



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências
Campus de Rosana

WELINGTON SOUZA CEZILIO

Análise de implementação de painéis fotovoltaicos bifaciais em residências

Rosana - SP
2023

WELINGTON SOUZA CEZILIO

Análise de implementação de painéis fotovoltaicos bifaciais em residências

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria de Curso de Engenharia de
Energia do Campus de Rosana, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos requisitos
para obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia de Energia.

Orientador(a): Prof. Dr. José Francisco
Resende da Silva

Rosana - SP
2023

C425a Cezilio, Welington Souza
Análise de implementação de painéis fotovoltaicos
bifaciais em residências / Welington Souza Cezilio. --
Rosana, 2023
54 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado -
Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
Orientador: José Francisco Resende da Silva

1. Sistema Fotovoltaico. 2. Bifacial. 3. Residências. 4.
Monofacial. 5. Células. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências
Campus de Rosana

WELINGTON SOUZA CEZILIO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. Kleber Rocha de Oliveira
UNESP-Rosana

Prof. Dr. Lucas Teles de Faria
UNESP-Rosana

Novembro 2023

Dedico este trabalho
de modo especial, a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade e por tudo que tem feito em minha vida, pela família que me deu, a disposição de sobra para o meu desenvolvimento e para a jornada rumo ao meu propósito.

Ao meu pai José Carlos, minha mãe Geni Azevedo e meu irmão Afonso Neto por me incentivar e me amparar e em cada etapa da minha vida, sempre presentes e me sustentando em tudo que me foi necessária para me preparar para os vários desafios e tornando tudo isso possível.

Aos meus amigos e colegas pelo apoio, incentivo, estando ao meu lado nos momentos necessários da graduação.

Deixou um agradecimento enorme ao meu orientador de TCC Prof^o. Dr^o José Francisco Resende da Silva que aceitou o meu convite para ser o meu orientador, auxiliando e muito nesta etapa final da graduação

Em último, mas não com menor importância, venho agradecer aos professores, aos funcionários da UNESP - Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana por sempre estarem dispostos a ajudar. E com toda a estrutura da UNESP - Rosana e aprendizados que obtive, tenho a certeza que nada foi em vão, e que futuramente vou aproveitar o conhecimento adquirido nesses anos.

“Nada sucede ao homem que a sua natureza não seja capaz de suportar.”

Marco Aurélio

RESUMO

Na atualidade as fontes de energia limpas e renováveis são fortemente debatidas em vários lugares e está sendo vista como ótima alternativa para suprir a demanda de energia pela sociedade como um todo, seja por razões econômicas ou por motivação de menor emissão de carbono, consequentemente tem uma crescente na busca por estas fontes de energia. A energia proveniente dos painéis fotovoltaicos ganhou um grande destaque por ter uma instalação pouco complexa em questão de estrutura e ser acessível por uma parcela do público, por ter o preço dos painéis sendo reduzidos, além de possuir pouca manutenção e uma vida útil consideravelmente extensa. A enorme demanda por novas tecnologias na produção de módulos possibilita estudos para melhor aproveitá-la. Deste modo o objetivo do estudo é uma análise de implementação de um sistema solar bifacial em uma residência, pretendendo um melhor aproveitamento de geração por espaço instalado de sistema. A localidade da implementação foi o município de Rosana no interior do estado de São Paulo(SP), latitude 22° 34' 48" S e longitude 53° 03' 32" O. Com os dados climáticos da região sendo obtidos no CRESESB. No telhado da área de lazer da residência, foi comparado na análise os dados dos dois modelos de painéis, o bifacial e o monofacial, sendo ambos comparados na mesma estrutura para descobrir qual tem o melhor aproveitamento. A vantagem do bifacial é a geração pela face inferior que pode aumentar em até 25% a produção elétrica em cada painel. Com a aplicação do sistema fotovoltaico bifacial tem-se um valor de R\$ 12.104,25, referindo-se o valor total do projeto, uma diferença de R\$ 678,00 em comparação ao projeto com painéis monofaciais. E o Payback do projeto com módulos bifaciais é de 5,915 anos. O retorno no sistema fotovoltaico com painéis bifaciais é rápido apesar das alterações da Lei 14.300 de 2022.

PALAVRAS-CHAVE: Painéis; bifaciais; sistema; residências.

ABSTRACT

Currently, clean and renewable energy sources are heavily debated in some places and are being seen as a great alternative to meeting the energy demand of society as a whole, whether for economic reasons or for reasons of lower carbon emissions, consequently it has a increasing search for these energy sources. Energy from photovoltaic panels gained great prominence due to its installation being relatively uncomplex in terms of structure and being accessible to a portion of the public, due to the price of the panels being reduced, in addition to having little maintenance and a considerably long useful life. The enormous demand for new technologies in the production of modules allows studies to make better use of it. Therefore, the objective of the study is an analysis of the implementation of a bifacial solar system in a residence, aiming to make better use of generation through the installed space of the system. The implementation location was the municipality of Rosana in the interior of the state of São Paulo (SP), latitude 22° 34' 48" S and longitude 53° 03' 32" W. With the region's climate data being obtained from CRESESB. On the roof of the residence's leisure area, two panel models were compared in data analysis, bifacial and monofacial, both being compared in the same structure to discover which one has the best use. The advantage of bifacial is the generation on the lower face, which can increase the electrical production in each panel by up to 25%. With the application of the bifacial photovoltaic system there is a value of R\$ 12,104.25, referring to the total value of the project, a difference of R\$ 678.00 compared to the project with common panels. And the Payback for the project with bifacial modules is 5,915 years. The return on the photovoltaic system with bifacial panels quick despite the changes to Law 14.300 of 2022.

KEYWORDS: Panels; bifacials; system; residences.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Edificação em Ponta Grossa - PR.....	18
Figura 2. Microinversor conectado no painel individualmente.....	19
Figura 3. Sistema Conectado à Rede.....	20
Figura 4. Estrutura do módulo fotovoltaico monofaciais.....	21
Figura 5. Modo operante: Módulo monofacial e bifacial.....	22
Figura 6. Selo Procel.....	23
Figura 7. Curva I – V de corrente tensão de um painel fotovoltaico.....	24
Figura 8. Curva P – V de potência e tensão de um painel fotovoltaico.....	25
Figura 9. Painel com amperímetro conectado para mediação da corrente I_{sc}	26
Figura 10. Painel com voltímetro conectado para mediação da tensão V_{oc}	27
Figura 11. Placa Solar Fotovoltaica 555W Monocristalina Sunova 72MDH 30mm.....	28
Figura 12. Painel Solar 575W Monocristalino Bifacial Half-Cell Sine Energy - SN575-144MTB.....	30
Figura 13. Inversor solar fotovoltaico GROWATT on-grid.....	31
Figura 14. Instalação de módulos com a inclinação para painéis bifaciais em cobertura de concreto.....	32
Figura 15. Módulos solares bifaciais instalados em um pergolado de madeira.....	33
Figura 16. Painéis solares bifaciais instalados como cobertura em uma garagem.....	34
Figura 17. Vedação vertical Trafbor SL-0102AD.....	35
Figura 18. Aplicação da vedação Trafbor.....	36
Figura 19. Valores de irradiação solar em Rosana - SP.....	37
Figura 20. Irradiação solar em localidades próximas (plano horizontal).....	38
Figura 21. Telhado da análise da implementação na residência.....	38
Figura 22. Local da residência aonde será analisado a implementação.....	39
Figura 23. Conta de energia Elektro da residência.....	40
Figura 24. Valores consumo referentes aos meses anteriores(Conta de energia Elektro).....	41
Figura 25. Relação entre garantia e degradação dos módulos.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Mais energia solar no mundo ao final de 2023.....	14
Tabela 2. Especificações Paine Solar 555W Monocristalino.....	29
Tabela 3. Especificações Paine Solar 575W Monocristalino Bifacial.....	30
Tabela 4. Especificações Inversor solar fotovoltaico GROWATT on-grid.....	32
Tabela 5. Levantamento de dados de consumo de energia elétrica(Excel).....	43
Tabela 6. Irradiação solar diária média(Excel).....	43
Tabela 7. Potência de pico do projeto(Excel).....	44
Tabela 8. Valores de Instalações módulos fotovoltaicos monofaciais(Excel).....	44
Tabela 9. Valor referente a quantidade de inversores e preço da estrutura(Excel).....	45
Tabela 10. Valor Sistema Fotovoltaico Monofacial, Lucro, Imposto e Payback(Excel).....	46
Tabela 11. Valores de Instalações dos módulos fotovoltaicos bifaciais(Excel).....	46
Tabela 12. Valor Sistema Fotovoltaico Bifacial, Lucro, Imposto e Payback(Excel).....	47

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Objetivos gerais.....	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	15
2.2. INVERSORES	16
2.3. MICROINVERSORES.....	18
2.4. SISTEMA LIGADO À REDE(ON-GRID)	19
2.5. CÉLULAS, MÓDULOS FOTOVOLTAICOS MONOFACIAIS	21
2.6. CÉLULAS, MÓDULOS FOTOVOLTAICOS BIFACIAIS E SUAS TECNOLOGIAS	22
2.7. EFICIÊNCIA DAS PLACAS	23
2.8. POTÊNCIA DE PICO OU MÁXIMA POTÊNCIA (PMP)	24
2.9. TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA (VMP)	25
2.10. CORRENTE DE MÁXIMA POTÊNCIA (IMP)	25
2.11. CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO (ISC)	26
2.12. TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO (VOC)	26
3. METODOLOGIA.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5. CONCLUSÃO.....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente no setor solar fotovoltaico mundial, progressivamente mais países vem se destacando neste setor energético. O Brasil vem acompanhando este crescimento, tendo se aprimorado cada vez mais no setor. Uma das motivações de ganho do setor solar brasileiro foi a redução do preço dos módulos fotovoltaicos e a publicação da Normativa 482/2012, que determinou novos diretrizes para distribuição e geração no Brasil. Com a Normativa 482/2012, agora o cliente tem como base termos legais, para gerar e consumir a sua própria energia de modo eficiente, renovável e com nula produção de resíduos na geração de energia. Um fator consideravelmente bom do Brasil, é o clima que é predominantemente tropical, recebendo uma grande quantidade de radiação solar em todos os dias do ano. Com os índices variando de 5483 Wh/m^2 e 4444 Wh/m^2 entre as mais diferentes regiões do Brasil, segundo dados do CRESESB, (2023).

Por conta desse potencial brasileiro, é absolutamente provável que a execução de sistemas solares em comércios, indústrias e principalmente em residências, são ideias para o nosso cenário atual.

O financiamento é a escolha principal quando se fala de instalação solar, pois com ele podemos fazer a cobertura do projeto total ou parcial a depender da preferência do cliente, como por exemplo: Financiando cerca de 40% do seu sistema fotovoltaico com um prazo de 30 meses, com a taxa de juros do banco selecionado Santander de 1,04% ao mês, com um valor financiado de R\$ 15.300,00 e valor da parcela (R\$ 596,00)/mês. Outra opção é o financiamento total do projeto o mais utilizado entre as possibilidades, 100% do seu sistema solar com um prazo de 60 meses, com a taxa de juros do banco Santander de 1,18% ao mês, com um valor financiado de R\$ 25.500,00 e valor da parcela (R\$ 596,00)/mês (SANTANDER, 2023).

Com a ampla procura por painéis solares, os estudiosos da área desenvolvem cada vez mais, novas tecnologias como no caso dos painéis bifaciais.

Existem diversos países com grande investimento e necessidade da implementação de sistemas de energia solar. Com uma quantidade surpreendente de 392 gigawatts (GW), a China é o maior produtor disparado do setor solar em todo o mundo (GREENYELLOW, 2023). A China tem uma meta ousada de chegar nos 490 GW até o fim de 2023, considerando toda a capacidade total de energia que deriva dos painéis em todo o país, de acordo com a agência National Energy Administration (NEA), (PV MAGAZINE, 2023). A mesma conseguiu superar essa meta e chegou a 510GW instalado no segundo semestres de 2023.

Logo em seguida vem o investimento que também é alto dos Estados Unidos, que ficam com a segunda colocação neste ranking, com os seus 135,7 GW de capacidade instalada de energia fotovoltaica. Nos dias de hoje, 3,4% da eletricidade do país é proveniente de usinas de energia solar, segundo o instituto da U.S. Energy Information Administration- EIA (2023). A Alemanha recentemente viu o Japão passar da 4.^a posição para o 3.^o lugar considerando a energia solar, agora com um valor acumulado de 78,8 GW, (GREENYELLOW, 2023).

A Tabela 1 abaixo mostra os dados dos países com maior geração de energia solar a final do ano de 2023 com suas específicas potências de sistemas solares total.

Tabela 1- Mais energia solar no mundo ao final de 2023

1.	China (510 GW);
2.	Estados Unidos (141 GW);
3.	Japão (78,8 GW);
4.	Alemanha (73,9 GW);
5.	Índia (66,7 GW);
6.	Austrália (36,5 GW);
7.	Brasil (33 GW);
8.	Itália (27,37 GW);
9.	Holanda (26,6 GW);
10.	Coreia do Sul (21 GW).

Fonte: GreenYellow (2023).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Esse trabalho tem como objetivo, uma análise de implementação de um sistema solar bifacial em uma residência, visando um melhor aproveitamento de geração por espaço instalado de sistema.

1.1.2. Específico

- i) Esse projeto tem como intuito realizar uma análise de um sistema solar bifacial montado em uma residência, e averiguar como obter o melhor aproveitamento destes painéis;
- ii) Realizando uma análise comparativa com os painéis convencionais e averiguando a diferença entre ambos;
- iii) Dimensionamento de sistema, com valores atualizados;
- iv) Elaborar um estudo de viabilidade econômica, do projeto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

A energia solar provinda dos painéis fotovoltaicos está em contínuo crescimento no país e mundialmente, mas até algum tempo atrás o cenário era distinto. Até que em 2012, com a publicação da Resolução nº 482 que envolve a extensão de geração distribuída de pequeno porte que foi um setor que ganhou força no Brasil e que em 2020, alcançou a marca de 6 GW de potência instalada número alto comparado ao potencial instalado da época, de acordo com dados da ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) (GLOW SOLAR, 2021).

Em meados de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) consolidou a primeira Resolução Normativa, a REN nº482, que determinou as condições gerais para o acesso à microgeração e minigeração distribuída no Brasil, além de elaborar todo o sistema para que realizasse a compensação de energia elétrica. Contudo, com o passar dos anos, se fez indispensável alguns ajustes nesta resolução, com o propósito de diminuir os custos e o tempo para a conexão e expandir o público alvo, o que foi feito na Resolução nº 687, de 2015. E, a partir de então, é provável que toda e qualquer pessoa portadora de um CNPJ ou CPF, gere sua energia própria, proveniente de fontes renováveis (GLOW SOLAR, 2021).

A nova normativa do ano de 2022, teve algumas alterações de prazos, todas as disposições da Lei 14.300 que não dependem de maior especificação da ANEEL ou adequação dos sistemas das concessionárias, já podem ser aplicados de maneira imediata. A ANEEL, teve um prazo de 180 dias para regularizar a Lei, ou seja, atualizar a Resolução Normativa REN nº482 para evitar conflitos com a Lei 14.300 (GOV 2022).

As principais alterações da Lei 14.300/2022 foi em relação à potência instalada, que houve algumas mudanças na parte de minigeração distribuída, que para fontes não despacháveis reduziu o limite de 5MW, como era na REN482, para 3MW. E o limite maior de 75 kW (setenta e cinco quilowatts) se manteve, isso para sistemas conectados na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (GOV, 2022).

Em relação a compensação de Energia elétrica, antes da resolução da Lei 14.300 contava-se com um sistema de compensação total, que se refere a um sistema de compensação de 1 para 1. Ou seja, que era injetado na rede poderia ser consumido sem descontos por isso, mas evidente que, ainda pagando as taxas tributárias de PIS e COFINS, porém esse não tem relação direta com componentes tarifárias (GOV, 2022).

Contudo a partir do prazo do dia 07/01/2023, todos os projetos que serão requisitados para esse tipo de sistema elétrico que é o solar, deverá ser integrado no sistema de compensação parcial(atual), onde será necessário pagar o Fio B, referente a distribuidora de energia. O Fio B reduz em média de 30% do crédito injetado (GOV, 2022).

As residências brasileiras correspondem por 10,9% considerando o consumo final de energia do ano de avaliação de 2021 e aproximadamente 26,4% da eletricidade consumida no Brasil segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022). Equipamentos existentes com usos corriqueiros nas instalações da residência tem consumos consideráveis, como o compressor das geladeiras, motores de alguns outros equipamentos e restante dos aparelhos domésticos que são responsáveis por esse consumo, que é razoável na rede de distribuição elétrica e energética. Em comparação com as indústrias brasileiras esse número de consumo elétrico das moradias é um terço dos industriais que são 32,3% (EPE, 2022).

Assim a oportunidade de instalações solares pode ser a solução para a diminuição desta demanda da rede elétrica das residências em específico.

No período inicial de 2023, o Brasil alcançou uma potência instalada de energia solar de 24 GW, e no segundo semestre de 2023, o Brasil possui 33 GW de potência instalada (ENERGIA, 2023). Com essa resultante vinda da soma dos sistemas solares brasileiros de grande, pequeno e médio porte, o país teve uma crescente no ranking mundial de cinco colocação, saindo da 13.^a colocação em 2021 para a sétima ao final de 2023, considerando-se como um grande potencial solar futuro (GREENYELLOW, 2023).

Essa foi a única vez que o Brasil alcançou um lugar de relevância na lista dos dez predominantes países com maior potência acumulada de energia solar fotovoltaica (GREENYELLOW, 2023).

2.2. INVERSORES

É um equipamento que converte uma determinada tensão para outra, ou seja, faz uma conversão de uma tensão contínua (V_c) inicial para tensão alternada (V_a), que é composta por ondas senoidais com uma frequência que no Brasil é padrão de 60 Hz. A tensão na parte da saída do inversor, deve ser compatível com a tensão da rede elétrica que o equipamento irá pertencer, e na condição da rede a responsável pelos padrões é a concessionária. Os equipamentos avançados de hoje em dia possuem uma comunicação eficiente com os proprietários do sistema fotovoltaicos que tem amplas informações sobre o projeto solar em funcionamento de forma prática e computadorizada. Os inversores atuam a partir de

dispositivos, como transistores e tiristores provenientes de materiais semicondutores, com o atributo de fazer a inversão da tensão de entrada.

De acordo com PEREIRA, Osvaldo LS (2008) os inversores usados tem como funcionalidades:

- Conversão de tensão contínua para alternada, mantendo o mínimo de índice de distorção possível;
- Relatório de histórico de utilização: apresentados no próprio display do inversor ou por relatórios do mesmo;
- Responsável pelo rastreamento do Ponto de Máximo de Potência (MPPT), por meio da tensão e corrente dos módulos ajustar para máxima potência;
- Anti-ilhamento: se os painéis estiverem com níveis de corrente e tensão abaixo do mínimo do equipamento será desconectado do sistema.

No caso da aplicação de inversores para sistemas residenciais, o inversor tem que ser próprio para sistemas fotovoltaicos de minigeração, com valores de potência instalada menores do que 100kW, que é o limite destes tipos de instalações (VILLALVA, 2015). Como já é de conhecimento de especialista na área, os sistemas fotovoltaicos de microgeração são fortemente indicados para residências, comércios e indústrias, e com potência que não ultrapasse o valor de limitação. Para que possa ser enquadrar em microgeração, um exemplo, o sistema precisa que a potência total dos painéis ou o do inversor ou inversores seja igual ou inferior a 75 kW, como já foi explicado. Porém é importante ressaltar que esse valor padrão dessa capacidade instalada é sempre determinado pelo menor valor entre os conjuntos dos módulos, ou podendo ser considerado a potência dos inversores. Para demonstrar isso, abaixo temos uma imagem da instalação da empresa GLOW, para um cliente de uma edificação em Ponta Grossa - PR.

Figura 1 – Edificação em Ponta Grossa - PR



Fonte: GLOW SOLAR (2021).

Nesta instalação foi implementado 66 módulos de potência nominal de 345W cada painel, tendo como resultado 22,77kW de potência total dos painéis, e o inversor de 20kW. Nesta situação, foi considerado como potência instalada a potência do inversor, 20kW, de modo que este valor está dentro do limite previamente estabelecido para microgeração. Nesta circunstância o inversor foi adotado para a referência do valor do sistema, sendo assim este projeto se enquadra na microgeração.

Na minigeração, a potência do projeto é um pouco maior e demanda quase sempre de uma entrada em média tensão. Esta classificação não é muito o foco deste trabalho, porém pode ser muito eficiente se adaptada para o tipo de sistema fotovoltaico bifacial.

2.3. MICROINVERSORES

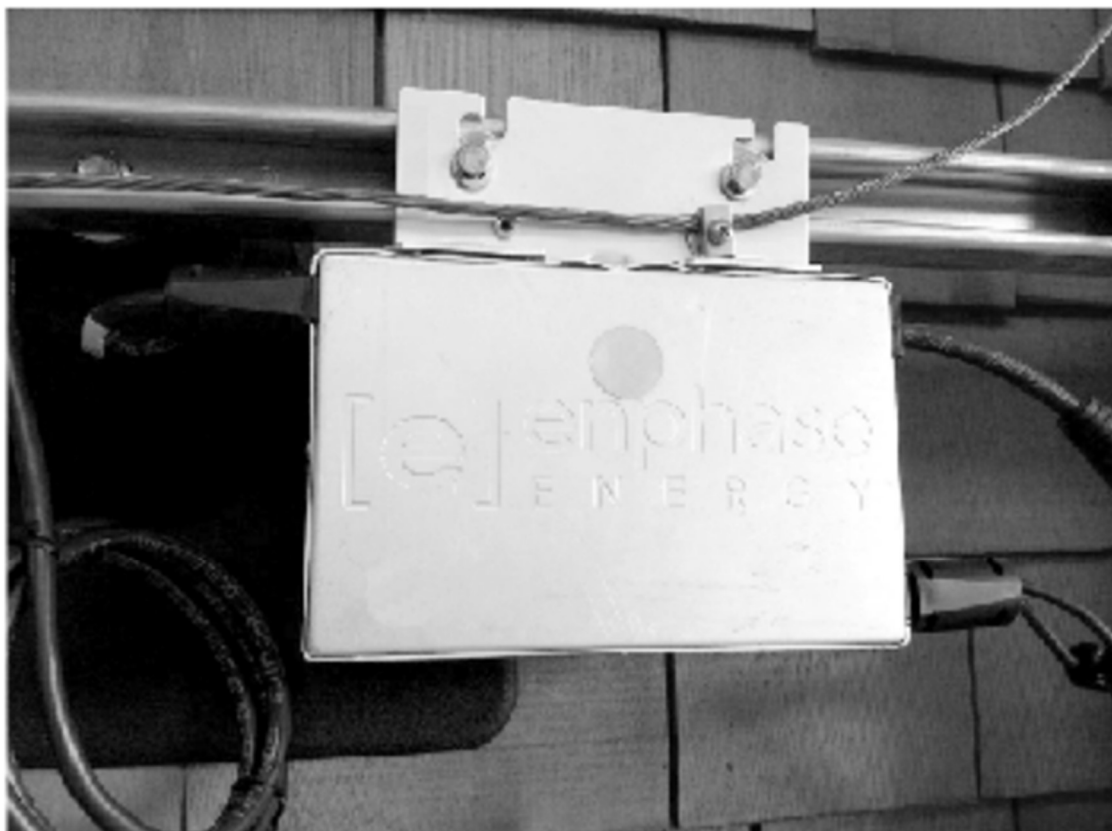
Entre os diversos tipos de inversores temos uma categoria de pequena potência projetado para operar com um único painel fotovoltaico. A nomenclatura usada para esses equipamentos é microinversores, são bastante utilizados em sistemas solares fotovoltaicos de pequeno porte residências (VILLALVA, 2015).

O diferencial destes equipamentos são justamente suas dimensões, que são bem menores que as dos inversores convencionais e por serem capazes de ser conectados diretamente nos

módulos solares. Sendo de fácil instalação e acoplados no próprio painel e a sua ligação elétrica é simplificada.

O agrupamento de painel e um microinversor é denominado de módulo CA integrado, com essa ligação a placa solar pode ser ligada diretamente na rede elétrica de corrente alternada convencional (VILLALVA, 2015). A figura a seguir mostra um microinversor instalado.

Figura 2 – Microinversor conectado no painel individualmente



Fonte: VILLALVA (2015).

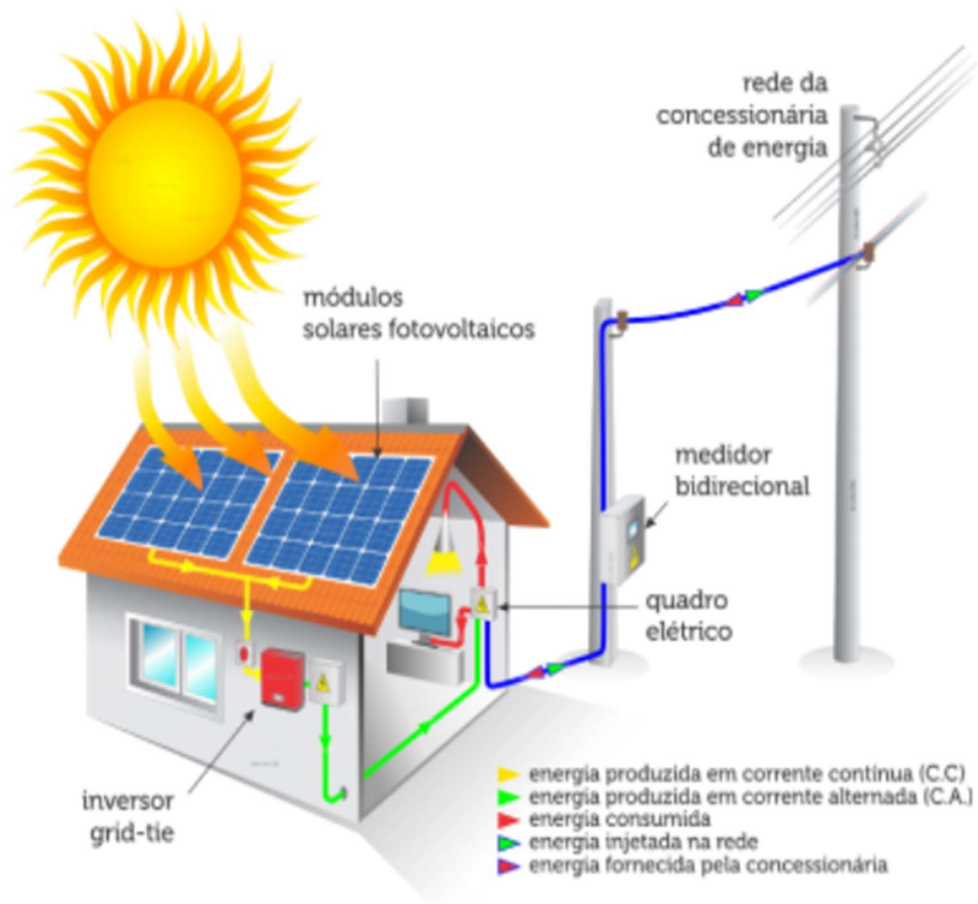
2.4. SISTEMA LIGADO À REDE(ON-GRID)

Temos dois tipos de sistemas conectados à rede (conhecidos On-grids), o primeiro é o sistema centralizado que consiste em uma usina grande ou média com unidade geradora de enorme potência. E o sistema distribuído, que seria instalado em residências e edifícios, sendo implementados geralmente em telhados, estruturas montadas, em alguns casos com função de cobertura de algum local, sendo essas estruturas pergolados ou até mesmo garagens. O sistema solar fotovoltaico on-grid (SFG), não tem como necessidade a utilização de baterias, pois boa parte da energia elétrica é consumida e o excedente é enviado a rede.

O SFG é basicamente composto por painéis e inversor grid-tie que convertem corrente contínua (CC) e alternada (CA), para que em seguida inversor altere a frequência da corrente gerada também, para que essa energia entre em sincronia com a frequência de rede elétrica, assim sendo capaz de entrar no sistema sem afetar o uso dos equipamentos utilizados nas residências (VILLALVA, 2015).

O funcionamento básico do SFG, os painéis absorvem a radiação direta do sol, gerando energia elétrica, essa por sua vez passa para o inversor convertendo para a tensão alternada, ideal para o consumo na residência e o excesso sendo enviado para rede, obtendo se crédito por essa energia, ou seja, a concessionária de energia elétrica da região, concede a rede elétrica que faz uma função de uma bateria (armazenar para usar depois), e com isso essa energia enviada para a rede é consumida e posteriormente é reembolsada em forma de crédito, para o consumo de energia nas horas em que o sistema não gera energia. Por se um sistema que é intermitente, não gerando energia de forma contínua no período noturno, e tendo uma diminuição em dias com muitas nuvens.

Figura 3 - Sistema Conectado à Rede



Fonte: LUZ SOLAR (2021).

2.5. CÉLULAS, MÓDULOS FOTOVOLTAICOS MONOFACIAIS

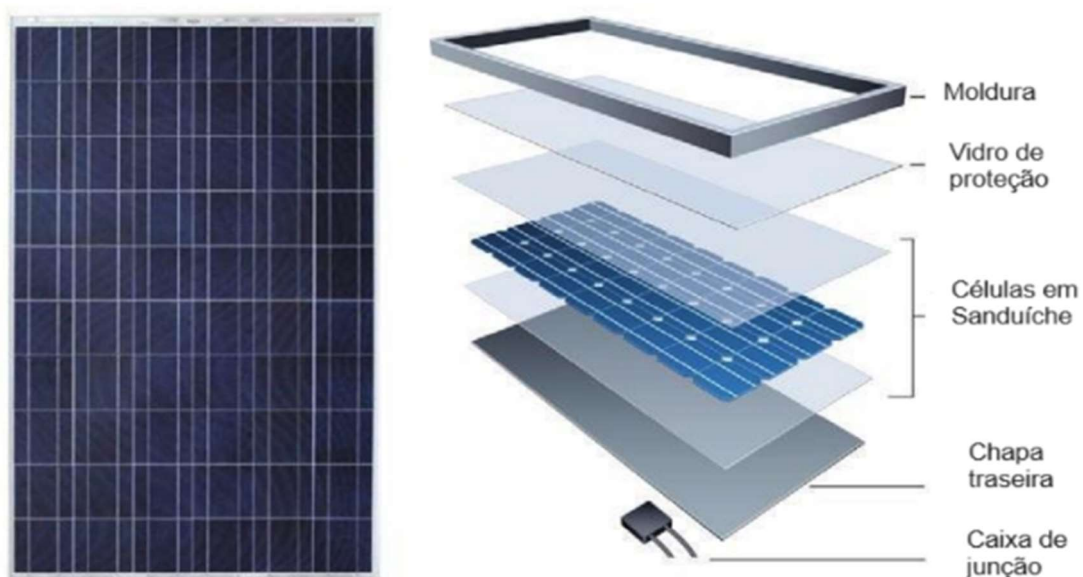
Segundo VILLALVA, Marcelo G. (2015), a transformação direta de radiação solar em eletricidade, denominada como efeito fotovoltaico, direciona os sistemas de geração de energia elétrica cuja fonte de energia é solar. Esse quesito de gerar uma corrente elétrica acontece por conta da dopagem e matérias semicondutores do painel, que com uma defasagem de elétrons em uma camada faz com que a energia que vem da radiação solar, transmita elétrons de uma camada para outra. Esse é o funcionamento de um painel comum, que possui os tipos policristalinos e o monocristalinos.

No caso da tecnologia dos painéis bifaciais, a superfície que absorve a radiação é tanto a superior quanto a inferior da placa absorvendo tanto a radiação direta e a refletida do sol (CANALSOLAR, 2023).

As células convencionais utilizadas nos sistemas fotovoltaicos monofaciais absorvem unicamente a luz na parte superior, onde o silício está ostensivo(exposto). No lado inferior das células tradicionais são compostas por uma camada opaca, deste modo são recobertas por uma faixa metálica, de pasta de prata, cobrindo toda a sua extensão, fator que é essencial para melhora das características elétricas limitando as resistências ôhmicas da célula, todavia isso impossibilita a entrada de raios solares pela face inferior do módulo. O painel com uma única face geradora de silício(monofacial), possui uma folha traseira (backsheet) composta de um plástico branco e opaco, assim sendo, então ocasionalmente a parte inferior está impossibilitada de receber qualquer tipo de luz (CANALSOLAR, 2023).

A Figura 4 apresenta a estrutura do painel fotovoltaico monofacial.

Figura 4 - Estrutura do módulo fotovoltaico monofacial



Fonte: FRONTIN (2017).

2.6 CÉLULAS, MÓDULOS FOTOVOLTAICOS BIFACIAIS E SUAS TECNOLOGIAS

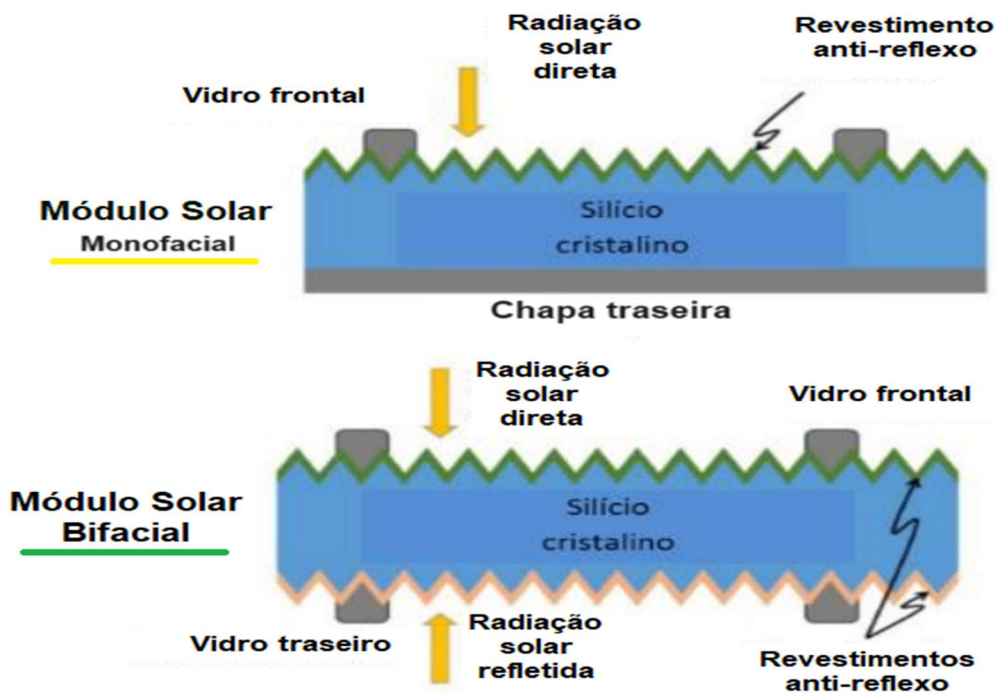
Especificamente as células solares fotovoltaicas monofaciais, são capazes de gerar energia com os raios solares que incidem de forma direta sobre o painel solar. Por conta disto a tecnologia solar chegou inovando com essa condição de geração de ambos os lados.

Para a modelagem dos painéis de tecnologia bifaciais, é necessário que as células solares que vão na composição estrutura sejam evidentemente bifaciais. As células comumente usadas absorvem somente a luz na parte superior. Os módulos bifaciais, por outro lado, são fabricados com uma lâmina de vidro na parte infra, substituindo o backsheet (CANALSOLAR, 2023).

Com o tipo de células usadas não sendo a única diferença construtiva entre um módulo bifacial e um módulo comumente utilizado. A parte inferior do módulo bifacial tem algumas diferenças de composições, com células solares de silício bifaciais que geram energia tanto do lado superior da placa quanto no lado inferior, sendo acompanhada com uma lâmina de vidro fabricada com uma moldura de metal, com um arranjo bem próximo de uma parte superior de um módulo convencional (VILLALVA, 2015).

A Figura 5 abaixo mostra as diferenças entre uma célula convencional e uma bifacial.

Figura 5 - Modo operante: Módulo monofacial e bifacial



Fonte: Compilação do autor¹.

¹ Montagem a partir da imagem coletada de (LIRA, 2022).

O grande diferencial dos dispositivos de tecnologia bifaciais, está na circunstância, de que é possível conseguir uma maior produção de energia operando na mesma área se comparado com a tecnologia de painéis de uma face geradora, ocasionando uma maior densidade de produção de energia (MEDEIROS FILHO, 2021).

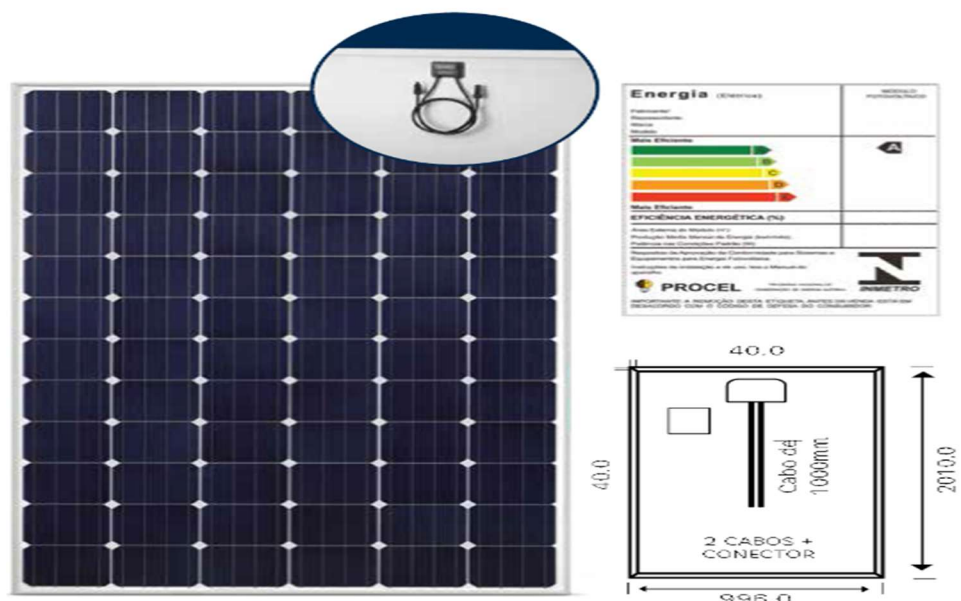
Em pesquisas recentes de Valdivia (2017), obteve-se um aumento na produção de energia com variações entre 13% e 35% em dias ensolarados e já em dias nublados as variações chegaram de 40% a 70%, nestas condições. No entanto esses valores constatados nos ganhos relacionados a produção de energia estão diretamente ligados com as condições de instalação do local e também da forma como os módulos são instalados, dentre as causas que mais induzem o aumento da produção de energia dos dispositivos bifaciais conseguimos citar: o albedo da superfície, que é a inclinação dos painéis e altura de instalação (MEDEIROS FILHO, 2021).

2.7 EFICIÊNCIA DAS PLACAS

Para padronização dos módulos há testes realizados por órgãos internacionais e nacionais de certificações para avaliar a qualidade do produto final lançado. Os painéis solares brasileiros são certificados e analisados pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) em seus laboratórios (VILLALVA, 2015).

Em seguida aos ensaios, obtém-se um selo do Procel (Programa Nacional de Energia Elétrica), aonde tem-se a classificação de eficiência do módulo, como ilustrado na imagem 6 abaixo.

Figura 6 – Selo Procel



Fonte: Nacional Energia Sustentável (2023).

Quando os fabricantes dos módulos não informam a eficiência de conversão, essa mesma pode ser calculada com a seguinte equação:

$$\eta_P = \frac{P_{Máx}}{A_p \times 1000} \quad (1)$$

η_P = Eficiência de conversão;

$P_{Máx}$ = Potência Máxima ou de pico do painel [W];

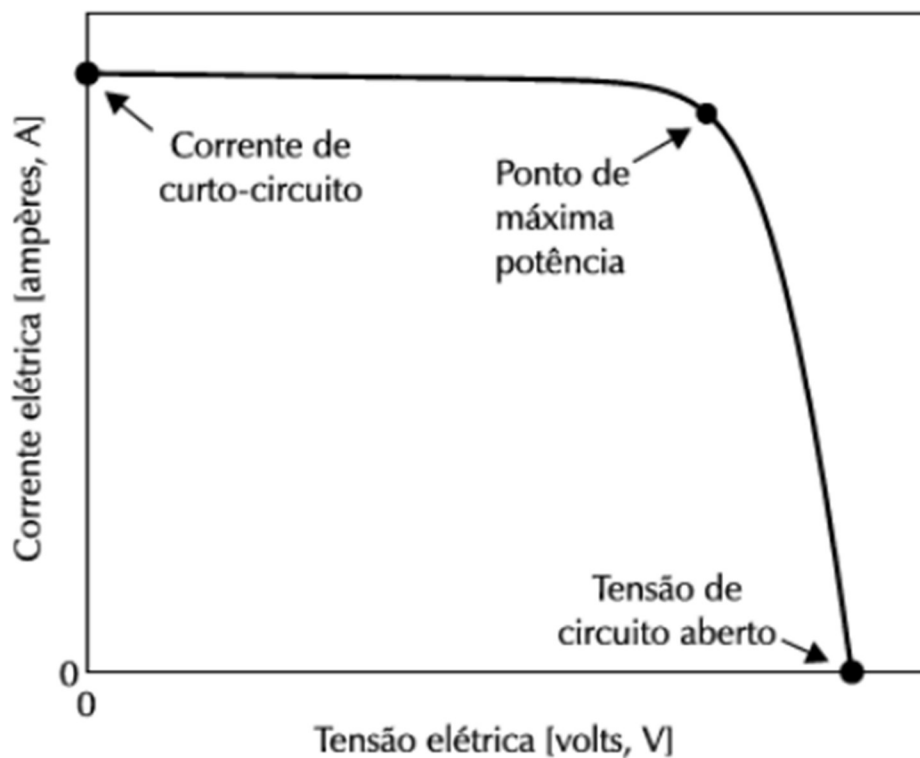
A_p = Área do painel [m^2];

Na equação (1), o número 1000 é correspondente á taxa de radiação solar de 1000 [W/m^2].

2.8 POTÊNCIA DE PICO OU MÁXIMA POTÊNCIA (PMP)

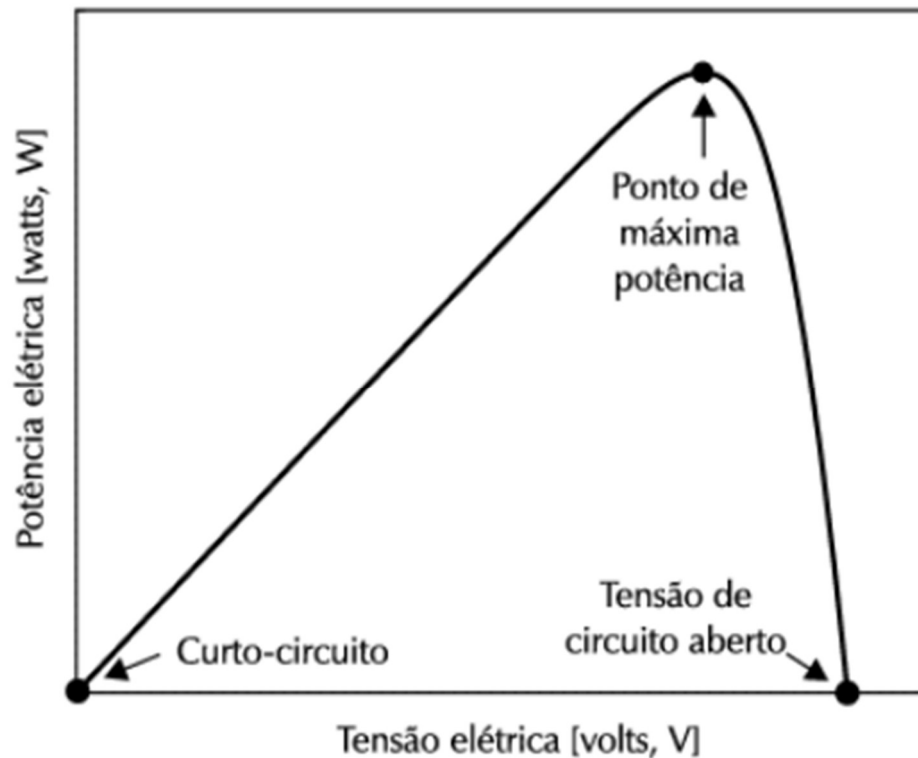
A potência de pico é a máxima que pode ser alcançada por um módulo (VILLALVA, 2015). Ou seja, é a máxima potência mostrada nas ilustrações abaixo:

Figura 7 – Curva I – V de corrente tensão de um painel fotovoltaico



Fonte: VILLALVA (2015).

Figura 8 – Curva P – V de potência e tensão de um painel fotovoltaico



Fonte: VILLALVA (2015).

Tem-se uma associação entre a tensão e a corrente de saída na figura 7. E basicamente observa-se na imagem 8 que as placas solares possuem também para cada valor de $I - V$ uma curva $P - V$ existe, assim sendo a potência do módulo varia em função da tensão.

De forma simplificada a resultante valor da potência de pico é determinada com o valor da corrente máxima potência (I_{mp}) vezes a tensão de máxima potência (V_{mp}).

2.9 TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA (VMP)

O V_{mp} é abreviação de tensão de máxima potência (maximum power voltage), é equivalente ao valor de tensão nos terminais do módulo quando produz sua máxima potência (VILLALVA, 2015).

2.10 CORRENTE DE MÁXIMA POTÊNCIA (IMP)

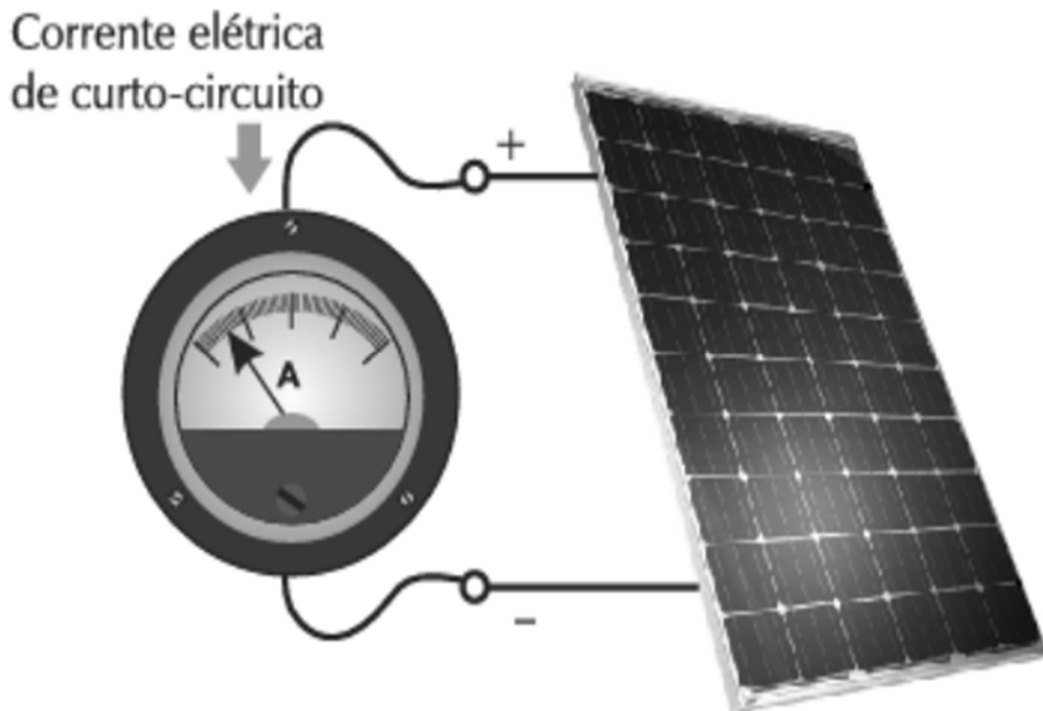
A corrente de máxima potência (maximum power current) é associada como a corrente nos terminais do módulo quando fornece sua potência máxima na condição padrão (VILLALVA, 2015).

2.11 CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO (ISC)

A corrente I_{sc} é abreviação de (Short Circuit), sua unidade de medida é ampères (A), é a corrente fornecida quando os pontos de ligação elétrica do painel encontram-se em curto-circuito. Notoriamente não possui nenhuma aplicação de um curto-circuito no painel solar. Os dados obtidos da corrente-curto são utilizados para amparar o dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos e na folha de dados do equipamento (Datasheet), visto que mostra a máxima corrente que a placa pode gerar quando tem a Incidência de 1000 W/m^2 de radiação solar (VILLALVA, 2015).

A figura 9 a seguir mostra como é feito a verificação da corrente, aonde o amperímetro é posicionado nas duas extremidades do painel para encontrar a corrente de curto circuito.

Figura 9 – Painel com amperímetro conectado para mediação da corrente I_{sc}

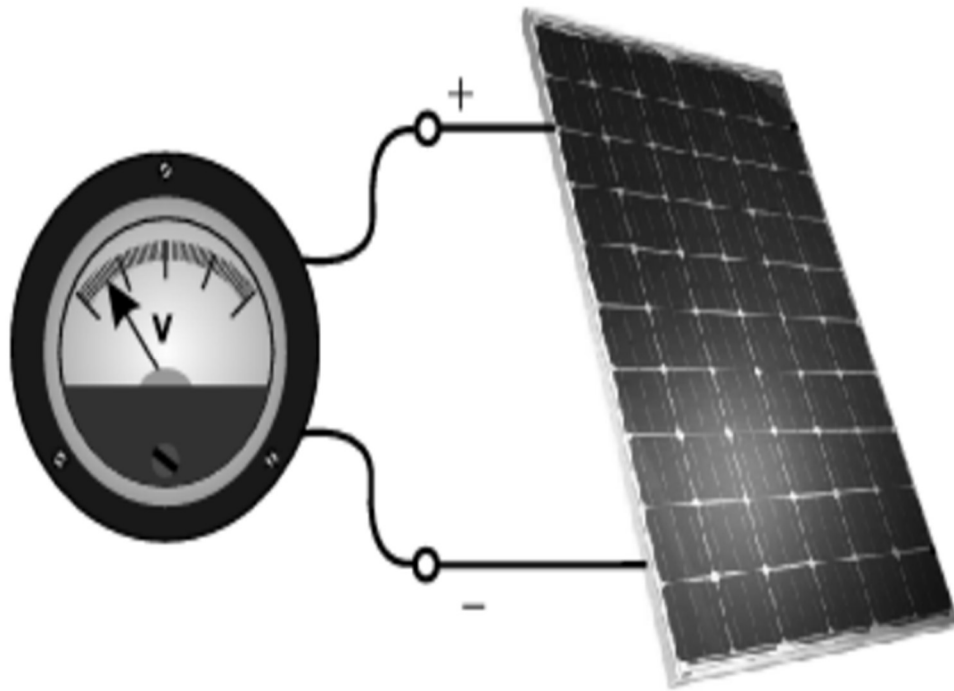


Fonte: VILLALVA (2015).

2.12 TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO (VOC)

A tensão de circuito aberto, representada como V_{oc} (Open Circuit Voltage) no padrão técnico internacional de sistemas solares fotovoltaicos, e no caso é a tensão que o painel produz em seus terminais no momento e que estão desconectados (VILLALVA, 2015). A unidade de medida é volts (V), e a tensão é medida por um voltímetro quando não existe nada ligado ao painel ou quando a ausência de corrente elétrica no mesmo. A figura 10 a seguir mostra o posicionamento do aparelho usado.

Figura 10 - Painel com voltímetro conectado para medição da tensão V_{oc}



Fonte: VILLALVA (2015).

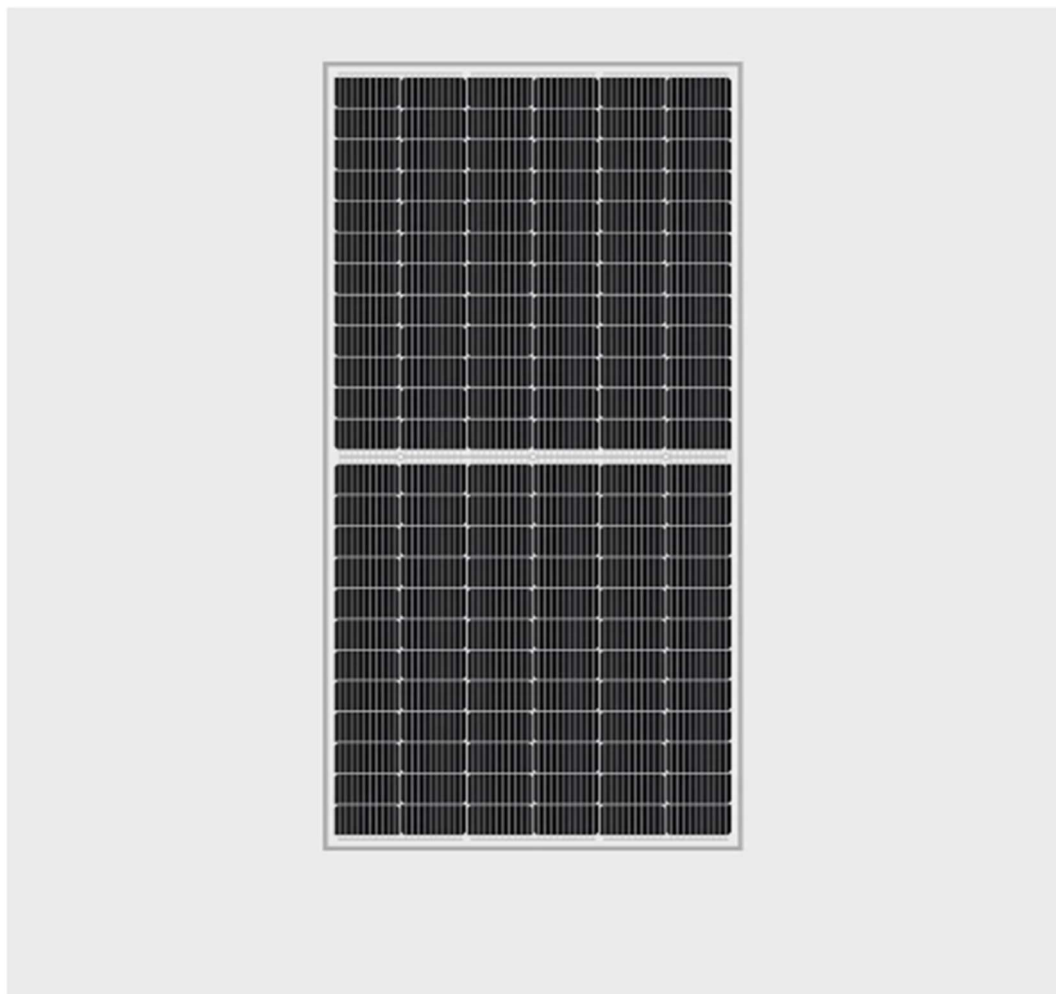
A importância dos dados de tensão de circuito aberto para o dimensionamento é essencial, por conta de que o sistema solar deve seguir as normas para tensões máximas e mínimas dos inversores, de baterias e controladores de carga se necessários na composição do sistema (VILLALVA, 2015).

3. METODOLOGIA

O trabalho consiste na análise de um sistema de painéis solares bifaciais em residências, analisando qual a melhor maneira de se obter um aproveitamento considerável. Já sabemos que em grandes instalações tem se um bom aproveitamento, porém em residências pode se criar algum tipo de estrutura de montagem ideal para os sistemas solares fotovoltaicos bifaciais, com uma superfície refletora que aproveite bem os raios refletidos pelo solo e adequação da altura dos painéis em relação a superfície refletora que fica abaixo, assim com uma estrutura bem dimensionada é possível diminuir os espaços utilizados e diminuindo a quantidade de equipamentos consequentemente. Será registrado e especificado toda parte da estrutura dos módulos com as vedações necessárias para os painéis utilizados na parte de cobertura. Os equipamentos selecionados para a análise, como painéis comuns e bifaciais, inversor e tudo o que for necessário.

A figura 11 mostra o painel solar comum escolhido para o comparativo.

Figura 11 - Placa Solar Fotovoltaica 555W Monocristalina Sunova 72MDH 30mm



Fonte: Americanas (2023).

A tabela 2 traz as informações padrões do painel solar monocristalino de células comuns.

Tabela 2 - Especificações Painel Solar 555W Monocristalino

Potência Nominal	555W
Tensão	40,89Vcc
Corrente	13,58A
Eficiência	Face Frontal 21,5%
Tipo de célula	Monocristalina
Fabricante	Sunova

Fonte: Próprio Autor.

Esses módulos solares novos possuem certificado de segurança contra incêndios (Classe C nos testes de padrão TÜV Rheinland e Rheinland) e um controle exigente na modelagem para sustentar as condições climáticas mais adversas, com uma segurança para seu sistema.

Esse modelo de painel solar fotovoltaico da Sunova é resistência à névoa, salina e corrosão; e contém um vidro de alta transmissão com revestimento anti-reflexo exclusivo, resultando em um maior rendimento.

Em meio a várias inovações, as placas da Sunova Solar são desenvolvidas com a tecnologia Half-Cell (ou seja, células cortadas ao meio para tornar o sistema mais eficiente) e proteção contra a problemática dos Hot Spots (com um circuito desenhado eventualmente para evitar ocorrência de pontos quentes que podem surgir por conta de sombreamento nos painéis solares).

Os painéis solares da Sunova têm um alto desempenho e se diferenciam por sua resistência e durabilidade, com qualidade assegurada pela dupla inspeção no el Test (um rigoroso teste que comprova a robustez das células fotovoltaicas).

A figura 12 mostra o painel solar bifacial escolhido para o comparativo.

Figura 12 - Painel Solar 575W Monocristalino Bifacial Half-Cell Sine Energy - SN575-144MTB



Fonte: Magazine Luiza (2023).

A tabela 3 traz as informações padrões do painel solar monocristalino de células bifaciais.

Tabela 3 - Especificações Painel Solar 575W Monocristalino Bifacial

Potência Nominal	575W
Tensão	42,24Vcc
Corrente	13,63A
Eficiência	Face Frontal 22,25% Bifacial 27,81%
Tipo de célula	Monocristalina
Fabricante	Sine Energy
Registro INMETRO	003207/2023

Fonte: Próprio Autor.

Tendo uma elevada geração de energia por conta, da junção das tecnologias, Half-Cell, TopCon, Multi-busbar, células monocristalinas e Design Bifacial oferecem eficiência média de 27,81%. Este painel solar fotovoltaico bifacial atinge produção em média de

2.875W por dia com apenas 5 horas de sol pleno e podendo alcançar até 3.594kW por dia com 25% de ganho de potência bifacial.

Tempo de utilidade do painel aumentado com a tecnologia Anti-PID, a degradação potencial induzida é menor ao longo da vida útil do painel. Desse modo, a perda de potência ocorre em um ritmo mais lento e tem menor impacto na geração de energia.

O módulo solar SN575-144MBT estrutura robusta para durar muito tempo, para suportar condições climáticas adversas, permitindo uma durabilidade superior.

Com o módulo solar bifacial de 575W, temos a possibilidade de uma série de aplicações, sendo mais adequado para sistemas conectados à rede em áreas abertas, residências e empresas que sejam instalados no solo ou em telhados de fibrocimento (antigos telhados de “amianto”) para aproveitar a luz solar refletida na superfície e captada pelas células da parte inferior

A figura 13 contém o inversor solar escolhido.

Figura 13 – Inversor solar fotovoltaico GROWATT on-grid



Fonte: GROWATT (2023).

A seguir na tabela 4 têm-se as especificações do inversor:

Tabela 4 - Especificações Inversor solar fotovoltaico GROWATT on-grid

Potência Nominal	2kW
Tensão Máxima de Entrada	500Vcc
Tensão Nominal(Saída)	(180V-280)
Corrente DC Máx. por MPPT	13A
Corrente Máx. de saída	16A
Eficiência	97,2%
Tipo de Inversor	On-grid
Fabricante	GROWATT

Fonte: Próprio Autor.

Considera-se três estruturas que possivelmente podem ser utilizadas nas residências, para o melhor aproveitamento do módulo bifacial.

O telhado embutido ou superfícies de edifícios é uma alternativa para instalação dos painéis, visto que contém uma superfície com uma reflexão considerável que boa parte das vezes é de concreto, que se posicionado da maneira correta pode-se obter um aproveitamento considerável, ligado a tecnologia bifacial.

Figura 14 – Instalação de módulos com a inclinação para painéis bifaciais em cobertura de concreto



Fonte: OPUS Solar (2023).

Nesta instalação se os painéis fossem projetados com o intuito de geração na parte inferior, deveria ser posicionado um pouco mais acima da laje, em uma altura no mínimo de 1,2 metros.

Uma outra alternativa seria a instalação de painéis solares bifaciais com 2 funções, que seria a cobertura com uma utilidade secundária e a de geração de energia elétrica com as placas como principal finalidade. Essa instalação dos painéis é possível com a utilidade de servir de cobertura também, pois a um material que serve para a vedação entre os espaços de uma placa e outra. No caso da instalação da figura 15, há uma estrutura convencional utilizadas nas construções modernas, os conhecidos pergolados, que podem ser de concreto ou de madeira envernizada.

Figura 15 – Módulos solares bifaciais instalados em um pergolado de madeira



Fonte: Google Imagens (2023).

Na próxima construção o método de instalação é quase o mesmo, com o aproveitamento das vigas, que podem ser de concreto, madeira ou de ferro. A cobertura é feita com os próprios painéis que são interligados por meio da vedação de fita adesiva que preenche as lacunas entre um painel e outro. Assim com eles posicionados com a maneira ideal, eles têm o aproveitamento dos raios diretos do sol, e do solo por meio da reflexão do

piso que deve apresentar ótima reflexão, sendo de preferência um piso claro para obter esse aproveitamento. Neste caso que seria uma garagem, no momento que o proprietário do imóvel fosse trabalhar no período da tarde, a geração do painel bifacial teria um melhor aproveitamento, por conta da retirada do veículo da garagem.

Figura 16 – Painéis solares bifaciais instalados como cobertura em uma garagem



Fonte: Google Imagens (2023).

O sistema de vedação mais adotado no mercado para a junção de um módulo solar a outro, é o sistema de vedação Trafbor para painéis, que foi cautelosamente projetada para amparar as instalações de todos modelos, encaixando se aos moldes e a marcas de painéis do mercado mundial.

A figura 17 mostra o formato do material de vedação utilizados nas coberturas de painéis solares com ótima qualidade.

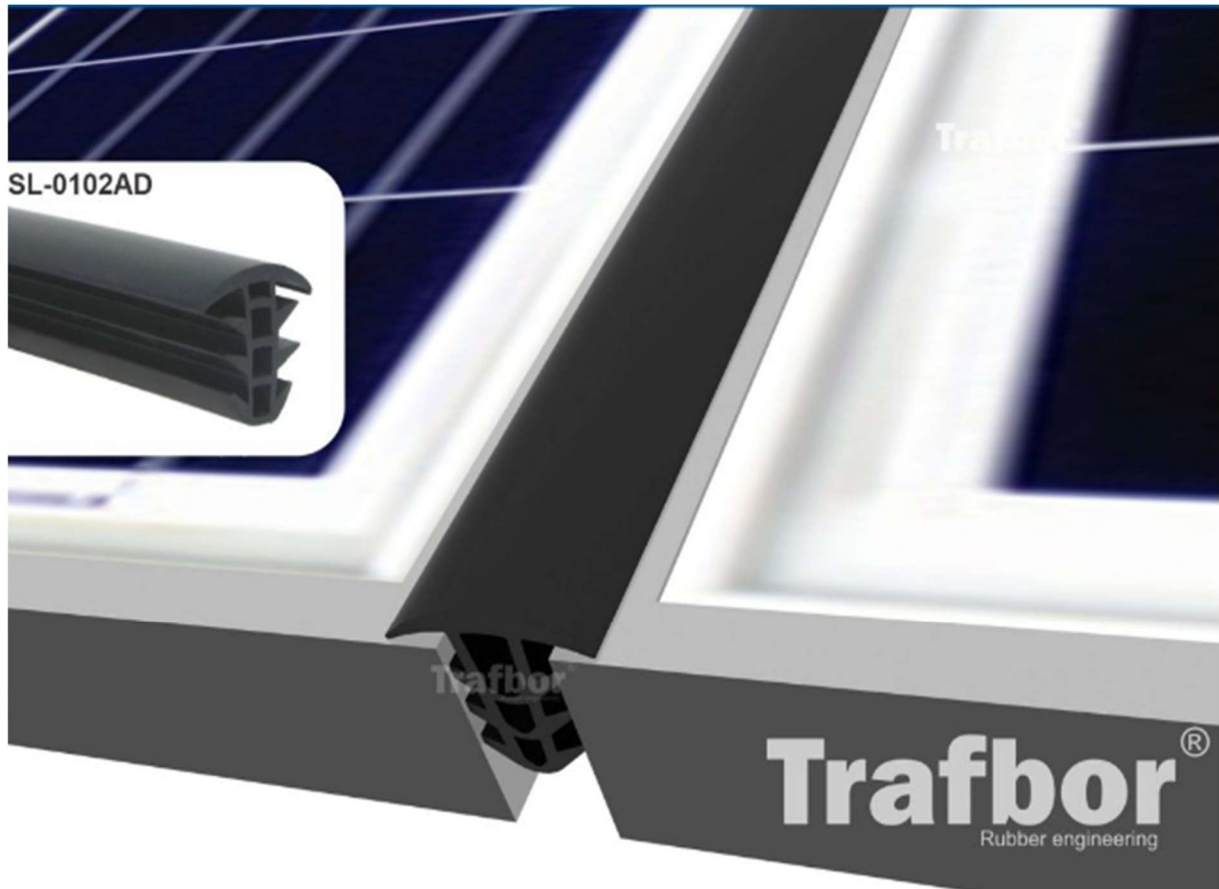
Figura 17 – Vedação vertical Trafbor SL-0102AD



Fonte: Trafbor (2023).

Já a figura 18 demonstra como é feito a aplicação deste tipo de material de vedação, apresentando exatamente como é fixado o material entre um painel e outro, proporcionando assim uma excelente vedação para a cobertura.

Figura 18 – Aplicação da vedação Trafbor



Fonte: Trafbor (2023).

Após isso será realizado a análise e utilizando de um dos métodos apresentados, os painéis serão aplicados na parte superior de um telhado convencional de fibrocimento e ocorrendo a análise do projeto solar. A forma de analise será utilizando o pacote Microsoft Office ferramenta de planilhas Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme foi visto os pontos de instalações possíveis, com um aproveitamento ideal para os painéis bifaciais em residência seriam, na cobertura de uma garagem, aproveitando a estrutura que já é existente, permitindo a entrada dos raios solares. A garagem tem que ser aberta nas laterais. Na parte superior de pergolados de madeira ou concreto têm se um bom aproveitamento e o mais aplicável utilizando a parte superior das residências em telhados embutidos, podendo ser os telhados de fibrocimento ou laje, que possuem uma certa reflexão da superfície.

A metodologia de análise para o comparativo foi feita em planilha do Excel, com todos os dados bases para os cálculos sendo anotados na planilha. Informações base da região de instalação foram captadas no site do CRESESB, obtendo dados de irradiação solar média com valores representados em $(kWh/m^2 * dia)$, obtendo também o ângulo ideal para o melhor aproveitamento do painel que é de 23° graus, posicionado para o norte.

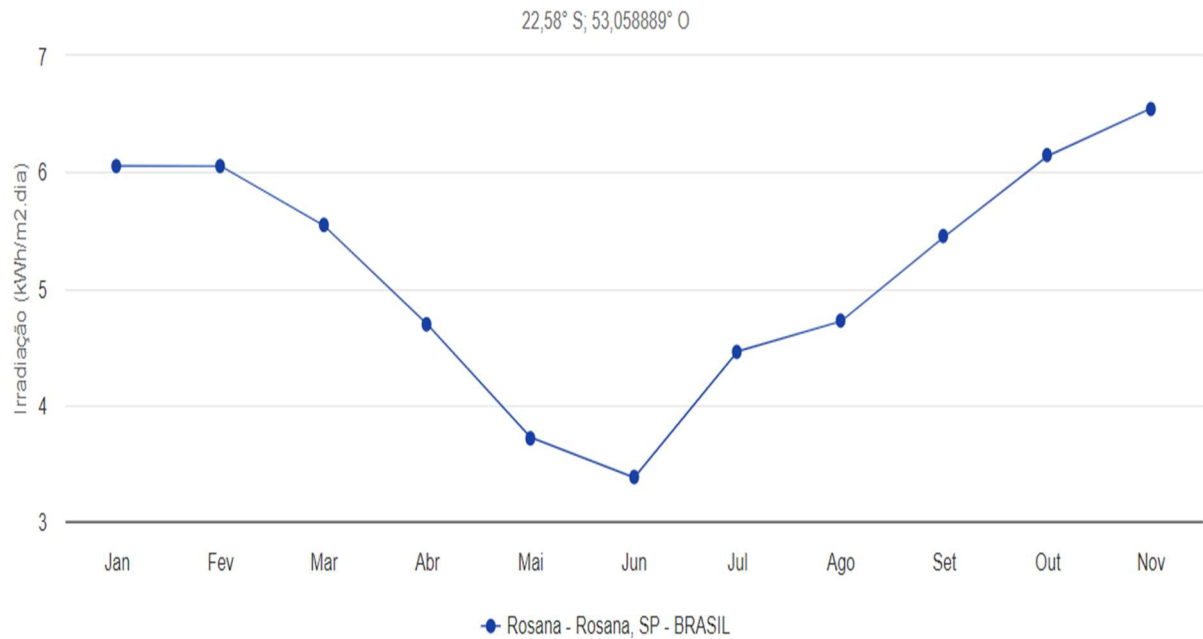
O local de instalação escolhido foi o município de Rosana no interior do estado de São Paulo(SP), latitude 22° 34' 48" S e longitude 53° 03' 32" O. Em seguida os dados climáticos foram obtidos no CRESESB, que estão expressos nas imagens a seguir:

Figura 19 – Valores de irradiação solar em Rosana - SP

Estação: Rosana Município: Rosana , SP - BRASIL Latitude: 22,601° S Longitude: 53,049° O Distância do ponto de ref. (22,58° S; 53,058889° O): 2,5 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal $[kWh/m^2.dia]$													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	6,05	6,05	5,54	4,69	3,72	3,37	3,56	4,46	4,72	5,45	6,14	6,55	5,02	3,17
✓	Ângulo igual a latitude	23° N	5,45	5,76	5,71	5,33	4,59	4,35	4,51	5,27	5,02	5,31	5,60	5,78	5,22	1,43

Fonte: CRESESB (2023).

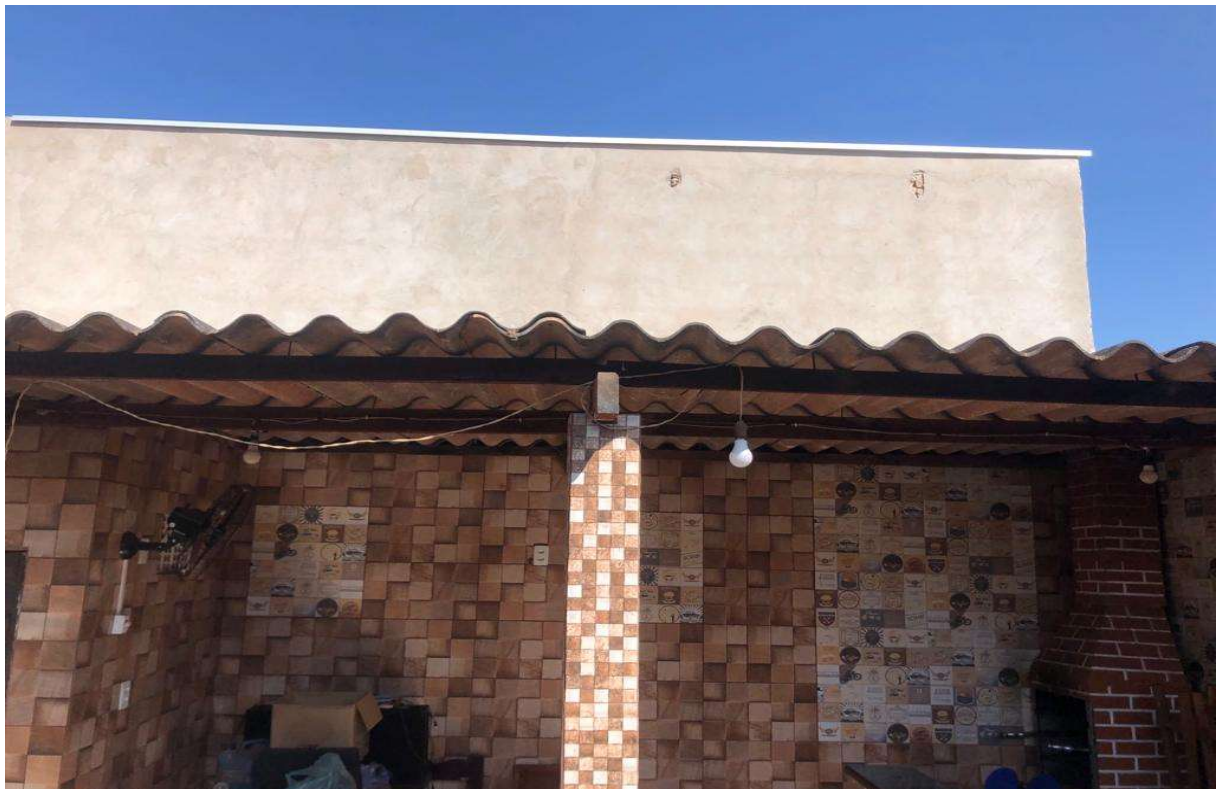
Figura 20 – Irradiação solar em localidades próximas (plano horizontal)



Fonte: CRESESB (2023).

O local da implementação teórica do sistema foi uma residência do município de Rosana, distrito Primavera – SP. Aonde o ponto de instalação foi a área de lazer da casa. As figuras a seguir mostram o telhado aonde irá ser projetado a estrutura com os painéis:

Figura 21 – Telhado da análise da implementação na residência



Fonte: Próprio Autor.

Figura 22 – Local da residência aonde será analisado a implementação



Fonte: Próprio Autor.

A estrutura dos painéis ficará posicionada voltada a norte geográfico com inclinação de 23 graus, que seria inclinada em direção das árvores na figura 22, aonde a estrutura seria adaptada em uma altura de 1,3 metros do telhado de fibrocimento, estrutura esta que seria fixada na parede superior ao telhado, dando mais segurança na questão de sustentação do projeto.

O dimensionamento do sistema comum para comparar com os valores do bifacial foi realizado com dados da residencial escolhida. Com a casa definida, foi adquirida a conta de energia referente ao mês, porém além dos dados do mês referente teve outras informações importantes dos meses anteriores.

A figura 23 mostra a conta de energia referente ao período de pandemia ano de 2021, pois as novas tarifas de energia foram colocadas no débito automático, não sendo impresso mais a partir desta data.

Figura 23 – Conta de energia Elektro da residência

ELEKTRO Seu Código [REDACTED]

www.elektro.com.br Nota Fiscal / Conta de energia elétrica [REDACTED]

Conta do Mês **FEVEREIRO/2021** Vencimento **13/03/2021** Valor R\$ [REDACTED]

VII [REDACTED] CÉLULO ROSANA SP

CPF / CNPJ: [REDACTED] Data de Emissão: 23/02/2021

Dados de Cadastro

Medidor/Constante [REDACTED] Classificação RESIDENCIAL / RESIDENCIAL NORMAL MONOFÁSICO

Tensão Nominal ou contratada(v) 127 Limite adequados de tensão (v) 112 A 133 Débito Aut. AG:0507

Item	Leitura		Anterior	Dias do Período	Composição do Fornecedor
	Anterior	Atual			
CONSUMO	39322	39469	26/01/21	28	Energia 35,75 Distribuição 20,25 Transmissão 8,26 Perdas 6,20 Encargos 13,09 Tributos 16,64
			Atual	F. Potência Médio	
			23/02/21		

Detalhamento da Conta AS [1.5.107.6]

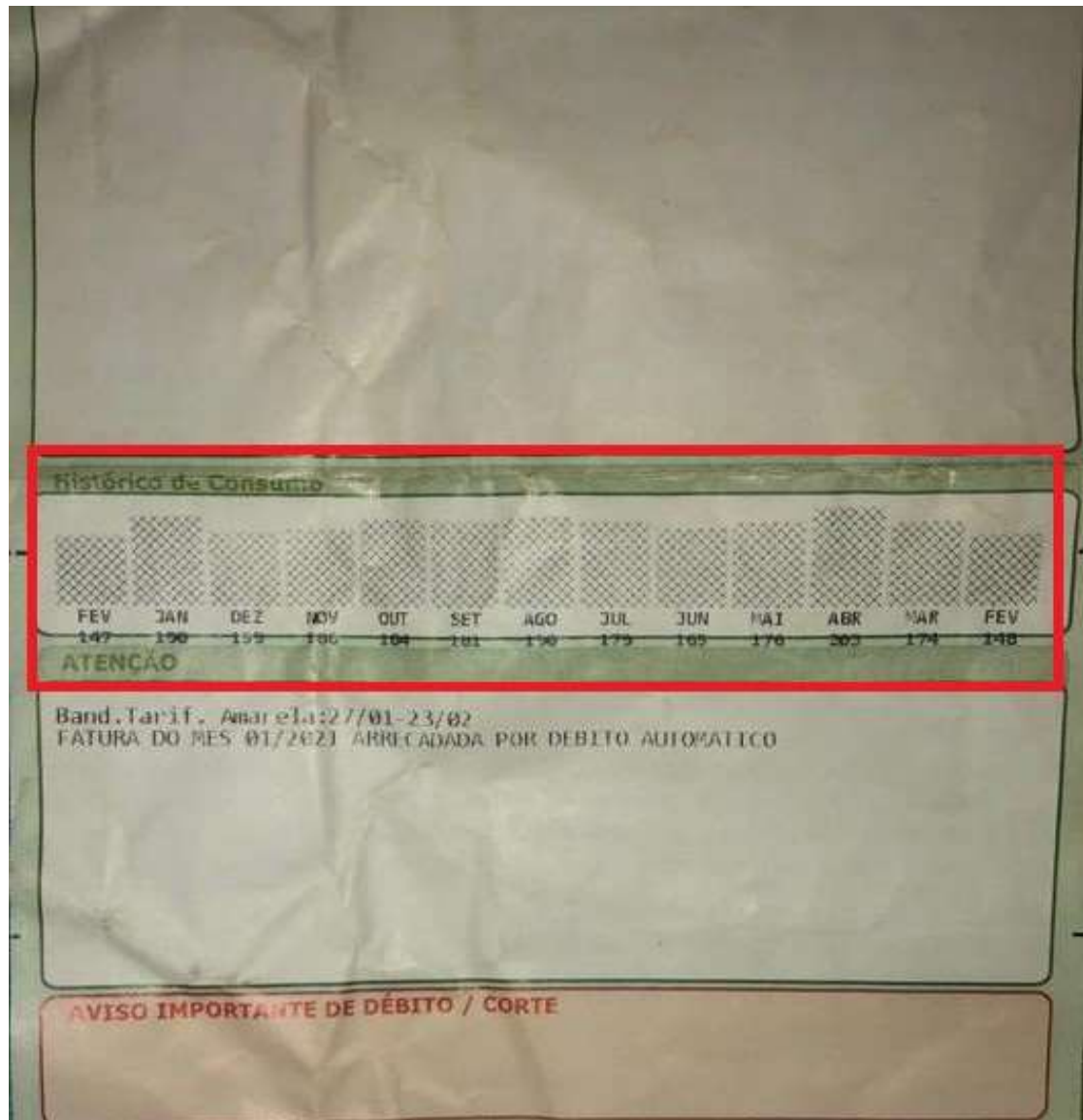
CCI* Descrição do Produto	Qtde	Tarifa Fornec.	Valor Fornec.	Base Calc. Imposto	Aliq. Imposto	Valor ICMS (Fornec+Imp)	Valor Total
0601 CONSUMO TE	147	0,252880	37,17	44,57	12,00%	5,34	42,51
0601 CONSUMO TUSD	147	0,302170	44,41	53,26	12,00%	6,39	50,80
0601 AD.B.AMAR.	147	0,013401	1,97	2,36	12,00%	0,28	2,25
0699 VALOR DO COFINS				100,19	3,00%		3,00
0699 VALOR DO PIS				100,19	0,82%		0,83
0699 COBRANCA ILUM PUBLICA PARA A PREFEITURA				0,00	0,00%	0,00	11,98
Total da fatura			83,55			12,01	112,17

*CCI - Código Classificação do Item

Fonte: Próprio Autor.

Abaixo temos a continuação da tarifa com os valores referente ao consumo dos meses anteriores:

Figura 24 – Valores consumo referentes aos meses anteriores(Conta de energia Elektro)



FEV	JAN	DEZ	NOV	OUT	SET	AGO	JUL	JUN	MAI	ABR	MAR	FEV
147	190	155	106	104	101	190	175	165	170	205	174	148

ATENÇÃO

Band. Tarif. Amarela: 27/01-23/02
 FATURA DO MES 01/2021 ARRECADADA POR DÉBITO AUTOMÁTICO

AVISO IMPORTANTE DE DÉBITO / CORTE

Fonte: Próprio Autor.

Em ambos os sistemas serão ligados à rede (On-grid), então não se faz necessária a implementação de um banco de baterias para o armazenamento do excesso de energia, sendo exportada esse excesso de energia para própria rede elétrica e utilizada nos períodos em que a produção de energia é nula. Assim tornando o projeto muito mais vantajoso, pois baterias têm um alto custo.

Os métodos utilizados para obter o cálculo de dimensionamento de quantidade de placas solares e inversores, serão mostrados a seguir:

O *Consumo mês(kWh)*, é igual a soma de todos 12 meses presente na fatura e consequentemente igual ao consumo anual, a equação 1 indicada a seguir:

$$\text{Consumo Anual}(kWh/ano) = \text{Consumo mês}(kWh) \quad (\text{Eq.1})$$

O *Consumo médio mensal(kWh/mês)* é o consumo anual dividido por 12 meses, que foi o período considerado, equação 2:

$$\text{Consumo médio mensal}(kWh/mês) = \frac{\text{Consumo Anual}(kWh/ano)}{12 \text{ meses}} \quad (\text{Eq.2})$$

O *Consumo diário(kWh/dia)* é a resultante do consumo médio mensal dividido pela média dos dias totais dos 12 meses, que são 30 dias.

$$\text{Consumo diário}(kWh/dia) = \frac{\text{Consumo médio mensal}(kWh/mês)}{30 \text{ dias}} \quad (\text{Eq.3})$$

A *Potência de pico(kW/Pico)* é dada pelo consumo diário médio residência dividido pela média de irradiação diária, expressa na equação 4 a seguir:

$$\text{Potência de pico}(kW/Pico) = \frac{\text{Consumo diário}(kWh/dia)}{\text{Média de irradiação por dia}(kWh/m^2.dia)} \quad (\text{Eq.4})$$

Após essa etapa das fórmulas e os outros parâmetros necessários, foi realizado a montagem da planilha Excel com base nos dados do CRESESB e das equações apresentadas. O primeiro passo na montagem da planilha foi a construção da tabela 5 com o levantamento de consumo da residência.

Tabela 5 – Levantamento de dados de consumo de energia elétrica(Excel)

1	Levantamento de dados do consumo de energia elétrica			
2	Mês	Consumo [kWh]	Energia mínima disponível por mês [kWh]	Consumo considerável [kWh]
3	Jan	148	50	98
4	Fev	174	50	124
5	Mar	203	50	153
6	Abr	176	50	126
7	Mai	165	50	115
8	Jun	179	50	129
9	Jul	190	50	140
10	Ago	150	50	100
11	Set	161	50	111
12	Out	184	50	134
13	Nov	166	50	116
14	Dez	159	50	109
15	Média	171,25	-	121,25
16			Consumo diário médio anual [kWh/dia](considerando mês 30 dias)	5,708333333
17				

Fonte: Próprio Autor.

A seguir foi feito o levantamento com base na tabela do site do CRESESB, aonde realizou-se a coleta de dados de irradiação solar diária da região de Rosana-SP. A tabela 6 mostra essas informações:

Tabela 6 – Irradiação solar diária média(Excel)

		Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]													
	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Rosana - SP	2,5	6,05	6,05	5,54	4,69	3,72	3,37	3,56	4,46	4,72	5,45	6,14	6,55	5,02	3,17
		Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	6,05	6,05	5,54	4,69	3,72	3,37	3,56	4,46	4,72	5,45	6,14	6,55	5,02	3,17
Ângulo igual a latitude	23° N	5,45	5,76	5,71	5,33	4,59	4,35	4,51	5,27	5,02	5,31	5,6	5,78	5,22	1,43
Obs. Neste exemplo, iremos considerar a irradiação do pior mês para ter uma sobra de energia gerada, com ângulação igual a latitude, que é de 23 Graus para Norte.															

Fonte: Próprio Autor.

Após esta etapa do processo deve-se localizar a potência de pico que será demandada pelo sistema. A (Eq.4) será utilizada para obter essa potência do sistema, junto com o dado do consumo diário médio anual que foi apresentado na tabela 5 e o menor dado de irradiação diária solar do ano, na tabela 6, identificada na linha do ângulo igual a latitude. Com isso

ocorrerá um adiciona, que é 25% em relação a potência de pico do dimensionamento solar fotovoltaico, uma medida de segurança utilizada em qualquer projeto solar para contar com uma margem caso algo corra de uma maneira que não foi prevista inicialmente. A tabela 7 mostra a potência de pico, que será a demanda do sistema.

Tabela 7 – Potência de pico do projeto(Excel)

kW/pico	1,749680715 [kW/p]
Em Watts	1749,680715 [W/p]

Fonte: Próprio Autor.

O dimensionamento comum foi realizado na planilha Excel, com os equipamentos apresentados anteriormente, 4 módulos de 555W Half-cell da Sunova e um inversor da Growatt 2kW serão utilizados para a construção do projeto solar fotovoltaico experimental.

Na tabela 8 mostra os valores dos materiais utilizados na implementação dos painéis fotovoltaicos, incluindo estrutura e os próprios painéis.

Tabela 8 – Valores de Instalações módulos fotovoltaicos monofaciais(Excel)

Painéis Fotovoltaicos	Sistema 1 / 575 W (Bifacial)	Sistema 2 / 555W (Monofacial)	
Quantidade de Painéis Fotovoltaicos necessários	3,042922983	3,888179367	Placas
Quantidade de Painéis considerados	4	4	Placas
Potência do sistema/dia	2,3	2,22	kW/dia de Geração
Preço do Placas	R\$ 4.234,40	R\$ 3.692,00	R\$
Preço de Instalação	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	R\$
Preço Total do Sistema(Painéis)	R\$ 5.234,40	R\$ 4.692,00	R\$

Fonte: Próprio Autor.

Na sequência em relação ao inversor escolhido para os sistemas monofacial e bifacial será o mesmo, para uma melhor comparação entre ambos e por conta que a diferença na potência do conjunto dos painéis de ambos os sistemas, apesar do sistema bifacial ter um valor de produção maior, estão dentro do valor permitido pelo inversor 2 kW, que alcança uma potência máxima de até 2,8kW, segundo dados do datasheet da Growatt. O preço final

estimado da estrutura, é composto pelas estruturas dos painéis para o telhado de fibrocimento, cabos e os disjuntores responsáveis pela segurança do sistema, e será o mesmo custo para os dois projetos.

Tabela 9 – Valor referente a quantidade de inversores e preço da estrutura(Excel)

Inversores 	Sistema 1 / 2kW (Bifacial)	Sistema 2 / 2kW (Monofacial)	
Quantidade de Inversores necessários	0,874840358	0,874840358	Inversores
Quantidade de Inversores considerados	1	1	Inversores
Potência do sistema	2	2	kW
Preço do Inversores	R\$ 2.449,00	R\$ 2.449,00	R\$
Preço de Instalação	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$
Preço Total do Sistema(Inversores)	R\$ 2.949,00	R\$ 2.949,00	R\$
Preço de Materiais(Estrutura)	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00	R\$

Fonte: Próprio Autor.

Logo depois, com a soma dos preços de painéis com as instalações, em conjunto com o inversor e os restantes dos materiais(estrutura), obtivemos o valor do projeto monofacial(sistema 2) sem o lucro, que é 9.141,00 reais(R\$), aonde o lucro estimado sobre o projeto seria de 25%, por ser um projeto de pequeno porte. Porém em cima deste valor será descontado os 4% de impostos sobre o sistema montado, conseguindo um lucro líquido de R\$ 1.828,20. O valor deste projeto considerando todos os encargos e o valor que será pago pelo cliente é R\$ 11.426,25. Todos os dados deste sistema com painéis monofaciais, estão na tabela 10 abaixo.

Tabela 10 – Valor Sistema Fotovoltaico Monofacial, Lucro, Imposto e Payback(Excel)

	Q	R	S	T	U	V	W
Preço Sem Lucro			R\$ 9.141,00		R\$		
Lucro Bruto(25% do Preço Sem Lucro)			R\$ 2.285,25		R\$		
Preço Sistema Total			R\$ 11.426,25		R\$		
Lucro Líquido Projeto			R\$ 1.828,20		R\$		
Com Maior Valor do mês							
PayBack			5,584022402		Anos		
Imposto			R\$ 457,05		4% - sobre o valor final do sistema		

Fonte: Próprio Autor.

O sistema 1 que é o dimensionamento bifacial, sendo a melhor opção, foi elaborado na planilha Excel, com os modelos de painéis bifaciais, apresentados na figura 12 anteriormente, 4 módulos bifaciais de 575W Half-cell da Sine Energy e um inversor da Growatt 2kW serão utilizados para a construção do projeto solar fotovoltaico experimental. Na tabela 11 mostra os valores dos materiais utilizados na implementação dos painéis fotovoltaicos do sistema bifacial, incluindo estrutura e os painéis bifaciais.

Tabela 11 – Valores de Instalações dos módulos fotovoltaicos bifaciais(Excel)

Painéis Fotovoltaicos	Sistema 1 / 575 W (Bifacial)	Sistema 2 / 555W (Monofacial)	
Quantidade de Painéis Fotovoltaicos necessários	3,042922983	3,888179367	Placas
Quantidade de Painéis considerados	4	4	Placas
Potência do sistema/dia	2,3	2,22	kW/dia de Geração
Preço do Placas	R\$ 4.234,40	R\$ 3.692,00	R\$
Preço de Instalação	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	R\$
Preço Total do Sistema(Painéis)	R\$ 5.234,40	R\$ 4.692,00	R\$

Fonte: Próprio Autor.

Posteriormente com a soma do valor de módulos bifaciais com as instalações, em conjunto com o inversor e os restantes dos materiais(estrutura), com isso tem-se o valor do projeto bifacial sem o lucro, R\$ 9.683,40. Deste modo o lucro estimado em cima do projeto seria de 25%, aonde em cima deste valor será descontado os 4% de impostos sobre o sistema após a montagem, concluisse com um lucro líquido de R\$ 1.936,20. O valor deste projeto considerando todos os encargos e o valor que será pago pelo cliente é R\$ 12.104,25, tendo uma diferença no custo final do projeto de R\$ 678,00, quando comparado ao sistema monofacial, sendo abaixo do custo do benefício que o sistema bifacial fotovoltaico irá proporcionar. A tabela 12 contém os dados de valores do projeto bifacial.

Tabela 12 – Valor Sistema Fotovoltaico Bifacial, Lucro, Imposto e Payback(Excel)

	P	Q	R	S	T	U	V	W
Preço Sem Lucro			R\$ 9.683,40		R\$			
Lucro Bruto(25% do Preço Sem Lucro)			R\$ 2.420,85		R\$			
Preço Sistema Total			R\$ 12.104,25		R\$			
Lucro Líquido Projeto			R\$ 1.936,68		R\$			
Com Maior Valor do mês								
PayBack			5,915361834		Anos			
Imposto			R\$ 484,17		4% - sobre o valor final do sistema			

Fonte: Próprio Autor.

Com isso para o cálculo de Payback foi utilizado o valor de 0,84 R\$/kWh com todos os encargos já considerados, pois na época da fatura tínhamos um cenário de aumento tarifário por conta das bandeiras, sendo um valor um pouco superior do que o custo atual que seria de 0,754 R\$/kW segundo dados da NEOENERGIA (2023). Com esse cenário considerado, atingiu-se o valor de 5,915 anos para o retorno do investimento na implementação dos painéis bifaciais e o tempo de 5,584 anos para o sistema de módulos comuns.

No cenário do sistema bifacial, terá uma adição na produção do painel por conta da face inferior, diante disto o painel vai produzir em modo geral no mínimo 12,5% a mais da

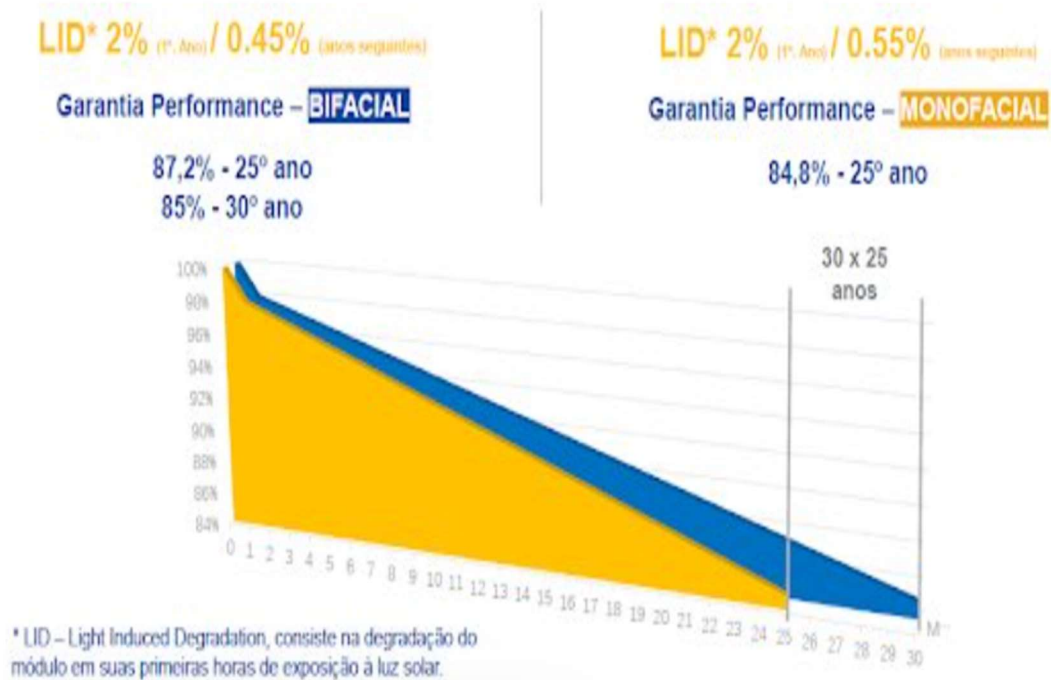
sua potência nominal, e esse número de geração da parte de traz do painel é limitado por conta da parede(figura 21), que localizasse na lateral do projeto impossibilitando a produção na parte infra no período da tarde, perdendo 6 horas de sol pleno nesta face. Se não houvesse essa limitação no caso desta instalação, esse valor poderia alcançar 25% de adição na produção geral de energia, quando comparado ao sistema com módulos comuns. Com essa instalação há uma possibilidade de aumento exponencialmente na produção de energia em relação aos painéis comuns nos dias nublados, aonde apresenta-se poucos raios diretos e muitos raios refletidos do sol, podendo chegar em mais de 40% de produção em dias nublados, sendo outra enorme vantagem em comparação a módulo comum.

Em ambos os casos apresentados a ligação dos módulos fotovoltaicos serão conectados em série, por conta da corrente máxima da entrada do inversor, que pode ser excedida em caso de ligação em paralelo. Assim a única alteração será que os módulos somaram os valores de tensão sendo, a tensão de total na entrada do inversor de 163,56 V dos 4 painéis comuns da Sunova somados e a tensão de 168,96 V da soma dos 4 painéis bifaciais.

O sistema monofacial tem um preço reduzido mínimo comparado com o bifacial e por conta disso, o Payback do projeto monofacial também tem o seu valor reduzido. Entretanto a potência do sistema por conta do aproveitamento das placas e aos painéis bifaciais terem um valor de potência nominal um pouco superiores, sendo uma diferença de 20W em cada painel, o que daria uma vantagem de 80W somente de aproveitamento na face frontal, proporcionando uma maior geração de energia elétrica do sistema, pelo modelo de análise que contém os módulos bifaciais, com o mesmo espaço utilizado do sistema comum.

Em comparação a módulo monofacial, o bifacial pode ter uma vida útil de 5 anos a mais que o seu concorrente, podendo chegar em até 30 anos de uso. O índice de degradação é diferente entre os dois modelos de painéis e pode ser observado graficamente. A degradação induzida por luz(LID), tem início em 2% e a degradação anual de potência de 0,45% em painéis bifaciais e 0,55% em monofaciais, ou seja os bifaciais degradam menos ao passar do tempo. Nesta ordem o comparativo de garantia de performance e a degradação entre os módulos é apresentado conforme a Figura 25, uma vez que módulos bifaciais têm uma menor degradação e maior eficiência, devido ao vidro na parte inferior(CANASOLAR, 2022).

Figura 25 – Relação entre garantia e degradação dos módulos



Fonte: JA Solar (2023).

Há outra vantagem que seria a maior neste caso, a produção de energia elétrica pela face inferior dos painéis bifaciais com aproveitamento de raios solares refletidos pelo telhado com a face infra, diferente do sistema com os painéis monofaciais, tendo como particularidade esses equipamentos possuem uma chapa inferior (backsheet), que impossibilita a geração no lado inferior do painel.

Assim para o consumidor final o sistema 1 (bifacial), possui alguns ganhos em relação ao sistema com módulos monofaciais, em especial nos dias nublados e de pouca incidência solar direta, sendo possível gerar até 40% acima do valor produzido pelo conjunto de painéis monofaciais. Essa adição na energia produzida pelos painéis bifaciais é considerável e ocorre em razão dos raios solares refletidos, que nestes dias de muitas nuvens têm-se uma constância maior, ocasionando em geração de energia elétrica por meio das células bifaciais na parte inferior do módulo bifacial, tendo por consequência este aumento.

5. Conclusão

A necessidade de um projeto solar fotovoltaico nas residências é essencial, pois com ele obtém-se a tão esperada fatura mínima de energia, pagando somente os encargos da distribuição elétrica e economizando boa parte da fatura elétrica residencial, em boa parte das residências necessita-se desta implementação, temos mais de 70 milhões moradias sem projeto de energia solar fotovoltaico, dados de quantidade de casas no Brasil obtidos do IBGE (2022). Segundo dados do G1 mais de 1,1 milhões de residências, já possuem energia solar em seus telhados, tendo uma boa quantidade de casas para planejar a instalação de novos projetos fotovoltaicos (BRASIL, 2023).

Consequentemente seria interessante obter uma maior eficiência na implementação da energia solar em residências, aproveitando melhor o espaço de instalação, produzindo mais energia com um menor espaço ocupado, e o diferencial com poucas mudanças ou no caso da instalação teórica deste projeto, quase nem uma alteração de estrutura na implementação de sistemas fotovoltaicos bifaciais, como uma ótima alternativa para melhorar a produtividade elétrica do projeto. O sistema solar bifacial teve a vantagem de ter uma potência maior em relação ao comum, isso se deve por conta da produção de energia pela face inferior, podendo ainda ser maior, se o projeto quando montado não tiver uma parede que atrapalha a reflexão do sol no período da tarde, que é o caso deste sistema, que perde 6 horas de sol pleno na parte inferior.

Com a implementação do sistema bifacial tem-se um custo de R\$ 12.104,25, referindo-se o valor total do investimento para o projeto. O montante pode ser financiado, para ser pago com um valor próximo ao da fatura de energia. A diferença quando comparado ao sistema fotovoltaico comum é um custo de R\$ 678,00 maior, sendo compensatório esse acréscimo, levando-se em conta o retorno maior na produção de energia. O Payback apresenta-se ligeiramente maior, 3 meses, por conta do preço final do projeto com painéis bifaciais saindo de 5,9 anos para 5,6 anos nos painéis de única face. Diferença ínfima quando compara-se os ganhos de produção.

Então, conclui-se que o investimento no sistema fotovoltaico com modelos de painéis bifaciais, conforme resultados deste TCC, apresenta produção de energia superior aos convencionais, rápido retorno do investimento e apesar das alterações da Lei 14.300 de 2022 que institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), alterando as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de

1996; e dando outras providências, provocando o reajuste no valor de energia que é retornado após sua injeção na rede ou seja, no período noturno ou sua compensação na unidade geradora ou indicada pelo proprietário, ainda assim, apresenta-se favorável a sua implantação em larga escala.

Futuramente os projetos podem ocorrer em outros locais com diferentes estruturas para implementação, como citado neste trabalho, em pergolados e garagens abertas com a possibilidade de implementação no telhado, fazendo os painéis bifaciais serem responsáveis por duas funções geração de energia elétrica e cobertura, explorando o espaço melhor e aumentando a geração por consequência, no momento em que o veículo não estiver presente.

6. Referências Bibliografia

ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 30 set. 2023.

ALDO SOLAR. Inversor solar fotovoltaico on grid growatt, 2023. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/68208-4/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-growatt-mic2000tl-x-2kw-monofasico-220v-1mppt-monitoramento>. Acesso em: 31 jul. 2023.

BRASIL tem 1,1 milhão de residências com telhado solar; São Paulo lidera lista: Veja o ranking dos dez estados com maior número de casas que utilizam este tipo de energia no país. G1: Jonathan Pereira, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2023/03/31/brasil-tem-11-milhao-de-residencias-com-telhado-solar-sao-paulo-lidera-lista.ghtml>. Acesso em: 8 out. 2023.

CANALSOLAR. Diferença entre módulos bifaciais e monofaciais: Além das diferenças estruturais, existe a distinção da durabilidade. Canal Solar, 21 jun. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/diferenca-entre-modulos-bifaciais-e-monofaciais/>. Acesso em: 16 out. 2023.

CANALSOLAR. Entenda os módulos fotovoltaicos bifaciais. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/modulos-fotovoltaicosbifaciais/>. Acesso em: 07 maio 2023.

CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. 2023.

EIA. WHAT is U.S. electricity generation by energy source?: EIA. [S. l.], 2023. Disponível em: [https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3#:~:text=Solar%20\(total\),3.4%25](https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3#:~:text=Solar%20(total),3.4%25). Acesso em: 7 jul. 2023.

ENERGIA solar ultrapassa 33 GW de capacidade operacional: CanalSolar. [S. l.], 17 ago. 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-ultrapassa-33-gw-de-capacidade-operacional-no-brasil/>. Acesso em: 6 out. 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Caderno sobre Ações de Eficiência Energética em Indústrias Brasileiras. 2020.

FRONTIN. Sérgio de Oliveira. Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: planejamento e engenharia. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora Ltda, 2017. 532 p.

GLOW SOLAR. O que é micro e minigeração distribuída. 3 fev. 2021. Disponível em: <https://glowsolar.com.br/noticias/o-que-e-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 7 jul. 2023.

GOV. LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. 6 jan. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 11 ago. 2023.

GREENYELLOW. Energia solar no mundo: saiba quais os maiores países. Blog, 25 abr. 2023. Disponível em: Energia solar no mundo: saiba quais os maiores países!. Acesso em: 5 jul. 2023.

IBGE. Domicílios brasileiros. GOV, 2022. Disponível em: [https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/21130-domicilios-brasileiros.html#:~:text=Segundo%20os%20resultados%20da%20PNAD,\(11%20milh%C3%B5es\)%20eram%20apartamentos](https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/21130-domicilios-brasileiros.html#:~:text=Segundo%20os%20resultados%20da%20PNAD,(11%20milh%C3%B5es)%20eram%20apartamentos). Acesso em: 9 out. 2023.

LIRA, Alcidemar Galdino de. Análise comparativa entre módulos solares fotovoltaicos dos tipos monocristalino half-cell, bifacial e PERC, aplicação de estudo de caso em uma usina de minigeração. 2022.

LUZ SOLAR. Como funciona o sistema fotovoltaico?, 2021. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

MEDEIROS FILHO, Ricardo Machado de. Projeto e implantação de usina solar fotovoltaica com módulos de tecnologia bifacial. 2021.

NACIONAL Energia Sustentável. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.nacionalenergia.com/kitsolar>. Acesso em: 11 jul. 2023.

NEOENERGIA: Tarifas de Energia Elétrica, 22 ago. 2023. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/documents/d/sp/neoenergia-elektro-tarifas-energia-eletrica-grupo-b>. Acesso em: 9 out. 2023.

NEOSOLAR. Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 18 jul. 2023

PEREIRA, Osvaldo LS; GONÇALVES, Felipe F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema de Tubarão-SC. Revista Brasileira de Energia, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

PV MAGAZINE. China aims to add 160 GW of wind, solar capacity in 2023. Pv magazine, 3 jan. 2023. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2023/01/03/china-aims-to-add-160-gw-of-wind-solar-in->

2023/#:~:text=The%20NEA%20said%20that%20if%20China%20reaches%20its%202023%20installation%20target%20of%20160%20GW%20of%20wind%20and%20solar%2C%20it%20would%20represent%20year%2Don%2Dyear%20growth%20of%2033%25.%20It%20adde d%20that%20it%20expects%20the%20country%27s%20cumulative%20solar%20capacity%20to%20reach%20490%20GW%20by%20the%20end%20of%202023%2C%20including%20430%20GW%20of%20wind%20power. Acesso em: 7 jul. 2023.

SANTANDER, Entenda como funciona a energia solar. Santander, 2023. Disponível em: <https://www.santander.com.br/hotsite/santanderfinanciamentos/energia-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em: 7 jul. 2023.

VILLALVA, Marcelo Gradella. ENERGIA SOLAS FOTOLTAICOS: Conceitos e Aplicação: Sistemas Isolados e Conectados á Rede. 2ªEdição. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015. 224 p. v. 714e. ISBN 978-85-365-1489-5.