

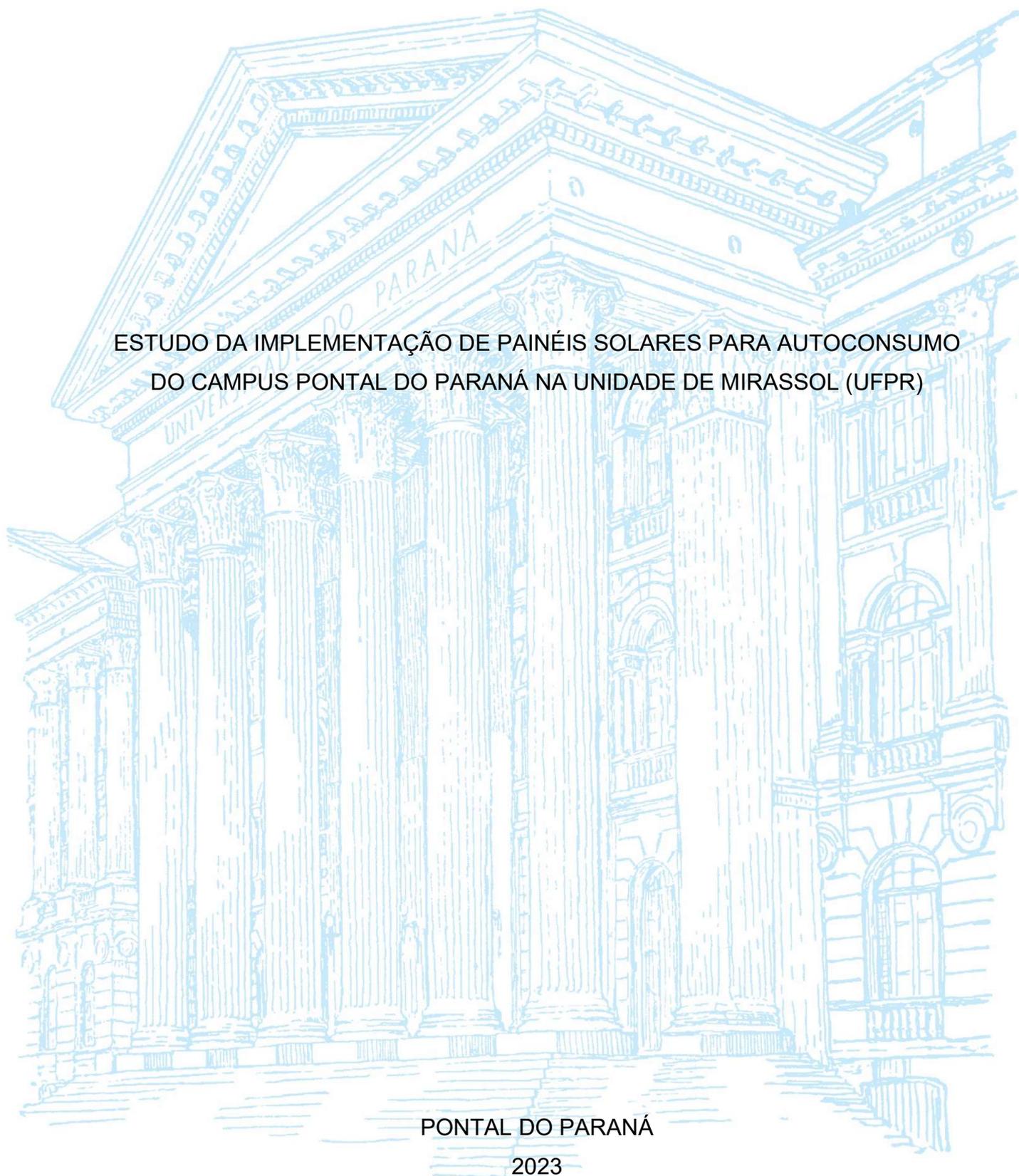
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SANDRO ROBERTO DE SOUZA JUNIOR

ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PARA AUTOCONSUMO  
DO CAMPUS PONTAL DO PARANÁ NA UNIDADE DE MIRASSOL (UFPR)

PONTAL DO PARANÁ

2023



**SANDRO ROBERTO DE SOUZA JUNIOR**

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PARA AUTOCONSUMO  
DO CAMPUS PONTAL DO PARANÁ NA UNIDADE DE MIRASSOL (UFPR)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado Curso de Engenharia Civil do Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, da Universidade Federal 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

2023

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

Souza Junior, Sandro Roberto de  
S895e Estudo da implementação de painéis solares para autoconsumo do Campus Pontal do Paraná na Unidade de Mirassol (UFPR) / Sandro Roberto de Souza Junior. – Pontal do Paraná, 2023.  
1 arquivo [56 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. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Eletricidade. I. Malagoli, Juliana Almansa. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD – 621.31



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Sandro Roberto de Souza Junior

**“ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PARA AUTOCONSUMO DO CAMPUS PONTAL DO PARANÁ NA UNIDADE DE MIRASSOL (UFPR)”**

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:

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Juliana Almansa Malagoli

Prof<sup>ª</sup>. Orientadora - CPP-CEM/UFPR

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira

CPP-CEM/UFPR

Prof. M.e Adriel Senna de Oliveira Candido

UNIOPET

Pontal do Paraná, 28 de novembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA ALMANSA MALAGOLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/11/2023, às 15:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **VIRNEI SILVA MOREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/11/2023, às 15:47, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ADRIEL SENNA DE OLIVEIRA CANDIDO**,  
**Usuário Externo**, em 28/11/2023, às 17:40, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

---



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador  
**6214465** e o código CRC **726D10BA**.

---

Referência: Processo nº 23075.074623/2023-45

SEI nº 6214465

## RESUMO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e busca por fontes de energia renovável fez com que a necessidade da utilização de painéis solares em edifícios residenciais e comerciais se tornasse inevitável. Com o aumento da cobrança de energia oferecida pelas concessionárias de energia elétrica, busca-se uma alternativa para garantir o uso da eletricidade que supra, assim, as demandas com um melhor custo-benefício a longo prazo. Além disso, o sistema está diretamente relacionado ao correto dimensionamento na fase de projeto, instalação e manutenção dos painéis solares. Desta maneira, os painéis solares conseguem absorver a radiação solar através das células fotovoltaicas e distribuir a todos os ambientes após passar por um conversor e gerar créditos de energia para a unidade consumidora, resultando em uma menor utilização da energia distribuída pelas companhias elétricas e garantindo a harmonia entre o sistema solar e a distribuição convencional. O estudo ainda demonstra um problema atual na sociedade acadêmica de todos os corpos estudantis que usufruem do prédio da Universidade Federal do Paraná localizado no balneário Mirassol, em Pontal do Paraná, que é o gasto com energia elétrica elevado para suprir a demanda dos equipamentos e sistemas que proporcionam benefícios à toda comunidade. Assim, consegue-se verificar qual será a economia no uso de energia proveniente das redes de distribuição ocasionada pelo dimensionamento dos painéis solares. Será demonstrado a seguir um estudo com materiais de excelente qualidade, que garantem um melhor custo-benefício e rendimento ao longo da validade do projeto, sendo utilizados 160 módulos com potência unitária de 555Wp, totalizando 88,9kWp após uma correção, um inversor e um medidor bidirecional.

**Palavras-Chave:** Painéis Solares. Projeto Sustentável. Eletricidade.

## ABSTRACT

The growing concern for sustainability and the quest for renewable energy sources have made the use of solar panels in residential and commercial buildings inevitable. With the increasing cost of energy provided by utility companies, there is a search for an alternative to ensure the use of electricity that meets demands with better long-term cost-effectiveness. Furthermore, the system is directly related to proper sizing during the design phase, installation, and maintenance of solar panels. This way, solar panels can absorb solar radiation through photovoltaic cells and distribute it to all environments after passing through a converter, generating energy credits for the consumer unit, resulting in reduced use of energy distributed by electric companies and ensuring harmony between the solar system and conventional distribution. The study also highlights a current issue in the academic society of all student bodies that use the Federal University of Paraná building located in the Mirassol beach area, in Pontal do Paraná, which is the high electricity expenditure to meet the demand of equipment and systems that benefit the entire community. Thus, it is possible to determine the savings in the use of energy from distribution networks caused by the sizing of solar panels. The following study will demonstrate the use of materials of excellent quality, ensuring better cost-effectiveness and performance throughout the project's validity. 160 modules with a unit power of 555Wp will be used, totaling 88.9kWp after correction, along with an inverter and a bidirectional meter.

**Keywords:** Solar Panels. Sustainable Project. Electricity.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTRUTURAS FÍSICAS DAS CÉLULAS CONVENCIONAIS E BIFACIAIS.....	20
FIGURA 2 – CONSTRUÇÃO DE UM MÓDULO SOLAR BIFACIAL. ....	20
FIGURA 3 – CONEXÃO DOS MÓDULOS EM PARALELO.....	21
FIGURA 4 – CONEXÃO DOS MÓDULOS EM SÉRIE.....	22
FIGURA 5 – CIRCUITO ELÉTRICO DE REGULADORES DE CARGA LIGADOS EM PARALELO. ....	23
FIGURA 6 – CIRCUITO ELÉTRICO BÁSICO DE CONTROLADORES DE CARGA LIGADOS EM SÉRIE. ....	23
FIGURA 7 – MEDIDOR BIDIRECIONAL.....	25
FIGURA 8 – PAINÉL SOLAR UTILIZADO NO ESTUDO.....	27
Figura 9 – GARANTIA DE PERFORMANCE LINEAR PARA UM PRAZO DE 25 ANOS. ....	27
FIGURA 10 – DIMENSÕES DO PAINÉL SOLAR.....	28
FIGURA 11 – ESPECIFICAÇÕES DO MODELO DE PAINÉL UTILIZADO. ....	28
FIGURA 12 – INVERSOR MAX 50~75KTL3-XL2. ....	29
FIGURA 13 – FICHA DE DADOS DO INVERSOR. ....	30
FIGURA 14 – INCLINAÇÃO DO MÓDULO SOBRE A INCIDÊNCIA SOLAR. ....	33
FIGURA 15 – DIMENSÕES DA ÁREA DE INTERESSE (COBERTURA).....	37
FIGURA 16 – CAIMENTO DAS COBERTURAS E ÁREA DE ANÁLISE.....	38
FIGURA 17 – VISTA DO CAMPUS MIRASSOL CAPTURADA COM DRONE. ....	39
FIGURA 18 – VISTA SUPERIOR DO CAMPUS MIRASSOL CAPTURADA COM DRONE. ....	39
FIGURA 19 – VISTA SUPERIOR DO CAMPUS MIRASSOL CAPTURADA COM DRONE COM PROJEÇÃO DOS PAINÉIS INSTALADOS.....	40
FIGURA 20 – VISUALIZAÇÃO 3D DO PROJETO.....	40
FIGURA 21 – DETALHAMENTO DOS TRIBUTOS DA FATURA DA UC. ....	47

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - HSB DO LOCAL DE ESTUDO.....	32
GRÁFICO 2 – CONSUMO DE ENERGIA DURANTE OS MESES (kWh).....	35
GRÁFICO 3 – VALOR DA FATURA DURANTE OS MESES (R\$).....	36
GRÁFICO 4 – VALOR ACUMULADO AO LONGO DOS ANOS. ....	51
GRÁFICO 5 – VALOR DA FATURA COM E SEM O SISTEMA INSTALADO. ....	51

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES DO PAINÉL. ....	29
TABELA 2 – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO ÓTIMO.....	33
TABELA 3 – RELAÇÃO DOS ITENS ORÇADOS. ....	41
TABELA 4 – GERAÇÃO TEÓRICA DE ENERGIA.....	42
TABELA 5 – CRÉDITOS TEÓRICOS GERADOS APÓS INSTALAÇÃO DO SISTEMA. .....	43
TABELA 6 – ECONOMIA ANUAL E VALOR DE CONSUMO ACUMULADO DO PROJETO. ....	44
TABELA 7 – CRÉDITOS DO SISTEMA DURANTE SUA VIDA ÚTIL APÓS CORREÇÃO.....	45
TABELA 9 – COMPARATIVO DA FATURA DE ENERGIA COM E SEM O SISTEMA INSTALADO.....	48
TABELA 10 – RESOLUÇÕES DE REAJUSTES TARIFÁRIOS DOS ÚLTIMOS 10 ANOS.....	49
TABELA 11 – ECONOMIA ANUAL E VALOR ACUMULADO DO PROJETO APROXIMADO.....	49

Dedico estas palavras de gratidão a Deus, cuja orientação foi minha luz, e à minha família, cujo amor e apoio foram a base sólida desta jornada. À minha esposa Izabella e à minha pequena Maria Vitória, meu coração transborda de amor por vocês. Aos professores, agradeço pelas lições desafiadoras que moldaram meu caminho. E aos amigos leais - Marcelo, Igor, João e Vinicius -, a jornada acadêmica foi mais leve e as vitórias mais significativas graças à sua amizade. Esta dedicatória reflete a profunda gratidão por todos que compartilharam comigo essa trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte inesgotável de força e sabedoria, por guiar meus passos ao longo desta jornada acadêmica. A Ele, a quem devo todas as conquistas, dedico este momento especial.

À minha amada família, em especial aos meus pais, cujo amor e apoio foram alicerces indispensáveis. À minha esposa Izabella, companheira incansável, e à minha pequena Maria Vitória, que trouxe luz aos meus dias. Vocês foram meu refúgio nos momentos difíceis e minha inspiração nos momentos de alegria. Ao final deste percurso, posso dizer com gratidão que papai conseguiu concluir o curso dos seus sonhos graças ao amor e encorajamento de vocês.

A todos os professores que cruzaram o meu caminho na faculdade, expressei minha profunda gratidão. Suas lições desafiadoras foram fundamentais para o meu crescimento, tornando a jornada árdua, porém essencial. Cada ensinamento contribuiu para moldar o homem que sou hoje.

Aos amigos, verdadeiros companheiros de jornada, em especial ao Marcelo, Igor, João e Vinicius, agradeço por estarem ao meu lado. Juntos, batalhamos nos estudos, enfrentamos desafios e estamos agora colhendo os frutos do que plantamos. Sua amizade foi um suporte fundamental, tornando os dias difíceis mais leves e as vitórias mais significativas.

Agradeço a cada um que fez parte desta trajetória, pois, juntos, construímos as bases do meu sucesso.

Com eterna gratidão,

Sandro.

"O amor da família e a amizade verdadeira são os pilares que sustentam nossos maiores feitos. O caminho para o sucesso é iluminado pela fé em Deus e a gratidão por aqueles que caminham ao nosso lado." — *Ralph Waldo Emerson*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1	ENERGIA SUSTENTÁVEL .....	18
2.2	ENERGIA SOLAR .....	18
2.3	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	19
2.3.1	SILÍCIO MONOCRISTALINO .....	19
2.3.2	CÉLULAS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO BIFACIAIS .....	20
2.4	SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	21
2.4.1	MÓDULOS .....	21
2.4.2	PAINÉIS BIFACIAIS .....	22
2.5	REGULADORES DE CARGA .....	22
2.6	INVERSORES .....	23
2.7	BATERIAS .....	24
2.8	<i>STRING BOX</i> .....	25
2.9	MEDIDOR BIDIRECIONAL .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS PARA ANÁLISE .....	27
3.1.1	PAINEL SOLAR .....	27
3.1.2	INVERSOR .....	29
3.2	COEFICIENTE DE PERDA DE ENERGIA .....	30
3.2.1	VARIÁVEL DE TEMPO DE EXPOSIÇÃO .....	31
3.2.2	INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
4.1	DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS .....	34
4.2	HISTÓRICO DE CONSUMO DO PRÉDIO .....	35
4.3	QUANTIDADE DE PAINÉIS .....	37
4.4	DIMENSIONAMENTO NA ÁREA DISPONÍVEL .....	37

<b>4.5</b>	<b>VISUALIZAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>38</b>
<b>4.6</b>	<b>ANÁLISE FINANCEIRA.....</b>	<b>41</b>
<b>4.6.1</b>	<b>ORÇAMENTO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.6.2</b>	<b>GERAÇÃO TEÓRICA APROXIMADA DE ENERGIA.....</b>	<b>42</b>
<b>4.6.3</b>	<b>CRÉDITOS ACUMULADOS COM A GERAÇÃO TEÓRICA DE ENERGIA</b>	<b>43</b>
<b>4.7</b>	<b>CORREÇÃO DA POTÊNCIA DE PICO .....</b>	<b>44</b>
<b>4.8</b>	<b>FATURA DE ENERGIA PARA O CUSTO DE DISPONIBILIDADE.....</b>	<b>46</b>
<b>4.8.1</b>	<b>VIABILIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa, visa a preocupação com a sustentabilidade e a busca por fontes de energia renovável, a adoção de sistemas fotovoltaicos tem se mostrado uma solução promissora para suprir a demanda energética de diferentes tipos de edificações. Neste contexto, reconhecendo a importância da energia solar como uma fonte limpa e inesgotável, o seguinte trabalho busca estudar e dimensionar painéis solares que atendam à demanda energética do prédio de Mirassol, Campus Pontal do Paraná da Universidade Federal do Paraná.

O estudo e dimensionamento adequado de um sistema solar fotovoltaico são etapas cruciais para garantir a eficiência e o máximo aproveitamento da energia solar disponível. A análise da unidade consumidora existente no prédio de Mirassol, proporcionará dados fundamentais para o cálculo da quantidade de painéis solares necessários, o tipo de placas solares mais adequadas, o modelo do inversor e módulo, além da definição da fiação e dos métodos de instalação mais eficientes e seguros para os painéis.

O objetivo principal deste trabalho é projetar um sistema que garanta a produção de energia sustentável suficiente para suprir a demanda energética de todo o prédio, proporcionando autonomia e redução significativa dos custos com energia elétrica convencional. Além disso, o projeto visa contemplar a possibilidade de armazenamento de energia para a projeção de um recarregador de carros elétricos, contribuindo para a mobilidade elétrica sustentável no Campus, assim, como disponibilizar energia excedente para uso externo, beneficiando a comunidade acadêmica e a comunidade local.

Com a implantação deste sistema de painéis solares, a UFPR, reforça seu compromisso com a sustentabilidade e assume um papel de liderança ao adotar fontes de energia renovável em sua infraestrutura, promovendo a conscientização e o engajamento de toda sociedade em relação ao uso responsável dos recursos naturais, bem como incentivar o avanço tecnológico e a pesquisa na área de energia solar.

A quantidade de energia proveniente do Sol é imensa e tem um potencial gigantesco. Essa energia é capaz de alimentar correntes oceânicas, atmosféricas e até mesmo gerar fenômenos naturais como furacões e tornados. Comparada às reservas mundiais de petróleo, estimadas em três trilhões de barris, a energia que o Sol entrega à Terra em apenas 1,5 dias é equivalente a  $1,7 \times 10^{22}$  J, enquanto, a

energia usada anualmente pelos seres humanos é de aproximadamente  $4,6 \times 10^{20}$  J (CRABTREE *et al*, 2007), ou seja, o Sol fornece essa mesma quantidade de energia a cada hora.

Tal abundância de energia solar pode ser convertida em outras formas de energia, como combustíveis químicos por meio da fotossíntese, calor para uso direto e eletricidade por meio da excitação de elétrons em células fotovoltaicas. Antigamente, as células fotovoltaicas utilizavam principalmente o silício cristalino como base para a conversão de energia solar em eletricidade. Atualmente, observa-se no mercado o surgimento de novas tecnologias fotovoltaicas, como as de filmes finos, que estão se tornando cada vez mais competitivas em relação aos painéis de silício. Contudo, há um crescente interesse na integração de sistemas fotovoltaicos em edifícios, possibilitando a geração de energia solar de forma mais distribuída (MONTEIRO, 2018).

No entanto, para tornar o autoconsumo de energia mais eficiente, é essencial que a maior parte da energia produzida pelos painéis solares seja consumida no próprio local. Normalmente, o pico de geração solar não coincide com o pico de consumo de energia em uma residência típica, o que pode levar a desperdício de energia ou a necessidade de conexão à rede elétrica convencional. Diante desse desafio, o presente trabalho tem como objetivo principal o estudo da implementação de painéis solares para autoconsumo em locais de trabalho, especificamente no caso do Campus Pontal do Paraná no Centro de Estudos do Mar da Unidade de Mirassol (UFPR). A análise desse caso de estudo busca investigar estratégias para otimizar o aproveitamento da energia solar, levando em consideração os períodos de pico de geração solar e os padrões de consumo energético do local.

A exploração da energia fotovoltaica está em constante crescimento, tanto no mundo quanto no Brasil, onde tem sido implementada cada vez mais. As energias renováveis, como a solar, desempenham um papel crucial no combate às mudanças climáticas e na redução da dependência de fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis (MONTEIRO, 2018). Além disso, a implementação de painéis solares em edifícios e a participação de consumidores como produtores de energia têm se tornado cada vez mais importantes para o perfil da rede elétrica, contribuindo para um sistema mais sustentável e descentralizado (CASTRO, 2011).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A demanda global por energia continua a crescer de maneira ininterrupta, e a sua produção ainda é predominantemente baseada na exploração de recursos energéticos não renováveis, tais como petróleo e seus derivados, carvão e gás natural. Esse modelo energético arraigado na sociedade moderna traz consigo consequências significativas para o meio ambiente, incluindo poluição do ar, aumento das emissões de gases de efeito estufa e a exploração insustentável de recursos naturais. Diante desse cenário, torna-se imperativo que a sociedade organizada construa uma nova abordagem para a geração de energia, uma que se baseie no aproveitamento racional e sustentável tanto de fontes de energia não renováveis quanto das abundantes fontes de energia renovável (RAMPINELLI, 2018).

Neste contexto, a energia solar fotovoltaica emerge como uma alternativa altamente promissora para a produção de energia renovável. Ela oferece uma solução limpa, ambientalmente responsável e tecnologicamente avançada para suprir as crescentes necessidades energéticas da sociedade. A inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética desempenha um papel crucial na diversificação e segurança do fornecimento de energia. Afinal, a dependência excessiva de combustíveis fósseis expõe as economias e o meio ambiente a riscos significativos, incluindo flutuações nos preços do petróleo e a ameaça das mudanças climáticas.

A escolha da realização do estudo no campus Mirassol se dá pela localização apresentar menor interferência do ambiente, seja por sombras de prédios e árvores, como também por acúmulo de sujeiras como folhas e areia, que podem diminuir o rendimento dos painéis solares.

Os sistemas fotovoltaicos têm a capacidade de gerar eletricidade de maneira contínua e confiável, aproveitando a abundante luz solar disponível, especialmente em regiões tropicais. Durante a operação dos painéis solares, não há emissão de gases poluentes, descarte de resíduos tóxicos ou efluentes prejudiciais ao meio ambiente. Isso não apenas reduz significativamente o impacto ambiental, mas também contribui para a melhoria da qualidade do ar e para a mitigação das mudanças climáticas.

Um marco importante que impulsiona a adoção da energia solar fotovoltaica é a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, que estabelece diretrizes para a microgeração e minigeração distribuída por meio de fontes renováveis. Esse

regulamento também introduziu o sistema de compensação de energia elétrica, permitindo que os sistemas fotovoltaicos sejam conectados à rede de distribuição elétrica. Isso possibilita que o excedente de energia produzido localmente seja injetado na rede e creditado para uso por outros consumidores, promovendo a descentralização da geração de energia e tornando o sistema mais robusto e resiliente.

Vale ressaltar que a matriz energética no Brasil está cada vez maior, onde a energia solar alcança 16,5% de todo seu valor, superando a energia eólica e perdendo apenas para a energia hídrica que atinge quase 50%, no ano de 2023 (PORTAL SOLAR, 2023).

Portanto, à medida que avança em direção a um futuro mais sustentável e consciente do meio ambiente, a energia solar fotovoltaica se destaca como uma escolha vital para suprir nossas necessidades energéticas de maneira responsável, proporcionando uma transição significativa para uma matriz energética mais verde e resiliente. É uma opção que não só atende às demandas atuais, mas também, resguarda o bem-estar das gerações futuras, preservando nosso planeta e suas preciosas fontes de energia.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Dimensionamento de painéis solares para captação, geração de créditos com a energia acumulada através dos medidores bidirecionais e distribuição de energia fotovoltaica através do regulador de carga.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Calcular a demanda do prédio de Mirassol com base das faturas cobradas pela concessionária no último ano, utilizando como base dados reais de consumo;
- Identificar a classe e o tipo da ligação da unidade consumidora, e ainda seu custo de disponibilização, que podem ser verificados na fatura;
- Definir a oferta de energia para suprir a demanda do local e ainda meios de armazenamento de energia caso sistema Híbrido;

- Calcular o rendimento do sistema, a potência total dos painéis, a quantidade de painéis fotovoltaicos e a área total disponível, além de encontrar o custo das faturas e compará-lo com as faturas sem o sistema instalado.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho é estruturado como mostrado a seguir:

- O primeiro capítulo apresenta toda a parte introdutória e motivação para o tema escolhido, contendo seu objetivo e justificativa;
- No segundo capítulo é mostrado toda a fundamentação teórica sobre o assunto, contendo ainda os tipos de equipamentos utilizados no projeto;
- O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada no estudo do caso;
- No quarto capítulo é apresentado os resultados esperados com a implementação do projeto;
- No quinto e último capítulo está presente a conclusão sobre o estudo do caso, contendo ainda as considerações finais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ENERGIA SUSTENTÁVEL**

As fontes renováveis são responsáveis pela geração de energia limpa, ou seja, uma forma de energia que não se esgota, diferentemente dos combustíveis fósseis. Desta maneira, essas fontes têm a capacidade de suprir as necessidades de energia elétrica da sociedade atual e garantir o abastecimento para as futuras gerações. Geralmente, essas fontes se baseiam em recursos naturais abundantes e renováveis, como o vento e a luz solar (BV INSPIRA, 2023).

### **2.2 ENERGIA SOLAR**

A energia solar, como sugere o próprio nome, é aquela proveniente do Sol. Sua coleta pode ser realizada por meio de várias tecnologias, tais como painéis solares fotovoltaicos, usinas de energia solar térmica e sistemas de aquecimento solar. Basicamente, a energia luminosa do sol é transformada em energia utilizável. Nos painéis solares fotovoltaicos e nas usinas de energia solar térmica, a energia solar é convertida em eletricidade e calor. Por outro lado, no aquecimento solar, a energia solar é convertida em calor (SOUSA, 2023).

Desta maneira, a energia solar é uma das formas de energia sustentável mais conhecidas e procuradas. No Brasil, o número de unidades de energia solar instaladas aumentou de 7.400 para 49 mil em apenas dois anos, o que representa um crescimento de aproximadamente 562%.

Destaca-se algumas das vantagens do uso de energia solar:

- Não consome combustível;
- Não produz poluição nem contaminação ambiental;
- Silencioso;
- Vida útil na faixa de 25 anos;
- Resistente a condições climáticas extremas como granizo, vento, umidade e variações de temperatura;
- É possível aumentar a potência instalada incorporando módulos adicionais;
- Gera energia mesmo em dias nublados.

E pode-se citar as principais desvantagens do uso de energia fotovoltaica

- As células necessitam de tecnologia sofisticada para sua fabricação e instalação, e alto consumo de energia elétrica;
- O custo de investimento é elevado;
- O rendimento real de conversão de um módulo é reduzido;
- Seu rendimento é atrelado ao índice de radiação, temperatura, exposição ao sol, dentre outros (SOUSA, 2023).

## **2.3 CÉLULAS FOTOVOLTÁICAS**

Os painéis fotovoltaicos capturam a energia dos raios solares e, por meio de processos físico-químicos, transformam-na em eletricidade. Esses painéis podem ser instalados em áreas extensas ou nos telhados de residências convencionais. Assim, aqueles que possuem esses painéis em suas casas podem utilizar a energia gerada, resultando em uma redução da conta de energia elétrica (BRAGA, 2008).

Além disso, podem ser fabricadas a partir de diversos tipos de materiais semicondutores, porém, as mais utilizadas são as de silício, que são classificadas de acordo com sua estrutura molecular, sendo alguns tipos os monocristalinos, policristalinos e silício amorfo, sendo que para uma melhor eficiência, os painéis descritos acima utilizam silício monocristalino.

### **2.3.1 SILÍCIO MONOCRISTALINO**

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais usada e comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade (BRAGA, 2008), e sua fabricação começa com a extração de dióxido de silício desoxidado em grandes fornos, em seguida purificado e solidificado, com um grau de pureza superior a 98%. Para se tornar um cristal de silício, necessita ainda de outros dispositivos semicondutores com grau de pureza maior ainda, totalizando na fase final do processo de produção, uma pureza no cristal de quase 100%.

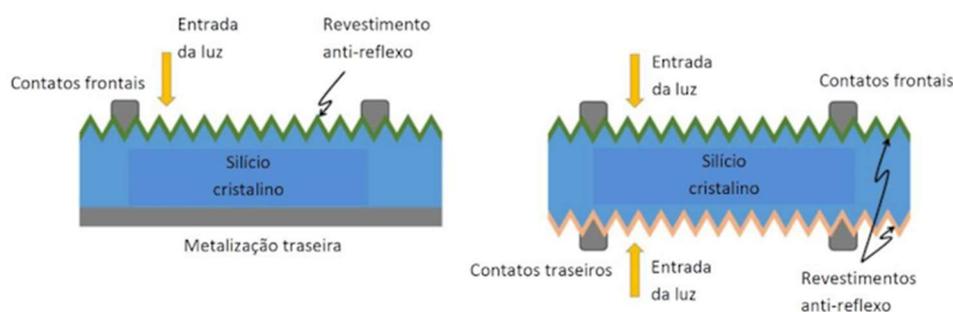
Desta forma, esse cristal passa por um processo chamado de Processo Czochralski, onde o silício é fundido juntamente com uma certa quantidade de dopante boro do tipo P, onde com um rigoroso controle de temperatura, é extraído do material fundido um cilindro de silício monocristalino levemente dopado, que é cortado em

fatias finas com espessura de aproximadamente  $300\mu\text{m}$ . Desta maneira, depois de obter as fatias cortadas, estas devem passar por um novo processo de retirada de impurezas, em seguida, são submetidas a um processo de difusão controlada sendo expostas a vapor de fósforo em um forno a temperaturas que variam entre 800 e  $1000^{\circ}\text{C}$ . A eficiência das células fotovoltaicas produzidas a partir do silício monocristalino podem chegar a 18% (BRAGA, 2008).

### 2.3.2 CÉLULAS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO BIFACIAIS

Em busca do aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaico os fabricantes desenvolveram uma tecnologia que é capaz de receber irradiação solar nas duas faces (FIGURA 1).

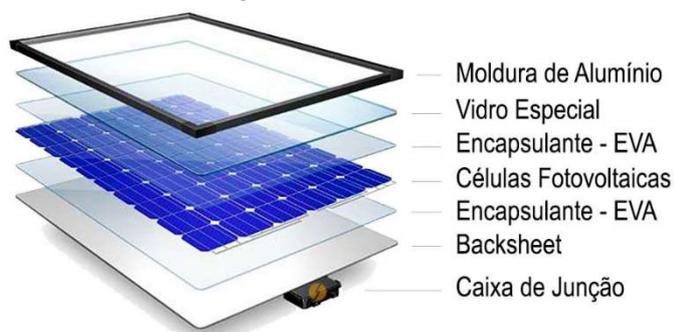
FIGURA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTRUTURAS FÍSICAS DAS CÉLULAS CONVENCIONAIS E BIFACIAIS.



Fonte: VILLALVA (adaptado) (2023).

Ademais, diferente das células convencionais que na face traseira possuem uma folha chamada de *backsheet* feita a partir de um plástico opaco e as vezes de prata, as células bifaciais são construídas com uma lâmina de vidro na face traseira (FIGURA 2).

FIGURA 2 – CONSTRUÇÃO DE UM MÓDULO SOLAR BIFACIAL.



FONTE: VILLALVA (2019).

## 2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico de energia é composto por módulos fotovoltaicos e pelo conjunto de equipamentos complementares como baterias, inversores, equipamentos de proteção, dentre outros que variam de acordo com o projeto e finalidade do sistema fotovoltaico.

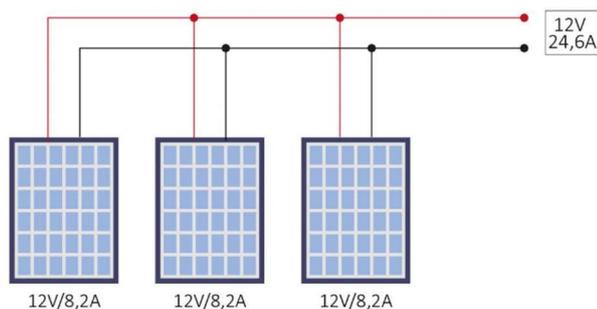
### 2.4.1 MÓDULOS

Os módulos têm a necessidade de serem instalados juntos e agrupados, tendo em vista que apenas um módulo não gera quase nada de eletricidade sozinho. Os módulos podem ser associados em paralelo e em série, podendo ainda, ser mistos.

#### 2.4.1.1 ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Os módulos associados em paralelo apresentam terminais do mesmo tipo ligados a um ponto em comum, ou seja, os terminais positivos são ligados a um mesmo ponto e os negativos se ligam em outro ponto, conforme esquema na FIGURA 3. Embora, a tensão permaneça a mesma, a corrente total é a soma das correntes individuais de cada célula (BRAGA, 2008).

FIGURA 3 – CONEXÃO DOS MÓDULOS EM PARALELO.

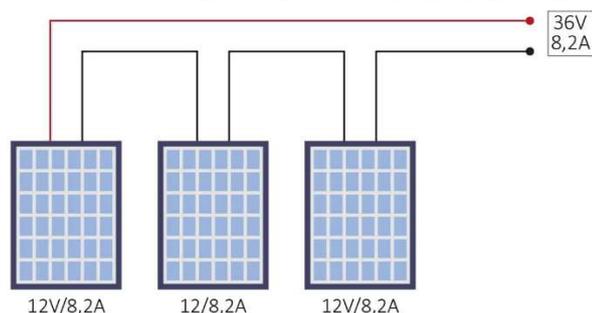


FONTE: O autor (2023).

#### 2.4.1.2 ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Na associação em série o terminal positivo de um módulo é ligado ao terminal negativo de outro. Neste caso, a corrente será igual às correntes individuais, mas a tensão total será o resultado do somatório das tensões de cada módulo (FIGURA 4).

FIGURA 4 – CONEXÃO DOS MÓDULOS EM SÉRIE.



FONTE: O autor (2023).

### 2.4.2 PAINÉIS BIFACIAIS

Os painéis solares bifaciais conseguem receber radiação solar nas duas faces do módulo, e por mais que pareça estranho ao pensar que a irradiação solar é proveniente somente da luz do sol na parte superior, parte da energia solar captada pelo solo e demais superfícies podem ser aproveitada por esse tipo de painel solar, podendo gerar energia através da face inferior do módulo. Além disso, a energia solar absorvida pela face inferior pode oferecer um aumento de até 30% na eficiência da geração de energia comparado com os módulos convencionais (VILLALVA, 2019).

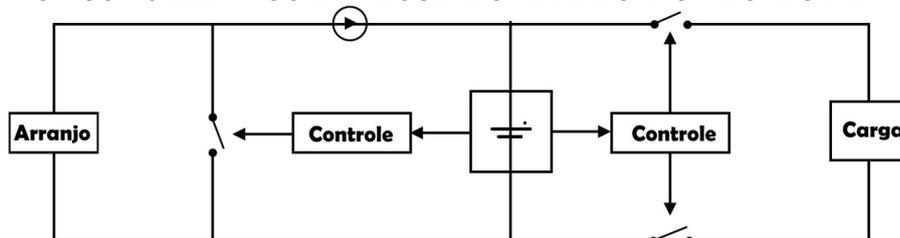
### 2.5 REGULADORES DE CARGA

Os reguladores de carga são um dos mais importantes elementos do sistema de energia solar. Deste modo, são responsáveis por preservar a vida útil das baterias estacionárias, protegendo-as dos efeitos da sobrecarga ou descarga repentina, além de tornar o armazenamento da energia excedente mais eficiente, diminuindo perdas (P. SOLAR, 2014).

Tem função de gerar uma corrente de alimentação maior que a descarga automática do sistema, preservando a bateria funcional. Consegue também, avisar quando o sistema possui pouca energia acumulada e protege contra sobrecarga e curtos-circuitos. Algumas versões ainda medem a temperatura e pressão do sistema, garantindo uma melhor manutenção e evitando acidentes. Há dois tipos principais de controladores de carga: os controladores em paralelo (FIGURA 5) e os controladores em série (FIGURA 6). Enquanto os controladores em paralelo desviam a corrente dos painéis solares para uma carga dissipativa, permitindo que a bateria permaneça em

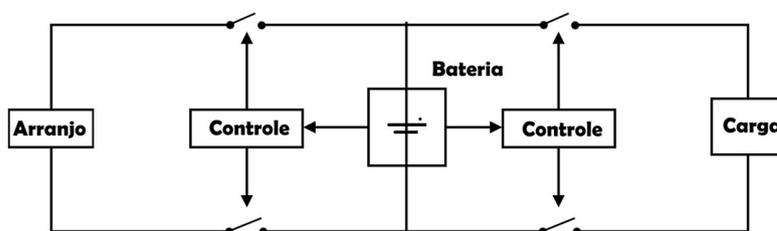
seu nível máximo de carga, os controladores em série interrompem a corrente que chega à bateria com base na sua tensão.

FIGURA 5 – CIRCUITO ELÉTRICO DE REGULADORES DE CARGA LIGADOS EM PARALELO.



FONTE: Adaptado de CRESESB (2023).

FIGURA 6 – CIRCUITO ELÉTRICO BÁSICO DE CONTROLADORES DE CARGA LIGADOS EM SÉRIE.



FONTE: Adaptado de CRESESB (2023).

Os reguladores em série por sua vez não dissipam calor e podem ser instalados em ambientes fechados, atendendo a uma variedade de aplicações, incluindo as de maior escala. Por outro lado, os controladores em paralelo geram aquecimento e, por essa razão, têm sua capacidade de trabalho limitada, sendo ideais para sistemas fotovoltaicos menores.

## 2.6 INVERSORES

Os inversores, também conhecidos como conversores CC/CA, desempenham um papel fundamental nos sistemas de geração fotovoltaica. Assim, são responsáveis por converter a corrente contínua (CC) gerada pelas células fotovoltaicas em corrente alternada (CA), que é a forma de energia elétrica utilizada na maioria das aplicações. Além disso, os inversores possuem uma capacidade máxima de geração de energia, medida em quilowatts-pico (kWp), que determina a quantidade máxima de energia que podem fornecer.

Deste modo, podem ser usados tanto para alimentar cargas isoladas quanto para conectar um gerador fotovoltaico à rede elétrica. Para realizar essa conversão,

os inversores possuem um dispositivo chamado comutador, responsável por "quebrar" a corrente contínua em pulsos, gerando assim a corrente alternada. No entanto, as comutações dos interruptores do inversor podem causar deformações na forma de onda, resultando em perturbações conhecidas como Distorções Harmônicas.

Os inversores podem ser classificados em três categorias principais:

- onda quadrada (não recomendada para uso);
- onda senoidal modificada (aceitável para a maioria das aplicações);
- onda senoidal pura (indicada para aplicações especiais com distorção harmônica inferior a 5%).

## 2.7 BATERIAS

A principal função das baterias, também conhecidas como acumuladores eletroquímicos, em um sistema de geração fotovoltaica, é armazenar a energia produzida durante as horas de luminosidade para uso durante a noite ou períodos prolongados de mau tempo. Desta maneira, as baterias desempenham um papel importante na estabilização da corrente e tensão ao alimentar cargas elétricas, fornecendo suporte durante transientes que possam ocorrer na geração de energia. Também são capazes de fornecer uma corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar, como é o caso de um motor que, durante o arranque, pode exigir uma corrente de 4 a 6 vezes a sua corrente nominal por alguns segundos.

As baterias podem ser classificadas em duas categorias: baterias primárias e baterias secundárias. As baterias primárias são dispositivos eletroquímicos que, uma vez que os reagentes responsáveis pela produção de energia elétrica se esgotam, são descartadas, pois não podem ser recarregadas. Já as baterias secundárias podem ser regeneradas, ou seja, aplicando-se uma corrente elétrica em seus terminais, é possível reverter as reações químicas responsáveis pela geração de energia elétrica e, assim, recarregar a bateria novamente.

Nos sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica, são utilizadas baterias secundárias, ou seja, baterias recarregáveis. Entre os inúmeros tipos de baterias secundárias, as mais comuns são as de Chumbo-Ácido e as de Níquel-Cádmio. Essas baterias permitem o armazenamento eficiente de energia, garantindo a disponibilidade de eletricidade mesmo quando a geração solar não está ativa.

## 2.8 STRING BOX

As normas brasileiras de instalações elétricas de baixa tensão NBR 5410, e de sistemas fotovoltaicos NBR 16690, definem que os projetos das instalações possuam características básicas de proteção contra-choque elétrico, sobrecorrente, sobretensão e incêndios, dentre outros (CANAL SOLAR, 2019). Tendo em vista a segurança, os sistemas fotovoltaicos possuem o chamado *string box*, que é instalado entre os módulos e o inversor, sendo o componente de proteção da parte de CC, conectando os cabos vindos dos módulos fotovoltaicos ao inversor, fornecendo proteção contra sobretensão e sobrecorrente, permitindo ainda em casos de curto-circuito o seccionamento do circuito.

## 2.9 MEDIDOR BIDIRECIONAL

O medidor bidirecional desempenha um papel fundamental nos sistemas de energia solar conectados à rede das concessionárias de eletricidade (FIGURA 7). Assim, diferentemente dos medidores convencionais, conhecidos como relógios, o medidor bidirecional não apenas mede a quantidade de energia consumida por uma instalação, mas também registra a quantidade de energia injetada na rede elétrica. Essa função é crucial porque permite que os clientes com sistemas de energia solar gerem créditos de energia ao fornecer o excedente à rede elétrica.

FIGURA 7 – MEDIDOR BIDIRECIONAL.



FONTE: SOLIS ENERGIA (2019).

A ideia central por trás do medidor bidirecional é igualar as medidas de energia consumida e injetada, garantindo que os clientes se beneficiem da energia excedente gerada por seus painéis solares. Quando a quantidade de energia injetada na rede é igual à energia consumida, o cliente não precisa pagar pela energia consumida da concessionária, pois já compensou essa demanda com a energia que injetou por meio de seu sistema solar. A principal função do medidor bidirecional é monitorar e registrar essas duas formas de energia, oferecendo uma solução eficaz para os clientes aproveitarem ao máximo seus sistemas de energia solar.

Para compreender melhor o funcionamento do medidor bidirecional, considerou-se um exemplo prático. Suponha-se que uma usina solar residencial tenha gerado 10 kWh de energia ao longo do dia e, ao mesmo tempo, a residência consumiu 5 kWh. Neste cenário, os 5 kWh excedentes são injetados na rede elétrica. Essa diferença entre a produção e o consumo é registrado pelo medidor, geralmente, identificado pelo código 103. Portanto, 5 kWh são registrados no medidor, garantindo que o cliente acumule créditos por essa quantidade de energia injetada.

A discrepância entre a energia injetada e a energia produzida ocorre porque a medição do inversor, que registra a energia produzida, difere da medição registrada no medidor, que se refere à energia efetivamente injetada na rede. O sistema de energia solar prioriza o atendimento às necessidades da residência, injetando o excedente na rede. No entanto, se o sistema não consegue suprir 100% das necessidades da casa, a concessionária fornece a energia adicional necessária. É essencial compreender que essa diferença é natural e faz parte do funcionamento do sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

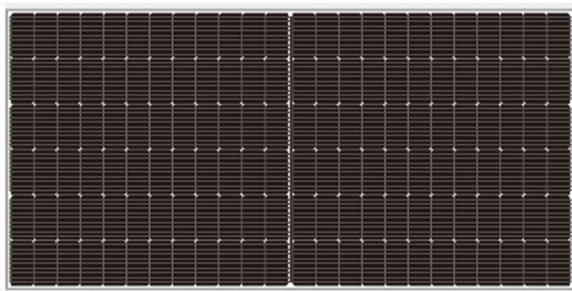
A seguir, serão apresentados os materiais e métodos utilizados com base no melhor orçamento solicitado em relação ao desempenho e melhor aproveitamento realizado pela empresa Maringá Solar.

#### 3.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS PARA ANÁLISE

##### 3.1.1 PAINEL SOLAR

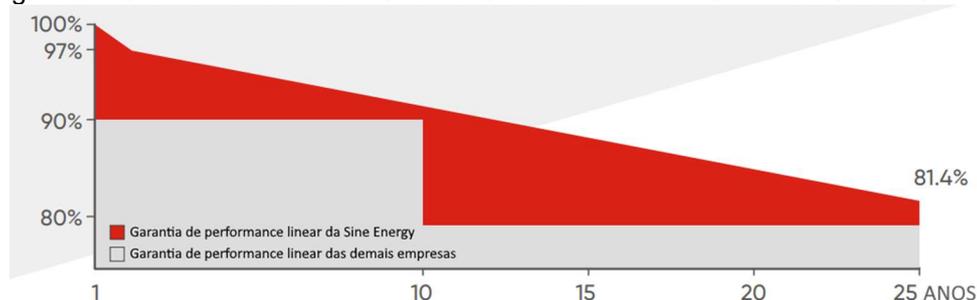
Para determinado estudo, foram usados dados dos painéis solares fabricados pela empresa Sine Energy, com dimensões e especificações demonstradas a seguir de acordo com o manual da fabricante (FIGURA 8). O índice de degradação ao passar dos anos informado é de aproximadamente 0,6% por ano (FIGURA 9).

FIGURA 8 – PAINÉL SOLAR UTILIZADO NO ESTUDO.



FONTE: SINE ENERGY (2023).

Figura 9 – GARANTIA DE PERFORMANCE LINEAR PARA UM PRAZO DE 25 ANOS.



**12 Anos**

Garantia no material produzido e mão de obra

**25 Anos**

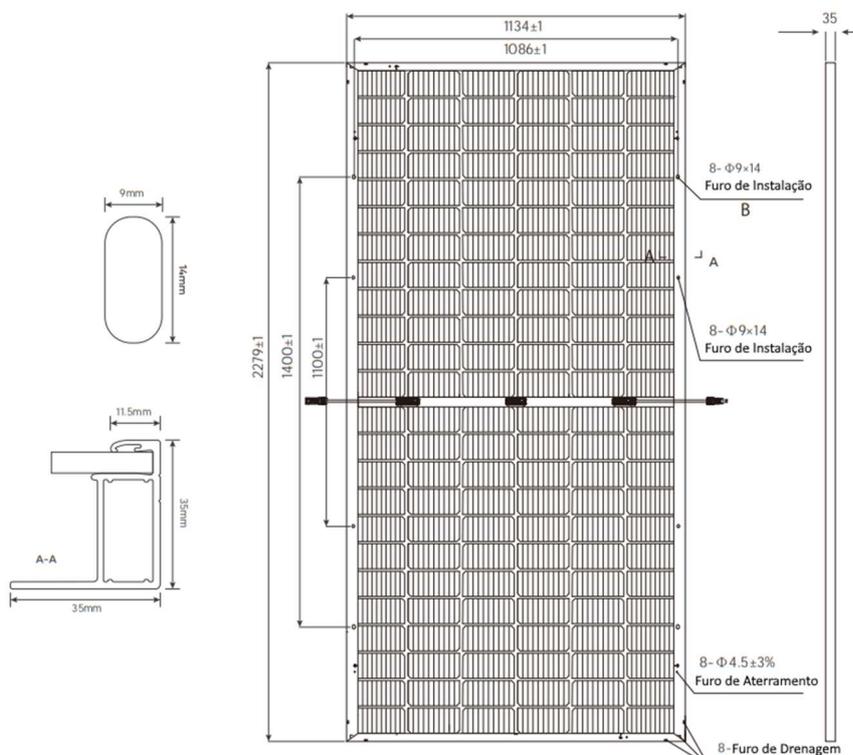
Garantia de performance linear

FONTE: SINE ENERGY (2023).

Para a instalação desses painéis, foram verificadas as dimensões dos mesmos e ainda as dimensões das canaletas de fixação do painel a serem instaladas

na cobertura do prédio de estudo, conforme as FIGURAS 10 e 11, além da TABELA 1.

FIGURA 10 – DIMENSÕES DO PAINÉL SOLAR.



FONTE: Adaptado de SINE ENERGY (2023).

FIGURA 11 – ESPECIFICAÇÕES DO MODELO DE PAINÉL UTILIZADO.

#### MECHANICAL SPECIFICATIONS

Solar Cell Type	182×91mm
Glass	3.2mm tempered, high transmission ART coating
Back Sheet	Transparent backsheet
Frame	Silver Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68
No. of Diodes	3pcs
Output Cable	4.0mm <sup>2</sup> 400/400mm (custmized available)
Connector	MC4 Compatible (MC4 Original optional)
Wind/Snow Load	2400pa/5400pa

#### TEMPERATURE COEFFICIENT

Nominal Operting Cell Temp(NOCT)	44±2°C
Temperature Coefficient of ISC	0.060%/°C
Temperature Coefficient of VOC	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Operational Temperature	-40-85°C
Maximum System Voltage	1500V DC(IEC)
Maximum Series Fuse Rating	20A

FONTE: SINE ENERGY (2023).

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES DO PAINÉL.

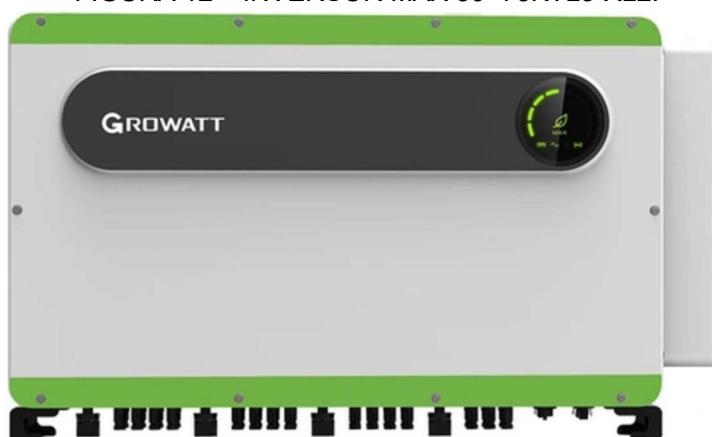
<b>Tipo de Célula</b>	<b>Bifacial Mono-cristalina 182x91mm</b>
<b>Nº de Células</b>	144 (24x6)
<b>Dimensões</b>	2279x1134x35mm
<b>Peso</b>	27,5 kg
<b>Vidro frontal</b>	3,2mm, Revestimento Anti-Reflecção, Alta Transmissibilidade, Vidro Temperado
<b>Back Sheet</b>	3,2mm, Back Sheet Transparente (vidro temperado) , Alta Transmissibilidade
<b>Molde/Esquadria</b>	Liga de Alumínio Anodizado cor Prata
<b>Caixa de Junção</b>	Classe IP68
<b>Cabos de saída</b>	TUV 1x4,0mm (+): 400mm, (-): 200mm ou customizado

FONTE: Adaptada de SINE ENERGY (2023)

### 3.1.2 INVERSOR

Para determinado estudo, escolheu-se o inversor MAX 50~75KTL3-XL2 da fabricante GROWATT, para uma potência máxima de 85kWp, que atende a demanda dos painéis solares e utiliza apenas um painel receptor para todas as placas solares (FIGURA 12).

FIGURA 12 – INVERSOR MAX 50~75KTL3-XL2.



FONTE: GROWATT (2023).

O inversor apresentado é trifásico de 380v, possui dimensões 97cm de largura, 64cm de altura e 35cm de espessura, pesando 84kg, garantia de 10 anos e uma eficiência de 98,8%. Possui ainda, a *string box* integrado, o que facilita a instalação por ocupar menos espaço no sistema total. Demais informações são apresentadas na FIGURA 13.

FIGURA 13 – FICHA DE DADOS DO INVERSOR.

Ficha de dados	MAX 75KTL3-XL2
<b>Dados de entrada (CC)</b>	
Máxima potência CC	112500W
Faixa de tensão MPP	180V-800V
Tensão de partida	195V
Tensão nominal	370V
Faixa de potência Máxima*	360-650V
Números de MPP trackers	8
Número de Strings FV por MPP trackers	2
Máxima corrente de entrada por MPP Tracker	45A
Máxima corrente de curto-circuito por MPP tracker	56.5A
<b>Dados de saída (CA)</b>	
Potência nominal de saída CA	75000W
Potência máxima aparente CA.	71000VA @208V 75000VA @220V 78400VA @230V
Tensão nominal de saída CA (faixa)	127V/220V (101.6-139.7V)
Frequência da rede CA	50/60Hz(45~55Hz/55-65 Hz)
Corrente máxima de saída.	196.9A @220V
Fator de potência ajustável	0.8 capacitivo ...0.8 reativo
THDi	<3%
Tipo de conexão da rede CA	3W/N/PE

FONTE: GROWATT (2023).

### 3.2 COEFICIENTE DE PERDA DE ENERGIA

Para ser dimensionado os painéis solares, considerou-se a perda de energia  $\eta$  associada aos equipamentos utilizados no sistema de recepção e transformação da energia solar recebida, como por exemplo os cabos, inversor e painéis. Deste modo, o coeficiente de perda de energia considera um valor múltiplo de todas as fontes

possíveis de perda. Alguns fabricantes indicam que as principais perdas e suas variabilidades são:

- Perdas por Temperatura: ocorrem principalmente ao aquecimento natural dos painéis por estarem expostas a radiação solar;
- Incompatibilidade Elétrica: ocorre quando as placas são conectadas tanto em série, quanto em paralelo, ou seja, as placas ligadas entre si não são exatamente iguais, e isso se dá devido ao processo de produção não ser totalmente preciso, causando uma certa incompatibilidade que gera esse tipo de perda;
- Acúmulo de Sujeira: qualquer tipo de sujeira que entra em contato nos painéis pode ocasionar esse tipo de perda, incluindo poeira, folhas e falta de limpeza. O local de manutenção, e processo de contratação de empresa para limpar o sistema de geração é um processo mais difícil e demorado, pois é um órgão federal e o nível de sujeira transportada nessa região é mediano;
- Cabeamento CC: são os cabos depois dos painéis;
- Cabeamento CA: são os cabos depois do inversor;
- Inversor: ocorre no processo de conversão da corrente contínua para corrente alternada;
- Rendimento: é dado de acordo com a informação fornecida pela fabricante dos módulos, possuindo um rendimento global em torno de 0,814, ou seja, uma taxa de desempenho de 81,4% ao longo de sua vida útil de 25 anos (SINE ENERGY, 2023);
- 

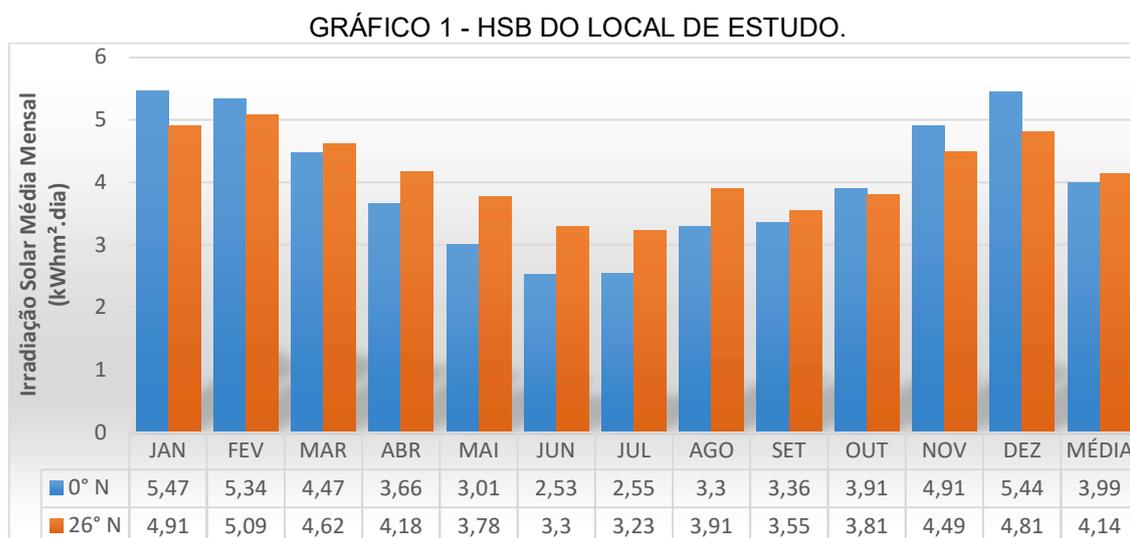
Levando em consideração que podem haver variações da performance de cada painel solar devido a sombras e sujeiras não serem uniformes em todos os painéis, os cálculos consideram um valor de rendimento de 80% pensando sempre a favor da segurança para cálculos econômicos no caso de os módulos possuírem um fator de rendimento não uniforme.

### **3.2.1 VARIÁVEL DE TEMPO DE EXPOSIÇÃO**

A variável de tempo de exposição ( $T$ ), é o tempo que os painéis irão estar expostos a radiação solar, expressa-se como sendo o valor acumulado de energia

solar ao longo de um dia, chamado de número de Horas de Sol Pleno (HSP) (CRESESB, 2014). A partir da utilização do programa de monitoramento e simulação de irradiação solar chamado *SunData* disponibilizado de maneira virtual e gratuita em todo território nacional, com as coordenadas do prédio Mirassol fornecidas pelo *Google Earth* inseridas na plataforma, são apresentados alguns pontos para análise mais próximos do local. O ponto mais próximo se encontra nas coordenadas 25,601° S, 48,449° O, localizado a uma distância de 10,2 km do local de estudo.

Tais valores obtidos referem-se a 4 inclinações diferentes: Plano horizontal (0° N), Plano Inclinado (26° N), Maior média anual (20° N) e Maior mínimo mensal (43° N). Para uma melhor visualização dos dados obtidos pela plataforma a serem utilizados, os valores se encontram no GRÁFICO 1.



FONTE: Adaptado de CRESESB (2014).

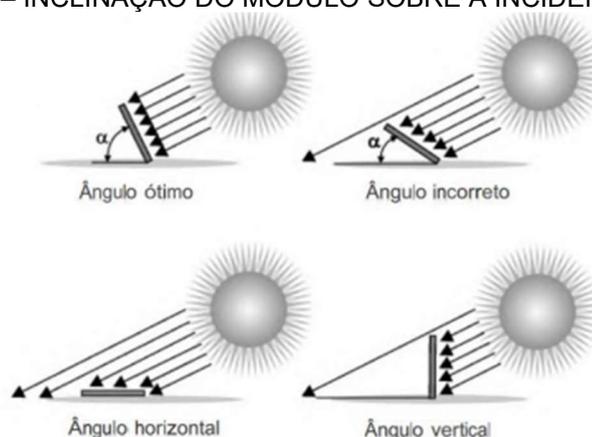
Com base nos valores obtidos, tendo em vista que mesmo o plano horizontal apresentando uma maior irradiação solar nos meses de verão, onde teria uma maior demanda do uso de energia elétrica, a opção mais coerente é utilizar a média para a inclinação de 26° N, pois os painéis serão instalados sobre uma inclinação, equivalente a 3,99 kWhm<sup>2</sup>.dia.

### 3.2.2 INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS

Os painéis fotovoltaicos usados neste trabalho possuem um ângulo de inclinação fixo, logo, escolheu-se um ângulo que melhor arremate a irradiação solar, que pode ser encontrada a partir de alguns critérios que serão apresentados a seguir.

A FIGURA 14 apresenta os ângulos de inclinação dos módulos e qual o menor para captação de irradiação solar. Como no telhado já existe uma inclinação, a inclinação dos módulos deve ser projetada para ter uma maior exposição a luz solar.

FIGURA 14 – INCLINAÇÃO DO MÓDULO SOBRE A INCIDÊNCIA SOLAR.



FONTE: VILLALVA E GAZOLI (2012).

A variável  $\alpha$  pode ser calculada através da TABELA 2, resultando na inclinação total recomendada a partir da latitude geográfica do local.

TABELA 2 – 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 maior	$\alpha = \text{latitude local} + 15^\circ$

FONTE: VILLALVA E GAZOLI (2012).

Como nosso local de estudo se localiza em uma latitude de  $25,69^\circ$  o ângulo recomendado  $\alpha$  será de aproximadamente  $^\circ$ , conforme a equação 1 a seguir.

$$\alpha = 25,69^\circ + 5^\circ = 30,69^\circ \approx 31^\circ \quad (1)$$

Após definir a inclinação, para que o sistema seja melhor aproveitado, é necessário garantir que o local onde os módulos serão instalados possuam mínima influência de sombras de obstáculos próximos (muros, árvores, prédios, etc.). Por isso, os locais escolhidos garantem melhor eficiência.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir será apresentado todas as etapas do projeto desenvolvido desde os cálculos até o orçamento final do custo do investimento.

### 4.1 DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS

Para a determinação dos painéis solares, é necessário obter alguns parâmetros. O cálculo da potência total dos painéis pode ser calculado a partir da equação da energia.

$$E = P * T \text{ [kWh]} \quad (2)$$

Onde:

- $E$  é a energia da demanda [kWh];
- $P$  é a potência em [kW];
- $T$  é o tempo em [h].

Colocando  $P$  em evidência na eq. (2), e adicionando  $\eta$ , é encontrado o valor da potência total dos painéis.

$$P_{t,p} = \frac{E_g}{T * \eta} \text{ [kW]} \quad (3)$$

É preciso verificar o valor de consumo mensal de energia analisando a fatura de distribuição de energia do prédio Mirassol, onde a média mensal do consumo histórico no período de um ano subtraindo o valor mínimo de cobrança estipulado pela concessionária na fatura para o tipo e a classe de ligação utilizado, resultará no valor médio mensal, que deve ser convertido para se obter o valor médio diário.

$$E_{g,m} = E_m - E_{min} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right] \quad (4)$$

Onde:

- $E_m$  é o valor da demanda mensal de energia;
- $E_{min}$  é o custo mínimo cobrado pela concessionária por mês.

$$E_g = \frac{E_{g,m}}{30} \left[ \frac{kWh}{dia} \right] \quad (5)$$

Retornando para a Eq. (3), foi obtido a maneira de se calcular a potência máxima em um dia chamado de pico devido à exposição máxima da radiação solar que os painéis recebem para determinado local, logo:

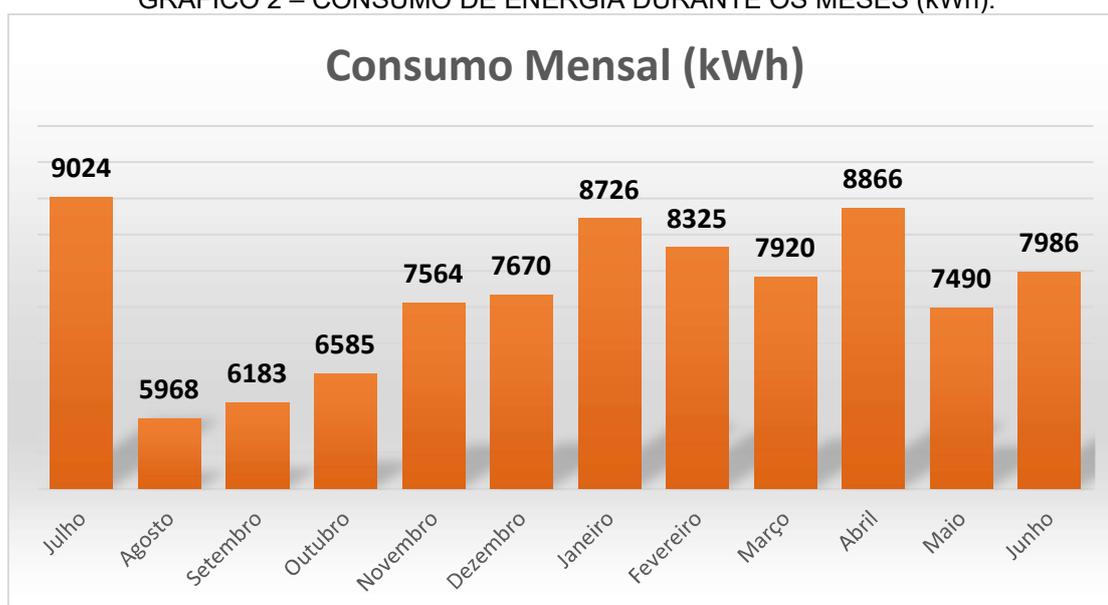
$$P_{t,p} = \frac{E_g}{3,99*0,800} [kWp] \quad (6)$$

Para início do cálculo, é necessário usar os valores de consumo médio de energia em kW do prédio de Mirassol, para o período de 1 ano que antecede a data da fatura de energia utilizada.

## 4.2 HISTÓRICO DE CONSUMO DO PRÉDIO

Após entrar em contato com a direção do campus Mirassol, foi concedida a fatura de energia elétrica do local, que é fundamental para o dimensionamento do projeto, assim, reunindo os valores de consumo mensal e seus respectivos valores pode-se verificar o consumo e o custo médio mensal (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 2 – CONSUMO DE ENERGIA DURANTE OS MESES (kWh).



FONTE: O autor (2023).

O valor médio do consumo mensal é de 7692,30 kWh, porém, a ANEEL estabelece um valor mínimo cobrado para cada tipo de ligação, sendo para ligações trifásicas 100kW. Portanto, considerando essa redução do consumo total tem-se que o consumo médio mensal é de 7592,30 kWh e conseqüentemente, o consumo médio diário 253,08 kWh/dia, ou seja, resolvendo as eq. (4) e (5), têm-se:

$$E_{g,m} = 7692,30 - 100 = 7592,30 \left[ \frac{kWh}{mes} \right] \quad (7)$$

$$E_g = \frac{7592,30}{30} = 253,08 \left[ \frac{kWh}{dia} \right] \quad (8)$$

O consumo médio diário é também chamado de energia de geração ( $E_g$ ), no qual aplicado o valor obtido, na eq. (3), resulta no valor da potência total de 79,086 kWp.

$$P_{t,p} = \frac{253,08}{3,99*0,800} = 79,086 [kWp] \quad (9)$$

Já para os valores das faturas, têm-se os seguintes valores que foram agrupados no GRÁFICO 2.

GRÁFICO 3 – VALOR DA FATURA DURANTE OS MESES (R\$).



FONTE: O autor (2023).

O valor médio anual obtido é de aproximadamente R\$ 5.000,00.

### 4.3 QUANTIDADE DE PAINÉIS

A quantidade de painéis solares a serem utilizados pode ser obtida através da razão entre a potência total dos painéis pela potência do painel. De acordo com o fabricante dos painéis, a potência da placa escolhida para estudo nas condições de padrão teste (STC) é de 555Wp (Sine Energy, 2023).

$$N_p = \frac{79086}{555} \cong 143 \text{ painéis} \quad (10)$$

Como foi aproximado o valor da quantidade de painéis, foi realizado uma correção da potência máxima, portanto, passa a ser 79,37 kWp. Logo, a princípio será necessária a utilização de 143 painéis com área total de 369,73 m<sup>2</sup>.

### 4.4 DIMENSIONAMENTO NA ÁREA DISPONÍVEL

Ao analisar as áreas disponíveis do prédio de Mirassol, foi constatado que sua área total para o prédio de instalação de interesse é de aproximadamente 1161 metros quadrados (CAMPUS Maps, 2023), conforme observado na FIGURA 15.



FONTE: CAMPUS MAPS (2023).

A partir da vista aérea da unidade de Mirassol, verificou-se os caimentos do telhado, para uma melhor instalações dos painéis. De acordo com a FIGURA 16, a área que melhor se encaixa para instalação das placas solares mede

aproximadamente 739,50m<sup>2</sup>, ou seja, quase 50% maior do que o necessário para instalação dos painéis. Esse valor pode ser descrito como as distâncias necessárias para garantir a manutenção da cobertura como limpeza, reparos e ainda considera distâncias relevantes de separação entre as placas solares.

FIGURA 16 – CAIMENTO DAS COBERTURAS E ÁREA DE ANÁLISE.



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2023).

O critério de seleção dessas áreas de instalação foi definido como a superfície que melhor absorve radiação solar levando em consideração que algumas das regiões com menor inclinação mesmo não estando ortogonal à trajetória do sol, consegue aproveitar melhor o tempo de exposição. O mesmo se encaixa nas regiões de maior inclinação, tendo em vista que essas estão na maior parte do tempo, ortogonal à trajetória do sol e estarão expostas por mais tempo a radiação solar. Ao contrário das regiões escolhidas para instalação dos painéis, as demais regiões conseguem até ter um bom rendimento quanto a captação de radiação solar, no entanto, os fatores apresentados acima descrevem um melhor desempenho para as regiões definidas.

#### 4.5 VISUALIZAÇÃO DO PROJETO

Com a ajuda de um drone cedido à orientadora, foi retirado fotos aéreas do prédio de Mirassol no horário das 14:00 horas, onde pode-se ter uma breve noção a área de contato do sol no telhado (FIGURA 17).

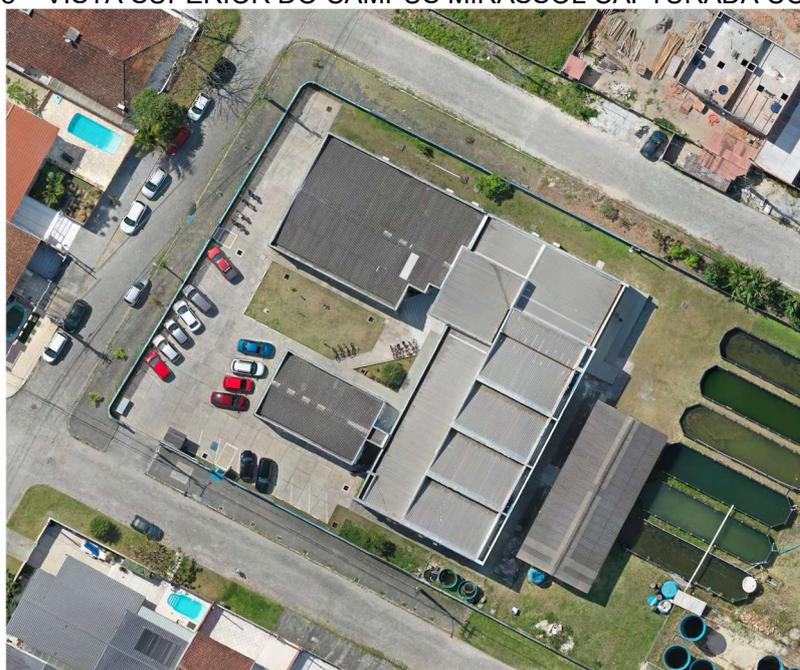
FIGURA 17 – VISTA DO CAMPUS MIRASSOL CAPTURADA COM DRONE.



FONTE: O autor (2023).

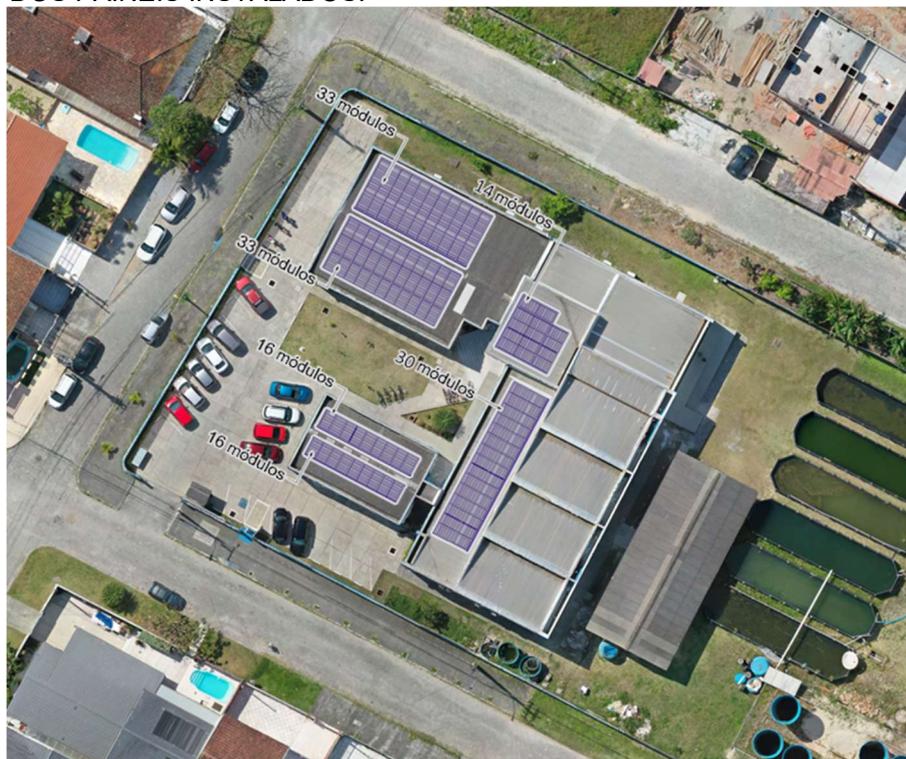
A FIGURA 17 mostra o local que é próximo do mar, com pouca interferência de árvores e prédios altos ao redor, o que permite melhor aproveitamento dos raios solares. Já na FIGURA 18, a vista superior do local fornecida através de um ortomosaico, ou seja, é um mosaico de fotografias aéreas ou de imagens de satélites ortorretificadas e realçadas para homogeneizar sua aparência com alta qualidade de captura e com transparência em zonas negativas (loais que a fotografia não identificou uma superfície), (IBGE, 2023).

FIGURA 18 – VISTA SUPERIOR DO CAMPUS MIRASSOL CAPTURADA COM DRONE.



FONTE: O autor (2023).

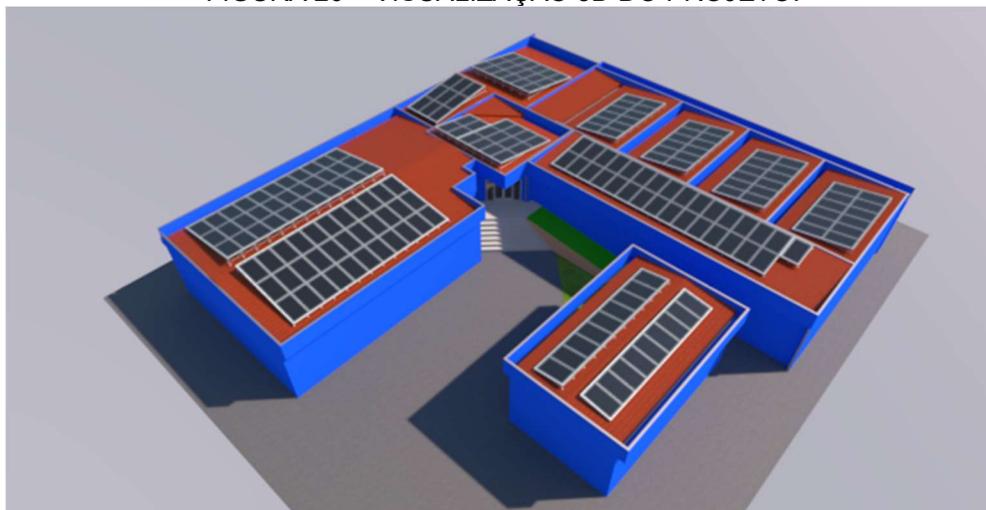
FIGURA 19 – VISTA SUPERIOR DO CAMPUS MIRASSOL CAPTURADA COM DRONE COM PROJEÇÃO DOS PAINÉIS INSTALADOS.



FONTE: O autor (2023).

Para uma melhor a visualização, o autor desenvolveu um projeto utilizando ferramentas BIM através do *software* da *Graphsoft*, *Archicad*, usando uma licença estudantil. Com isso, o desenvolvimento deste projeto em 3D, entendeu-se a posição dos módulos em cada trecho da cobertura no caso da utilização total da área disponível (FIGURA 20).

FIGURA 20 – VISUALIZAÇÃO 3D DO PROJETO.



FONTE: O autor (2023).

## 4.6 ANÁLISE FINANCEIRA

Na análise de viabilidade financeira de projetos fotovoltaicos, o período de *payback*, e estudo de viabilidade, desempenham um papel crucial. Assim, avaliam fatores como custos, capacidade do sistema, projeção de lucros, estimativa da fatura e viabilidade econômica, oferecendo uma visão abrangente da sustentabilidade financeira da energia solar e auxilia em decisões bem fundamentadas sobre a adoção de fontes de energia limpa e renovável.

### 4.6.1 ORÇAMENTO

Foi solicitado um orçamento com diversas empresas do paraná, no entanto, apenas uma que já possui clientes nas proximidades do campus retornou com o pedido completo e detalhado, contendo os custos com o kit solar (módulos fotovoltaicos, *string box* e inversores), a estrutura met lica de sustentac o das placas, a taxa de Assinatura de Responsabilidade Técnica (ART), e ainda a mão de obra do projeto. O levantamento de custos orçamentários é a principal etapa na análise financeira, pois influencia diretamente na tomada de decisões para a aprovação do projeto e prevê uma estimativa de rentabilidade do projeto.

TABELA 3 – RELAÇÃO DOS ITENS ORÇADOS.

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>
Perfil de Alumínio 55cm baixo	400
Estrutura met�lica de mini trilho p/ 4 módulos sem perfil	40
Conector SC4 macho/femea 1500v	32
Inversor 220v trifásico 75kW MAX 75KTL3-XL2	1
Módulo solar 555W monocristalino SN-555 144	160
Cabo PV 1,8KVCC 6mm cor preto – bobina 500mts	1
Cabo PV 1,8KVCC 6mm cor vermelho – bobina 500mts	1

FONTE: Adaptado de MARINGÁ SOLAR (2023).

O valor total do investimento mais mão de obra orçado pela empresa Maringá Solar   de R\$ 177.267,00 com previsão de retorno em 3 anos e meio.

#### 4.6.2 GERAÇÃO TEÓRICA APROXIMADA DE ENERGIA

Além disso, realizou-se o cálculo dos painéis, onde é preciso encontrar a geração teórica de energia. O cálculo da geração teórica de energia é bem simples, a partir da equação 1 e multiplicando pela taxa de desempenho esperado e pela irradiação média mensal, conforme eq. (11):

$$Eg = P * I * \eta * d \quad [kWh] \quad (11)$$

Onde:

- $I$ : Irradiação solar média mensal;
- $\eta$ : Taxa de desempenho esperado;
- $d$ : Tempo em dias.

Com os dados já obtidos, pode-se encontrar,  $Eg$ , para cada mês durante um ano, com resultados demonstrados na TABELA 4.

TABELA 4 – GERAÇÃO TEÓRICA DE ENERGIA.

Mês	Nº de dias	Irradiação solar (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	Potência de Pico (kWp)	Taxa de desempenho (Td)	Geração teórica de Energia (kWh)
Jan	31	4,91	79,37	0,8	9664,73
Fev	28	5,09	79,37	0,8	9049,45
Mar	31	4,62	79,37	0,8	9093,90
Abr	30	4,18	79,37	0,8	7962,40
Mai	31	3,78	79,37	0,8	7440,46
Jun	30	3,3	79,37	0,8	6286,10
Jul	31	3,23	79,37	0,8	6357,85
Ago	31	3,91	79,37	0,8	7696,35
Set	30	3,55	79,37	0,8	6762,32
Out	31	3,81	79,37	0,8	7499,51
Nov	30	4,49	79,37	0,8	8552,91
Dez	31	4,81	79,37	0,8	9467,89
<b>Energia gerada no ano</b>					<b>95833,88</b>

FONTE: O autor (2023).

#### 4.6.3 CRÉDITOS ACUMULADOS COM A GERAÇÃO TEÓRICA DE ENERGIA

É possível verificar os créditos acumulados na unidade consumidora, assim, compara-se os dados de consumo mensal, com a geração da energia calculada. Os valores positivos são o consumo excedente, sendo direcionada a distribuidora local como créditos para serem abatidos na energia, conforme a TABELA 5.

TABELA 5 – CRÉDITOS TEÓRICOS GERADOS APÓS INSTALAÇÃO DO SISTEMA.

Mês	Consumo mensal (kWh)	Geração teórica (kWh)	Diferença (kWh)	Créditos acumulados (kWh)
Jan	8726	9664,73	938,73	938,73
Fev	8325	9049,45	724,45	1663,18
Mar	7920	9093,90	1173,90	2837,07
Abr	8866	7962,40	-903,60	1933,47
Mai	7490	7440,46	-49,54	1883,93
Jun	7986	6286,10	-1699,90	184,04
Jul	9024	6357,85	-2666,15	-2482,11
Ago	5968	7696,35	1728,35	-753,76
Set	6183	6762,32	579,32	-174,43
Out	6585	7499,51	914,51	740,08
Nov	7564	8552,91	988,91	1728,99
Dez	7670	9467,89	1797,89	3526,88
<b>Total</b>	<b>92307</b>	<b>95833,88</b>	<b>3526,88</b>	<b>3526,88</b>

FONTE: O autor (2023).

Os valores em vermelho são dos meses com menor incidência da radiação, por isso, a geração de energia é menor, ou seja, o consumo é maior. Entretanto, os valores em vermelho não significam custo a mais na fatura do consumidor, apenas indicam que para aquele mês a quantidade de energia gerada não foi suficiente.

Para uma estimativa a longo prazo, foi realizado uma análise da energia gerada pelo sistema ao longo da vida útil do projeto, sendo este prazo de 25 anos (TABELA 6). É preciso levar em consideração também, a vida útil do sistema fotovoltaico sofrendo degradação ao longo dos anos, sendo 2% no primeiro ano, e 0,6% a menos de rendimento por ano a partir do segundo ano.

TABELA 6 – ECONOMIA ANUAL E VALOR DE CONSUMO ACUMULADO DO PROJETO.

Ano	Consumo anual (kWh)	Geração teórica (kWh)	Diferença (kWh)	Créditos acumulados (kWh)
0	92307	95834	3527	3527
1	92307	93917	1610	5137
2	92307	93354	1047	6184
3	92307	92794	487	6670
4	92307	92237	-70	6600
5	92307	91683	-624	5977
6	92307	91133	-1174	4803
7	92307	90586	-1721	3082
8	92307	90043	-2264	818
9	92307	89503	-2804	-1986
10	92307	88966	-3341	-5327
11	92307	88432	-3875	-9202
12	92307	87901	-4406	-13608
13	92307	87374	-4933	-18541
14	92307	86850	-5457	-23998
15	92307	86329	-5978	-29977
16	92307	85811	-6496	-36473
17	92307	85296	-7011	-43485
18	92307	84784	-7523	-51008
19	92307	84275	-8032	-59039
20	92307	83770	-8537	-67577
21	92307	83267	-9040	-76617
22	92307	82767	-9540	-86156
23	92307	82271	-10036	-96193
24	92307	81777	-10530	-106722
25	92307	81286	-11021	-117743

FONTE: O autor (2023).

Vale destacar que é possível utilizar os créditos já acumulados dos meses anteriores para compensar os meses de menor produção. Os valores acumulados pelo sistema de geração podem ser armazenados por até 60 meses, portanto, para o pré cálculo do projeto, o valor total acumulado foi negativo, e significa que o sistema precisa de correção da potência de pico para se tornar viável.

#### 4.7 CORREÇÃO DA POTÊNCIA DE PICO

Após verificar que os créditos acumulados ficaram negativos antes da metade da vida útil do projeto, percebe-se que o projeto não atingiu a quantidade necessária de energia acumulada, o que significa a potência de pico está muito baixa, e a variação

do consumo de energia da unidade consumidora está muito grande, portanto, visando para que o projeto de 80% também na vida útil, é necessário aumentar a potência dos módulos solares ou ainda, aumentar a quantidade de módulos solares, para que o projeto de torne viável, funcional e com desempenho positivo ao final de sua vida útil.

Desta maneira, realizando uma verificação no vigésimo primeiro ano (ano que o projeto atinge 80% da vida útil), com o valor do primeiro ano, tem-se uma variação de 12,06% na geração de energia, o que significa que a potência de pico deve ser de aproximadamente 88,9 kWp. Além disso, aumentando a quantidade de painéis para 160 conforme a quantidade contida no orçamento, resultaria em uma potência de pico equivalente a 88,8kWp que é aproximadamente a potência de pico esperada e maior que o primeiro valor utilizado, o que se encaixa na correção. Após a correção, foi inserido os valores de consumo teórico acumulado na TABELA 7.

Como verificado, o valor da quantidade de painéis orçado pela empresa Maringá Solar resulta em um rendimento ótimo da energia solar gerada, portanto, ao final da vida útil de projeto, toda energia gerada atende a demanda da unidade consumidora.

TABELA 7 – CRÉDITOS DO SISTEMA DURANTE SUA VIDA ÚTIL APÓS CORREÇÃO.

(continua)

<b>Ano</b>	<b>Consumo anual (kWh)</b>	<b>Geração teórica (kWh)</b>	<b>Diferença (kWh)</b>	<b>Créditos acumulados (kWh)</b>
0	92307	107220	14913	14913
1	92307	105076	12769	27682
2	92307	104445	12138	39820
3	92307	103818	11511	51331
4	92307	103196	10889	62220
5	92307	102576	10269	72489
6	92307	101961	9654	82143
7	92307	101349	9042	91185
8	92307	100741	8434	99619
9	92307	100137	7830	107449
10	92307	99536	7229	114677
11	92307	98939	6632	121309
12	92307	98345	6038	127347
13	92307	97755	5448	132795
14	92307	97168	4861	137656
15	92307	96585	4278	141934
16	92307	96006	3699	145633

TABELA 8 – CRÉDITOS DO SISTEMA DURANTE SUA VIDA ÚTIL APÓS CORREÇÃO.

(conclusão)				
Ano	Consumo anual (kWh)	Geração teórica (kWh)	Diferença (kWh)	Créditos acumulados (kWh)
17	92307	95430	3123	148756
18	92307	94857	2550	151306
19	92307	94288	1981	153287
20	92307	93722	1415	154702
21	92307	93160	853	155555
22	92307	92601	294	155849
23	92307	92045	-262	155588
24	92307	91493	-814	154774
25	92307	90944	-1363	153411

FONTE: O autor (2023).

#### 4.8 FATURA DE ENERGIA PARA O CUSTO DE DISPONIBILIDADE

O faturamento é composto em energia elétrica de consumo Taxa de Energia (TE) e Taxa de Utilização do Sistema de Distribuição (TUSD), ambas, podem ser de hora Ponta, e/ou hora Fora Ponta. A energia no horário de Ponta, é a energia consumida no horário do dia com maior consumo, geralmente é das 18 as 21horas. Já a energia no horário de Fora ponta é a energia consumida nos demais horários do dia. Existe ainda a energia no horário intermediário que é das 1 até as 1:30h, mas para este trabalho é irrelevante.

O projeto considera o somatório da hora de Ponta com a hora de Fora Ponta, sendo cobrado a TE e a TUSD. As informações utilizadas nesta subseção foram retiradas da tarifa de energia do mês de maio, mês com a bandeira verde, sendo esse o período que oferece condições favoráveis de geração de energia e, portanto, sem cobranças. Devem ser adotadas algumas considerações:

- Custo de disponibilidade do sistema elétrico: 100 kWh;
- Bandeira tarifária
  - Cor verde, logo, sem cobranças adicionais
- Tarifa de energia
  - Energia elétrica Ponta total: R\$1,416 a cada kWh;
  - Energia elétrica Fora Ponta total: R\$0,358 a cada kWh;
  - Demanda TUSD total: R\$34,55 a cada kW;
- Tarifa de energia com tributos

- Energia elétrica Ponta total: R\$1,798 a cada kWh;
- Energia elétrica Fora Ponta total: R\$0,455 a cada kWh;
- Demanda TUSD total: R\$40,649 a cada kW;
- Tributos
  - ICMS 18%;
  - PIS/PASEP 0,72%;
  - COFINS 3,29%;
- Imposto Retido sobre tributos

Para cada tipo de tributo, uma pequena quantia mensal do valor da fatura é restituída, sendo ainda, uma parcela devido ao imposto de renda de pessoa jurídica (IRPJ), que varia de acordo com o valor dos itens da fatura, conforme TABELA 8.

- IMP. RET. PIS 0,65%
- IMP. RET. ICMS 3,00%;
- IMP. RET. CSLL 1,00%;
- IMP. RET. IRPJ 1,20%;
- IMP. RET. IRPJ 4,80%;

FIGURA 21 – DETALHAMENTO DOS TRIBUTOS DA FATURA DA UC.

Tributo	Base de Cálc. (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	5.454,16	18%	981,74
COFINS	4.675,32	3,29%	153,82
PIS	4.675,32	0,72%	33,66
IMP.RET.	4.808,26	1,20%	-57,67
IMP.RET.	848,83	4,80%	-40,74
IMP.RET.	5.657,09	0,65%	-36,74
IMP.RET.	5.657,09	3%	-169,69
IMP.RET.	5.657,09	1%	-56,55

FONTE: Adaptado de COPEL (2023).

- Custo de Iluminação Pública (CIP)

De acordo com os artigos 77 e 79, parágrafos II e III do Código Tributário Nacional, todo tipo de imposto gerado para benefício dos serviços públicos de aproveitamento comum não pode ser cobrado de instituições federal que provem contribuições para o meio público, onde a universidade federal se encaixa.

Foi verificado que com a instalação do sistema solar, durante o período de análise de um ano houve uma economia incrivelmente significativa de quase 99% ao mês (TABELA 9). Percebe-se ainda, que o valor pago é referente ao mínimo cobrado

pela concessionária para o sistema trifásico, com pequena variação devido aos tributos que variam conforme o horário de uso da energia.

TABELA 9 – COMPARATIVO DA FATURA DE ENERGIA COM E SEM O SISTEMA INSTALADO.

Mês	Fatura com sistema instalado (R\$)	Fatura sem sistema instalado (R\$)	Porcentagem de economia (%)	Economia Mensal (R\$)
Jan	62,09	5418,27	98,85	5356,18
Fev	58,18	4843,89	98,80	4785,71
Mar	65,67	5200,76	98,74	5135,09
Abr	67,48	5982,96	98,87	5915,48
Mai	65,63	4915,54	98,66	4849,91
Jun	66,31	5295,7	98,75	5229,39
Jul	70,18	6333,13	98,89	6262,95
Ago	68,85	4108,97	98,32	4040,12
Set	69,95	4324,74	98,38	4254,79
Out	62,43	4111,14	98,48	4048,71
Nov	60,37	4566,75	98,68	4506,38
Dez	63,36	4859,48	98,70	4796,12
<b>Total</b>	<b>780,51</b>	<b>59961,33</b>	<b>1184,13</b>	<b>59180,82</b>

FONTE: O autor (2023).

#### 4.8.1 VIABILIDADE ECONÔMICA

Pode-se estabelecer que a rentabilidade de um sistema solar se caracteriza pela situação em que o montante da fatura após a implementação do projeto é inferior ao montante que seria faturado sem o sistema, resultando no que chamamos de lucro. Esse lucro é representado pela diferença entre esses valores, podendo ser positiva ou negativa. Inicialmente, é necessário realizar projeções dos custos das faturas ao longo da vida útil do sistema, e para que essas estimativas se alinhem com a realidade, vários parâmetros precisam ser ajustados anualmente. Isso engloba elementos como a taxa unitária da tarifa de energia e a categoria tarifária em vigor.

É relevante destacar que se pode determinar a taxa média de ajuste da tarifa de energia com base no histórico disponível na plataforma *online* da COPEL, onde são listados os ajustes anuais dos últimos 12 anos. A taxa aplicada nos cálculos deste estudo é calculada como a média desses valores, proporcionando uma base sólida para análises futuras, conforme a TABELA 10.

TABELA 10 – RESOLUÇÕES DE REAJUSTES TARIFÁRIOS DOS ÚLTIMOS 10 ANOS.

Resolução	Vigência	Motivo	Reajuste médio imposto
3209/2023	24/06/2023	Reajuste tarifário anual	10,50%
3049/2022	24/06/2022	Reajuste tarifário anual	4,90%
2886/2021	24/06/2021	Revisão tarifária periódica	9,89%
2704/2020	24/06/2020	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%
<b>Média do período</b>			<b>7,83%</b>

FONTE: Adaptado de COPEL (2023).

A TABELA 10 apresenta a economia anual e o acumulado do projeto. Além disso, para o cálculo da projeção de faturamento para a vida útil do projeto, considera-se:

- Para situação com projeto implantado:
  - Custo de disponibilidade: 100 kWh;
  - Consumo anual: 1.200 kWh;
- Para situação sem o projeto implantado:
  - Consumo anual: 92.307 kWh;
  - Reajuste tarifário anual: 7,83% a.a.

TABELA 11 – ECONOMIA ANUAL E VALOR ACUMULADO DO PROJETO APROXIMADO.

(continua)

Ano	Valor anual da fatura com o projeto instalado	Valor anual da fatura sem o projeto instalado	Diferença	Valor acumulado (kWh)
0	-	-	-	<b>-R\$ 177.267,00</b>
1	R\$ 780,51	R\$ 59.961,33	R\$ 59.180,82	<b>-R\$ 118.086,18</b>
2	R\$ 841,62	R\$ 64.656,30	R\$ 63.814,68	<b>-R\$ 54.271,50</b>
3	R\$ 907,52	R\$ 69.718,89	R\$ 68.811,37	R\$ 14.539,87
4	R\$ 978,58	R\$ 75.177,88	R\$ 74.199,30	R\$ 88.739,18
5	R\$ 1.055,20	R\$ 81.064,31	R\$ 80.009,11	R\$ 168.748,28
6	R\$ 1.137,82	R\$ 87.411,64	R\$ 86.273,82	R\$ 255.022,10

TABELA 12 – ECONOMIA ANUAL E VALOR ACUMULADO DO PROJETO APROXIMADO.

(conclusão)

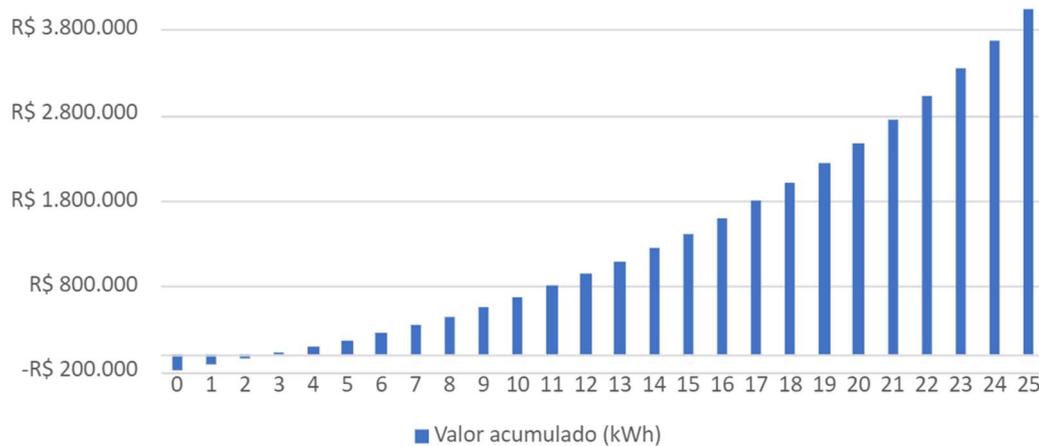
Ano	Valor anual da fatura com o projeto instalado	Valor anual da fatura sem o projeto instalado	Diferença	Valor acumulado (kWh)
7	R\$ 1.226,92	R\$ 94.255,97	R\$ 93.029,06	R\$ 348.051,16
8	R\$ 1.322,98	R\$ 101.636,22	R\$ 100.313,23	R\$ 448.364,40
9	R\$ 1.426,57	R\$ 109.594,33	R\$ 108.167,76	R\$ 556.532,16
10	R\$ 1.538,27	R\$ 118.175,57	R\$ 116.637,30	R\$ 673.169,45
11	R\$ 1.658,72	R\$ 127.428,72	R\$ 125.770,00	R\$ 798.939,45
12	R\$ 1.788,60	R\$ 137.406,39	R\$ 135.617,79	R\$ 934.557,24
13	R\$ 1.928,64	R\$ 148.165,31	R\$ 146.236,66	R\$ 1.080.793,90
14	R\$ 2.079,66	R\$ 159.766,65	R\$ 157.686,99	R\$ 1.238.480,89
15	R\$ 2.242,49	R\$ 172.276,38	R\$ 170.033,88	R\$ 1.408.514,77
16	R\$ 2.418,08	R\$ 185.765,62	R\$ 183.347,54	R\$ 1.591.862,31
17	R\$ 2.607,42	R\$ 200.311,07	R\$ 197.703,65	R\$ 1.789.565,96
18	R\$ 2.811,58	R\$ 215.995,42	R\$ 213.183,84	R\$ 2.002.749,80
19	R\$ 3.031,72	R\$ 232.907,86	R\$ 229.876,14	R\$ 2.232.625,94
20	R\$ 3.269,11	R\$ 251.144,55	R\$ 247.875,44	R\$ 2.480.501,38
21	R\$ 3.525,08	R\$ 270.809,17	R\$ 267.284,09	R\$ 2.747.785,47
22	R\$ 3.801,09	R\$ 292.013,52	R\$ 288.212,43	R\$ 3.035.997,90
23	R\$ 4.098,72	R\$ 314.878,18	R\$ 310.779,46	R\$ 3.346.777,36
24	R\$ 4.419,65	R\$ 339.533,15	R\$ 335.113,50	R\$ 3.681.890,86
25	R\$ 4.765,71	R\$ 366.118,59	R\$ 361.352,88	R\$ 4.043.243,74
	<b>Lucro</b>		<b>R\$ 4.220.510,74</b>	<b>R\$ 4.043.243,74</b>

FONTE: O autor (2023).

É verificado que a partir do final do ano 3 o sistema começa a gerar lucros, pois o valor de *Payback* é pago nesse período de aproximadamente 3 anos e meio, conforme a empresa Maringá Solar anunciou no orçamento. Ao fim da vida útil do projeto, o valor economizado chega a aproximadamente R\$ 4.220.510,74, sendo o valor acumulado de aproximadamente R\$ 4.043.243,74 conforme a TABELA 10.

GRÁFICO 4 – VALOR ACUMULADO AO LONGO DOS ANOS.

Valor acumulado ao longo dos anos (kWh)



FONTE: O autor (2023).

GRÁFICO 5 – VALOR DA FATURA COM E SEM O SISTEMA INSTALADO.

Valor da fatura com e sem o sistema instalado, ao longo dos anos



FONTE: O autor (2023).

Portanto, após analisar os GRÁFICOS 4 e 5, verificou-se que o sistema instalado somente trará benefícios na fatura, considerando que sempre haverá ajuste positivo nas faturas anualmente, o sistema de energia solar terá uma eficiência de quase 99% comparado ao valor das faturas nos anos futuros.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste trabalho de conclusão de curso possibilitou compreender com eficiência a atribuição dos painéis solares ao Campus de Mirassol da Universidade Federal do Paraná. Levando em consideração que a demanda no local é alta devido aos equipamentos em laboratórios e de uso geral como Ar-Condicionado, são os principais equipamentos elétricos que com seu uso, aumentam significativamente o consumo e por consequência o valor da fatura de energia elétrica.

A partir do trabalho apresentado, pode-se entender como funciona todo o sistema fotovoltaico, suas principais atribuições e funcionalidades de equipamentos, com isso, todo sistema de equipamentos fotovoltaicos a serem utilizados no projeto na opção *on grid*.

Foi verificada a potência pico no pré cálculo e a quantidade de módulos solares, onde após verificação de projeto na sua vida útil, foi constatada a inviabilidade do projeto, sendo necessário um reajuste no parâmetro da potência de pico aumentando a quantidade de módulos para a quantidade orçada pela empresa e o valor aumentou para 88,90 kWp, resultando assim na viabilidade do projeto, e garantindo uma economia para o fim da sua vida útil de 25 anos de mais de 4.000.000,00 de reais que seriam gastos com pagamento da fatura de energia elétrica.

De acordo com os cálculos, o retorno do dinheiro investido no projeto chamado de *payback* será de 3,5 anos, ou seja, todo valor que seria utilizado para pagar as faturas de energia elétrica nesse período, será utilizado para pagamento da implementação do projeto no campus. E então, toda a economia após o *payback* poderia ser direcionada a outros projetos para a comunidade acadêmica e local.

O estudo ainda menciona, a possibilidade de toda a energia acumulada como crédito pela concessionária local ser distribuída a todas as unidades consumidoras que estejam cadastradas no mesmo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ), onde possivelmente, o prédio do Centro de Estudos do Mar (CEM) e o prédio azul possam ser beneficiados com o projeto.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 16690. Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto. Brasil. 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 5410. Instalações elétricas de baixa tensão. Brasil. 2004.

BRAGA, Renata Pereira. Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações. 80. TCC – UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

BV Inspira. Energia sustentável: conheça os benefícios e tipos que existem. BV Inspira, 2023. Disponível em: <https://www.bv.com.br/bv-inspira/financiamento-para-energia-solar/conheca-os-beneficios-da-energia-sustentavel>. Acesso em: 03/07/2023.

CAMPUS MAP. Registro de informações de campus da UFPR. Disponível em: <https://campusmap.ufpr.br/>. Acesso em: 05/07/2023.

CARIUS, Thiago. Como ler a fatura da COPEL com ENERGIA SOLAR. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5cwFT1KUaHQ>. Acesso em: 25/10/2023.

CASTRO, Rui. (2011). Recurso e Tecnologias Solares. In Castro, Rui. Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica. IST Press. Cap. 7, p.308-354.

CERQUEIRA, Carla *apud* JUSBRASIL. Taxa de Iluminação Pública X Contribuição de Iluminação Pública. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/taxa-de-iluminacao-publica-x-contribuicao-de-iluminacao-publica/760616267>. Acessado em: 11/10/2023.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. Tarifas de energia elétrica. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acessado em: 20/10/2023.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. Tributos. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tributos/>. Acesso em: 20/10/2023.

CRABTREE, George W.; Lewis, Nathan S.. Solar Energy Conversion, Março 2007. Disponível em: <https://authors.library.caltech.edu/7721/1/CRApt07.pdf>. Acesso em: 03/07/2023.

CRESESB. Potencial Solar. SunData v3.0. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 25/10/2023.

GROWATT. Empresa fornecedora de suplementos elétricos renováveis. Disponível em: <https://br.growatt.com/>. Acessado em: 19/10/2023

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ortomosaicos. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/imagens-do-territorio/imagens-corrigidas/10852-ortomosaicos.html/>. Acessado em: 01/10/2023.

JINKO SOLAR. Manual de instruções do módulo fotovoltaico Tiger Pro 60HC 440-460 Watt. Disponível em: <https://authors.library.caltech.edu/7721/1/CRApt07.pdf>. Acesso em: 01/07/2023.

JOIRIS, *apud* Energês. Entendendo a fatura de energia. Disponível em: <https://energes.com.br/entendendo-a-fatura-de-energia-2/>. Acessado em: 11/10/2023.

JORNAL CONTÁBIL *apud* TAX PRÁTICO. Como conseguir a restituição de ICMS na conta de luz. Disponível em: <https://taxpratico.com.br/pagina/como-conseguir-a-restituicao-de-icms-na-conta-de-luz>. Acesso em: 12/11/2023

MARINGÁ SOLAR. Empresa de instalações e projetos de sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <https://maringasolar.com/>. Acessado em: 01/10/2023.

MONTEIRO, Ana Catarina Cavaco. Aplicação de painéis solares em edifícios públicos para autoconsumo fotovoltaico. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018. Dissertação de mestrado.

P. SOLAR. Controlador de carga: o que é, qual a função, como funciona, tipos e quanto custa. Portal Solar, 2023 Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/controlador-de-carga>. Acesso em: 03/07/2023.

PHB Solar. Empresa fornecedora de suplementos fotovoltaicos. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/>. Acessado em: 01/07/2023.

PINHO, João; GALDINO, Marco *apud* CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 25/10/2023.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. Ementa da disciplina de Energia Solar Fotovoltaica. Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

SILVEIRA, Cláudia. Inconstitucionalidade da taxa de iluminação pública. Brasil: Instituto Brasileiro de Administração Municipal. 2021. Artigo.

SINE ENERGY. Empresa fornecedora de suplementos fotovoltaicos. Disponível em: <https://www.sine-energy.com/>. Acessado em: 01/10/2023.

SOLIS ENERGIA. Como funciona o medidor bidirecional da energia solar? Disponível em: <https://solisenergia.com.br/como-funciona-o-medidor-bidirecional-da-energia-solar/>. Acessado em: 10/10/2023.

SOUSA, Rafaela. "Energia Solar"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>. Acesso em 03 de julho de 2023.

VILLALVA, Marcelo *apud* CANAL SOLAR. Entenda os módulos fotovoltaicos bifaciais. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/modulos-fotovoltaicos-bifaciais/>. Acessado em: 10/10/2023.

VINTURINI, Mateus *apud* CANAL SOLAR. Entenda as especificações básicas dos componentes da string box. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>. Acessado em: 10/10/2023.