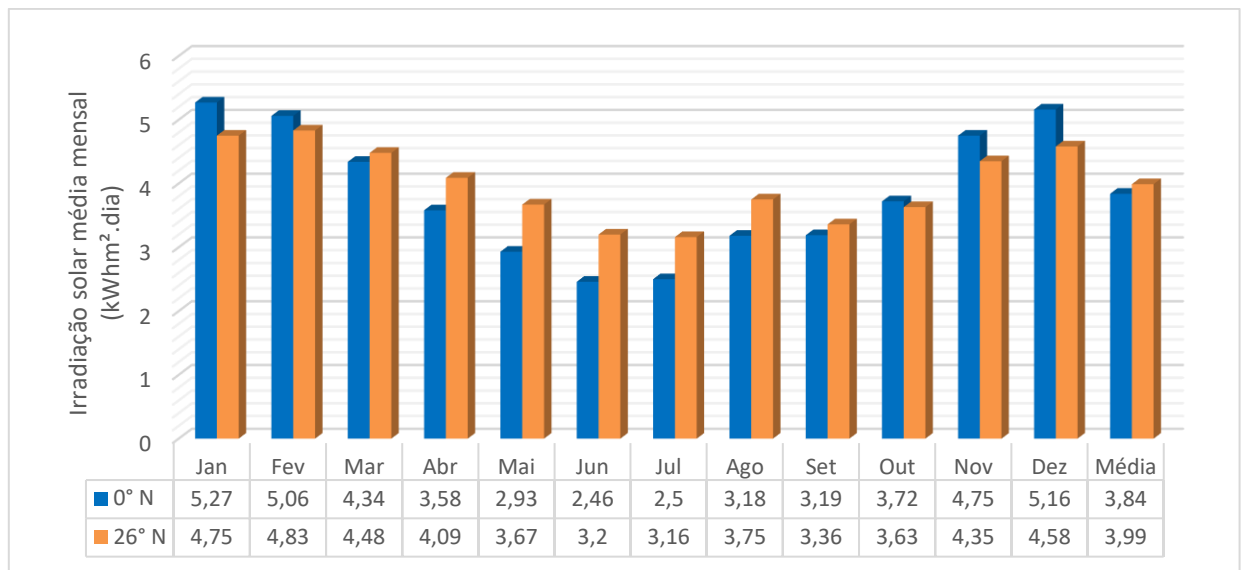
3.2.1 Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB)

A partir do programa *SunData*, disponibilizado de maneira virtual e gratuita, que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. O dado de entrada para o sistema de busca são as coordenadas geográficas do ponto de interesse, a partir disso o programa fornece a irradiação solar para no mínimo 3 localidades próximas a ele. São apresentados valores para 4

inclinações diferentes: Plano horizontal (0° N), Plano Inclinado (26° N), Maior média anual (20° N) e Maior mínimo mensal (36° N).

Para obter resultados coerentes, serão utilizados neste relatório os valores do Plano Inclinado para o Norte Verdadeiro (26° N). O GRÁFICO 01 exibe os dados mensais e a média anual da irradiância solar.

GRÁFICO 1– IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO.



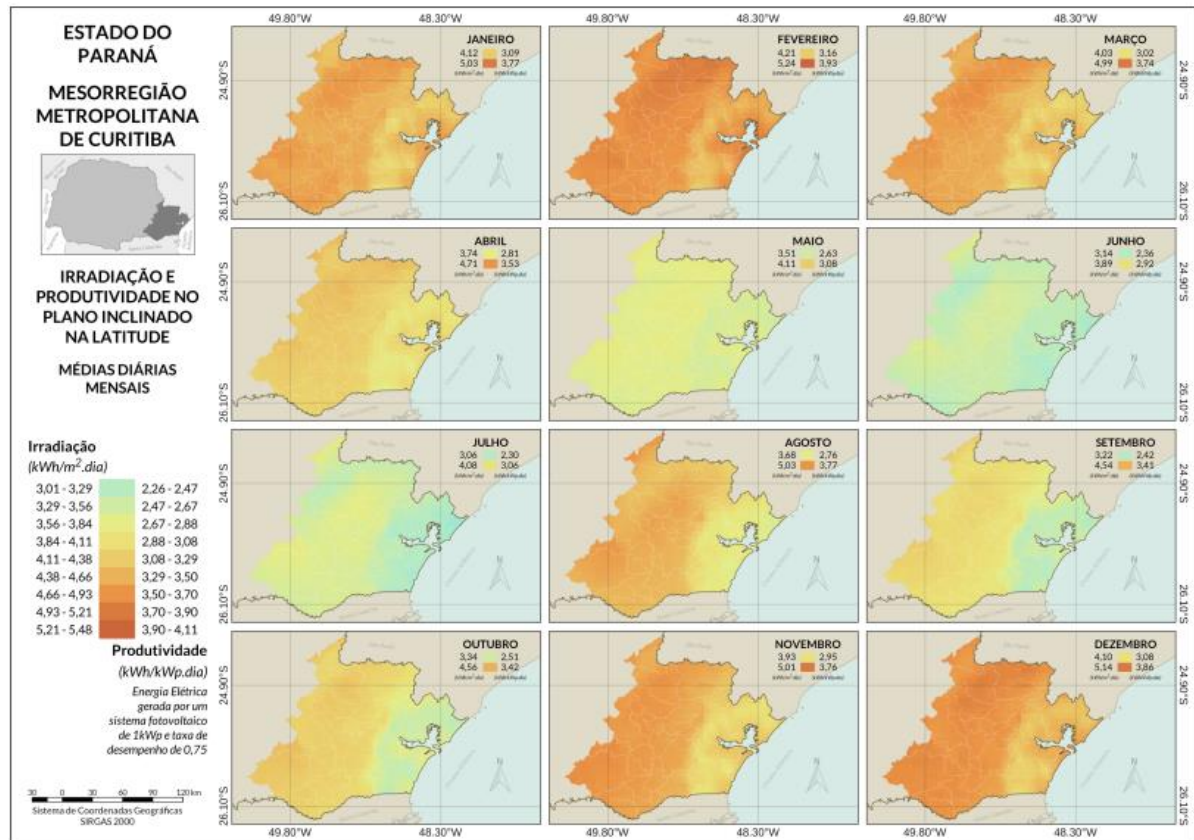
FONTE: CRESESB (Adaptado) (2017).

3.2.2 Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná

Uma parceria entre a Assessoria de Energias Renováveis de Itaipu e do Parque Tecnológico Itaipu (PTI), com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que apresenta informações sobre energia solar de forma regionalizada e especializada.

O Atlas contém mapas de irradiação para todo o território estadual, ofertando não somente o panorama geral do estado, mas também o detalhamento de cada mesorregião. A região de interesse desse projeto é a Mesorregião Metropolitana de Curitiba, a qual abrange todo o litoral do estado, na FIGURA 17 é possível observar as médias diárias mensais da irradiação no plano inclinado.

FIGURA 17 – IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO NA LATITUDE.



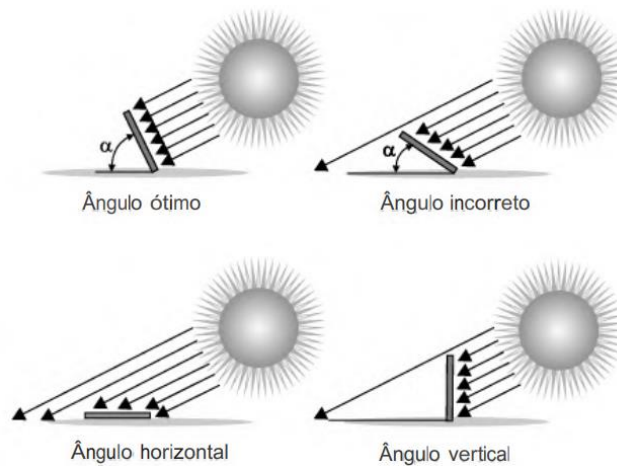
FONTE: Tiepolo et al (2017).

3.3 INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A maioria dos sistemas fotovoltaicos possui um ângulo de inclinação fixo, portanto, o ângulo deve ser escolhido de acordo com certos critérios. A correta determinação da inclinação garante maior captação dos raios solares e otimiza a produção energética do sistema.

A FIGURA 18 apresenta quatro possibilidades de instalação dos módulos fotovoltaicos e quais os efeitos de cada inclinação sobre a incidência solar. Primeiramente, é demonstrado o caso ideal, onde o ângulo de inclinação garante que a superfície dos painéis esteja perpendicular aos raios solares incidentes, potencializando a eficiência do sistema. Os outros três modelos exibem instalações incorretas e não favoráveis, onde há um decréscimo na captação de raios solares ao longo do ano. (VILLALVA e GAZOLI, 2012)

FIGURA 18 – INCLINAÇÃO DO MÓDULO SOBRE A INCIDÊNCIA SOLAR.



FONTE: Villalva e Gazoli (2012).

Para a determinação do ângulo ótimo, utiliza-se a TABELA 1, que calcula a inclinação recomendada a partir da latitude geográfica do local.

TABELA 1 – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO ÓTIMO.

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude local}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude local} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude local} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude local} + 15^\circ$

FONTE: Villalva e Gazoli (2012).

A edificação modelo para o presente trabalho está localizada sob Latitude 25°47'18.1"S, conforme mostrado na TABELA 01 para latitudes entre 21° a 30°, o ângulo recomendado (α) seria igual a aproximadamente 31°, conforme a Equação 1.

$$\alpha = 25,79^\circ + 5^\circ = 30,7884^\circ \approx 31^\circ \quad (1)$$

Além da correta orientação geográfica, é necessário garantir que o local escolhido para a implantação do sistema solar esteja distante o suficiente de obstáculos que causem sombreamento nos módulos fotovoltaicos (edificações, árvores, muros, etc.). O Sistema será instalado na cobertura da edificação, que possui dois pavimentos, assegurando a melhor eficiência.

3.4 LEVANTAMENTO DO CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA

A empresa responsável pela distribuição de energia elétrica no município de Matinhos-PR é a COPEL (Companhia Paranaense de Energia), com 68 anos de mercado, a companhia atende diretamente mais de 4,5 milhões de unidades consumidoras, sendo a maior empresa do Estado (COPEL, 2022). Ademais, para fazer o levantamento do consumo médio e custo mensal de energia elétrica na residência será analisada a fatura mensal de luz, fornecida pela COPEL, a qual possui os dados de interesse. Vale destacar que o Consumo Médio Mensal (CMM) para um período de 12 meses, é dado pela razão entre o somatório do consumo mensal pelo número de meses analisados, conforme Equação 2.

$$CMM = \frac{\sum \text{Consumo mensal}}{12} \quad (2)$$

A partir dessas informações será realizado o dimensionamento e a estimativa de geração de energia pelo sistema fotovoltaico, bem como a análise de viabilidade econômica.

3.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento será realizado com base no consumo mensal da residência em KWh, a partir desses dados é possível definir uma média mensal anual (demanda energética). Deste modo, estipulou-se a quantidade de painéis solares necessários para suprir tal demanda. Subsequentemente, é definido o modelo de micro inversor apropriado. As principais etapas do projeto de um Sistema Fotovoltaico a serem seguidas, são:

- Levantamento adequado do potencial solar no local selecionado;
- Definição da localização e orientação do sistema;
- Levantamento do consumo médio mensal da residência;
- Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos;
- Dimensionamento do inversor.

Com a finalização de todas as etapas, é feita a instalação do sistema fotovoltaico no local pré-definido. O sistema adotado para o presente trabalho é o

sistema “*on grid*”, o qual é conectado à rede elétrica de distribuição local. Deste modo, para conectar o sistema a rede deve ser solicitado uma permissão à COPEL. Com a solicitação aceita, é realizada a troca do relógio medidor comum por um Medidor de Energia Bidirecional. Segundo a ANEEL essa mudança é de responsabilidade da companhia e não deve ter custos adicionais ao consumidor.

3.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Neste tópico será descrita a metodologia utilizada para determinar o lucro gerado pelo sistema e se o mesmo é viável financeiramente. As ferramentas mais utilizadas são: *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa interna de Retorno (TIR). Para a análise de viabilidade econômica foram considerados os custos da implantação do sistema (painéis, cabos, micro inversor, mão de obra etc.), a durabilidade dos equipamentos, a manutenção, a economia gerada pelo sistema e as taxas cobradas pela COPEL.

3.6.1 Levantamento Orçamentário

Realizou-se uma busca na região por empresas do ramo fotovoltaico que tivessem projetos executados no município de Matinhos. Foi solicitado o orçamento para três empresas, informando-as que os dados fornecidos seriam usados para pesquisa acadêmica. Apenas uma das três empresas contatadas colaborou com o presente estudo, enviando o orçamento solicitado e consentindo com o compartilhamento de dados, será apresentado no capítulo de resultados e discussões.

3.6.2 Bandeiras Tarifárias

Desde 2015, o sistema de Bandeiras Tarifárias tem a função de indicar ao consumidor os gastos reais com a produção de energia elétrica, possibilitando que o mesmo adapte o seu consumo, caso queira. As cores das Bandeiras (verde, amarela, vermelha ou escassez hídrica) sinalizam quais as condições de produção energética vigente e se haverá ou não cobrança adicional na fatura final (ANEEL, 2022).

TABELA 2 – BANDEIRAS TARIFÁRIAS.

Bandeira	Custo a cada 100 kWh	Condições para geração de energia
Verde	R\$ 0,000	Favoráveis
Amarela	R\$ 2,989	Menos favoráveis
Vermelha patamar 1	R\$ 6,500	Mais custosas
Vermelha patamar 2	R\$ 9,795	Ainda mais custosas
Escassez hídrica	R\$14,20	Cenário mais caro

FONTE: COPEL (Adaptado) (2022).

A Bandeira em vigência para o mês de agosto de 2022 é a Verde, sinalizando condições favoráveis de geração de energia e nenhum custo adicional. Porém, a Bandeira predominante no período de doze meses foi a de escassez hídrica, presente desde o mês de setembro de 2021 até abril de 2022, e esta será a adotada para o presente estudo.

3.6.3 Composição Tarifária e Impostos

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a responsável por garantir que os consumidores paguem tarifas justas pela energia fornecida, enquanto mantem o equilíbrio econômico-financeiro dos franqueados para que possam realizar os serviços com a qualidade acordada. As tarifas levam em conta três custos diferentes:

- Energia gerada;
- Transporte de energia para unidades consumidoras (transmissão e distribuição);
- Encargos setoriais.

Fora as tarifas, os Governos Federal, Estadual e Municipal cobram os seguintes impostos sobre as contas de energia elétrica:

- PIS – Programas de integração Social (federal);
- COFINS – Contribuição para o financiamento da Seguridade Social (federal);
- ICMS - Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (estadual);
- CIP - Contribuição de Iluminação Pública – CIP.

Sendo assim, o consumidor paga a compra de energia (custos do gerador), a transmissão (custos de transmissão) e a distribuição (serviços prestados pelas distribuidoras), além de taxas departamentais e impostos.

3.6.4 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido ou *Present Value*, considerado um rigoroso método de análise de investimentos, tem a função de determinar a rentabilidade de um projeto.

“VPL é simplesmente a diferença entre o valor presente do projeto e o custo do projeto na data atual. VPL positivo significa que o projeto vale mais do que custa, ou seja, é lucrativo. VPL negativo significa que o projeto custa mais do que vale, ou seja, se for implementado, trará prejuízo.” (Abreu Filho, 2007, p. 83)

Assim, o critério do VPL determina que enquanto o valor presente das entradas for superior ao valor presente das saídas o projeto pode prosseguir, pois é lucrativo.

- VPL > 0: Projeto é lucrativo;
- VPL = 0: Indeterminado;
- VPL < 0: Projeto não é lucrativo.

Para encontrar o VPL, calcula-se o valor presente de uma série de fluxos de caixas, com base em uma taxa mínima de atratividade conhecida, e então subtrai-se o investimento inicial, tal procedimento pode ser expresso pela Equação 3.

$$VPL = -FC_o + \sum_{n=1}^N \frac{FC_j}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Onde:

FC_o é o fluxo de caixa inicial;

FC_j é o Fluxo de caixa esperado;

i é a taxa mínima de atividade;

n é o período de tempo.

3.6.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é amplamente usada para a análise de investimentos, é definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial. Deste modo, é um dos indicadores mais aplicados como parâmetro de decisão. Portanto, para o cálculo da taxa interna de retorno utiliza-se o *software* Excel, aplicando a seguinte comando: Sintaxe: TIR (valores; [estimativa]).

O sistema será considerado viável se sua TIR for igual ou maior que a taxa de atratividade mínima adotada.

- $TIR > TMA$: Projeto é viável;
- $TIR = TMA$: Indeterminado;
- $TIR < TMA$: Projeto não é viável.

3.6.6 Payback

O *Payback* indica o período de tempo necessário para que o investimento comece a ter lucro.

“O critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O período *payback* é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito.” (Abreu Filho 2007, p. 78)

O *payback* pode ser simples, onde é considerado apenas o valor do que foi investido desconsiderando o valor do dinheiro em um determinado período, ou o *payback* pode ser descontado considerando a descapitalização do dinheiro no decorrer do tempo. Neste estudo, será usado somente o modelo de *payback* simples para análise da viabilidade econômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 HISTÓRICO DE CONSUMO DA RESIDÊNCIA

O histórico anual do consumo de energia elétrica é fundamental para o dimensionamento do projeto, já que é através dele que se obtém os valores para o cálculo da potência média. Os dados foram disponibilizados pelo proprietário da residência e abrangem um período de 12 (doze) meses, conforme TABELA 3.

TABELA 3 – HISTÓRICO ANUAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Histórico de Consumo e Pagamento		
Mês	Consumo (kWh)	Valor da fatura (R\$)
Jan	253	R\$ 294,61
Fev	255	R\$ 292,96
Mar	214	R\$ 244,44
Abr	217	R\$ 248,21
Mai	168	R\$ 181,76
Jun	203	R\$ 183,82
Jul	206	R\$ 200,14
Ago	218	R\$ 230,95
Set	195	R\$ 213,39
Out	204	R\$ 236,54
Nov	198	R\$ 233,56
Dez	207	R\$ 245,42
Consumo anual	2538,00	R\$ 2.805,80
Consumo médio	206,5	R\$ 235,05

FONTE: A autora (2022).

É possível observar que o mês de maior consumo foi o mês de fevereiro, juntamente com janeiro, época em que a temperatura da cidade é mais elevada exigindo maior demanda energética decorrente da utilização de climatizadores de ar. O consumo médio mensal ficou em 206,50 kWh.

4.2 RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE

Para obter os dados referentes a irradiação solar média mensal fez-se uso do programa SunData da CRESESB, onde os dados de entrada são as coordenadas da residência estudada (25°47'18.1"S; 48°31'18.2"O). O programa fornece os dados das principais componentes da irradiação solar média mensal da estação mais próxima ao ponto de interesse. Para o presente estudo, utilizou-se a estação de Matinhos,

localizada a 3,1 km de distância (25,801° S; 48,549° O), como mostrado na TABELA 4.

TABELA 4 – IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA MENSAL.

Irradiação solar média mensal kWh/m ² .dia	Ângulo	Plano horizontal	Ângulo igual a latitude	Maior média anual	Maior mínimo mensal
	Inclinação	0° N	26° N	20° N	44° N
	Jan	5,27	4,75	4,92	4,39
	Fev	5,06	4,83	4,94	4,56
	Mar	4,34	4,48	4,50	4,36
	Abr	3,58	4,09	4,02	4,13
	Mai	2,93	3,67	3,55	3,81
	Jun	2,46	3,20	3,07	3,36
	Jul	2,50	3,16	3,05	3,30
	Ago	3,18	3,75	3,66	3,82
	Set	3,19	3,36	3,36	3,31
	Out	3,72	3,63	3,69	3,47
	Nov	4,75	4,35	4,49	4,05
	Dez	5,16	4,58	4,76	4,22

FONTE: CRESESB (Adaptado) (2017).

Para efeitos de dimensionamento são usados os dados da coluna 4 (Ângulo igual a latitude - 26° N) como referência, logo, pode-se definir que a irradiação solar média diária anual (I_{RMD}) para a região de interesse é de 3,99 kWh/m².dia. Com isso é possível calcular o valor das Horas de Sol Pleno (HSP), através da Equação 4.

$$HSP = \frac{I_{RMD}}{1} \frac{\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot dia} \right]}{\left[\frac{kW}{m^2} \right]} = 3,99 \left[\frac{h}{dia} \right] \quad (4)$$

4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico deve ser dimensionado de modo a atender as solicitações de consumo da edificação, ou seja, ter capacidade de geração de energia elétrica superior a demanda exigida. Então, serão apresentados nesta seção os cálculos necessários para o dimensionamento do sistema fotovoltaico e seus equipamentos.

4.3.1 Memorial de Cálculo

A Potência de Pico (P_{max}) pode ser definida como a potência máxima alcançada pelo conjunto fotovoltaico, em um breve intervalo de tempo, sempre superior à potência média. Primeiramente, para o cálculo de P_{max} deve-se determinar a taxa de desempenho (T_D), que é a razão entre os valores reais e teóricos do desempenho do sistema, admitiu-se 75%. Aplicando o consumo médio diário anual e as Horas de Sol Pleno (HSP), é possível calcular o Consumo médio diário, através da Equação 5.

$$C_{MDA} = \frac{I_R \frac{[kWh]}{[dia]}}{d} = \frac{206,5 \frac{[kWh]}{[dia]}}{30} = 6,883 \frac{[kWh]}{[dia]} \quad (5)$$

Onde:

C_{MDA} : Consumo médio diário;

I_R : Consumo médio mensal;

d : Número de dias.

Com base nos dados encontrados, calcula-se a Potência de Pico (P_{max}), de acordo com a Equação 6:

$$P_{max} = \frac{C_{MDA} \frac{[kWh]}{[dia]}}{T_D \cdot HSP \frac{[h]}{[dia]}} = \frac{6,883 \frac{[kWh]}{[dia]}}{0,75 \cdot 3,99 \frac{[h]}{[dia]}} = 2,30 \text{ kWp} \quad (6)$$

Com a Potência de Pico definida, é possível determinar qual modelo de placa fotovoltaica melhor se enquadra neste estudo de caso. O modelo utilizado será o HY-M10/144 com uma potência de 550 W, da fabricante Honor Solar. A FIGURA19 e a TABELA 5 apresentam as características do módulo escolhido.

A quantidade de módulos necessária para suprir a demanda energética é determinada através da razão entre a Potência de Pico e a Potência do módulo escolhido, conforme apresentado na Equação 7:

$$Q_M = \frac{P_{max} \frac{[Wp]}{[W]}}{P_{un}} = \frac{2.300}{550} \approx 5 \text{ módulos} \quad (7)$$

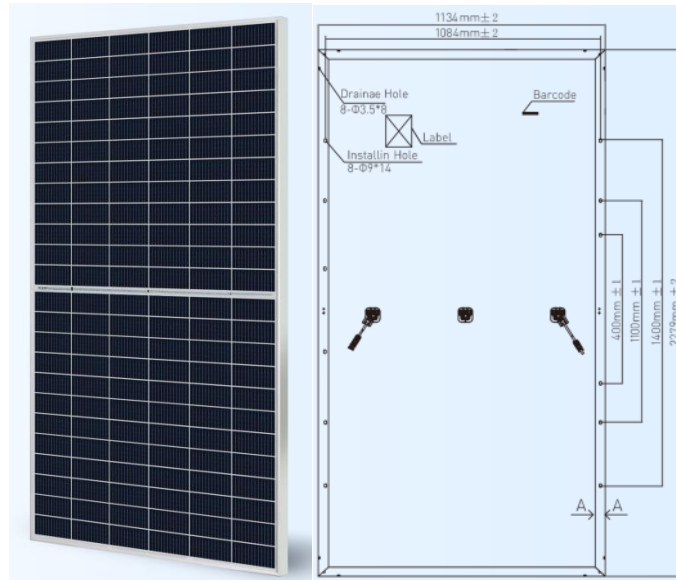
Onde:

Q_M : Quantidade de módulos;

P_{max} : Potência de Pico;

P_{un} : Potência unitária do módulo.

FIGURA 19 – MÓDULO FOTOVOLTAICO MODELO HY-M10/144.



FONTE: Honor Solar (2022)

TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO.

Especificações do modelo adotado	
Potência máxima	550 W
Tensão de Potência Máxima	41,28 V
Corrente de Potência Máxima	13,32 A
Voltagem de Circuito Aberto	49,8 V
Tensão de curto-circuito	14,01 A
Eficiência do Módulo	21,40%
Nº de Células	144 (6x24)
Dimensão do Módulo (L*C*A)	2279x1134x35mm
Peso	29,4 kg
Temperatura de Operação	-40~+85°C
Garantia	10 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos de garantia de potência linear

FONTE: Honor Solar (Adaptado) (2022).

Os módulos fotovoltaicos serão dispostos em duas fileiras ligados em paralelo a um dispositivo “*String Box*”, este aparelho conecta os cabos dos painéis fotovoltaicos ao inversor e tem a função de garantir a proteção contra sobretensão e sobrecorrente.

A etapa seguinte para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é a escolha do inversor que atenda aos requisitos do projeto, neste caso 2.750 W. O

modelo selecionado foi o micro inversor SUN2000, da fabricante DEYE, com 2000W de potência, com certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). Como o modelo escolhido suporta no máximo quatro módulos fotovoltaicos conectados a ele, serão usados dois micros inversores. Sendo assim, há a possibilidade de instalar futuramente mais três painéis, de potência equivalente ao dimensionado neste trabalho, caso o proprietário tenha interesse.

Os micros inversores possuem diversas vantagens quando comparados aos inversores comuns, são elas:

- Durabilidade e garantia;
- Segurança em sistemas fotovoltaicos;
- Uso otimizado dos MPPTs (rastreador de ponto de máxima potência);
- Tamanho e peso.

A vida útil do micro inversor é de 25 anos, logo, não há necessidade de troca do inversor na metade da vida útil dos painéis solares, como acontece nos inversores comuns, o que pode ocasionar a redução de custos com manutenção no longo prazo, além de garantir melhor aproveitamento de energia por décadas (NEOSOLAR, 2022). O modelo escolhido está apresentado a FIGURA 20 e na TABELA 6.

Após a definição dos elementos do sistema, deve-se calcular o Fator Dimensionamento de Inversor (FDI), que é determinado pela razão entre a Potência Nominal (P_{nom}) do inversor e a Potência de Pico (P_{max}) do módulo fotovoltaico, conforme apresentado na Equação 8:

$$FDI = \frac{P_{nom}}{P_{max}} = \frac{2.000}{2.300} = 0,87 \quad (8)$$

FIGURA 20 – MICRO INVERSOR SUN-2000G3



FONTE: Deye (2022)

TABELA 6 – ESPECIFICAÇÕES DO MICRO INVERSOR.

Especificação do micro inversor	
Entrada (CC)	
Potência máxima de Entrada	600 W por módulo
Tensão Máxima de Entrada	60V
Corrente Máxima de Entrada	12,5A
Saída (CA)	
Potência Nominal	2000 W
Corrente Máxima	10,1 A
Eficiência Máxima	96,50%
Eficiência do MPPT	99%
Dimensão do Módulo (L*C*A)	212x229x40 mm
Peso	3,50 kg
Temperatura de Operação	-40~65°C
Garantia	12 anos contra defeitos de fabricação

FONTE: Deye (Adaptado) (2022).

O valor de FDI recomendado pelos fabricantes deve estar entre 0,80 e 1,05 para que o sistema opere de forma satisfatória (CRESESB,2014), sendo assim com o resultado obtido de 0,87 pode-se afirmar que esse projeto atende as recomendações.

4.4 ANÁLISE FINANCEIRA

A análise de viabilidade financeira da implantação do projeto fotovoltaico adotará os métodos mais utilizados por profissionais da área, com base no fluxo de caixa, sendo eles: Período de *Payback* Simples, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Neste tópico serão abordados o levantamento de custos, a capacidade geradora do sistema, a projeção de créditos acumulados, a estimativa da fatura com a adoção do projeto, e por fim, a viabilidade econômica, objetivo desse estudo.

4.4.1 Orçamentos

O orçamento disponibilizado pela empresa contatada está descrito na TABELA 7, foram contabilizados os custos com o *kit* gerador solar (módulos fotovoltaicos, *string box* e micro inversor), a estrutura de sustentação das placas, a taxa da Assinatura de Responsabilidade Técnica (ART), e por fim, a mão de obra do projeto com o lucro incluso. O levantamento de custos é fundamental para a análise de viabilidade financeira, pois a partir dele é possível estimar a rentabilidade do projeto.

TABELA 7 – LEVANTAMENTO DE CUSTOS.

Produtos	Quantidade	Valor Unitário	Total
Kit gerador solar 2,75 kWp	1	R\$ 9.568,00	R\$ 9.568,00
Estrutura Telhado - 5 Módulos	1	R\$ 550,00	R\$ 550,00
Engenharia / ART	1	R\$ 308,90	R\$ 308,90
Serviços de instalação + Lucro	1	R\$ 5.515,60	R\$ 5.515,60
Total			R\$ 15.942,50

FONTE: A autora (2022).

4.4.2 Geração Teórica De Energia

Para o cálculo da geração teórica de energia utiliza-se a Equação 9, aplicando os dados obtidos nos tópicos anteriores:

$$E_g = P_{max} \cdot I_{RM} \cdot TD \cdot d \quad (9)$$

Onde:

E_g : Energia gerada;

P_{max} : Potência de Pico;

I_{RM} : Irradiação solar média mensal;

TD: Taxa e desempenho;

d : Número de dias.

Os resultados podem ser observados na TABELA 8.

TABELA 8 – GERAÇÃO TEÓRICA DE ENERGIA.

Mês	Nº de dias no mês	Irradiação solar (kWh/m ² .dia)	Potência de Pico (kWp)	Taxa de desempenho (TD)	Geração teórica (kWh)
Jan	31	4,75	2,75	0,75	303,70
Fev	28	4,83	2,75	0,75	278,93
Mar	31	4,48	2,75	0,75	286,44
Abr	30	4,09	2,75	0,75	253,07
Mai	31	3,67	2,75	0,75	234,65
Jun	30	3,2	2,75	0,75	198,00
Jul	31	3,16	2,75	0,75	202,04
Ago	31	3,75	2,75	0,75	239,77
Set	30	3,36	2,75	0,75	207,90
Out	31	3,63	2,75	0,75	232,09
Nov	30	4,35	2,75	0,75	269,16
Dez	31	4,58	2,75	0,75	292,83
Geração anual					2998,59

FONTE: A autora (2022).

4.4.3 Créditos Acumulados com a Geração Teórica de Energia

Para obter o total de créditos acumulados na unidade consumidora, é necessário comparar os dados de consumo mensal, obtidos através da conta de luz, com a geração teórica de energia. Caso a diferença resulte em um valor positivo, indicando uma capacidade de geração superior ao consumo, todo o excedente energético é cedido à distribuidora local que em troca concede créditos para a UC em quantidade de energia, conforme apresentado na TABELA 9.

TABELA 9 – CRÉDITOS A PARTIR DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA.

Mês	Consumo mensal (kWh)	Geração teórica (kWh)	Diferença (kWh)	Créditos Acumulados (kWh)
Jan	253	303,70	50,70	50,70
Fev	255	278,93	23,93	74,64
Mar	214	286,44	72,44	147,08
Abr	217	253,07	36,07	183,14
Mai	168	234,65	66,65	249,80
Jun	203	198,00	-5,00	244,80
Jul	206	202,04	-3,96	240,84
Ago	218	239,77	21,77	262,60
Set	195	207,90	12,90	275,50
Out	204	232,09	28,09	303,60
Nov	198	269,16	71,16	374,75
Dez	207	292,83	85,83	460,59
Total	2538,00	2998,59	460,59	460,59

FONTE: A autora (2022).

O sistema se mostrou insuficiente apenas nos meses de junho e Julho, onde a diferença resultou em um valor negativo, de certa forma esse resultado era esperado, já que esse é o período do ano em que há os dois menores índices de irradiação solar média mensal. O valor suprido pela rede de distribuição local nos dois meses é inferior ao consumo mínimo de 50 kWh, logo, não serão acrescidos valores na fatura mensal. Além disso, é possível utilizar os créditos remanescentes dos meses anteriores para compensar os meses de menor produção.

O valor acumulado ao final do período de 12 meses é de 460,59 kWh em créditos para o consumidor utilizar por um período de 60 meses. Deste modo, pode ser aplicado para compensar os meses de menor produção na própria UC ou em outra

edificação de mesma titularidade. Ademais, para uma estimativa do valor total acumulado em créditos no fim da vida útil do sistema deve-se considerar a degradação dos painéis ao longo dos anos, em geral utiliza-se 0,8% a.a., como pode ser observado na TABELA 10. Ao fim dos 25 anos de utilização do sistema a unidade consumidora terá acumulado um total de 4655,72 kWh em créditos.

TABELA 10 – CRÉDITOS DO SISTEMA DURANTE TODA SUA VIDA ÚTIL.

Ano	Consumo anual (kWh)	Geração teórica (kWh)	Diferença (kWh)	Créditos Acumulados (kWh)
0	2538,00	2998,59	460,59	460,59
1	2538,00	2974,60	436,60	897,18
2	2538,00	2950,80	412,80	1309,98
3	2538,00	2927,19	389,19	1699,18
4	2538,00	2903,78	365,78	2064,96
5	2538,00	2880,55	342,55	2407,50
6	2538,00	2857,50	319,50	2727,00
7	2538,00	2834,64	296,64	3023,65
8	2538,00	2811,97	273,97	3297,61
9	2538,00	2789,47	251,47	3549,08
10	2538,00	2767,15	229,15	3778,23
11	2538,00	2745,02	207,02	3985,25
12	2538,00	2723,06	185,06	4170,31
13	2538,00	2701,27	163,27	4333,58
14	2538,00	2679,66	141,66	4475,24
15	2538,00	2658,22	120,22	4595,47
16	2538,00	2636,96	98,96	4694,42
17	2538,00	2615,86	77,86	4772,29
18	2538,00	2594,94	56,94	4829,22
19	2538,00	2574,18	36,18	4865,40
20	2538,00	2553,58	15,58	4880,98
21	2538,00	2533,15	-4,85	4876,14
22	2538,00	2512,89	-25,11	4851,03
23	2538,00	2492,79	-45,21	4805,81
24	2538,00	2472,84	-65,16	4740,66
25	2538,00	2453,06	-84,94	4655,72

FONTE: A autora (2022).

4.4.4 Fatura de Energia para o Custo de Disponibilidade

As informações utilizadas nesta subseção foram retiradas da tarifa de energia do mês de abril, último mês com a bandeira de escassez hídrica, sendo esse o período que oferece maior rentabilidade para a instalação do sistema fotovoltaico, já que o

valor da tarifa é diretamente proporcional ao lucro do sistema. Desta maneira, será utilizada a bandeira tarifária de escassez hídrica para simular o valor da fatura com a instalação do projeto, a qual permaneceu em vigência pelo maior período. Devem ser adotadas algumas considerações:

- Custo de disponibilidade do sistema elétrico: 50 kWh;
- Bandeira tarifária
 - Escassez hídrica sem imposto: R\$14,20 a cada 100 kWh consumidos;
 - Escassez hídrica com imposto: R\$21,32 a cada 100 kWh consumidos;
- Tarifa de energia
 - Fornecida pela ANEEL: R\$0,55881 a cada kWh;
 - Com incidência de impostos: R\$0,831613 a cada kWh;
- Tributos
 - ICMS 27%;
 - PIS/PASEP 0,85%;
 - COFINS 3,90%;
- Custo de Iluminação Pública (CIP)
 - Unidade de valor para custeio: R\$132,34;
 - Percentual de desconto: 83,45%.

TABELA 11 – ECONOMIA MENSAL.

Mês	CIP	Fatura com sistema instalado	Fatura sem sistema instalado	Percentual de redução	Economia mensal
Jan	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 294,61	74,833%	R\$ 220,47
Fev	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 292,96	74,692%	R\$ 218,82
Mar	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 244,44	69,668%	R\$ 170,30
Abr	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 248,21	70,129%	R\$ 174,07
Mai	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 181,76	59,208%	R\$ 107,62
Jun	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 183,82	59,665%	R\$ 109,68
Jul	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 200,14	62,954%	R\$ 126,00
Ago	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 230,95	67,896%	R\$ 156,81
Set	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 213,39	65,255%	R\$ 139,25
Out	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 236,54	68,655%	R\$ 162,40
Nov	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 233,56	68,255%	R\$ 159,42
Dez	R\$ 21,90	R\$ 74,14	R\$ 245,42	69,789%	R\$ 171,28
Total	R\$ 262,83	R\$ 889,72	R\$ 2.805,80	68,290%	R\$ 1.916,08

FONTE: A autora (2022).

Com a instalação do sistema solar o valor da fatura de energia sofreria uma redução de 68,29% ao ano, gerando uma economia de R\$1.916,08 no período de doze meses, conforme apresentado na TABELA 11.

4.4.5 Viabilidade Econômica

É possível afirmar que um sistema solar lucrativo é aquele em que o valor da fatura com a adoção do projeto é menor que o valor sem a implantação dele, ou seja, o lucro pode ser definido como a diferença algébrica existente entre tais valores, podendo ser positivo ou negativo. Primeiramente, é necessário fazer a projeção dos valores das faturas ao longo da vida útil do sistema e para que os valores sejam condizentes com a realidade alguns parâmetros devem ser reajustados anualmente. Entre eles estão o custo de iluminação pública, o valor unitário da tarifa de energia e a bandeira tarifária.

Vale ressaltar que é possível definir o reajuste médio da tarifa de energia a partir do histórico disponibilizado pela COPEL, em sua plataforma online, onde estão listados os reajustes anuais dos últimos 8 anos (TABELA 12). A taxa adotada para os cálculos no presente trabalho é dada pela média entre tais valores, resultando em um reajuste tarifário anual de 5,85%. Além de incidir sobre o valor unitário do kWh, a taxa anual também acarretará aumento na bandeira tarifária vigente, que para esse estudo é a de escassez hídrica.

TABELA 12 – HISTÓRICO DE REAJUSTES TARIFÁRIOS

Resolução	Vigência	Motivo	Reajuste Médio
3049/2022	23/06/2022	Reajuste Tarifário Anual	4,90%
2886/2021	22/06/2021	Revisão Tarifária Periódica	9,89%
2704/2020	23/06/2020	Reajuste Tarifário Anual	0,41%
2559/2019	24/06/2019	Reajuste Tarifário Anual	3,41%
2402/2018	24/06/2018	Reajuste Tarifário Anual	15,99%
2255/2017	24/06/2017	Reajuste Tarifário Anual	5,85%
2096/2016	24/06/2016	Revisão Tarifária Periódica	-12,87%
1897/2015	24/06/2015	Reajuste Tarifário Anual	15,32%
1763/2014	24/06/2014	Reajuste Tarifário Anual	24,86%
Média do período			5,85%

FONTE: COPEL (Adaptado) (2022).

Para o município de Matinhos é decretado pela Lei N°974/2005 que o preço da Unidade de Valor para Custeio (UVC) será reajustado sempre que houver reajuste

tarifário na Iluminação Pública, com percentual de aumento equivalente. Logo, o valor da UVC aumentará com uma taxa de 5,85% ao ano, assim pode-se estipular o Custo de Serviço de Iluminação Pública para toda vida útil do sistema.

TABELA 13 – PROJEÇÃO DE REAJUSTES NO CIP.

Ano	UVC (R\$)	CIP (R\$)
1	132,34	262,83
2	140,08	278,20
3	147,82	293,58
4	155,57	308,95
5	163,31	324,33
6	171,05	339,70
7	178,79	355,08
8	186,53	370,45
9	194,28	385,83
10	202,02	401,21
11	209,76	416,58
12	217,50	431,96
13	225,24	447,33
14	232,98	462,71
15	240,73	478,08
16	248,47	493,46
17	256,21	508,83
18	263,95	524,21
19	271,69	539,58
20	279,44	554,96
21	287,18	570,34
22	294,92	585,71
23	302,66	601,09
24	310,40	616,46
25	318,15	631,84

FONTE: A autora (2022).

Para o cálculo da economia anual e valor acumulado do projeto, é necessário calcular o valor anual da fatura com a adoção do projeto e sem a implantação dele, para isso considera-se:

- Para situação com projeto implantado:
 - Custo de disponibilidade: 50 kWh;
 - Consumo anual: 600 kWh;
- Para situação sem o projeto implantado:
 - Consumo anual: 2.538 kWh;
- Reajuste tarifário anual: 5,85% a.a.

A economia anual é descrita como a diferença aritmética entre os valores das faturas, adotando ou não o projeto. Já para o valor presente líquido é descontado o investimento inicial do projeto e acrescida progressivamente a economia anual, podendo resultar um valor positivo ou negativo.

TABELA 14 - ECONOMIA ANUAL E VALOR ACUMULADO DO PROJETO.

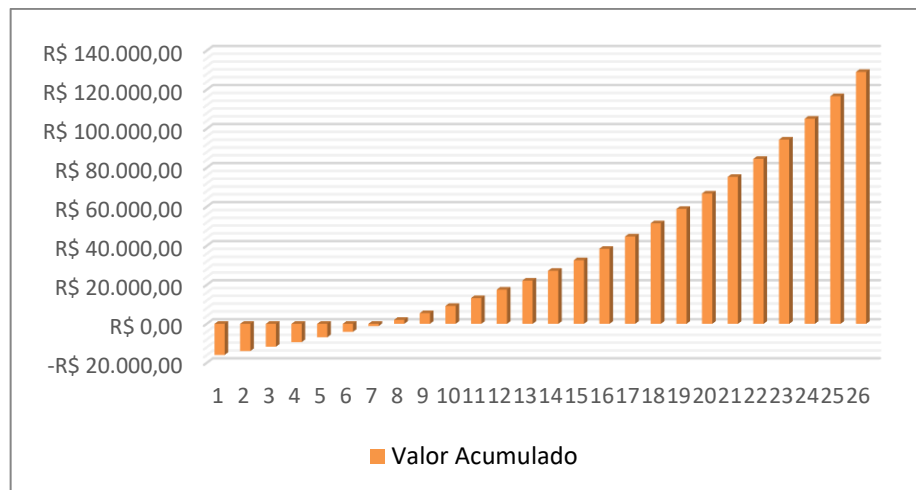
Ano	Tarifa anual (R\$/kWh)	Bandeira tarifária (R\$/kWh)	Valor anual da fatura COM o projeto instalado	Valor anual da fatura SEM o projeto instalado	Economia Anual	Valor acumulado
0	-	-	-	-	-	-R\$ 15.942,50
1	0,8316	0,2132	R\$ 889,72	R\$ 2.914,59	R\$ 2.024,87	-R\$ 13.917,63
2	0,8970	0,2300	R\$ 954,37	R\$ 3.138,39	R\$ 2.184,02	-R\$ 11.733,61
3	0,9675	0,2480	R\$ 1.022,89	R\$ 3.378,58	R\$ 2.355,69	-R\$ 9.377,93
4	1,0435	0,2675	R\$ 1.095,59	R\$ 3.636,43	R\$ 2.540,84	-R\$ 6.837,08
5	1,1255	0,2886	R\$ 1.172,80	R\$ 3.913,35	R\$ 2.740,55	-R\$ 4.096,53
6	1,2140	0,3113	R\$ 1.254,86	R\$ 4.210,82	R\$ 2.955,96	-R\$ 1.140,57
7	1,3094	0,3357	R\$ 1.342,17	R\$ 4.530,47	R\$ 3.188,30	R\$ 2.047,73
8	1,4124	0,3621	R\$ 1.435,13	R\$ 4.874,03	R\$ 3.438,90	R\$ 5.486,63
9	1,5234	0,3906	R\$ 1.534,19	R\$ 5.243,38	R\$ 3.709,20	R\$ 9.195,82
10	1,6431	0,4213	R\$ 1.639,82	R\$ 5.640,56	R\$ 4.000,74	R\$ 13.196,56
11	1,7723	0,4544	R\$ 1.752,56	R\$ 6.067,75	R\$ 4.315,20	R\$ 17.511,76
12	1,9116	0,4901	R\$ 1.872,94	R\$ 6.527,31	R\$ 4.654,37	R\$ 22.166,13
13	2,0618	0,5286	R\$ 2.001,58	R\$ 7.021,78	R\$ 5.020,21	R\$ 27.186,34
14	2,2239	0,5702	R\$ 2.139,11	R\$ 7.553,91	R\$ 5.414,79	R\$ 32.601,13
15	2,3987	0,6150	R\$ 2.286,25	R\$ 8.126,65	R\$ 5.840,40	R\$ 38.441,53
16	2,5872	0,6633	R\$ 2.443,75	R\$ 8.743,20	R\$ 6.299,45	R\$ 44.740,98
17	2,7905	0,7154	R\$ 2.612,42	R\$ 9.407,01	R\$ 6.794,59	R\$ 51.535,57
18	3,0099	0,7717	R\$ 2.793,14	R\$ 10.121,78	R\$ 7.328,64	R\$ 58.864,21
19	3,2465	0,8323	R\$ 2.986,85	R\$ 10.891,53	R\$ 7.904,67	R\$ 66.768,88
20	3,5016	0,8978	R\$ 3.194,58	R\$ 11.720,56	R\$ 8.525,98	R\$ 75.294,87
21	3,7768	0,9683	R\$ 3.417,43	R\$ 12.613,56	R\$ 9.196,12	R\$ 84.490,99
22	4,0737	1,0444	R\$ 3.656,59	R\$ 13.575,53	R\$ 9.918,94	R\$ 94.409,93
23	4,3939	1,1265	R\$ 3.913,34	R\$ 14.611,90	R\$ 10.698,57	R\$ 105.108,50
24	4,7393	1,2151	R\$ 4.189,05	R\$ 15.728,53	R\$ 11.539,48	R\$ 116.647,97
25	5,1118	1,3106	R\$ 4.485,24	R\$ 16.931,71	R\$ 12.446,48	R\$ 129.094,45
Lucro					R\$ 145.036,95	R\$ 129.094,45

FONTE: A autora (2022).

Verifica-se que a partir do sétimo ano o sistema começa a obter lucros, sendo assim o *payback* simples do projeto gira em torno de 6 (seis) anos. Ao fim da vida útil do sistema o valor total economizado pode chegar em R\$145.036,95, enquanto o consumidor terá acumulado R\$129.094,45, conforme TABELA 14. Nota-se que foram

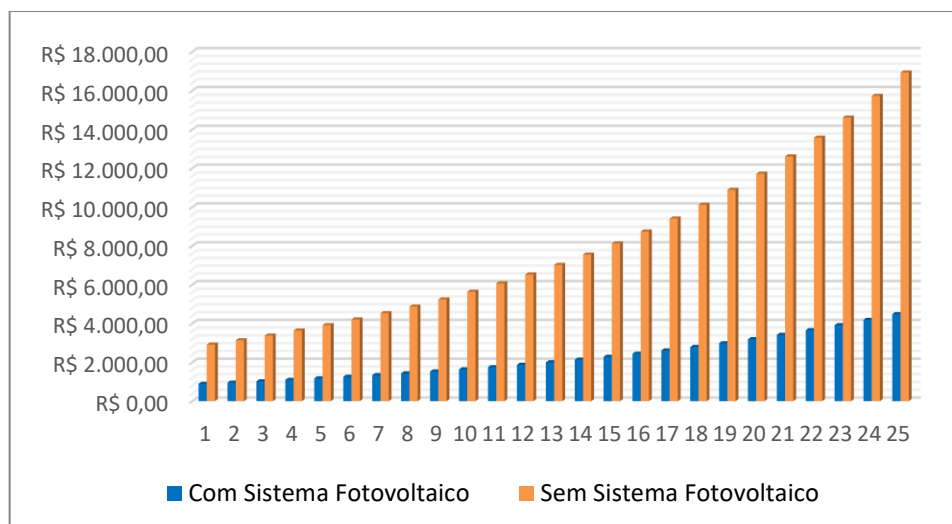
organizados de forma gráfica, a partir da ferramenta Excel, para melhor visualização dos resultados. Sendo assim, o GRÁFICO 2 apresenta os valores acumulados ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema e o GRÁFICO 3 mostra a diferença no valor da fatura anual nas duas situações propostas, ambos evidenciam o potencial lucrativo da implantação do sistema fotovoltaico.

GRÁFICO 2 –VALOR ACUMULADO EM TODA VIDA ÚTIL DO SISTEMA.



FONTE: A autora (2022).

GRÁFICO 3 – DIFERENÇA NO VALOR DA FATURA.



FONTE: A autora (2022).

Com o *software* Excel calculou-se a TIR de 18% para os valores encontrados na TABELA 3 e o valor de *Payback* simples de 72 meses. Como o valor da TIR é superior a taxa SELIC e ao rendimento da poupança, há um indicativo de que o

sistema seja viável. Desta maneira, a SELIC é a taxa básica de juros da economia nacional, sendo a principal ferramenta para o controle da inflação e a maior influência para as demais taxas de juros, como as dos empréstimos, aplicações financeiras e financiamentos. Portanto, para a análise de viabilidade final, calculou-se o VPL, considerando a Taxa Mínima de Atratividade em 13,75%, baseada na taxa SELIC prevista para 2022, e o rendimento anual da poupança de 0,5% ao mês, conforme o Banco Central.

TABELA 15 - VPL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO.

Ano	Fluxo de Caixa	Valor Presente (SELIC)	Valor Presente (Poupança)
0	-R\$15.942,50	-R\$15.942,50	-R\$15.942,50
1	R\$2.024,87	R\$2.303,29	R\$2.149,80
2	R\$2.184,02	R\$2.325,17	R\$2.159,62
3	R\$2.355,69	R\$2.348,77	R\$2.170,21
4	R\$2.540,84	R\$2.374,23	R\$2.181,64
5	R\$2.740,55	R\$2.401,69	R\$2.193,96
6	R\$2.955,96	R\$2.431,31	R\$2.207,25
7	R\$3.188,30	R\$2.463,26	R\$2.221,58
8	R\$3.438,90	R\$2.497,72	R\$2.237,05
9	R\$3.709,20	R\$2.534,88	R\$2.253,72
10	R\$4.000,74	R\$2.574,97	R\$2.271,71
11	R\$4.315,20	R\$2.618,21	R\$2.291,11
12	R\$4.654,37	R\$2.664,84	R\$2.312,04
13	R\$5.020,21	R\$2.715,15	R\$2.334,61
14	R\$5.414,79	R\$2.769,40	R\$2.358,96
15	R\$5.840,40	R\$2.827,92	R\$2.385,22
16	R\$6.299,45	R\$2.891,04	R\$2.413,54
17	R\$6.794,59	R\$2.959,12	R\$2.444,09
18	R\$7.328,64	R\$3.032,56	R\$2.477,04
19	R\$7.904,67	R\$3.111,76	R\$2.512,59
20	R\$8.525,98	R\$3.197,19	R\$2.550,92
21	R\$9.196,12	R\$3.289,33	R\$2.592,27
22	R\$9.918,94	R\$3.388,72	R\$2.636,87
23	R\$10.698,57	R\$3.495,92	R\$2.684,97
24	R\$11.539,48	R\$3.611,54	R\$2.736,85
25	R\$12.446,48	R\$3.736,26	R\$2.792,81
Total		R\$54.621,76	R\$43.627,95

FONTE: A autora (2022).

Nota-se a partir da TABELA 15 que o projeto pode ser considerado viável economicamente, já que o VPL, tanto para a taxa SELIC como para a poupança, resultaram valores positivos, assim como a TIR.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste trabalho de conclusão de curso possibilitou compreender as diferentes etapas do projeto e implementação de sistemas fotovoltaicos *on grid*. O impacto de vários elementos existentes na composição das instalações fotovoltaicas pode ser avaliado e determinado, com ênfase na análise econômico-financeira, que permitiu avaliar a implementação do sistema como um investimento.

Neste contexto, com os métodos aplicados, avaliou-se que o sistema fotovoltaico tem um tempo de retorno de seis anos e uma taxa interna de retorno (TIR) de 18%, isso significa que, o investimento é mais atrativo do que outras opções financeiras disponíveis. Vale ressaltar que o futuro não pode ser previsto e o custo da energia pode ser superior às tarifas adotadas neste estudo, resultando em maiores retornos financeiros para os investidores.

Atualmente, a maioria dos equipamentos envolvidos nos sistemas fotovoltaicos brasileiros ainda é importada e varia de acordo com a cotação do dólar americano. Entretanto, com a diminuição de preços que a tecnologia vem vivenciando nas últimas décadas, a implantação de sistemas fotovoltaicos fica cada vez mais viável. Consequentemente, seria somente uma questão de tempo para projetos de micro e minigeração residencial se tornarem expressivos em termos de adoção.

Deste modo, o cenário pode ser ainda mais promissor caso sejam criados incentivos governamentais e políticas públicas que facilitem a adoção do sistema por famílias de média e baixa renda. Uma possibilidade seria eliminar o custo de disponibilidade para as UC residenciais que consomem apenas o mínimo, tornando o investimento muito mais atrativo para essas famílias.

O sistema estudado é capaz de produzir energia suficiente para atender uma parcela significativa das pequenas unidades consumidoras residenciais do Brasil. Assim, pode ser usado como referência para quem deseja instalar pequenos sistemas fotovoltaicos ligados a rede de distribuição, e queiram saber os índices financeiros ligados a este investimento. A partir da metodologia desenvolvida, os objetivos propostos foram alcançados. Os resultados da análise de viabilidade econômica foram positivos para a residência localizada no município de Matinhos, Paraná.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diversas são as oportunidades de trabalhos futuros a partir do tema desenvolvido. É possível aplicar o método de análise de viabilidade econômica visando outros empreendimentos e instituições. O método desenvolvido pode ser usado, por exemplo, para analisar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico em comércios e outros estabelecimentos que possuam alta demanda de energia elétrica. Assim, são inúmeras as possibilidades que a energia fotovoltaica traz, a metodologia também pode ser adaptada para atender somente uma parte da demanda do consumo da residência. Outra proposta, seria dar continuidade neste projeto elaborando melhorias nas placas fotovoltaicas ao longo dos anos e uma possível adaptação para que o sistema atenda demandas futuras.

REFERÊNCIAS

ABREU FILHO, José Carlos de. **Finanças corporativas** / José Carlos Franco de Abreu Filho, Cristóvão Pereira de Souza, Danilo Américo Gonçalves, Marcus Vinícius Quintella Cury. – reimpressão – Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**: Condições Gerais Para o Acesso de Micro e Minigeração Distribuída. Rio de Janeiro, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**: Altera a Resolução Normativa nº 482. Rio de Janeiro, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Custo da energia que chega aos consumidores**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>> Acesso em: 20 ago. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2º ed., p.31, Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>> Acesso em: 01 nov. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. **No dia mundial da água, ANEEL publica infográfico sobre hidrelétricas no brasil**. Disponível em: <<https://bit.ly/3cPPeYs>>. Acesso em: 05 nov. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sobre Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>> Acesso em: 20 ago. 2022.

ASG, Tecnologia da Informação. **O papel do inversor solar no seu sistema de geração de energia solar.** Disponível em: <<https://www.asg.com.br/single-post/o-papel-do-inversor-solar-no-seu-sistema-de-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-solar>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Poupança.** Disponível em: <<https://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic.** Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

BLUE SOL. **Célula Fotovoltaica - O Guia Técnico Absolutamente Completo.** Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>. Acesso em: 02 nov. 2021

BOQUIMPANI, C. L. et al. **Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica.** Ambiente construído, Porto Alegre, v.19, n.4, p.303-316, 2019.

BRASIL. PNE – **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia (MME) em colaboração com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2007. 372p.

CANAL SOLAR. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box.** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Matinhos.** Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/matinhos-43750/>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Bandeiras Tarifárias.** Disponível em: <<https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/bandeiras-tarifarias/>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Tarifas de energia elétrica**. Disponível em: <<https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Tributos**. Disponível em: <<https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tributos/>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, 2014.

CRESESB. **Potencial Solar – SunData v 3.0**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 30 jul. 2022.

DEYE. **SUN – 1300 / 1600 / 1800 / 2000 – G3**. Disponível em: <<http://deyeinvestores.com.br/produtos/sun1600-2000w/>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

DUSOL – Energia Sustentável. **Por que o mercado de energia solar é promissor para o Brasil em 2019?** 13 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.dusolengenharia.com.br/post/mercado-de-energia-solar-brasil-em-2019/>>. Acesso em: 30 out. 2021.

ELYSIA, Energia Solar. **Painel solar monocristalino e policristalino: entenda a diferença e as vantagens de cada um**. Disponível em: <<https://elysia.com.br/painel-solar-monocristalino-e-policristalino/>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, EPE, 2020.

FOTAIC, Energia Solar. **Dimensionamento Sistema Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://fotaic.com.br/post/dimensionamento-sistema-solar-fotovoltaico>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

GOULART, Solange. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC. Florianópolis, Brasil, 2013. 32p.

GOOGLE EARTH. **25°47'18.1"S 48°31'18.2"W**. Disponível em: <<https://bityli.com/WGHqujb>>. Acesso em: 25 jul. 2022.

GREEN VOLT. **Medidor bidirecional para sistema solar fotovoltaico**. Disponível em: <<https://greenvolt.com.br/medidor-bidirecional-para-sistema-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

HONOR SOLAR. **Datasheet HY-M10/144**. Disponível em: <<https://lojasolar.handytech.com.br/media/uploads/filemanager/source/Horon%20datasheet.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

KOMECO. **Manual de usuário**. Disponível em: <<https://www.komeco.com.br/wp-content/uploads/2019/03/MANUAL-Inversores.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Energia Solar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

NASCIMENTO, C. A. DO. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Lavras, 2004. Monografia (Pós-Graduação *Lato-Sensu* em Fontes alternativas de energia). Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Lavras.

NEOSOLAR. **Diferença entre microinversor e inversor string**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/inversores-ou-conversores/diferenca-micro-inversor-inversor-string>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

NEOSOLAR. **O que é um microinversor solar: tudo sobre**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Resultados de operação**. Rio de Janeiro: ONS, 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/atuacao#>>. Acesso em: 30 out. 2021

PEREIRA, E. B.; et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª Edição. São José dos Campos, Brasil: INPE, 2017.

PEREIRA, S.A.F; OLIVEIRA, S.A.M. **Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica**. 2ª Edição. Porto, Portugal: Editora Publindústria, 2015.

PINHO, J. T. BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J. S.; SOUZA, H.M. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. **Sistemas híbridos – soluções energéticas para a Amazônia**. 1 ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008. 396 p.

PORTAL SOLAR. **Qual o valor da taxa mínima de energia elétrica? Tudo sobre custo de disponibilidade**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/qual-o-valor-da-taxa-minima-de-energia-eletrica-tudo-sobre-custo-de-disponibilidade>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

PORTAL SOLAR. **Sistema de energia solar off grid**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MATINHOS – **DECRETO N°784**: Altera a Lei Municipal n°974. Matinhos, 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MATINHOS – **LEI MUNICIPAL N°974**: Dispõe sobre a contribuição para custeio do serviço de iluminação pública prevista no art. 149-A da Constituição Federal, e dá outras providências. Matinhos, 2005.

SECPOWER. **Como funciona um sistema de energia solar**. Disponível em: <<https://secpower.com.br/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

TECLUZ, Engenharia. **Sistema de geração de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.tecluz.com.br/energia-solar>>. Acesso em: 30 out. 2021.

TIEPOLO, G. M.; et al. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1ª Edição. Curitiba, Brasil: UTFPR, 2017.

UCZAI, P; et al. **Energias Renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. Câmara dos Deputados, Brasília, Brasil: Revista nº10, 2012. 272p.

UNIVERSAL AUTOMAÇÃO. **Entenda o sistema fotovoltaico conectado à rede (on grid)**. Disponível em: <<http://www.universalautomacao.com.br/post/sistema-fotovoltaico-energia-solar.html>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e aplicações**. 1ª Edição. São Paulo, Brasil: Editora Érica, 2012.