

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS FILHO**

**PREVISÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA OBTIDA A PARTIR DO  
SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 301 kW<sub>p</sub> INSTALADO EM UMA UNIVERSIDADE  
NO OESTE DO PARANÁ**

**MEDIANEIRA**

**2025**

**JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS FILHO**

**PREVISÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA OBTIDA A PARTIR DO  
SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 301 kWp INSTALADO EM UMA UNIVERSIDADE  
NO OESTE DO PARANÁ**

**Forecast of electrical energy savings from the 301 kWp photovoltaic system  
installed at a university in western Paraná**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Filipe Marangoni.

Coorientador: Giovano Mayer.

**MEDIANEIRA**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS FILHO**

**PREVISÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA OBTIDA A PARTIR DO  
SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 301 kWp INSTALADO EM UMA UNIVERSIDADE  
NO OESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 10/fevereiro/2025

---

Filipe Marangoni  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Giovano Mayer  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

José Airton Azevedo dos Santos  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Thiago Naufal Santelo  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**MEDIANEIRA**

**2025**

Dedico este trabalho a Deus por tudo que ele tem  
feito na minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A vida não é construída de forma sozinha, apesar da nossa jornada ser muitas vezes solitária e buscarmos a auto evolução sem que muitos notem, há aqueles que passam por esse nosso processo e nos ajudam a passar por ele, nos trazendo grandes aprendizados. Com isso, gostaria de agradecer:

Primeiramente a Deus, por tudo que ele já fez, por tudo que ele vai fazer e por tudo que ele está fazendo. Sou muito grato a Deus por ele na minha vida!

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Filipe Marangoni, por ter aceitado fazer esse trabalho comigo, por sempre me dar apoio e orientações; além de todas as músicas e cafés.

Agradeço ao meu coorientador por ter aceitado a ajudar a me guiar nessa trajetória.

Obrigado à minha família por sempre estar comigo e por sempre se importar comigo, mesmo que as vezes pareça que eu não me importe muito com eles, mas eu os amo e agradeço por suportarem comigo a distância e todo esse processo.

Não posso esquecer de agradecer os meus amigos que fizeram parte de tudo isso também. Agradecer por eles terem participado da minha jornada e contribuído de alguma forma para o meu crescimento. Em especial o pessoal da ABUB Medianeira.

Estendo esse agradecimento a Verdade Igreja Medianeira, que no último ano de meu estudo na universidade me deu uma Família para pertencer.

E por fim agradeço a você que está lendo esse trabalho, e espero que saiba que Jesus Cristo é contigo e ele o ama.

Vá, vença e volte!

Porque Deus amou o mundo de tal maneira que deu o seu Filho unigênito, para que todo aquele que nele crê não pereça, mas tenha a vida eterna!  
A Bíblia (JOÃO, 3:16).

## RESUMO

A matriz energética brasileira tem em sua predominância fontes renováveis, representando 49,92% da geração em 2023. A contribuição da energia fotovoltaica deve passar de 5,9% em 2024 para 8,5% até 2028. Com o intuito de diminuir as despesas com energia elétrica em uma universidade no oeste do Paraná, foi realizada a instalação de um sistema fotovoltaico com potência instalada de 301 kW. Este trabalho apresenta a simulação referente ao sistema instalado na universidade, com o objetivo de estimar a geração anual, a economia obtida, e verificar os indicadores financeiros para o investimento realizado, como *payback*, TIR e VPL. Para o desenvolvimento das simulações foi utilizado o programa PVSyst, levando-se em consideração as circunstâncias climáticas e de incidência solar para a cidade de Medianeira no Paraná e as características do sistema (azimute e ângulo de inclinação). Foi possível adicionar os componentes com as mesmas marcas e modelos do sistema instalado, e também foi possível realizar uma modelagem 3D das estruturas próximas, geradoras de sombreamento. Os Valores de VPL, TIR e *payback* indicam que um investimento economicamente viável, a simulação apresentou uma geração de mais de 500 mil kWh ao longo do ano, um retorno de investimento de 5,5 anos e uma taxa interna de retorno de 25,13%. A simulação também indicou que haveria uma geração 4,14% menor se tivessem sido instalados painéis monofaciais no lugar dos bifaciais, contudo, os indicadores financeiros mostram-se mais favorável a utilização do bifacial. A energia que sai do inversor para a inclinação de 25° seria 5,53% maior do que a para a inclinação de 10°, que foi utilizada devido aos esforços e solicitações mecânicas oriundas da velocidade máxima do vento para a região.

**Palavras-chave:** geração de energia fotovoltaica; sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios; custo-benefício.

## ABSTRACT

The Brazilian energy matrix is predominantly based on renewable sources, representing 49.92% of the generation in 2023. The contribution of photovoltaic energy is expected to increase from 5.9% in 2024 to 8.5% by 2028. In order to reduce electricity costs at a university in western Paraná, a photovoltaic system with an installed capacity of 301 kW was installed. This study presents the simulation of the system installed at the university, aiming to estimate the annual generation, the savings achieved, and to evaluate the financial indicators for the investment, such as payback, IRR, and NPV. The PVSyst software was used for the simulation, considering the climatic conditions and solar incidence for the city of Medianeira, Paraná, as well as the system's characteristics (azimuth and tilt angle). It was possible to add components with the same brands and models as those in the installed system, and also to create a 3D model of nearby structures that generate shading. The NPV, IRR, and payback values indicate a financially viable investment. The simulation showed a generation of more than 500,000 kWh over the year, a payback period of 5.5 years, and an internal rate of return of 25.13%. The simulation also indicated that there would be a 4.14% lower generation if monofacial panels had been installed instead of bifacial ones. However, the financial indicators show that the use of bifacial panels is more favorable. The energy output from the inverter for a 25° tilt would be 5.53% higher than for a 10° tilt, which was used due to the mechanical stresses and requests from the maximum wind speed for the region.

**Keywords:** photovoltaic power generation; building-integrated photovoltaic systems; cost effectiveness.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Módulo fotovoltaico monocristalino X policristalino .....	20
Figura 2 – Composição painel fotovoltaico.....	21
Figura 3 – Corte e composição célula fotovoltaica .....	23
Figura 4 – Célula fotovoltaica monocristalina.....	23
Figura 5 – Célula fotovoltaica policristalina .....	24
Figura 6 – Conexão paralela células fotovoltaicas .....	25
Figura 7 – Conexão série células fotovoltaicas .....	25
Figura 8 – Circuito básico inversor CC-CA.....	26
Figura 9 – Circuito com os transistores em operação em cada semiciclo .....	27
Figura 10 – Tensão alternada produzida pelo inversor .....	27
Figura 11 – Sistema fotovoltaico conectado a rede (GD).....	29
Figura 12 – (a) Inversor GROWATT e (b) Painéis fotovoltaicos ZNSHINE SOLAR instalados .....	34
Figura 13 - Diagrama do sistema instalado.....	35
Figura 14 – Área de configuração do projeto PVsyst .....	36
Figura 15 – Configuração do sistema.....	37
Figura 16 – Configuração tecnologia bifacial.....	38
Figura 17 – Sombras próximas PVsyst .....	39
Figura 18 – Construção de desenho de sombras imagem de solo .....	39
Figura 19 – Criar objeto elementar de sombra .....	40
Figura 20 – Criação de objetos painéis fotovoltaicos .....	41
Figura 21 – Sistema instalado em 3D com geradores de sombras .....	41
Figura 22 – Animação das sombras.....	42
Figura 23 – Configuração disposição dos módulos.....	43
Figura 24 – Tarifas Copel 2024 .....	44
Figura 25 – Avaliação econômica (investimentos e encargos).....	45
Figura 26 – Avaliação econômica (parâmetros financeiros).....	46
Figura 27 – Avaliação econômica (venda de energia) .....	47
Figura 28 – Balanço e resultados principais do sistema instalado .....	48
Figura 29 – Resultados econômicos do sistema instalado.....	49
Figura 30 – Balanço e resultados principais do sistema sem bifacial.....	50
Figura 31 – Balanço e resultados principais do sistema com inclinação 25° .....	52
Figura 32 – Diagrama de perdas sistema com inclinação de 25° .....	53
Figura 33 – Velocidade básica do vento no Brasil.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das tarifas Copel 2024.....	44
Tabela 2 – Histórico de reajuste das tarifas de energia .....	45
Tabela 3 – Resultados dos indicadores financeiros do sistema instalado.....	49
Tabela 4 – Resultados dos indicadores financeiros do sistema painéis monofa- cial.....	51
Tabela 5 – Resultados dos indicadores financeiros do sistema com inclinação de 25° .....	54
Tabela 6 – Resultados dos indicadores financeiros sem variação da tarifa .....	55
Tabela 7 – Resultados dos indicadores financeiros tarifa sem imposto .....	56
Tabela 8 – Diferença da geração real e simulada .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de referência para energia solar e eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GIS	<i>Geographic Information System</i>
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadoria e serviços
IEA	Agência Internacional de Energia
MMGD	Micro e Minigeração distribuída
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ONS	Operador Nacional do Sistema elétrico
PMO	Programa Mensal de Operação
RN	Resolução Normativa
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SIN	Sistema Interligado Nacional
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de retorno
TMA	Taxa Mínima Atrativa
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

MW	Megawatts
kWp	Quilo watt pico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
GW	Gigawatts
GWh	Gigawatts hora
A	Ampere
V	Volt
W	Watt

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Geração de energia renovável</b> .....	<b>17</b>
2.1.1	Utilização de energia solar no mundo .....	18
2.1.2	Utilização de energia solar no Brasil .....	19
<b>2.2</b>	<b>Funcionamento painel fotovoltaico</b> .....	<b>20</b>
2.2.1	Célula fotovoltaica .....	21
2.2.2	Ligação de painéis fotovoltaicos.....	25
<u>2.2.2.1</u>	<u>Albedo e sua influência nos painéis bifaciais</u> .....	<u>26</u>
2.2.3	Inversor fotovoltaico .....	26
<u>2.2.3.1</u>	<u>Entrada MPPT</u> .....	<u>28</u>
2.2.4	Sistemas conectados à rede .....	28
2.2.5	Sombreamento no sistema.....	29
<b>2.3</b>	<b>Softwares de simulação</b> .....	<b>30</b>
<b>2.4</b>	<b>Indicadores financeiros</b> .....	<b>31</b>
2.4.1	Payback.....	31
2.4.2	Taxa interna de retorno (TIR) .....	32
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>O Sistema instalado</b> .....	<b>34</b>
3.1.1	Marcas e modelos .....	34
3.1.2	Disposição e conexão do sistema .....	35
<b>3.2</b>	<b>PVsyst</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>PVsyst – sombreamento</b> .....	<b>38</b>
<b>3.4</b>	<b>PVsyst – avaliação econômica</b> .....	<b>43</b>
3.4.1	Tarifas e variações ao ano .....	44
3.4.2	Configuração da avaliação econômica no Software .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Sistemas com ou sem painéis bifaciais</b> .....	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>Diferença do ângulo dos painéis</b> .....	<b>52</b>
4.2.1	Motivação da instalação dos painéis fotovoltaicos com inclinação de 10° .....	54

4.3	Simulação do Sistema Fotovoltaico sem o aumento na tarifa de energia elétrica .....	55
4.4	Simulação do Sistema Fotovoltaico com Geração de crédito de Energia .....	56
4.5	Comparação entre a geração real e a simulada.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
5.1	Sugestão de Trabalhos Futuros.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	ANEXO A - RELATÓRIO PVSYST SISTEMA INSTALADO .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica Brasileira é composta por várias fontes de energia, sendo principal a hidroelétrica, que foi responsável por alimentar o sistema em 2023 com cerca de 108.392 MW de potência, o que representa cerca de 49,92% da produção total do país. Em uma projeção feita pelo Programa Mensal de Operação (PMO) do Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS), espera-se que a geração aumente de 221.621 MW em 2024 para 254.341 MW em 2028 (ONS, 2024).

Esse aumento na geração é de que seja em geração solar, passando de 5,9% da matriz elétrica brasileira em 2024 para 8,5% em 2028. A projeção é de que tenha um aumento na MMGD, saindo de 13% em 2024 para 16,2% em 2028. Sendo assim mesmo tendo o aumento, a porcentagem de geração a partir de fontes de energia hídrica, passe ao final de 2028 representar 42,7% da matriz energética (ONS, 2024).

Comparado a outros países, o Brasil já possui uma matriz energética majoritariamente de fontes renováveis; por isso a busca por novas fontes de energia renováveis não tem sido tão acelerada para nós como para outros países. Contudo em 2009 o país apresentava uma capacidade de geração menor em relação a outros países, por esse motivo para o Brasil sustentou seu crescimento, e energias como eólica e solar foram fundamentais. Esse fato tende a continuar o crescimento em todo o país como já vem ocorrendo desde 2009 (VILLALVA, 2014).

As energias renováveis são uma grande alternativa para a troca de fontes de energia advindas de origem fósseis, pois poluem menos o meio ambiente e são mais baratas. Em destaque temos a energia fotovoltaica, que tem como vantagens ser renovável, não ser poluidora, é economicamente competitiva, pois permite retornos de investimento bem rápidos, não exige grandes manutenções e as tecnologias presentes no mercado já estão bem avançadas (PEREIRA; OLIVEIRA, 2015).

A partir de 17 de abril de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa (REN) 482, possibilitando que os consumidores brasileiros gerem sua própria energia através de fontes de energia renováveis, podendo até mesmo fornecer o excedente para a rede de distribuição de energia em sua localidade, para assim posteriormente compensar o consumo de energia elétrica. Isso trata da microgeração e da mineração distribuídas de energia elétrica (MMGD) e do Sistema de Compensação de Energia

Elétrica (SCEE), aspectos inovativos que visam economia financeira, autossustentabilidade e conscientização socioambiental (ANEEL, 2023).

As regras aplicáveis a MMGD foram atualizadas pela ANEEL, mudando também modalidades de participação no SCEE. Com a Lei nº 14.300, de 7 de janeiro de 2022, e estudos feitos desde 2018, a ANEEL fez uma atualização por meio da REN 1059 provendo adequações do regulamento, além de firmar o arranjo da MMGD e SCEE (ANEEL, 2023).

Através da possibilidade do abatimento na conta de energia, várias pessoas, empresas e instituições aderiram a instalação de uma geração em seu local, em especial as fotovoltaicas que vem crescendo grandemente no país. A universidade não está de fora disso, após receber um orçamento de projeto para esse fim, foi instalado uma geração fotovoltaica em suas instalações.

Esse trabalho tem como intuito fazer análises financeiras através de uma projeção feita em software de simulação do sistema instalado, levando em consideração a localidade e o clima, para assim chegar à conclusão se o investimento é viável ou não.

Apesar de ser uma fonte de energia renovável, assim como a hidroelétrica, também é uma fonte de energia que depende do clima, sendo assim, não é sempre que é possível extrair o máximo de sua geração, pelo fato das condições climáticas e da localização da instalação.

Com isso em mente não é possível saber o quanto o sistema vai gerar apenas com o cálculo da potência instalada, já que é notório que não é gerado esse valor sempre; por causa dessa incerteza, não é possível estimar o quanto será gerado, o quanto isso trará de economia na conta de energia ou até mesmo se é ou não um bom investimento.

Por meio de simulações com softwares apropriados, é possível obter valores mais próximos da realidade, sendo possível considerar a localidade, mudança climáticas e mais elementos. Com isso, é possível estimar através de uma projeção a influência que traz para a universidade no âmbito financeiro.

Este estudo propõe uma análise financeira do sistema de geração fotovoltaica de 301 kWp instalado em uma universidade no oeste do Paraná. A pesquisa aborda a importância de considerar variáveis como clima, localidade e características específicas do sistema para obter com precisão os benefícios econômicos esperados ao longo do tempo.

Essa análise é crucial não apenas para universidade analisada, mas também para outras instituições interessadas em adotar tecnologias sustentáveis, pois fornece uma base sólida para tomar decisões estratégicas sobre investimentos em energia solar fotovoltaica.

Ao demonstrar os retornos financeiros esperados à geração fotovoltaica, este estudo contribui para a disseminação e adoção de fontes de energia limpas e renováveis, alinhadas com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

Com a utilização de um software específico que leva em consideração variáveis climáticas e de localização, é possível verificar as questões de viabilidade do empreendimento, o que diminui o risco. Investir em energia solar fotovoltaica é um investimento de baixo risco, contudo é legal ter análises financeiras através de projeções para ver se o investimento é compensatório, isso pode-se observar através de estudos feitos por pesquisadores (GAVIOLI et al.,2021; JACQUES; FRANKENBERGER, 2022; FORTES, 2022; CORRÊA, 2021; RAMOS et al., 2021; LEMOS, 2022; BATISTA, 2022).

## **1.1 Objetivos**

Simular o sistema fotovoltaico instalado em uma universidade no oeste do Paraná, levando em consideração as marcas e modelos dos equipamentos, o sombreamento incidente, e as características do sistema (azimute e ângulo de inclinação), para estimar a geração anual de energia e a economia obtida na fatura de energia elétrica.

Para que seja possível alcançar o objetivo principal do trabalho, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar a simulação da geração do sistema no software PVsyst de acordo com as características climáticas da cidade Medianeira, com a utilização das mesmas marcas e modelos dos equipamentos instalados;
- Fazer a modelagem 3D no software para representar os elementos que ocasionam sombreamento no sistema;
- Comparar a energia gerada pelo sistema instalado (painéis bifaciais) com relação a painéis monofaciais de mesma potência;

- Realizar a comparação da inclinação do sistema instalado ( $10^\circ$ ) com a inclinação recomendada de acordo com a latitude da cidade ( $25^\circ$ );
- Verificar em que o reajuste tarifário anual e o desconto do ICMS influenciam na economia obtida;
- Realizar o cálculo dos indicadores financeiros *payback*, TIR e VPL no programa PVSyst.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Geração de energia renovável**

As fontes de energia podem ser do tipo renovável ou não renovável. A energia renovável, diferentemente da não renovável, tem a capacidade de usar elementos que conseguem ser repostos na natureza (CAPELLI, 2013).

Energia limpa é associado com frequência a energias renováveis, pois quando comparada com combustíveis fósseis, praticamente não apresenta resíduos ou emissões de poluentes (VILLALVA, 2012). Há uma grande tendência do mundo na substituição de energias não renováveis pelas renováveis, pelo fato de conseguir eliminar parcialmente ou totalmente efeitos prejudiciais a natureza, além de uma economia (CAPELLI, 2013).

O Sol emite uma grande quantidade de energia em direção ao planeta terra, contudo, apenas uma pequena porção é aproveitada. Vários tipos de energia são gerados através da radiação solar, como: calor, vento, potencial hidráulicos dos rios e correntes marinhas. A uma outra porção menor que é incorporada nas plantas através da fotossíntese, sustentando toda cadeia alimentar do planeta (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Ao longo de milhões de anos, matéria de seres vivos que se extinguíram, se acumularam no subsolo gerando as conhecidas fontes fósseis de energia, como: petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso e outros. E há elementos químicos presente na crosta terrestre capazes de gerar energia através da fissão de seus núcleos, como exemplo a fissão do urânio, fonte primária de energia nuclear (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Enquanto as fontes de energia fóssil e nuclear demandam períodos geológicos para sua reposição, as fontes renováveis são restabelecidas de forma imediata pela natureza. Exemplos incluem os potenciais hidráulicos, energia eólica, energia das marés e das ondas, radiação solar e calor proveniente do interior da Terra (geotérmica) (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A biomassa também é uma fonte renovável, abrangendo desde formas tradicionais, como lenha e resíduos orgânicos, até formas mais modernas, como etanol, biodiesel e gás de aterros sanitários utilizado para geração de eletricidade (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A eletricidade é amplamente utilizada em diversas aplicações e é, sem dúvida, um dos pilares fundamentais da sociedade moderna. Desde a iluminação até o uso de eletrodomésticos, ar-condicionado, operações industriais e muito mais, dependemos fortemente da energia elétrica. Por essa razão, a maioria dos processos de conversão de energia tem como objetivo a sua produção (MOREIRA, 2023).

A capacidade de ser facilmente transformada a partir de outras formas de energia torna a eletricidade uma forma nobre de energia. As principais fontes de geração de energia elétrica incluem usinas hidrelétricas, termelétricas e nucleares, além de tecnologias mais recentes, como geradores eólicos, painéis solares fotovoltaicos e células a combustível (MOREIRA, 2023).

### 2.1.1 Utilização de energia solar no mundo

A energia solar se inseriu no mercado em toda a América por ser mais acessível e por ter seus custos diminuídos vários americanos e empresas estão investindo na energia limpa. O Escritório de tecnologias de Energia Solar tem investido de forma brusca visando estimular a inovação, reduzindo custos e incentivando a transição para uma energia livre de CO<sub>2</sub> em até 2035 (DOE, 2024).

De acordo com o relatório "World Energy Outlook 2023" da Agência Internacional de Energia (IEA), as energias renováveis, particularmente a energia solar fotovoltaica, desempenha um papel crucial no futuro energético global. O relatório destaca que o mundo está no caminho de adicionar mais capacidade de energia renovável nos próximos cinco anos do que foi instalada desde o primeiro projeto comercial de energia renovável, mais de 100 anos atrás (IEA, 2023).

A energia fotovoltaica (juntamente com a eólica) é responsável por 95% da expansão global das energias renováveis prevista para o período de 2023-2028. Isso se deve principalmente à redução dos custos destas tecnologias em comparação com as alternativas fósseis e não fósseis. Estima-se que, em 2023, 96% da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica e eólica terá custos de geração inferiores aos de novas plantas a carvão e gás natural (IEA, 2023).

A China continua a liderar a expansão das energias renováveis, sendo responsável por quase 60% da nova capacidade de energia renovável global até 2028. Esse crescimento é impulsionado pela atratividade econômica das tecnologias

solares e eólicas e por um ambiente de políticas favoráveis que oferecem contratos de longo prazo (IEA, 2023).

Nos Estados Unidos, a Lei de Redução da Inflação (*Inflation Reduction Act*) tem catalisado a adição acelerada de capacidade solar fotovoltaica, apesar de questões de cadeia de suprimentos e preocupações comerciais a curto prazo. Na União Europeia e no Brasil, o crescimento da energia solar fotovoltaica em telhados está superando as plantas de grande escala, à medida que consumidores residenciais e comerciais buscam reduzir suas contas de eletricidade em meio a preços elevados (IEA, 2023).

As perspectivas para a energia solar fotovoltaica e outras fontes renováveis são promissoras, com investimentos em energia limpa aumentando significativamente desde 2020. Em 2023, mais de 500 gigawatts de capacidade de geração renovável estão previstos para serem adicionados, estabelecendo um novo recorde. O relatório também destaca a importância de políticas de apoio contínuas para garantir um impacto significativo da indústria de energia limpa (Energy Magazine, 2023).

### 2.1.2 Utilização de energia solar no Brasil

Em 2023 o Brasil bateu recorde na expansão da energia proveniente do sol. A energia solar fotovoltaica teve um aumento de 3 GW, isso em um período de janeiro a setembro, sendo que teve um aumento 0,5 GW maior em relação ao ano de 2022. Esse levantamento não levou em consideração as MMGD. Com isso em vista, o Brasil pretende continuar investindo em energias renováveis, pois tem a capacidade de liderar a transição energética de modo internacional, continuando assim com seu protagonismo nesta área (MME, 2023).

A micro e minigeração teve um aumento às ações regulatórias, uma delas estabelece a compensação da energia excedente produzida em sistemas de menor porte. A fonte solar fotovoltaica teve um destaque em 2022 na GD, contou com uma geração de 17.378 GWh com uma potência instalada de 17.006 MW (EPE, p. 15-16, 2023).

No Brasil, a capacidade instalada de energia solar ultrapassou 42 GW, equivalente a três vezes a potência da Usina de Itaipu. Desde 2012, foram investidos mais de R\$ 199,3 bilhões nesse setor, resultando na criação de 1,2 milhão de empregos verdes e na arrecadação de R\$ 61,8 bilhões para o governo (ABSOLAR, 2024).

A energia solar representa 18% da capacidade total instalada e 10% da geração total de energia no país, contribuindo significativamente para a redução das emissões de 51,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (ABSOLAR, 2024).

Na geração distribuída, temos 28,6 GW de potência instalada, enquanto na geração centralizada, as usinas solares somam 13,4 GW de potência, com investimentos acumulados de R\$ 58 bilhões e a geração de mais de 404 mil empregos desde 2012 (ABSOLAR, 2024).

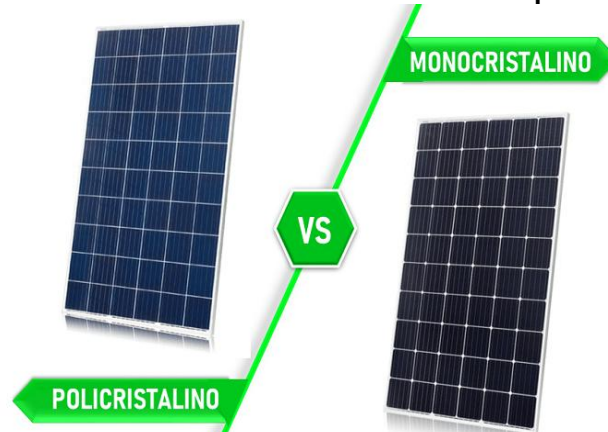
## 2.2 Funcionamento painel fotovoltaico

Painel fotovoltaico, módulo fotovoltaico ou placa fotovoltaica é formado por uma junção de várias células fotovoltaicas, pelo fato de apenas uma produzir pouca eletricidade. A construção do painel é o conjunto de células montadas sobre uma estrutura rígida conectadas eletricamente (VILLALVA, 2014).

O módulo fotovoltaico, ilustrado na Figura 1, consiste em 36 a 72 células solares dispostas em uma estrutura rígida e interligadas eletricamente. As células fotovoltaicas são fabricadas principalmente utilizando tecnologias de silício policristalino e monocristalino, ambos derivados do mineral quartzo, cuja produção no Brasil é significativa em nível global (VILLALVA, 2014).

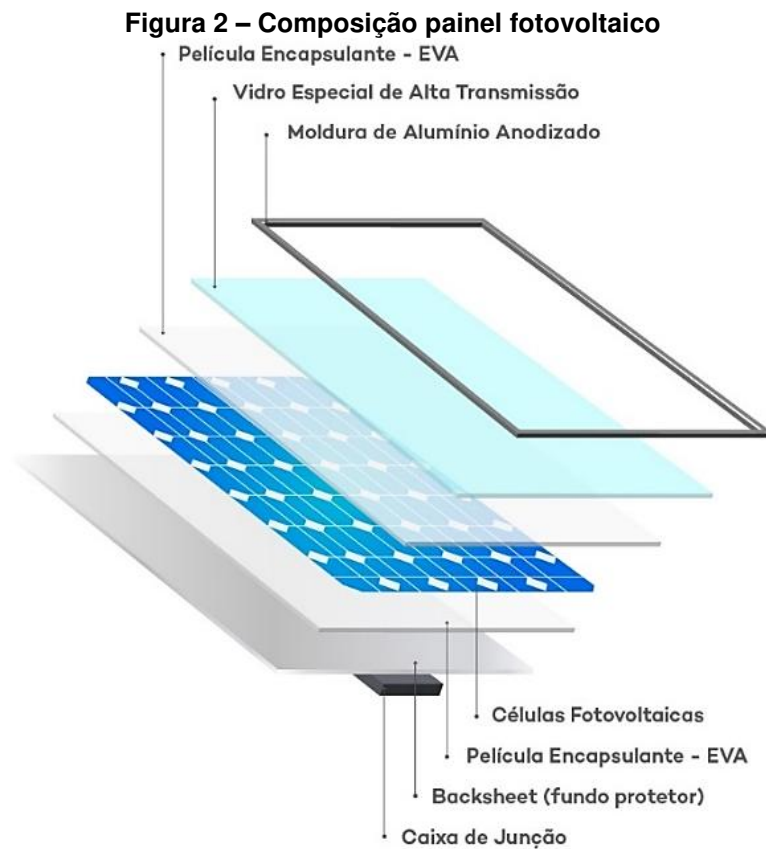
As células constituem a unidade básica no processo de conversão da energia solar em eletricidade. Embora existam outras tecnologias fotovoltaicas, os módulos de silício monocristalino e policristalino têm demonstrado uma eficiência superior no processo de conversão (VILLALVA, 2014). Observa-se a diferença visual de ambos os painéis na Figura 1.

**Figura 1 – Módulo fotovoltaico monocristalino X policristalino**



Fonte: Yes energia solar (2024)

Com o auxílio da Figura 2 e possível observar como é construído um painel fotovoltaico mais comum. As células e suas conexões elétricas são fechadas dentro de uma lâmina de plástico, que posteriormente é coberto com uma lâmina de vidro e por fim colocado uma moldura de alumínio. Na parte posterior do módulo, este recebe uma caixa com conexões elétricas que geralmente acompanha a placa, e os cabos são conectores padronizados que permitem a conexão de módulos em série de forma mais rápida (VILLALVA, 2014).



Fonte: NeoSolar (2024)

### 2.2.1 Célula fotovoltaica

É possível obter energia elétrica através de painéis com células fotovoltaicas, que com a incidência da luz solar acaba gerando energia (CAPELLI, 2013). O fenômeno físico responsável por essa conversão direta de luz em energia é conhecido como efeito fotovoltaico, ele ocorre quando a luz ou radiação solar penetra em uma célula composta de materiais semicondutores com características específicas (VILLALVA, 2014).

A diferença entre bons condutores e bons isolantes, é que os condutores possuem um elétron em sua camada de valência, enquanto os isoladores possuem oito elétrons na camada de valência. Já os semicondutores eles ficam entre as propriedades de bons condutores e isolantes, então os melhores semicondutores possuem quatro elétrons na camada de valência, como o Germânio e o Silício (MALVINO, 2007).

O efeito fotovoltaico ocorre em semicondutores, como o silício, que possuem bandas de energia onde elétrons podem existir (banda de valência) e outras totalmente vazias (banda de condução). O silício, por exemplo, tem quatro elétrons em sua estrutura, formando uma rede cristalina (CRESESB, 2006).

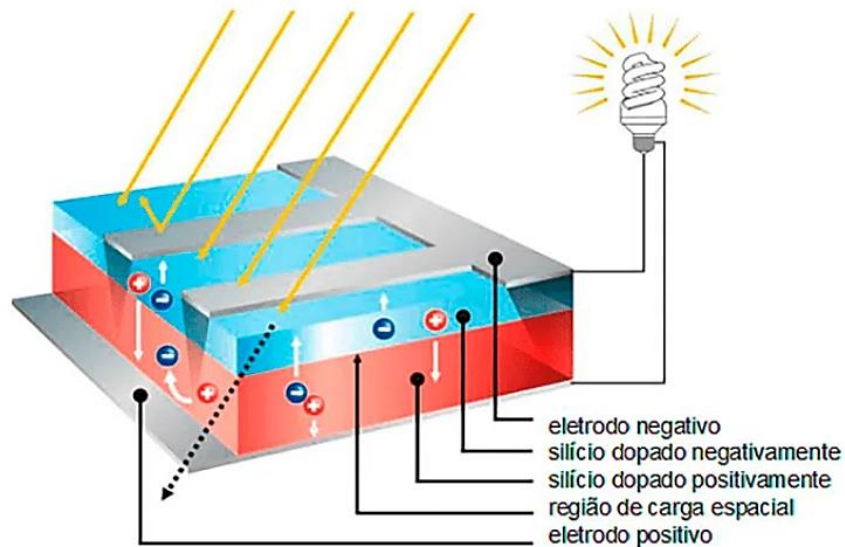
Ao adicionar átomos como o fósforo, que possui cinco elétrons de ligação, um elétron extra fica livre para se mover para a banda de condução, tornando-o um dopante doador de elétrons ou dopante tipo  $n$ . Por outro lado, átomos como o boro, com apenas três elétrons de ligação, criam uma falta de elétrons, chamada de buraco ou lacuna. Esses buracos podem se mover quando elétrons de sítios vizinhos os ocupam, tornando o boro um dopante aceitador de elétrons ou dopante tipo  $p$  (CRESESB, 2006).

Quando junções  $pn$  são formadas no silício, elétrons livres do lado  $n$  migram para o lado  $p$ , onde são capturados pelos buracos. Isso resulta em um acúmulo de elétrons no lado  $p$  e uma redução de elétrons no lado  $n$ , criando um campo elétrico permanente que forma uma barreira para a passagem de mais elétrons do lado  $n$  para o lado  $p$  (CRESESB, 2006).

Ao expor a junção  $pn$  a fótons com energia suficiente, pares elétron-lacuna são gerados. Se isso acontecer na região onde há um campo elétrico, as cargas serão aceleradas, criando uma corrente através da junção, conhecida como efeito fotovoltaico. Conectar as extremidades do silício por um fio permite a circulação de elétrons, base do funcionamento das células fotovoltaicas (CRESESB, 2006).

Na Figura 3 é apresentado o corte de uma célula fotovoltaica. Nota-se a presença dos eletrodos positivo e negativo que são as partes condutoras de corrente elétrica, as dopagens positivas tendo um semicondutor tipo  $p$ , e uma dopagem negativa tendo um semicondutor tipo  $n$ , além disso é importante a junção  $pn$  entre essas duas camadas de silício, dopadas de formas diferentes. Desta forma é possível notar o efeito fotoelétrico descrito anteriormente, através das incisões dos raios solares, ocorrendo a movimentação de elétrons e gerando assim corrente elétrica.

**Figura 3 – Corte e composição célula fotovoltaica**



**Fonte: MetalSol (2022)**

Existem várias tecnologias para a fabricação das células fotovoltaicas, contudo as mais comuns encontradas no mercado são a de silício monocristalino e a de silício policristalino (VILLALVA, 2014).

O lingote de silício monocristalino possui um arranjo molecular homogêneo, então ele é cortado em pedaços para produzir *wafers* que são bolachas de silício puro. Então os *wafers* recebem a dopagem em ambos os lados formando as camadas *p* e *n*. Na sequência ela recebe uma película metálica em uma das faces, uma grade metálica na outra face e uma camada de material reflexivo que vai receber a luz (VILLALVA, 2014). Um exemplo de célula fotovoltaica monocristalina pode ser verificada na Figura 4.

**Figura 4 – Célula fotovoltaica monocristalina**

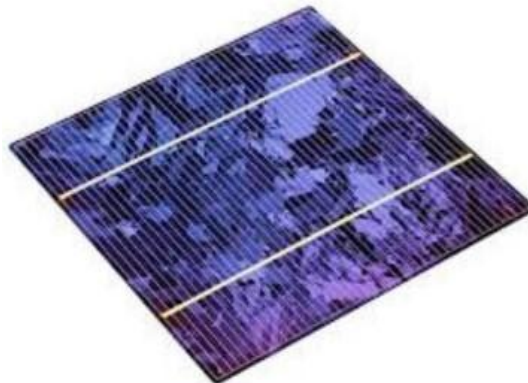


**Fonte: CanalSolar (2019)**

Devido aos menores requisitos do processo de preparação, as células de silício policristalino são mais baratas que as células de silício monocristalino. Mas sua eficiência é um pouco menor. O processo de purificação do silício utilizado na produção de células policristalinas é semelhante ao do silício monocristalino, portanto, níveis de eficiência comparáveis podem ser alcançados (CRESESB, 2006).

As células policristalinas são fabricadas utilizando técnicas semelhantes às células monocristalinas, mas com menos requisitos de controle. Podem ser preparados cortando lingotes, produzindo fitas ou depositando filmes finos em substratos usando métodos como transferência de vapor ou imersão. Nos dois últimos casos obtém-se silício policristalino. Cada técnica produz cristais com características específicas, como tamanho, morfologia e concentração de impurezas (CRESESB, 2006). Um exemplo de célula policristalina pode ser observado na Figura 5.

**Figura 5 – Célula fotovoltaica policristalina**

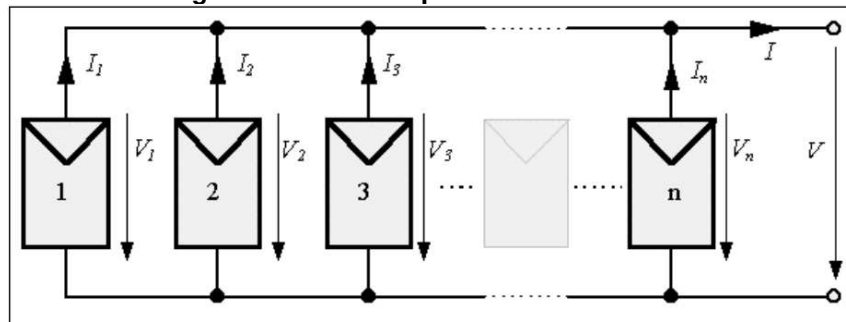


**Fonte: CanalSolar (2019)**

Pelo fato de ter uma baixa tensão na saída das células fotovoltaicas, várias células são agrupadas formando o painel fotovoltaico. O arranjo feito através de conexões das células em série ou em paralelo (CRESESB, 2006), mas na maioria dos casos são conectadas em série para produzir tensão maiores (VILLALVA, 2014).

Ao conectar as células em paralelo somam-se suas correntes, contudo, a tensão do módulo fotovoltaico é a mesma tensão da célula. A corrente presente pelo efeito fotovoltaico é contínua. Com base nas características comuns das células que são correntes máxima de 3 A e tensão baixa sendo próxima a 0,7 V essa ligação não é muito utilizada, sendo ressaltada apenas para casos bem específicos (CRESESB, 2006). A Figura 6 mostra um exemplo de conexão paralela das células fotovoltaicas.

**Figura 6 – Conexão paralela células fotovoltaicas**

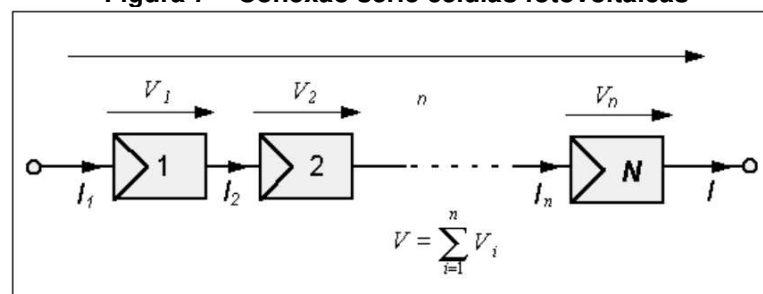


Fonte: CRESESB (2006)

A conexão mais usual é a em série. Ela agrupa as células de forma sequencial onde pode-se somar suas tensões, assim chegando em um valor final de 12 V (CRESESB, 2006).

A conexão representada na Figura 7 mostra como e dispostas as células nesse tipo e arranjo, sendo assim para esse caso a corrente do painel é a corrente da célula, contudo a tensão dele é a somatória de ambas as células.

**Figura 7 – Conexão série células fotovoltaicas**



Fonte: CRESESB (2006)

### 2.2.2 Ligação de painéis fotovoltaicos

Um circuito de módulos fotovoltaicos conectados em série com o intuito de gerar a tensão de saída desejada de um arranjo fotovoltaico e conhecido como *string*. *String* representa uma fileira de painéis fotovoltaicos (NBR 16690, 2019).

*Strings* ligadas em série podem ter seu funcionamento prejudicado totalmente se algum de seus módulos enfrentar algum sombreamento ou sujeira. Para contar essa situação existe o diodo de *bypass*, conhecido apenas como *bypass*, funciona como um desviador de corrente para eliminar o painel fotovoltaico com o problema assim não desligando a *string* inteira (CAMBAMBI, 2020).

### 2.2.2.1 Albedo e sua influência nos painéis bifaciais

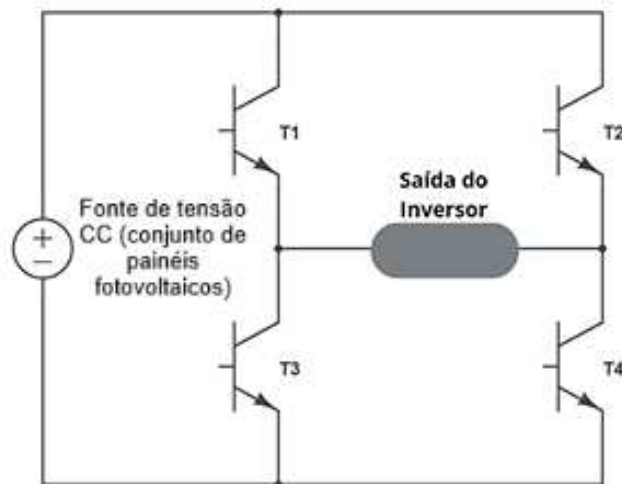
Albedo é uma fração da radiação solar refletida, ou seja, parte da irradiação solar refletida do solo (THURSTON, 2019). A energia relativa do albedo determina a capacidade do painel fotovoltaico de capturar essa irradiação (SUN, 2018).

### 2.2.3 Inversor fotovoltaico

Sistemas fotovoltaicos empregam inversores de tensão chaveados para regular e sincronizar a saída do conjunto fotovoltaico com a rede elétrica (CASARO, 2010). O inversor é responsável por converter tensão elétrica CC em tensão elétrica CA, assim alimentando consumidores de energia elétrica de corrente alternada através da corrente elétrica contínua produzida pelos painéis (VILLALVA, 2014).

O princípio de funcionamento do inversor pode ser observado na Figura 8, onde observam-se as quatro interruptores eletrônicos que permitem ou inibem a passagem de corrente elétrica de acordo com seu estado ligado ou desligado, convertendo a tensão contínua da entrada para a saída em forma alternada (VILLALVA, 2014).

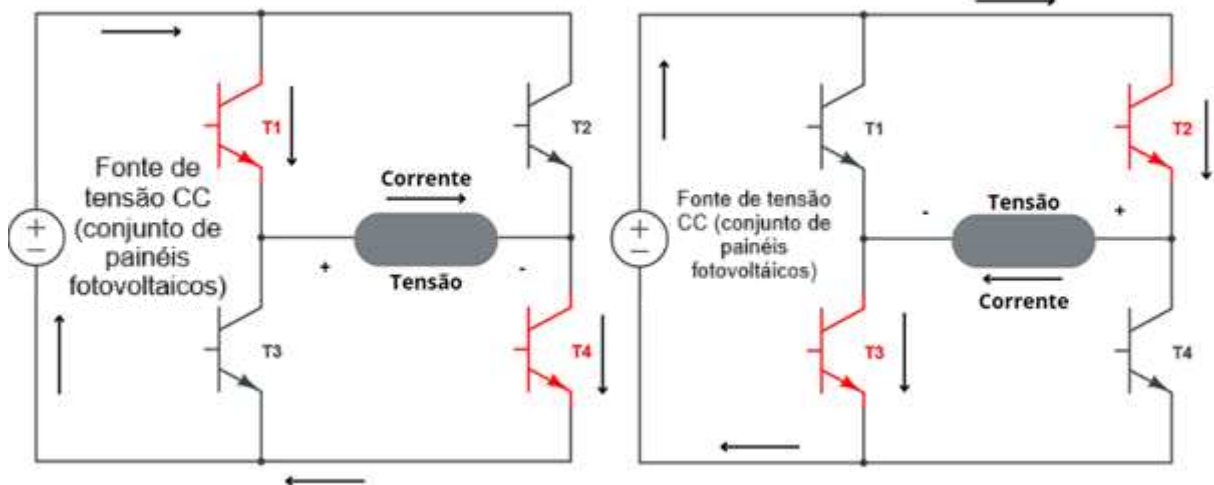
**Figura 8 – Circuito básico inversor CC-CA**



**Fonte: Adaptado de Villalva (2014)**

A tensão de saída do arranjo fotovoltaico pode ser entendida como uma fonte de tensão contínua, conforme indicado na Figura 8. Quando os interruptores das diagonais atuam alternadamente, é possível converter a tensão CC em tensão CA. É possível observar na Figura 9 o acionamento dos interruptores para cada semiciclo da forma de onda de saída.

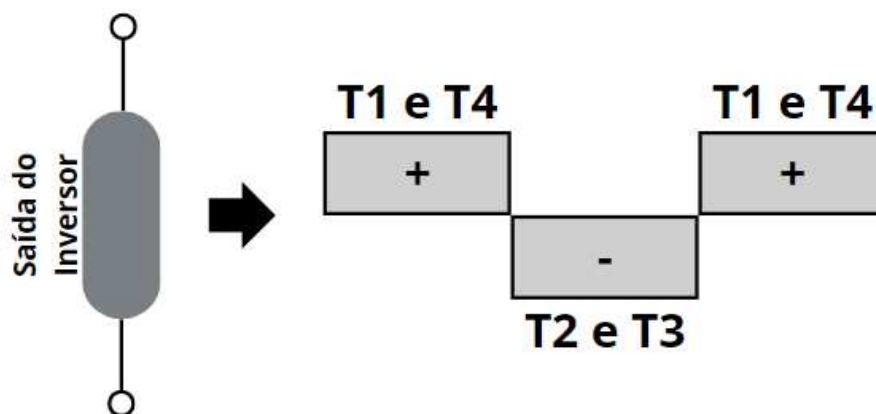
Figura 9 – Circuito com os transistores em operação em cada semiciclo



Fonte: Adaptado de Villalva (2014)

Os inversores comerciais são mais complexos do que este exemplo, pois eles contam com mais elementos em sua composição. Contudo, ao fazer o acionamento alternado dos interruptores nas diagonais com frequência fixa, é possível obter uma forma de onda quadrada de tensão, como apresentado na Figura 10. O resultado é a geração de uma tensão e corrente alternada a partir de uma corrente contínua (VILLALVA, 2014).

Figura 10 – Tensão alternada produzida pelo inversor



Fonte: Adaptado de Villalva (2014)

Na sequência é necessária a utilização de filtros específicos para que seja reconstruída uma forma de onda senoidal, para então a energia poder ser injetada na rede elétrica da concessionária ou ser utilizada diretamente na carga.

### 2.2.3.1 Entrada MPPT

A tecnologia MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) tem uma função crucial na otimização de eficiência de sistemas fotovoltaicos, garantindo que sempre operem no ponto máximo de potência independente das variações ambientais. Conversores com esse tipo de tecnologia permitem extrair do painel fotovoltaico a máxima potência que está sendo gerada, com isso obtendo um melhor rendimento, podendo resultar em um ganho significativo de energia (CRESESB, 2014)

### 2.2.4 Sistemas conectados à rede

Um sistema fotovoltaico pode ser categorizado em três tipos distintos: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Cada sistema segue uma configuração básica que inclui uma unidade de controle de potência e uma unidade de armazenamento (CRESESB, 2006).

Os sistemas conectados à rede empregam muitos painéis fotovoltaicos e não requerem armazenamento de energia, pois toda a energia gerada é entregue diretamente à rede elétrica. Eles servem como uma fonte complementar ao sistema elétrico principal ao qual estão conectados. Todo o sistema é conectado a inversores que devem atender a padrões rigorosos de qualidade e segurança para garantir que a rede não seja impactada (CRESESB, 2006).

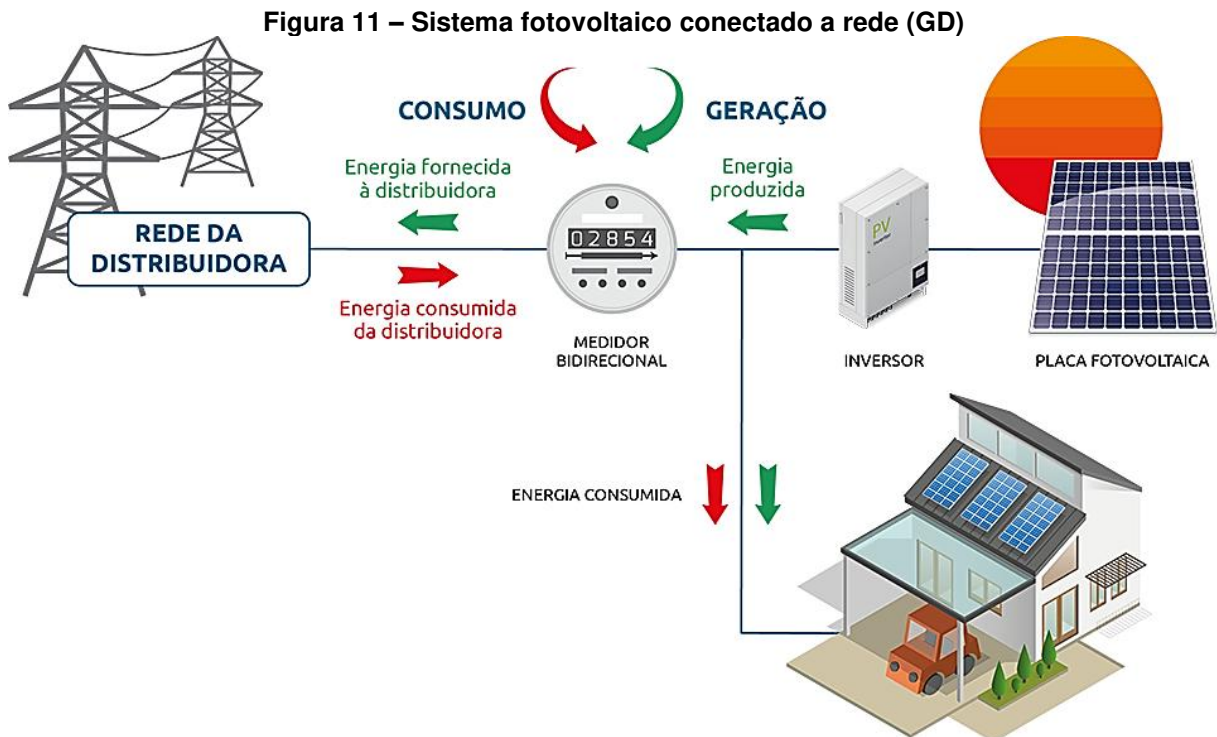
É possível dividir os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em três categorias (VILLALVA, 2014). A microgeração distribuída abrange centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada de até 75 kW, utilizando cogeração qualificada ou fontes renováveis, conectadas à rede de distribuição através das instalações das unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

E a minigeração distribuída refere-se a centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW até 3 MW (para fontes hídricas) ou até 5 MW (para cogeração qualificada ou outras fontes renováveis), também conectadas à rede de distribuição pelas instalações das unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

Na Figura 11 é apresentado o esquema de funcionamento de um sistema conectado à rede, onde é possível observar: o painel fotovoltaico onde ocorre o efeito fotoelétrico, assim gerando corrente contínua; o inversor para converter corrente contínua em corrente alternada, injetando para a rede de distribuição; e a própria rede

de alimentação do consumidor. Ao enviar a energia gerada para a rede elétrica, ela passa por um medidor bidirecional.

O medidor bidirecional vem da tarifação *net metering*, ou medida da energia líquida, é uma maneira de medição que vários países adotaram para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (VILLALVA, 2014).



**Fonte: Inovacare (2021)**

Nesse tipo de tarifação existe um medidor que mede a energia consumida e a gerada que é exportada para a rede elétrica pela unidade consumidora/geradora, ou seja, o medidor trabalha em dois quadrantes, medido a energia injetada na rede ou consumida da rede de distribuição (VILLALVA, 2014).

O medidor, portanto, é capaz de medir o quanto de potência ativa foi injetada na rede e quanto foi consumida (VILLALVA, 2014). Caso o consumidor injetar potência na rede, esta poderá ser utilizada para abatimento da tarifa ou geração de crédito (ANEEL 2021).

### 2.2.5 Sombreamento no sistema

De acordo com um estudo realizado por Lopes (2013), o sombreamento das células fotovoltaicas pode acabar resultando em uma diminuição da sua geração de energia, o que acaba afetando diretamente o tempo de amortização do investimento.

Através de um sistema com duas *strings* com três painéis fotovoltaicos em cada, foi observado que quando um sistema acaba possuindo apenas uma *string* prejudicada por sombreamentos não ocorre grande variação na potência produzida (LOPES, 2013)

A também estudos feitos por Jales (2024) que mostram que sombreamento parciais não tem efeito significativo na tensão de saída da placa fotovoltaica; quando sombreado uma ou mais células fotovoltaicas ela ainda permite que as correntes fluam ao redor delas através do diodo de *bypass* em paralelo com o painel fotovoltaico, sendo assim, é possível a corrente fluir através dos módulos não sombreados.

### **2.3 Softwares de simulação**

O PVsyst é um software de referência no campo da energia solar fotovoltaica, amplamente utilizado para o dimensionamento, simulação e análise de sistemas fotovoltaicos. Desenvolvido na Suíça, o PVsyst é reconhecido pela versatilidade de suas funcionalidades (PVSYST, 2024).

O software permite o dimensionamento de sistemas conectados à rede (*on-grid*), autônomos (*off-grid*) e híbridos, auxiliando na configuração ideal de módulos e inversores. Além disso, realiza simulações detalhadas do desempenho energético, considerando parâmetros como irradiação solar, temperatura, perdas elétricas e sombreamento (PVSYST, 2024).

O PVsyst integra uma extensa base de dados meteorológicos de diversas regiões, proporcionando simulações precisas baseadas em condições climáticas reais. Ele oferece ferramentas avançadas para avaliar o impacto de obstruções próximas sobre a performance do sistema fotovoltaico, usando modelagem 3D. Gera relatórios abrangentes sobre o desempenho projetado do sistema, incluindo gráficos e análises comparativas, essenciais para a tomada de decisão (PVSYST, 2024).

Além de suas capacidades técnicas, o PVsyst é amplamente utilizado como ferramenta educacional em universidades devido à sua interface intuitiva e riqueza de informações. O software permite também a exportação e importação de dados, facilitando a integração com ferramentas de CAD, GIS e outros programas de análise energética (PVSYST, 2024).

Ele auxilia para a simulação completa de sistemas fotovoltaicos e fornece dados detalhados para investidores, desenvolvedores e engenheiros, ajudando a tomar decisões. Por fim, ao simular diferentes cenários e avaliar o impacto de

diferentes variáveis, o PVsyst contribui para a previsão do desempenho dos sistemas fotovoltaicos (PVSYST, 2024).

Trabalhos similares fazem o uso do software, como exemplo, Santos (2022) faz uma simulação de desempenho de sistema fotovoltaicos conectados à rede, por se tratar de um software robusto e dinâmico que possui licença *trial*.

## 2.4 Indicadores financeiros

Indicadores financeiro ajudam nas tomadas de decisões de empresas, tem como objetivo auxiliar o tomador de decisão a aprovar ou não algum investimento. Alguns investimentos podem não gerar resultados condizentes com o esperado, por isso é essencial ter a análise desses investimentos. Existem indicadores qualitativos, contudo os quantitativos norteiam melhor pelo fato de apresentarem valores palpáveis (BRAGA, 1989; EHRHARDT, 2012; ASSAF NETO, 2010).

Os Indicadores mais comuns são *payback*, que é o retorno de investimento, TIR (Taxa interna de retorno) e por fim o VPL (Valor presente líquido). Esses indicadores foram abordados por trabalhos semelhantes Gavioli, et al. (2021), Jacques, Frankenberger (2022), Fortes (2022); Corrêa (2021), Ramos et al. (2021), Lemos (2022); Batista (2022).

De acordo com Ehrhardt (2012), os seguintes procedimentos, *payback*, VPL, TIR, são essenciais para sua tomada de decisão. O autor destaca que o uso do VPL é o melhor critério pois trata de todo o retorno ao longo do ano trazendo para momento presente, mas não anula o outros, que devem ser levados em consideração.

### 2.4.1 Payback

O método de *payback* é uma técnica amplamente utilizada na análise de investimentos para avaliar a viabilidade econômica de projetos. Ele se baseia no tempo necessário para que o fluxo de caixa gerado pelo investimento iguale o montante inicialmente investido. Em termos simples, o período de *payback* é o tempo necessário para que o investimento "se pague" (GITMAN, 2010).

O *payback* é uma medida de liquidez e risco, fornecendo uma estimativa do tempo que levará para recuperar o investimento inicial. Este método é especialmente útil em ambientes onde a liquidez é um fator crucial e onde há uma necessidade de rápida recuperação dos fundos investidos. Entretanto, uma das limitações é que ele

não considera os fluxos de caixa que ocorrem após o período de *payback*, o que pode levar a uma subestimação do valor total do projeto a longo prazo (ASSAF NETO; LIMA, 2014).

Existe três tipos de *payback*: o efetivo que pega o valor total investido e vai descontando o montante em cada ano na projeção de ganho até obter o valor do investimento; o *payback* médio que consiste em fazer uma média dos rendimentos, pegando o valor do investimento pelo valor médio, assim descobrindo o período de retorno (ASSAF NETO; LIMA, 2014); e o descontado, que considera o valor presente (VP), que consiste em trazer para valores atuais os valores da economia no futuro, pois o dinheiro se desvaloriza (ASSAF NETO; LIMA, 2014). A Equação (1) representa o Valor Presente (VP).

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^2} \quad (1)$$

Valor Futuro “VF” é o valor representado futuramente, e o “i” que é a taxa de juros vigente. Após trazer o VF para o presente desconta-se o VP do seu valor de investimento pelos anos, consecutivamente até achar o ano em que esse valor é igual a zero, assim achando o tempo de retorno (ASSAF NETO; LIMA, 2014).

#### 2.4.2 Taxa interna de retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma medida de rentabilidade de um investimento que representa a taxa de desconto que iguala o Valor Presente Líquido (VPL) dos fluxos de caixa futuros de um projeto ao investimento inicial. Em outras palavras, é a taxa de retorno que faz com que o VPL seja igual a zero (ASSAF NETO; LIMA, 2014).

A TIR fornece uma medida da rentabilidade relativa de um projeto, e é calculada encontrando quando a taxa de desconto que torna o VPL, dos fluxos de caixa futuros, igual ao investimento inicial. Matematicamente, a TIR é o valor de *i* da Equação (1) que satisfaz ela valendo zero (ASSAF NETO; LIMA, 2014).

A TIR é uma taxa de retorno efetiva sobre o investimento e é expressa como uma porcentagem. Se a TIR for maior que a taxa de desconto exigida, o projeto é considerado viável, pois gera retornos que excedem o custo do capital. Se for menor, o projeto é considerado inviável (ASSAF NETO; LIMA, 2014).

A TIR é amplamente utilizada na avaliação de investimentos em uma variedade de setores e indústrias. Ela é especialmente útil em projetos de longo prazo, onde o *timing* e a magnitude dos fluxos de caixa são críticos. A TIR também é uma ferramenta importante em análises de fusões e aquisições, avaliação de projetos de infraestrutura e tomada de decisões de investimento em geral (HORN; SCHREINER, 2014).

### 3 DESENVOLVIMENTO

O objetivo desse trabalho é realizar a simulação com a utilização dos equipamentos, marcas e modelos utilizados, levando-se em consideração as condições meteorológicas da cidade de Medianeira-PR, a partir de um sistema fotovoltaico já instalado em uma universidade. Com isso será possível estimar a geração, a economia obtida, e analisar a viabilidade do investimento.

#### 3.1 O Sistema instalado

O sistema fotovoltaico já está instalado, para manter-se fidedignamente o mais próximo da realidade, precisam ser considerados os componentes e equipamentos utilizados. Para as simulações foram utilizados as mesmas marcas e modelos dos equipamentos montados *in loco*; além disso, é necessário entender os esquemas de ligação dos painéis (*strings*) do sistema para assim chegar o mais próximo possível da realidade.

##### 3.1.1 Marcas e modelos

Para esse sistema foram usados os módulos fotovoltaicos da ZNSHINE SOLAR ZXM7-SHLDD144 Série de 555 Wp e inversores da GROWATT MAX75KTL3-XL2. Em sua totalidade foram utilizados 543 painéis fotovoltaicos e 5 inversores. Na Figura 12 é possível observar uma imagem dos equipamentos.

Figura 12 – (a) Inversor GROWATT e (b) Painéis fotovoltaicos ZNSHINE SOLAR instalados



(a)



(b)

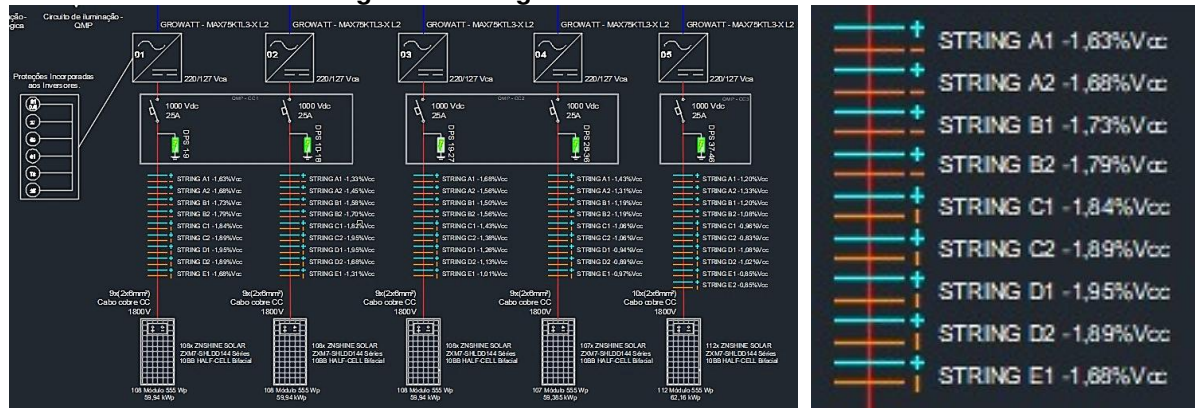
Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.1.2 Disposição e conexão do sistema

O inversor possui 8 entradas MPPT's, sendo possível colocar duas *strings* em cada um dos MPPT's. O projeto conta com a conexão de 108 painéis fotovoltaicos com 12 em cada *string* em 5 entradas MPPT's para três inversores. Para o quarto inversor tem-se um total de 107 placas e para o quinto inversor são 112 placas, sendo todos em apenas 5 entradas MPPT's.

Observa-se no diagrama unifilar da Figura 13(a) e (b) a distribuição executada, com a divisão dos MPPT's, denominados de "A" até "E". O valor subsequente representa a *string* daquele MPPT's. Como exemplo nota-se a *string* A1, que significa que a mesma está conectada no MPPT A sendo a primeira *string* (A1).

Figura 13 - Diagrama do sistema instalado



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.2 PVsyst

O PVsyst, como comentado no referencial teórico, é um software que possibilita a simulação de sistemas fotovoltaicos, sendo possível usar uma versão de 30 dias de forma gratuita, ou com licenças educacionais caso a instituição tenha disponível. Além do mais, é possível encontrar vários tutoriais no site do fabricante que orientam a utilização da ferramenta.

Para o desenvolvimento desse trabalho foi criado um modelo de sistema fotovoltaico conectado à rede no PVsyst, levando-se em consideração todas as particularidades do sistema instalado na universidade.

O processo realizado, desde a interface inicial do software até a configuração dos dados meteorológicos da cidade de Medianeira, seguiu o mesmo procedimento descrito por Santos (2021) e Moraes (2022).

A importação do histórico meteorológico do município foi realizada por meio de um mapa interativo integrado ao software, no qual é possível buscar a localização desejada e verificar os bancos de dados disponíveis. A área de configuração onde os dados são inseridos no software pode ser observada na Figura 14.

**Figura 14 – Área de configuração do projeto PVsyst**

Sinopse dos resultados	
Tipo de sistema	Sheds num edificio
Produção do sistema	505 MWh/ano
Produção específica	1690 kWh/kWp/ano
Índice de performance	0.863
Produção normalizada	4.63 kWh/kWp/dia
Perdas do grupo	0.66 kWh/kWp/dia
Perdas do sistema	0.07 kWh/kWp/dia

Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

A partir da área de configuração do software foi inserida a inclinação e os dados do diagrama unifilar da Figura 14 assim como feito por lanse (2023) em dentro da “orientação” definiu-se parâmetros de inclinação e azimute (posição em relação ao norte geográfico). Contudo para o presente caso, foi considerada a inclinação dos painéis fotovoltaicos de 10° que é a inclinação executada. O azimute utilizado é de 15° que acompanha o do telhado.

Na Figura 14 são apresentados os dados inseridos para um único inversor, sendo utilizados outros 6 subgrupos para compor a totalidade de 5 inversores instalados, tendo em vista que dois dos inversores não tem número balanceado de painéis fotovoltaicos por *string*.

Na Figura 15 é possível observar (em destaque com o retângulo de cor vermelha denominado “A”) todos os inversores e suas respectivas *strings* e entradas de MPPT’s, representando desta forma o diagrama unifilar apresentado na seção 3.1.

Figura 15 – Configuração do sistema

**Ajuda para o dimensionamento**

Sem pré dim.  Pnom desejado  kWp ?  
... ou superfície disponível(módulos)  m<sup>2</sup>

Módulo bifacial **B**  Sistema bifacial

ZXM7-SHLDD-144-555 Desde 2022 Datasheets 2022

V<sub>mpp</sub> (60°C) 36.5 V  
V<sub>co</sub> (-10°C) 55.4 V

50/60Hz MAX 75KTL3 XL2 Desde 2019

U<sub>nom</sub>: 180-850 V Potência do inversor utilizada 46.9 kWca  
U<sub>de</sub> entrada: 1100 V **inversor com 8 MPPT** Não há partilha de potência entre MPPTs

**Condições de funcionamento**

V<sub>mpp</sub> (60°C) 438 V  
V<sub>mpp</sub> (20°C) 512 V  
V<sub>co</sub> (-10°C) 664 V

Irradiân. no plano 1000 W/m<sup>2</sup>  Max. dados  STC

I<sub>mpp</sub> (STC) 119 A Potênc. Máx. em funcionamento 60.8 kW  
(em 1111 W/m<sup>2</sup> e 50°C)

I<sub>sc</sub> (STC) 126 A Potência nom. grupo (STC) 59.4 kW

I<sub>sc</sub> (em STC) 126 A

**Lista dos subgrupos**

Nome	#Mód #Inv.	#String #MPPT
Conexão 1		
ZNshine Solar - ZXM7-SHLDD-14...	12	9
Growatt New Energy - MAX 75K...	1	5
Conexão 2		
ZNshine Solar - ZXM7-SHLDD-14...	12	9
Growatt New Energy - MAX 75K...	1	5
Conexão 3		
ZNshine Solar - ZXM7-SHLDD-14...	12	9
Growatt New Energy - MAX 75K...	1	5
Conexão 4		
ZNshine Solar - ZXM7-SHLDD-14...	11	8
Growatt New Energy - MAX 75K...	1	4
Conexão 4.1		
ZNshine Solar - ZXM7-SHLDD-14...	19	1
Growatt New Energy - MAX 75K...	1	1
Conexão 5		
ZNshine Solar - ZXM7-SHLDD-14...	10	9
Growatt New Energy - MAX 75K...	1	4
Conexão 5.1		
ZNshine Solar - ZXM7-SHLDD-14...	11	2
Growatt New Energy - MAX 75K...	1	1

**Resumo do sistema global**

Nr. de módulos 543  
Superfície módulos 1403 m<sup>2</sup>  
N.º de inversores 3.1  
Potência nominal FV 299 kWp  
Potência AC nominal 234 kWAC  
Rácio Pnom 1.274

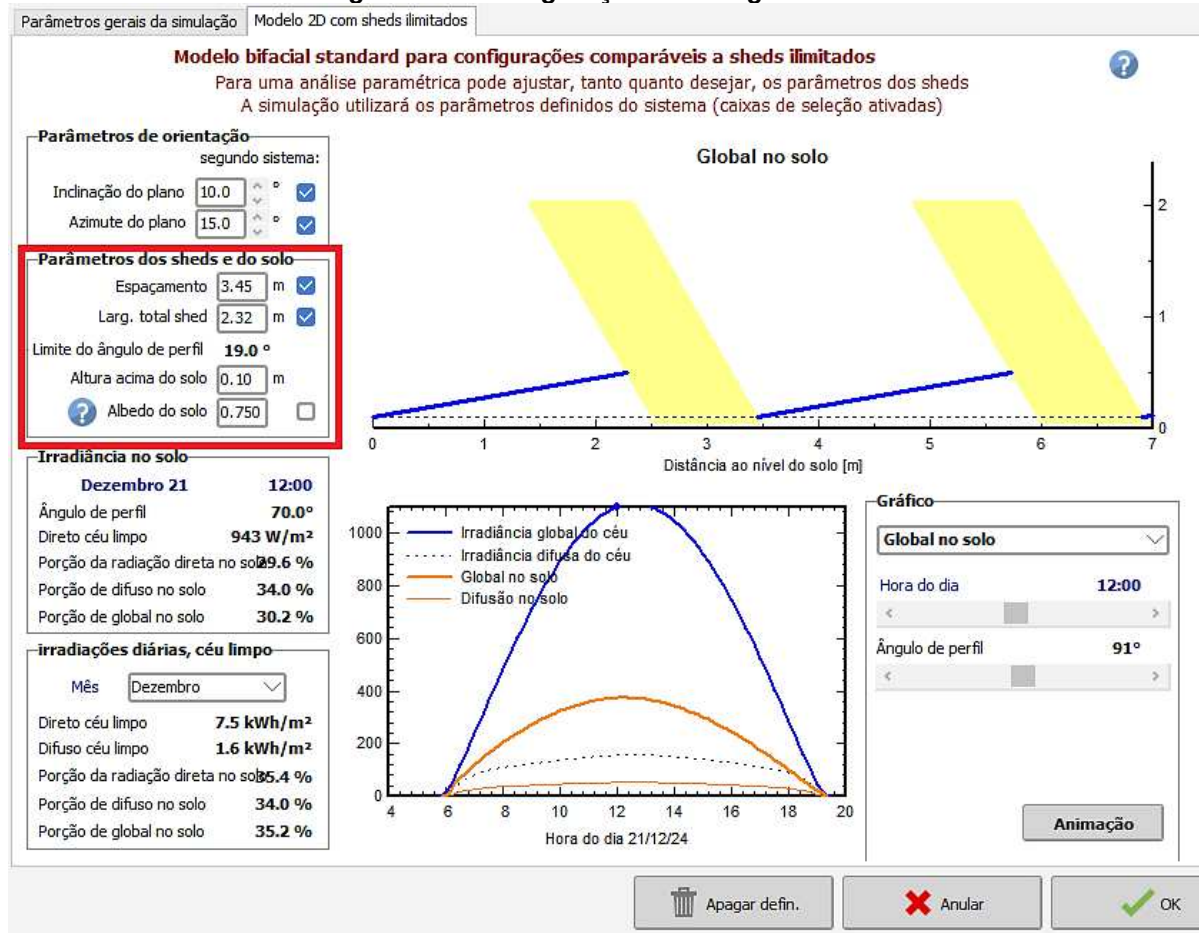
Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

No retângulo de cor vermelha denominado por “B”, é possível verificar que foi utilizada a opção do painel bifacial.

A Figura 16 mostra a tela de configuração do sistema bifacial dos painéis fotovoltaicos. Dentro do quadrado em vermelho define-se o valor do albedo do solo para o caso foi admitido um Albedo de 75% ou 0,75 que de acordo com ASHRAE (2021) é comumente utilizado para o material telha industrial branca.

O albedo representa o quanto um determinado material consegue refletir os raios incidentes nele, pode-se observar através dos estudos feitos através de uma simulação por Medeiros Filho (2021).

**Figura 16 – Configuração tecnologia bifacial**



Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

Ainda no quadrado em vermelho e definido a distância do começo de um módulo fotovoltaico até o outro e a altura que está do solo. Os demais dados são já foram preenchidos anteriormente como inclinação e azimute, ou preenchidos pelo banco de dados do software como a dimensão da *shed* (sendo o tamanho do painel fotovoltaico)

### 3.3 PVsyst – sombreamento

O software permite a consideração de sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos, o que implica perdas para a geração. Desta forma é necessário a modelagem em 3D de todo o sistema gerador de forma a levar em consideração possíveis sombras, oriundos de outras edificações próximas, estruturas ou árvores.

Na área de configuração do projeto no PVsyst, é possível inserir os dados de sombras próximas às instalações, conforme pode ser observado na Figura 17.

**Figura 17 – Sombras próximas PVsyst**

Desenho 3D de sombras próximas

Descrição: Novo desenho de sombras

Construção / Perspectiva

Importar Exportar

**Compatibilidade com param. Orientação e Sistema**

	Orient./Sistema	Desenho 3D
Superfície ativa	1400 m <sup>2</sup>	1400 m <sup>2</sup>
Inclinação campos	25.0°	25.0°
Azimute campos	15.0°	15.0°

**Tabela das frações de sombra**

Tabela Gráfico

**Usar na simulação**

Sem sombras  
 Sombras lineares  
 Segundo os strings de módulos  
 Cálculo elétrico detalhado (segundo disp. módulos)

**Modo de cálculo**

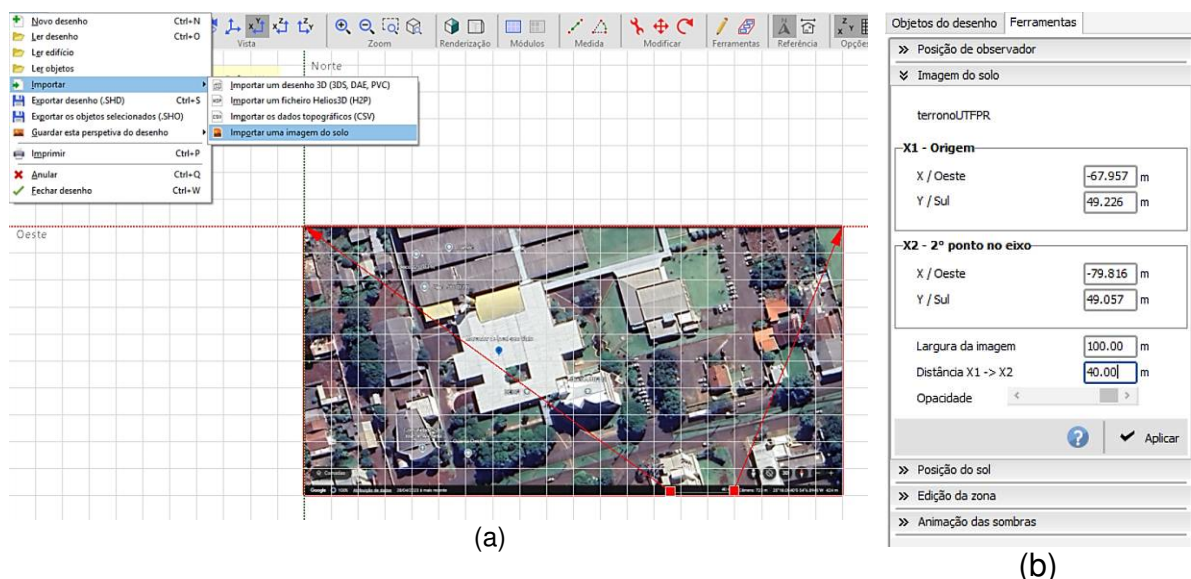
rápido (tabela)     Lento (simul.)

Fonte: PVsyst (2024)

Primeiramente foi acessado o site do Google Earth e encontrada uma imagem do solo onde o sistema fotovoltaico está instalado. Para adicionar a imagem de solo os seguintes passos precisam ser seguidos:

- 1) Na Figura 18(a) em ficheiro, selecionar -> importar -> importar imagem de solo -> selecionar a imagem.
- 2) Definir posição X1 de referência (botão do mouse) -> definir posição X2 de referência (botão do mouse).
- 3) Parte direita da tela (Figura 18 b) -> em “distância X1 -> X2” definir a escala da imagem -> selecione o botão aplicar
- 4) Em cima da imagem botão direito do mouse -> rotacionar (até que o norte da imagem conhecida com o do plano cartesiano do software)

**Figura 18 – Construção de desenho de sombras imagem de solo**



(a)

(b)

**Objetos do desenho**

Posição de observador

Imagem do solo

terranoUTFPR

**X1 - Origem**

X / Oeste: -67.957 m

Y / Sul: 49.226 m

**X2 - 2º ponto no eixo**

X / Oeste: -79.816 m

Y / Sul: 49.057 m

Largura da imagem: 100.00 m

Distância X1 -> X2: 40.00 m

Opacidade: < >

Aplicar

Posição do sol

Edição da zona

Animação das sombras

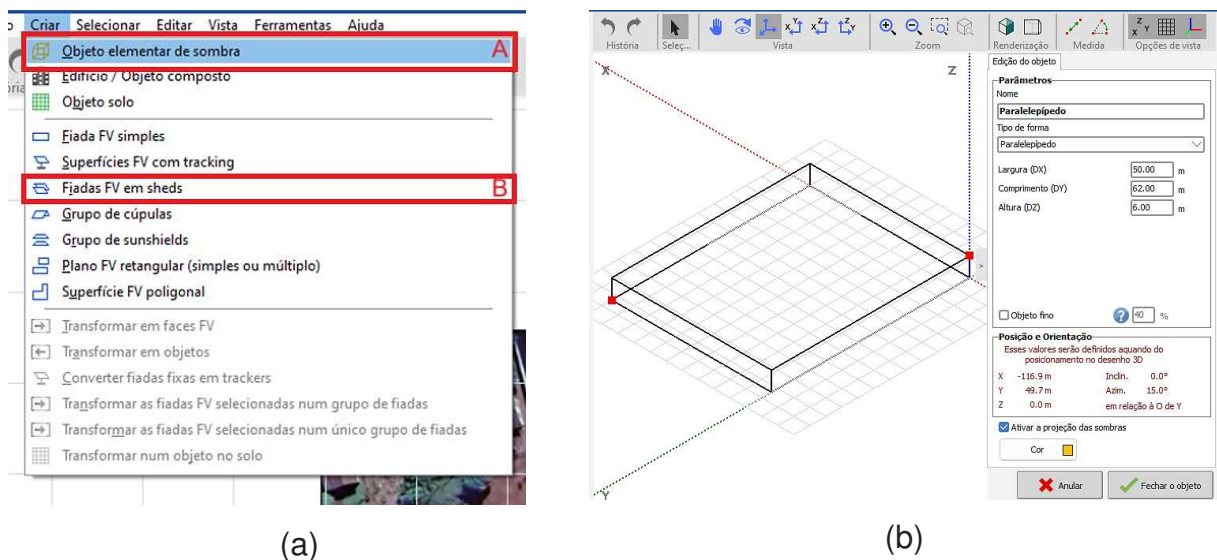
Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

Para criar um objeto, que representa a estruturas de suporte ou geradoras de sombra, deve-se:

- 1) Na aba “criar” -> “objeto elementar de sombra”, retângulo vermelho denominado “A” na Figura 19(a).
- 2) Definir as dimensões do objeto, Figura 19 (b) -> definir a cor da estrutura

Após estes passos é possível posicionar o objeto de acordo com a imagem de solo e definir o azimuth daquele objeto. Na Figura 19 é possível observar o resultado do processo descrito anteriormente.

**Figura 19 – Criar objeto elementar de sombra**



(a)

(b)

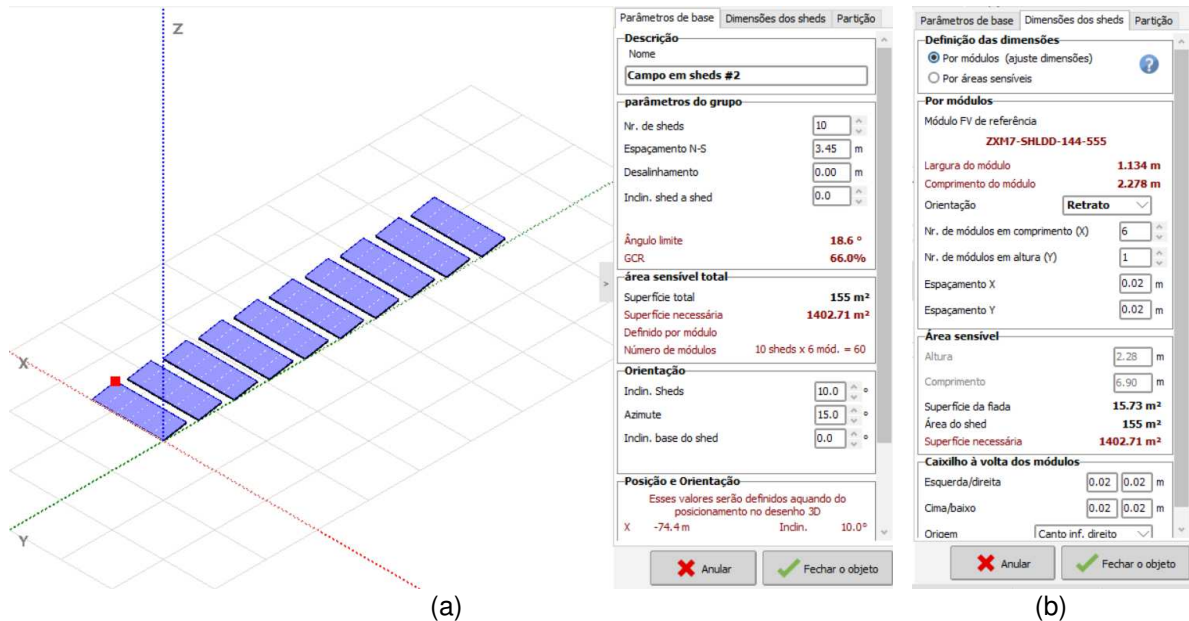
**Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)**

Para adicionar os painéis fotovoltaicos é necessário clicar no quadrado vermelho denominado B na Figura 19(a) em:

- 1) Criar -> “fiadas FV em *sheds*” (*sheds* representa o número de fileiras).
- 2) Na Figura 19(a) “Parâmetros de base” -> definir número de fileiras (*sheds*) -> em “espaçamento N-S” definir a distância entre o início de uma fileira até o início de outra -> “azimute” inserir o valor do azimuth.
- 3) Na Figura 19(b) “Dimensão dos *sheds*” -> em “orientação” definir retrato ou paisagem (é como está cada painel fotovoltaico) -> definir o número de módulos em x e em y.

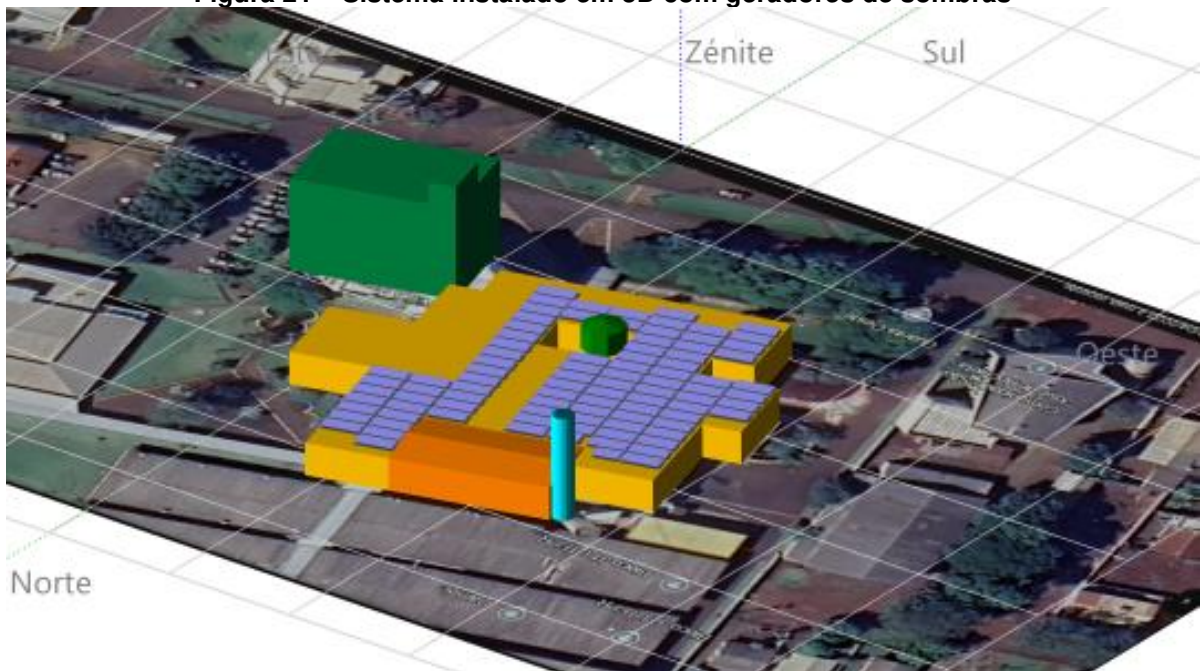
A Figura 20 (a) e (b) exemplifica este processo descrito.

**Figura 20 – Criação de objetos painéis fotovoltaicos**



Após a execução de todo o edifício é necessário posicionar todos os sólidos 3D para compor todo o modelo 3D do sistema. Foram adicionados todos os painéis fotovoltaicos, o edifício em que foram instaladas, a caixa d'água, um prédio próximo e uma árvore. O resultado completo do desenho 3D é apresentado na Figura 21.

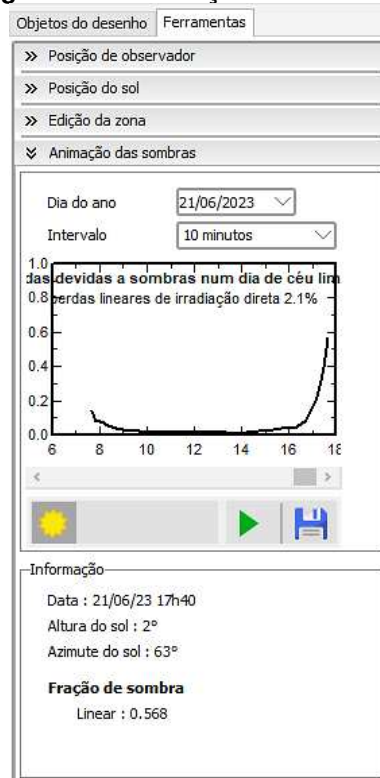
**Figura 21 – Sistema instalado em 3D com geradores de sombras**



A Figura 22 apresenta a tela com a curva de sombreamento ao longo do dia onde ocorrerá o maior sombreamento no ano. Uma animação do movimento do sol e da sombra é possível de ser visualizada quando se insere a o intervalo de tempo de cálculo e ao clicar no ícone do sol e “play” posteriormente.

O gráfico gerado tem o seu eixo x sendo o horário e o eixo y sendo perdas por sombreamento em porcentagem expressado de 0 até 1. Na Figura 22 é possível observar que ao longo do dia de maiores perdas por sombreamento, para o desenho 3D realizado, nota-se valores maiores no começo do dia e ao final do dia em relação ao longo do dia. Além do mais ao final do dia quando o sol está se pondo tem o maior índice de perdas.

**Figura 22 – Animação das sombras**



**Fonte: PVsyst (2024)**

Quando o software executa a simulação completa do sistema, ou seja, levando em consideração o sombreamento, os resultados das simulações podem ser obtidos para o período de um ano. Porém, para fazer a simulação completa é necessário a inserção de sombras lineares. As sombras lineares levam em consideração um *déficit* no campo fotovoltaico, calculado pelo software através de uma interpolação das animações de sombra do ano inteiro. O resultado disso é uma tabela interna que o software calcula.

Com o auxílio da Figura 23 é possível verificar (dentro do retângulo de cor vermelha) o local da definição de todo o sistema instalado. A opção “def. de todos os módulos”. Para finalizar, com o modelo 3D e a tabela de sombras, é necessário atribuir os painéis fotovoltaicos configurados no sistema da Figura 15, vinculando com os módulos colocados no desenho 3D. Como isso ao executar a simulação a análise de sombreamento será feita para o ano todo.

**Figura 23 – Configuração disposição dos módulos**

Fonte: PVsyst (2024)

Após o processo de definição dos módulos alguns dados aparecem na tela, sendo a total de módulos disponíveis no sistema, e ao selecionar itens específicos ele mostra o valor de fiadas que são a quantidade de painéis fotovoltaicos naquela fileira, além disso o tamanho de largura e comprimento da fileira dado pelo software.

Finalizado o procedimento de configuração da definição dos módulos, ao executar a simulação no botão “executar simulação” da Figura 14 a opção da avaliação econômica mostra-se habilitada.

### 3.4 PVsyst – avaliação econômica

Diretamente pelo PVsyst é possível realizar os cálculos de viabilidade econômica sendo considerados neste trabalho o VPL, a TIR<sub>r</sub> e o *payback*.

### 3.4.1 Tarifas e variações ao ano

Assim como desenvolvido por Santos (2022) é necessário saber o valor da tarifa de energia, além disso o valor de reajuste que ela possui de modo a prever a variação no seu valor.

A concessionária de energia local disponibiliza os valores das tarifas. Na Figura 24 é possível verificar que ao selecionar o grupo A4 – verde, em que se enquadra a universidade, tem-se os seguintes valores de tarifas com e sem impostos, para os horários de ponta e fora de ponta.

**Figura 24 – Tarifas Copel 2024**

Escolha sua tarifa		Fora de ponta			
Grupo Tarifário		Sem imposto	24,22 TUSD (R\$/kW)	0,27554 TE (R\$/kWh)	0,09275 TUSD (R\$/kWh)
A1	A3				
A2	A3a	A5			
Modalidade tarifária		Com imposto	31,60 TUSD (R\$/kW)	0,359... TE (R\$/kWh)	0,12101 TUSD (R\$/kWh)
Azul	Verde				
Azul - Poder Público Estadual	Verde - Aquicultura e Irrigação em Ho...				
		Ponta			
		Sem imposto	24,22 TUSD (R\$/kW)	0,43489 TE (R\$/kWh)	1,25120 TUSD Ponta (R\$/kWh)*

Fonte: Copel (2024)

O custo de energia se dá pela soma dos valores de TE e TUSD, sendo a TE a tarifa de energia e a TUSD sendo uma tarifa pela utilização do sistema de distribuição. Deve levar em consideração o tipo de enquadramento tarifário que o consumidor está enquadrado.

Com o auxílio da Tabela 1 é possível observar os valores finais para o valor da tarifa da concessionária. Os valores de ponta e fora de ponta ocorrem pelo fato da energia ficar mais cara em horários de maior consumo, os horários são definidos pela concessionária de energia.

**Tabela 1 – Valores das tarifas Copel 2024**

IMPOSTOS	PONTA	FORA DE PONTA
COM IMPOSTOS	2,19986	0,48001
SEM IMPOSTOS	1,68609	0,36829

Fonte: Adaptado de Copel (2024)

O histórico de reajustes tarifários é disponibilizado pela concessionária, e assim como em Santos (2022), foi realizada uma média do histórico para usar como o reajuste anual. Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos reajustes ao longo dos últimos 10 anos, e o valor de reajuste médio geral, que resulta em 11,39%.

**Tabela 2 – Histórico de reajuste das tarifas de energia**

ANO	REAJUSTE
2014	24,86%
2015	52,11%
2016	-12,87%
2017	4,68%
2018	15,99%
2019	3,41%
2020	0,41%
2021	9,89%
2022	4,90%
2023	10,50%
Média 10 anos	11,39%

Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.4.2 Configuração da avaliação econômica no Software

A Figura 25 apresenta a guia de navegação de “investimentos e encargos”. No retângulo em verde denominado “A”, é efetuada a seleção da moeda utilizada. No retângulo vermelho nomeado “B” são definidos os parâmetros de investimento. O software possibilita inserir o custo de forma detalhada, contudo como se tem o valor total do investimento, em instalação foi utilizado o valor de R\$ 1.734.081,00.

**Figura 25 – Avaliação econômica (investimentos e encargos)**

The screenshot displays the 'Investimento e encargos' (Investment and charges) window. At the top, there are tabs for 'Investimento e encargos', 'Parâmetros financeiros', 'Venda de eletricidade', 'Resultados financeiros', and 'Balanco CO2'. Below the tabs, there are options for 'Valores' (Global, por Wp, por m²) and 'Moeda' (BRL - Brazilian Real). A green box labeled 'A' highlights the 'Moeda' dropdown menu. A red box labeled 'B' highlights the 'Custos da instalação' (Installation costs) table. An orange box labeled 'C' highlights the 'Custos de operação (anual)' (Annual operating costs) table. The 'Custos da instalação' table shows a total cost of 1.734.081,00 BRL. The 'Custos de operação (anual)' table shows a total annual operating cost of 6.596,00 BRL/ano. At the bottom, there are buttons for 'Sinopse do sistema', 'Anular', and 'OK'.

Descrição	Quantidade	Preço unitário	Total	
Módulos FV			0,00	BRL
Inversores			0,00	BRL
Outros componentes			0,00	BRL
Estudos e análises			0,00	BRL
Instalação			1.734.081,00	BRL
Seguros			0,00	BRL
Custo do terreno			0,00	BRL
Encargos do empréstimo banc...	0,00	0,00	0,00	BRL
Impostos			0,00	BRL
<b>Custo total de instalação</b>			<b>1.734.081,00</b>	<b>BRL</b>
Bem amortizável			0,00	BRL

Descrição	Custo anual	
Manutenção	6.596,00	BRL
Aluguer de terrenos	0,00	BRL
Seguros	0,00	BRL
Encargos bancários	0,00	BRL
Custos administrativos, ...	0,00	BRL
Impostos	0,00	BRL
Subsídios	- 0,00	BRL
<b>Custos de operação (OPEX)</b>	<b>6.596,00</b>	<b>BRL/ano</b>

Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

A segunda janela de configuração dentro da análise econômica é a de “parâmetros financeiros”. Com o auxílio da Figura 26 na seção em verde, nomeada “A” define-se o parâmetro de duração do projeto de 25 anos, tempo esse utilizado em outros trabalhos, como de Gavioli (2021) e Fortes (2020).

**Figura 26 – Avaliação econômica (parâmetros financeiros)**

The screenshot shows the 'Parâmetros financeiros' window in PVsyst. It includes the following sections:

- Período de simulação:** Duração do projeto: 25 anos; Ano de início: 2024.
- Variações previstas:** Inflação: 7,63 %/ano; Taxa de desconto: 0,00 %/ano; Variação da produção (envelhecimento): Linear (0,70 %/ano) selected.
- Despesas dependentes dos rendimentos:** Imposto sobre os rendimentos: 0,00 %/ano; Dividendos: 0,00 %/ano.
- Amortização fiscal:** Total remível: 0,00 BRL.
- Financiamento:** Investimento: 1.734.081,00 BRL; Fundos próprios: 1.734.081,00 BRL; Subsídios: 0,00 BRL; Empréstimos: 0,00 BRL.

A pie chart indicates that 100% of the financing is from 'Fundos próprios'.

Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

Com o auxílio do retângulo em vermelho atribuído “B” os campos são preenchidos com uma inflação média de acordo com IBGE de 7,63%/ano e uma taxa de envelhecimento de 0,7%/ano. Por fim, no financiamento encontrado a seção demarcada pelo retângulo laranja, foi adicionado o valor total de investimento advindo de fundos próprios, porém, caso necessário, o software permite adicionar oriundos de empréstimos e subsídios.

A última configuração necessária para a análise econômica trata da venda de energia e onde é possível observar com o auxílio da Figura 27. Na divisão limitada pelo retângulo em verde (parte “A”) seleciona-se o tipo de tarifa sendo variável. Em decorrência na seção limitada para linha em vermelho denominada “B” atribui os valores mostrados na Tabela 1 com impostos.

No campo em “C” delimitado pela cor laranja, foi definido a variação anual da tarifa calculada através da média de 10 anos vista na Tabela 2. Dentro da parte “D” no retângulo marrom, é atribuído os horários de ponta e fora ponta para o local do sistema instalado. Sendo o horário de ponta das 16h às 21h e o horário fora ponta das 21h às 16h. Assim seguindo de acordo com a Figura 27.

**Figura 27 – Avaliação econômica (venda de energia)**

Investimento e encargos | Parâmetros financeiros | Venda de eletricidade | Resultados financeiros | Balanço CO<sub>2</sub>

**-Tipo de tarifa** A

Tarifa fixa       Tarifa variável

Tarifa horas de ponta / horas de vazio

Tarifa sazonal

Tarifa do ficheiro CSV      Importar ?

**Outros parâmetros gerais** C

Imposto anual de ligação:  BRL/ano

Variação da tarifa anual:  %/ano

Duração da garantia de tarifas:  anos

Diminuição da tarifa de compra depois da garantia:  %

**-Tarifa de compra** B

Tarifa hora de ponta:  BRL/kWh

Tarifa da hora de vazio:  BRL/kWh

**-Hora de verão / de inverno**

Aplicar mudanças de hora de verão/inverno

Data da mudança para a hora de inverno: Outubro 29

Início da hora de verão: Março 26

**-Definição das horas de vazio e de ponta** D

Tarifa hora de ponta: 18:00 - 21:00

Tarifa da hora de vazio: 21:00 - 18:00

Esta análise deve aparecer no relatório impresso

Sinopse do sistema      Anular      OK

Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados da simulação do sistema real instalado, tanto a análise de geração como do investimento.

Ao executar a simulação é possível observar os dados disponibilizados pelo programa, conforme pode ser observado na Figura 28. O software também gera um relatório detalhado, que pode ser observado no Anexo A.

**Figura 28 – Balanço e resultados principais do sistema instalado**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR rácio
Janeiro	199.2	93.87	25.88	195.2	188.0	50143	49379	0.847
Fevereiro	174.6	66.97	25.49	176.6	170.6	44462	43774	0.830
Março	171.1	77.59	24.60	177.7	171.5	45947	45253	0.852
Abril	148.3	45.80	21.96	162.9	156.8	42166	41526	0.854
Mai	122.0	39.05	18.02	139.5	133.5	37412	36821	0.884
Junho	96.5	37.80	16.66	111.3	105.6	30442	29969	0.902
Julho	112.3	39.35	15.80	129.8	123.5	35474	34943	0.901
Agosto	130.2	53.40	18.36	144.6	139.0	39188	38589	0.894
Setembro	138.2	69.33	19.80	145.8	140.4	39110	38524	0.885
Outubro	172.6	75.23	22.75	176.1	170.2	45473	44766	0.851
Novembro	195.1	73.53	23.51	192.8	186.4	48839	48073	0.835
Dezembro	211.2	81.45	25.17	205.1	197.6	52192	51392	0.839
Ano	1871.4	753.36	21.48	1957.4	1883.1	510849	503008	0.860

### Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

**Fonte: Autoria própria (2024)**

Na Figura 28 é possível observar os resultados das simulações para todos os meses. Dentre esses resultados o principal para esse estudo é o “E\_Grid”, que representa a energia que sai dos inversores, que para esse sistema apresentaria um total de 503.008 kWh ao ano.

O indicador financeiro VPL para esse projeto é equivalente a pouco mais de 31 milhões, isso mostra um superávit para o investimento realizado. Para o *payback* foi obtido um tempo de 5,5 anos, levando em consideração manutenções de limpeza.

Para a análise da TIR é necessário considerar uma Taxa Mínima Atrativa (TMA) como a SELIC que é a taxa básica de juros da economia, que muitos investidores utilizam, pois, títulos atrelados a ela são investimentos mais seguros e conservadores. A taxa SELIC no dia 09 de dezembro de 2024 era de 11,25%. Desta forma, comparada com a TIR de 25,12% tem-se uma TMA pouco mais de 2 vezes

maior do que a mínima atrativa definida, o que mostra ser um investimento relevante. Os resultados dos indicadores financeiros podem ser observados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resultados dos indicadores financeiros do sistema instalado**

INDICADOR	VALOR
payback	5,5 anos
VPL	31.447.244,37 BRL
TIR	25,13%

Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

O software também apresenta uma tabela da análise financeira anual que pode ser observada na Figura 30.

**Figura 29 – Resultados econômicos do sistema instalado**

Ano	Venda de eletricidade	Fundos próprios	Custos operação	Subsídio de amortização	Rendimento taxável	Impostos	Lucro depois do imposto	Lucro acumulado	% amortec.
0	0	1.737.280	0	0	0	0	0	-1.737.280	0.0%
1	245.802	0	6.596	0	239.206	0	239.206	-1.498.074	13.8%
2	275.715	0	7.099	0	268.616	0	268.616	-1.229.458	29.2%
3	309.269	0	7.641	0	301.628	0	301.628	-927.830	46.6%
4	346.906	0	8.224	0	338.682	0	338.682	-589.148	66.1%
5	389.124	0	8.851	0	380.273	0	380.273	-208.875	88.0%
6	436.479	0	9.527	0	426.952	0	426.952	218.077	112.6%
7	489.598	0	10.254	0	479.344	0	479.344	697.421	140.1%
8	549.180	0	11.036	0	538.144	0	538.144	1.235.566	171.1%
9	616.014	0	11.878	0	604.136	0	604.136	1.839.702	205.9%
10	690.981	0	12.784	0	678.197	0	678.197	2.517.899	244.9%
11	775.072	0	13.760	0	761.312	0	761.312	3.279.211	288.8%
12	869.396	0	14.810	0	854.586	0	854.586	4.133.797	337.9%
13	975.199	0	15.940	0	959.260	0	959.260	5.093.057	393.2%
14	1.093.878	0	17.156	0	1.076.722	0	1.076.722	6.169.779	455.1%
15	1.227.000	0	18.465	0	1.208.536	0	1.208.536	7.378.315	524.7%
16	1.376.323	0	19.874	0	1.356.449	0	1.356.449	8.734.764	602.8%
17	1.543.818	0	21.390	0	1.522.428	0	1.522.428	10.257.192	690.4%
18	1.731.696	0	23.022	0	1.708.674	0	1.708.674	11.965.866	788.8%
19	1.942.439	0	24.779	0	1.917.660	0	1.917.660	13.883.526	899.2%
20	2.178.829	0	26.669	0	2.152.159	0	2.152.159	16.035.685	1023.0%
21	2.443.986	0	28.704	0	2.415.282	0	2.415.282	18.450.967	1162.1%
22	2.741.413	0	30.894	0	2.710.518	0	2.710.518	21.161.486	1318.1%
23	3.075.035	0	33.252	0	3.041.784	0	3.041.784	24.203.269	1493.2%
24	3.449.259	0	35.789	0	3.413.470	0	3.413.470	27.616.739	1689.7%
25	3.869.024	0	38.520	0	3.830.505	0	3.830.505	31.447.244	1910.1%
<b>Total</b>	<b>33.641.439</b>	<b>1.737.280</b>	<b>456.914</b>	<b>0</b>	<b>33.184.525</b>	<b>0</b>	<b>33.184.525</b>	<b>31.447.244</b>	<b>1910.1%</b>

Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se de forma detalha ano a ano o retorno do investimento. A primeira coluna representa o ano, a segunda o valor de venda da eletricidade que é a relação da geração com as tarifas. A terceira coluna expressão o investimento feito através de fundos próprios, a quarta coluno apresenta os custos de operação que são os valores de aportes anuais, para esse caso a limpeza, o software atualiza esses valores de acordo com a taxa de inflação.

Por fim as últimas colunas, sendo que a oitava representa o valor que está obtendo anualmente, a nona coluna vai amortizando no caixa e a décima mostra a percentagem de amortização ao longo dos anos,

Verificados os resultados para o sistema instalado, também foram realizadas algumas diferenciações dentro da simulação que poderia vir para o sistema real, podendo alterar a viabilidade do investimento.

#### 4.1 Sistemas com ou sem painéis bifaciais

Os painéis fotovoltaicos instalados possuem a tecnologia bifacial, isto é, tem a capacidade de captar raios incidentes na parte superior e inferior. Contudo geralmente para ter esse diferencial tem um acréscimo monetário no investimento, o que nem sempre pode ser viável.

Sempre dever ser considerado a reflexividade do material que ficará por baixo dos painéis fotovoltaicos. A universidade tem o telhado reflexivo por questões térmicas, o telhado possui um albedo significativo, e desta forma foi optado no projeto por se utilizar painéis bifaciais.

Para a diferença na geração com a utilização de painéis bifaciais ou monofaciais, foi realizada uma simulação com as mesmas características do sistema instalado, mas removendo a opção do aspecto construtivo bifacial. Foram obtidos os dados apresentados na Figura 30.

**Figura 30 – Balanço e resultados principais do sistema sem bifacial**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR rácio
Janeiro	199.2	93.87	25.88	195.2	187.9	47704	46972	0.806
Fevereiro	174.6	66.97	25.49	176.6	170.5	42780	42114	0.799
Março	171.1	77.59	24.60	177.7	171.4	44160	43491	0.819
Abril	148.3	45.80	21.96	162.9	156.7	40849	40228	0.827
Mai	122.0	39.05	18.02	139.5	133.5	36138	35566	0.854
Junho	96.5	37.80	16.66	111.3	105.5	29296	28838	0.868
Julho	112.3	39.35	15.80	129.8	123.5	34197	33685	0.869
Agosto	130.2	53.40	18.36	144.6	139.0	37740	37162	0.861
Setembro	138.2	69.33	19.80	145.8	140.3	37543	36978	0.849
Outubro	172.6	75.23	22.75	176.1	170.2	43698	43013	0.818
Novembro	195.1	73.53	23.51	192.8	186.4	46811	46072	0.800
Dezembro	211.2	81.45	25.17	205.1	197.5	49673	48906	0.799
Ano	1871.4	753.36	21.48	1957.4	1882.5	490589	483025	0.826

Fonte: Autoria própria (2024)

A principal comparação a ser feita é considerando “E\_Grid”, ou seja, a energia total que sai dos inversores. Para o caso da utilização dos painéis não bifaciais o valor é de 483.025 kWh por ano, e de 503.008 kWh com os painéis bifaciais (conforme o sistema que está instalado). A diferença é de 19.983 kWh ao ano, sendo a geração com o painel sem bifacial em torno de 4,14% menor do que a com bifacial.

Dentro das comparações financeiras, como o investimento foi realizado sem detalhamento do valor dos equipamentos, houve a necessidade de se obter os valores dos painéis. Os valores foram obtidos de acordo com a distribuidora Techlux (2025), que apresentou o valor de R\$ 510,00 reais para o painel bifacial e o valor de R\$ 450,00 para o modelo não bifacial de mesma potência, ou seja, este último é 13,33% mais barato que o primeiro.

Para o cálculo dos parâmetros financeiros foi descontado o valor de sessenta reais para cada painel fotovoltaico, como o sistema possui um total de quinhentos e quarenta e três placas, totalizando assim uma diferença de R\$ 32.580. Desta forma, o valor de investimento inicial foi atualizado para R\$ 1.701.501,00 caso a instalação fosse executada com painéis de face única.

Através da atualização do investimento foram obtidos valores menos atrativos para os indicadores financeiros em comparação com a utilização do bifacial. Teria um valor de *payback* de 5,9 anos (0,4 anos a mais), um VPL em torno de 5 milhões menor e uma TIR em torno de 1% menor. É possível observar o resultado dos indicadores financeiros na Tabela 4.

**Tabela 4 – Resultados dos indicadores financeiros do sistema painéis monofacial**

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>
<i>payback</i>	5.9 anos
VPL	24.576.770,42 BRL
TIR	23,58%

**Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)**

Apesar de apresentar valores menos atrativos ainda assim teria um valor de *payback* bem inferior a vida útil dos equipamentos, um VPL positivo e uma TIR duas vezes maior que a TMA definida.

## 4.2 Diferença do ângulo dos painéis

Comumente é utilizada a inclinação dos painéis fotovoltaicos sendo o mesmo valor da latitude do município para que a incidência dos raios solares seja melhor aproveitada ao longo do ano. É possível notar o ângulo de 25° em trabalhos de lanse (2024), Moraes (2022) e Santos (2022), que seguem a inclinação do município.

Para o sistema instalado foi usada a inclinação de 10°, no entanto, foi realizada a simulação para a instalação dos painéis com uma inclinação de 25°. Os resultados desta simulação podem ser observados na Figura 31.

**Figura 31 – Balanço e resultados principais do sistema com inclinação 25°**

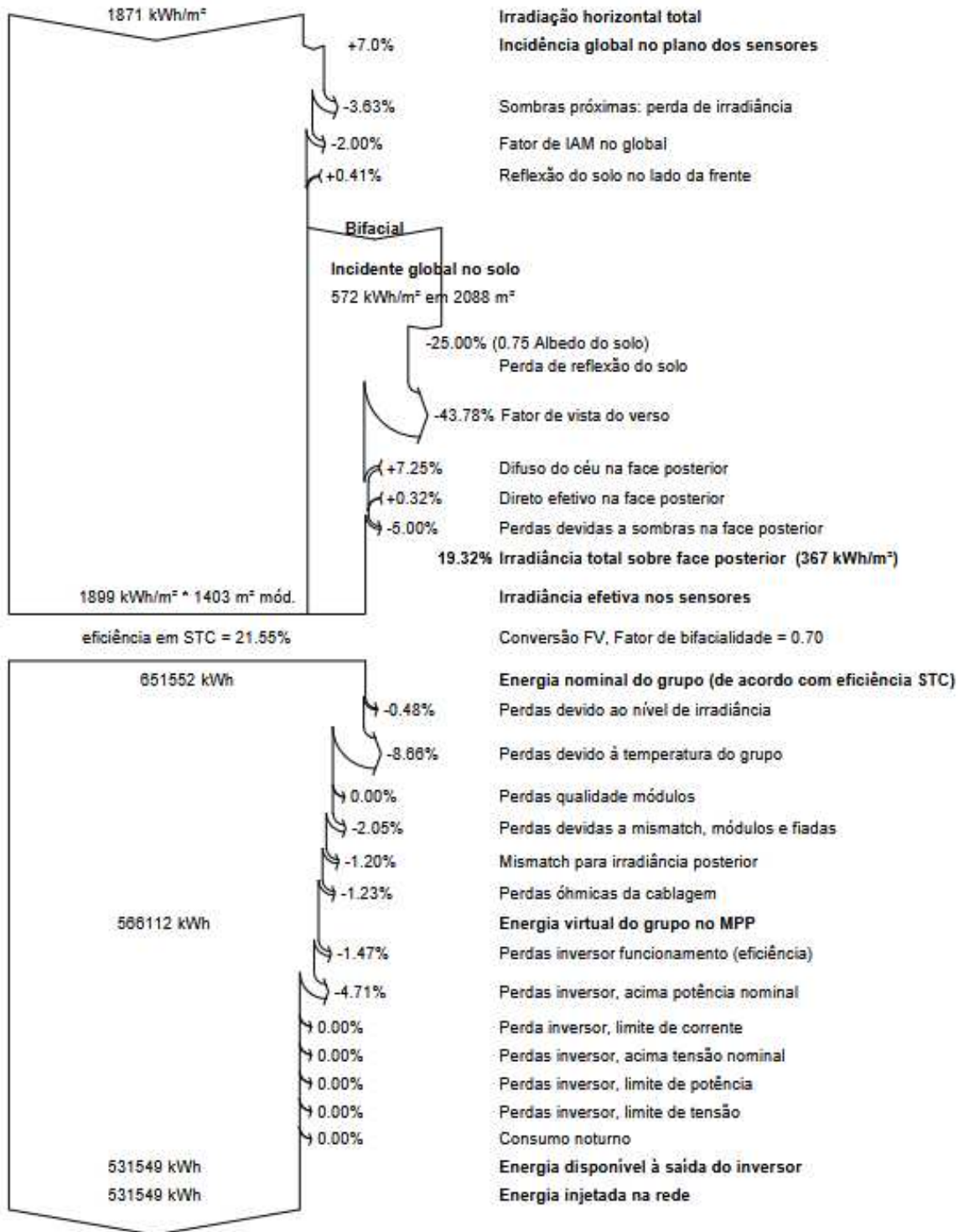
	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR rácio
Janeiro	199.2	93.87	25.88	181.8	172.2	50894	50114	0.923
Fevereiro	174.6	66.97	25.49	171.8	164.3	45788	45077	0.879
Março	171.1	77.59	24.60	180.0	171.8	48357	47622	0.886
Abril	148.3	45.80	21.96	177.1	168.5	45439	44746	0.846
Mai	122.0	39.05	18.02	159.0	149.9	41334	40678	0.856
Junho	96.5	37.80	16.66	128.5	119.0	33953	33431	0.871
Julho	112.3	39.35	15.80	150.1	140.0	39861	39260	0.876
Agosto	130.2	53.40	18.36	159.4	151.2	43180	42517	0.893
Setembro	138.2	69.33	19.80	151.1	143.5	41686	41058	0.910
Outubro	172.6	75.23	22.75	173.9	166.1	47161	46426	0.894
Novembro	195.1	73.53	23.51	181.5	173.7	49652	48871	0.901
Dezembro	211.2	81.45	25.17	188.1	178.8	52561	51751	0.921
Ano	1871.4	753.36	21.48	2002.4	1899.0	539865	531549	0.889

**Fonte: Autoria própria (2024)**

A energia total fornecida pelos inversores (E\_Grid) passa a ser 531.549 kWh, apresentando assim um aumento de 28.541 kWh por ano em relação ao valor de 503.008 kWh gerados pelo sistema da forma que foi instalado. A mudança do ângulo para os 25° seguindo a latitude do sistema, traria um aumento de 5,53% na energia elétrica gerada.

De acordo com o diagrama de perdas para a inclinação de 25°, observado na Figura 32, é possível notar que por mais que as perdas por sombras próximas sejam maiores do que a do sistema instalado, a irradiação horizontal e o total sobre a face inferior do painel fotovoltaico influenciam mais na geração de energia do que as sombras.

**Figura 32 – Diagrama de perdas sistema com inclinação de 25°**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

A mudança de ângulo geraria uma mudança nos parâmetros financeiros iniciais, tornando o investimento um pouco mais atrativo, pois contaria com um aumento do VPL em torno de 2 milhões; uma TIR de 26,03% sendo de 0,90% a mais

do que a do sistema instalado e um retorno de investimento 0.2 anos a menos. Como pode ser observado na Tabela 5

**Tabela 5 – Resultados dos indicadores financeiros do sistema com inclinação de 25°**

INDICADOR	VALOR
<i>payback</i>	5.3 anos
VPL	33.261.101,80 BRL
TIR	26,02%

**Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)**

Deve ser destacado que não foi alterado o valor de investimento, logo não se deve comparar em si esses indicadores, pois provavelmente teria um valor diferente no investimento inicial para a instalação desses painéis em 25°, precisando ser levada em consideração a adição do aumento das estruturas de suporte dos painéis fotovoltaicos.

#### 4.2.1 Motivação da instalação dos painéis fotovoltaicos com inclinação de 10°

A instalação dos painéis fotovoltaicos com o ângulo de 10° se deu por causa das rajadas de ventos incidentes na região. Caso a estrutura fosse instalada com a inclinação de 25°, com as rajadas de ventos que a região possui as placas poderiam ser danificadas e até lançadas ao ar.

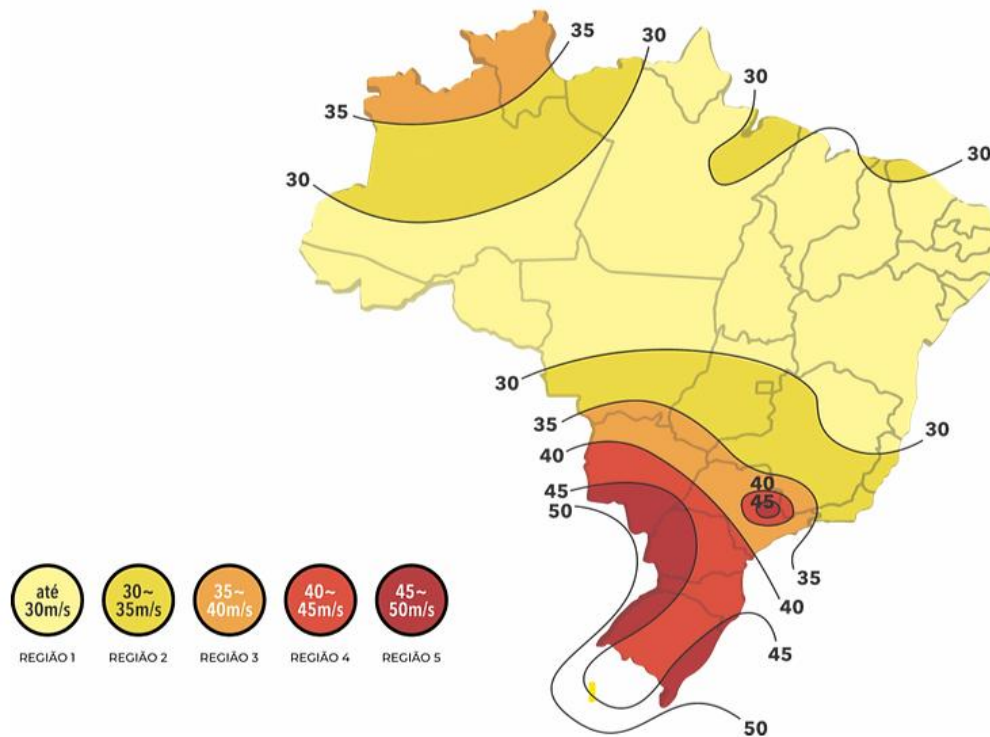
Em um trabalho realizado por Gonçalves e Guetter (2019) foi feita uma análise de frequência regional de ventos extremos no Paraná. Foi mostrado através dos diagramas e estudos que a região oeste do Paraná, próximas a Cascavel e Toledo e perto da usina hidrelétrica de Itaipu, apresentaram os ventos mais severos.

Em 2024 foi registrado um grande temporal na cidade de Medianeira, e foram registrados ventos de mais de 80 km/h, o que destruiu estruturas de empresas, de residências e derrubou árvores.

De acordo com a NBR 6123 é necessário se calcular a velocidade de vento a que uma estrutura vai ser submetida. Para esse cálculo são utilizados alguns parâmetros, dentre eles a velocidade dos ventos básica na região.

De acordo com a Figura 33 é possível observar que a região de Medianeira apresenta uma velocidade básica de ventos de 45 m/s até 50 m/s, sendo equivalentes a 162 km/h até 180 km/h.

**Figura 33 – Velocidade básica do vento no Brasil**



Fonte: Adaptado de NBR 6123 (2023)

### 4.3 Simulação do Sistema Fotovoltaico sem o aumento na tarifa de energia elétrica

A média histórica de reajuste da tarifa disponível Tabela 2, mostra que de acordo o aumento da tarifa é maior do que a inflação, e isso acarreta valores presentes um encarecimento da energia elétrica em relação aos outros anos. A variação da tarifa influencia no investimento, pois ocorre esse aumento da tarifa maior do que a inflação não desvalorizando o poder de compra.

Não considerar o aumento na tarifa da concessionária pode ser considerado como o “pior” caso, pois o valor da tarifa não apresentaria um montante progressivo de economia com a venda da energia. Com isso foi possível obter os indicadores financeiros apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Resultados dos indicadores financeiros sem variação da tarifa**

INDICADOR	VALOR
<i>payback</i>	7,2 anos
VPL	4.495.838,05 BRL
TIR	13,54%

Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)

Essa seria uma das piores condições para o investimento, tendo em vista que a tarifa de energia elétrica foi considerada fixa ao longo dos 25 anos; contudo mesmo assim, os indicadores continuam atrativos, tendo uma TIR maior do que a TMA.

De acordo com o VPL seria obtido um ganho no caixa de R\$ 4.490.891,16, ou seja, quase 2 milhões a mais do que o próprio investimento. Apesar do *payback* aumentar para 7,2 anos; mesmo se não houver variação da tarifa ainda assim o investimento continua compensatório, pois apresenta um VPL positivo, uma TIR maior do que a TMA definida e um *payback* ainda bem menor do que a vida útil dos painéis fotovoltaicos.

#### 4.4 Simulação do Sistema Fotovoltaico com Geração de crédito de Energia

Caso a geração seja maior do que o consumo de energia, esse excedente passa a se tornar crédito e pode ser consumido em até 60 meses de acordo com a RN 1.059/2023. Para este cenário, toda a geração seria injetada no sistema de distribuição considerando-se que toda a geração se tornaria crédito de energia.

Para esse caso desconsiderou os valores de ICMS das tarifas de ponta e fora ponta, para compensar os valores que passaram ser cobrados pela utilização da rede de distribuição da concessionária a partir da RN 1.059/2023.

De acordo com a Tabela 1, é possível observar que o valor da tarifa ponta é de R\$ 0,36829, e fora ponta de R\$ 1,68609, sendo esses valores substituídos na parte de tarifas da avaliação econômica.

Ao observar os indicadores financeiros na Tabela 7, para os créditos gerados são descontados de ICMS, pode-se notar um VPL de R\$ 22.159.152,67, além de um *payback* de 7,6 anos e pôr fim a TIR de 19,01% sendo ela maior do que a TMA definida anteriormente. Verifica-se, portanto, que existe um bom superávit no valor presente líquido e um retorno de investimento relativamente interessante.

**Tabela 7 – Resultados dos indicadores financeiros tarifa sem imposto**

INDICADOR	VALOR
<i>payback</i>	7.6 anos
VPL	22.159.152,67 BRL
TIR	19,01%

**Fonte: Adaptado de PVsyst (2024)**

#### 4.5 Comparação entre a geração real e a simulada

O sistema fotovoltaico foi instalado no ano de 2024, e desta forma é possível comparar alguns meses da geração real com os valores obtidos na simulação.

Ao comparar a geração, observa-se que a simulação apresentou valores de 6,67% a 15,62% maiores de geração mensal em comparação com o valor real que foi gerado, como pode ser observado na Tabela 8.

**Tabela 8 – Diferença da geração real e simulada**

<b>MÊS</b>	<b>REAL<sup>1</sup></b>	<b>SIMULADO</b>	<b>%</b>
Agosto	36050,7	38589	6,58%
Setembro	34767,6	38524	9,75%
Outubro	39653,2	44766	11,42%
Novembro	40440,6	48073	15,88%

**Fonte: Autoria própria**

<sup>1</sup> **Dados obtidos no software de monitoramento dos inversores de frequência (2025)**

Muitos fatores influenciam na diferença entre esses valores, um deles é que ocorreram muitos dias de chuva e dias nublados durante os 4 meses de geração, o que pode ter ocasionado a geração de energia menor do que o esperado.

Outro fator é a base de dados utilizada na simulação do PVsyst. O trabalho de França e De Oliveira (2018) mostrou que com a utilização de uma base de dados a geração teve diferença de 12,86% anualmente, enquanto a utilização dos dados da central meteorológica local deu uma diferença de apenas 1,65%, ou seja, algo bem significativo. Além do mais, os autores citam a diferença na simulação com base de dados vindos de satélites com a própria central meteorológica, essa diferença se dá principalmente pelas bases de tempo (França, De Oliveira; 2018).

Através disso nota-se a importância de uma central meteorológica instalada no local onde o sistema foi instalado para melhor precisão dos dados obtidos através da simulação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil vem apresentando um grande crescimento na área de geração de energia fotovoltaica, uma parte se dá pelo desenvolvimento da tecnologia que através de pesquisas e desenvolvimento no Brasil e no mundo começou a baratear sua produção e aumentando a oferta. Outro grande motivo e que estudos de trabalhos sempre mostra como um investimento que trará retorno ao longo prazo.

O software PVSyst apesar de a princípio parecer um pouco complexa a sua utilização, se mostrou um programa muito potente e eficiente, pois possui vários componentes já incluídos em seu banco de dados. Além disso com o software é possível configurar e simular vários parâmetros, desde a configuração dos ângulos de inclinação e azimute, o sombreamento e a análise econômica.

No sombreamento foram considerados os edifícios e estruturas que propiciam sombreamento no sistema físico instalado e com isso, perdas na geração. A análise de sombreamento 3D é importante pelo fato de mostrar a previsão de perdas por sombreamento, assim resultando em um valor mais próximo do real.

De acordo com o sistema instalado foi possível verificar uma projeção de geração anual de 503.008 kWh as perdas por sombreamento mostram-se em torno de -1,6% prejudicando assim a geração anual de energia elétrica.

O PVSyst permite fazer variações nas simulações, o que permitiu mudanças de parâmetros. Para o primeiro caso, foram analisadas a utilização de painéis bifaciais e monofaciais, e com a análise dos parâmetros financeiros, foi possível constatar que a utilização de painéis bifaciais é compensatória. O parágrafo abaixo, continua aqui...

Durante as simulações e de acordo com os resultados, pôde ser observado que se não tivesse sido colocado painéis fotovoltaicos bifaciais, a geração seria menor, de 4,14% menor em comparação com a geração do bifacial. Contudo apresentou indicadores financeiros menos atrativos em relação da utilização dos bifaciais.

O sistema foi instalado com o ângulo de 10°, e a mudança na inclinação para 25° na simulação mostrou um aumento de +5,53% na energia injetada na rede, mostrando que em questão de geração, a melhor opção seria a instalação dos painéis com um ângulo igual a latitude do local da instalação. Contudo, durante o projeto da usina solar fotovoltaica, foram realizados estudos dos esforços de vento e está inclinação aumentaria muito as estruturas de fixação, o que poderia aumentar o

retorno do investimento e aumentar o risco de problemas devido a ação da força do vento. Desta forma, a inclinação de 10 ° foi a mais indicada.

Levando em consideração as despesas anuais com a limpeza dos módulos fotovoltaicos, para o sistema instalado, foi possível observar um retorno de investimento de 5,5 anos, um VPL de mais de 30 milhões, e uma TIR de 25,14% sendo ela duas vezes maior do que a TMA considerada que acompanhou a taxa SELIC.

O caso que apresentou indicadores menos atrativos foi em que não ocorreria aumento na tarifa de energia elétrica ao longo do tempo, algo que é praticamente impossível de acordo com o histórico de 10 anos apresentado. Apesar de indicadores menos atrativos, ainda assim este cenário apresentou um *payback* de 7,2 anos e um VPL de mais de 4 milhões. A TIR de 13,95% ainda assim maior do que a TMA definida.

Por fim, o sistema fotovoltaico instalado se provou um ótimo investimento para a instituição, e trará retorno financeiro ao longo do tempo.

### **5.1 Sugestão de Trabalhos Futuros**

A partir desse trabalho foi possível observar alguns tópicos de estudos para trabalhos futuros:

- Considerar mês a mês o consumo e a geração, encontrar o saldo de créditos, e comparar com a fatura de energia elétrica da concessionária;
- Fazer uma comparação com outros modelos e tecnologias tanto dos painéis como dos inversores;
- Aplicar um banco de dados com os valores de irradiação e temperatura da estação meteorológica da cidade, para a utilização nas simulações do PVsyst e comparar com outras bases de dados meteorológicas.

## REFERÊNCIAS

A BÍBLIA. Bíblia Sagrada. João Ferreira de Almeida. Sociedade Bíblica do Brasil. Rio de Janeiro: Sociedade Bíblica do Brasil, 2009.

ABNT. NBR 6123:2023. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT. NBR 16690:2019. Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2019.

ABSOLAR. *Energia solar avança e potência instalada equivale a três usinas de Itaipu*, [São Paulo]: ABSOLAR, 23 abr. 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-avanca-e-potencia-instalada-equivale-a-tres-usinas-de-itaipu/>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2001 Addendum F: Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001. Disponível em: <https://www.ashrae.org>. Acesso em: 05 dez. 2024.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa no. 482/2012. 17 de abril. 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa no. 687/2015. 24 de novembro. 2015.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa no. 1000/2021. 07 de dezembro. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa no. 1059/2023. 07 de fevereiro. 2023.

ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G. **Curso de Administração Financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxa Selic. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 05 dez. 2024.

BATISTA, G. P. et al. Análise da viabilidade financeira de implantação de um sistema de geração fotovoltaico no IFMT campus avançado Tangará da Serra. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 40317-40334, 2022.

BRAGA, R. **Fundamentos e Técnicas de Administração Financeira**. Editora Atlas S.A: São Paulo, 1989.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023: Com construção de usinas fotovoltaicas e eólicas, matriz elétrica brasileira chega a 83,79% de fontes renováveis, uma referência internacional*. [S. l.]:

Ministério de Minas e Energia, 18 set. 2023. Atualizado em 10 out. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 23 abr. 2024.

CAMBAMBI, C. A. C. *Impacto Do Sombreamento Na Potência De Saída De Uma Matriz Fotovoltaica Com Diodos De Bypass*. 2020.

CANALSOLAR. **Silício mono ou policristalino: quem vence o duelo?**. quem vence o duelo?. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/silicio-mono-ou-policristalino-quem-vence-o-duelo/>. Acesso em: 13 maio. 2024.

CAPELLI, A. **Energia Elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais**. São Paulo: Editora Étrica Ltda., 2013.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Processamento eletrônico da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica. *Revista Controle & Automação*, 21(2), 159-172, 2010.

CORRÊA, A. G. Cálculo de viabilidade econômica para instalação de painéis fotovoltaicos para um empreendimento comercial situado na cidade de Manaus. 2021.

CRESESB. **Guia de Energia Solar Fotovoltaica para Construções Sustentáveis**. 2014. Disponível em [https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 21 fevereiro, 2024.

CRESESB. **Tutorial de energia solar fotovoltaica: princípios e aplicações**. 2006. Disponível em: [https://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](https://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais). Acesso em: 07 maio 2024.

DOE. U.S. Department of Energy. *Solar*, Department of Energy. [Washington]: U.S. Department of Energy, [2024?]. Disponível em: <https://www.energy.gov/solar>. Acesso em: 24 abr. 2024.

EHRHARDT, M. C. **Administração Financeira**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

**ENERGY MAGAZINE**: KING, C. IEA World Energy Outlook 2023 reports solar & EV strength. *Energy Magazine*, 2023. Disponível em: <https://energydigital.com/>. Acesso em: 21 maio. 2024.

EPE, 2023, *Balanco Energético Nacional (ano-base 2022)*, Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>.

FORTES, R. S. **Dimensionamento e estudos da viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico para indústria de pequeno porte**. 2022.

FRANÇA, T. F.; DE OLIVEIRA, F. B. R. ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS REAIS E SIMULADOS DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2018.

GAVIOLI, A. M. et al. Viabilidade financeira para implantação de painéis fotovoltaicos em um hospital público do município de Curitiba. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 9342-9359, 2021.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. *Energias renováveis: um futuro sustentável*. **Revista Usp**, n. 72, p. 6-15, 2007.

GONÇALVES, R. C.; GUETTER, A. K. Análise de Frequência Regional de Ventos Extremos no Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 301-313, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863340033>.

HORN, F. O.; SCHREINER, C. B. **Administração Financeira: Teoria e Prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

IANSE, F. P. **Simulação do desempenho de diferentes modelos e tecnologias de painel fotovoltaico para utilização em Medianeira - PR**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2023.

IEA: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7b570018-82d5-4ea3-b1ad-806234b7b184/Executivesummary-WorldEnergyOutlook2023.pdf>. Acesso em: 21 maio 2024.

INOVACARE. **Você Sabe a Diferença entre Geração Centralizada e Geração Distribuída?** 2021. Disponível em: <https://inovacare.solar/publicacao/voce-sabe-a-diferenca-entre-geracao-centralizada-e-geracao-distribuida/127>. Acesso em: 17 maio. 2024.

JACQUES, R. C.; FRANKENBERGER, R. L. F. Estudo de viabilidade para implantação de painéis fotovoltaicos em uma instituição de saúde. 2022.

JALES, Jonathan de Oliveira. **ESTUDO DO RENDIMENTO DA TENSÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO EM RELAÇÃO AO SOMBREAMENTO**. 2024. Tese de Doutorado.

LEMOS, E. V. B. et al. Estudo de caso de projeto de instalação de painéis fotovoltaicos. 2022.

LOPES, R. J. C. **Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos**. 2013. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

MEDEIROS FILHO, R. M. **Projeto e implantação de usina solar fotovoltaica com módulos de tecnologia bifacial**. 2021.

MALVINO, A. P. **Eletrônica**: volume 1. 7. ed. [S. L.]: Gisélia Costa, 2007.

METALSOL. **Como Funciona um Painel Fotovoltaico**. 2022. Disponível em: <https://metalsol.com.br/como-funciona-um-painel-fotovoltaico/>. Acesso em: 07 maio 2024.

MORAIS, O. A. M. **Análise da variação da potência do arranjo fotovoltaico para operação de um inversor projetado**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MOREIRA, J. R. S. **Energias Renováveis**: geração distribuída e eficiência energética. 2. ed. Rio de Janeiro: Geração Distribuída e Eficiência Energética, 2023.

NEOSOLAR. **PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO - CANADIAN SOLAR**. 2024. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian?amp=1>. Acesso em: 07 maio. 2024.

ONS. **O Sistema em Números**. 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 18 maio. 2024.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.

RAMOS, L. C. et al. Análise da viabilidade e dimensionamento de placas fotovoltaicas para uma microempresa do setor de alimentos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 29593-29614, 2021.

SANTOS, K. A. **Simulação do desempenho de SFCR a partir da variação da inclinação, azimute e potência do inversor, para a cidade de Medianeira-PR**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SOLAR, Yes Energia. **MÓDULOS MONOCRISTALINOS E POLICRISTALINOS: O QUE VOCÊ PRECISA SABER?**. 2024. Disponível em: <https://yesenergiasolar.com.br/modulos-monocristalinos-e-policristalinos-o-que-voce-precisa-saber>. Acesso em: 07 maio. 2024.

SUN, X. KHAN, M. R. DELINE, C. ALAM, M. A. Optimization and performance of bifacial solar modules: A global perspective, *Applied Energy*, v. 212, Pages 1601-1610, 2018, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917317567>. Acesso em: 21 fev. 2025.

TECHLUX. **Módulo Fotovoltaico Znshine Solar 555W ZXM7-SHLD144-555 Monocristalino Halfcell**. 2025. Disponível em: Módulo Fotovoltaico Znshine Solar 555W ZXM7-SHLD144-555 Monocristalino Halfcell. Acesso em: 14 fev. 2025.

THURSTON, C. W. NREL Builds First Solar Database For Bifacial Albedo. Disponível em: <https://cleantechnica.com/2019/02/18/nrel-builds-first-solar-database-for-bifacial-albedo/> Acesso em: 21 fev. 2025

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica**: conceitos e aplicações. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2014

**ANEXO A - RELATÓRIO PVSYST SISTEMA INSTALADO**



Versão 7.4.8

# PVsyst - Relatório da simulação

## Sistema acoplado à rede

Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

Sheds num edifício

Potência sistema: 301 kWp

UNIVERSIDADE - Medianeira - Brasil

| Author



## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

### PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

#### Resumo do projeto

<b>Localização geográfica</b> UNIVERSIDADE - Medianeira Brasil	<b>Localização</b> Latitude -25.30 °S Longitude -54.12 °W Altitude 427 m Fuso horário UTC-3	<b>Parâmetros projeto</b> Albedo 0.20
<b>Dados meteorológicos</b> UNIVERSIDADE - Medianeira Meteonorm 8.1 (2006-2015), Sat=100% - Sintético		

#### Resumo do sistema

<b>Sistema acoplado à rede</b> Plano fixo Inclinação/Azimute 10 / 15 °	<b>Sheds num edifício</b> <b>Sombras próximas</b> Sombras lineares : rápido (tabela)	<b>Exigências do consumidor</b> Carga ilimitada (rede)
<b>Informação do sistema</b>		
<b>Grupo FV</b> Nr. de módulos 543 unidades Pnom total 299 kWp	<b>Inversores</b> Número de unidades 3.1 unidades Pnom total 235 kWca Rácio Pnom 1.274	

#### Resumo dos resultados

Energia produzida 503009 kWh/ano	Produção específica 1684 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR 86.05 %
----------------------------------	--------------------------------------	----------------------------

#### Índice

Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Definição das sombras próximas - Diagrama das iso-sombras	7
Resultados principais	8
Diagrama de perdas	9
Gráficos predefinidos	10
Custo do sistema	11
Análise financeira	12
Balanço de emissões CO <sub>2</sub>	15



## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

### PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

### Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede		Sheds num edifício		Modelos utilizados	
<b>Orientação do plano dos módulos</b>		<b>Configuração dos sheds</b>		<b>Modelos utilizados</b>	
<b>Orientação</b>		<b>Nr. de sheds</b>		Transposição Perez	
Plano fixo		91 unidades		Difuso Perez, Meteorom	
<b>Inclinação/Azimute</b>		<b>Grupos idênticos</b>		Cicumsolar separado	
10 / 15 °		<b>Dimensões</b>			
		Esp. entre sheds 3.45 m			
		Largura módulos 2.28 m			
		Taxa ocup. do solo (GCR) 66.0 %			
		Banda inativa no topo 0.02 m			
		Banda inativa em baixo 0.02 m			
		<b>Ângulo limite das sombras</b>			
		Ângulo de perfil limite 18.6 °			
<b>Horizonte</b>		<b>Sombras próximas</b>		<b>Exigências do consumidor</b>	
Sem horizonte		Sombras lineares : rápido (tabela)		Carga ilimitada (rede)	
<b>Sistema bifacial</b>					
Modelo		Cálculo 2D			
		sheds ilimitados			
<b>Geometria do modelo bifacial</b>				<b>Definições para modelo bifacial</b>	
Esp. entre sheds		3.45 m		Albedo do solo 0.75	
Largura dos sheds		2.32 m		Fator de bifacialidade 70 %	
Ângulo de perfil limite		18.6 °		Fator sombras posterior 5.0 %	
GCR		67.2 %		Perd. mismat. lado an 10.0 %	
Altura acima do solo		0.10 m		Fração transparente do shed 0.0 %	

### Características do grupo FV

Grupo #1 - Conexão 1		Grupo #2 - Conexão 2	
<b>Módulo FV</b>		<b>Módulo FV</b>	
Fabricante ZNshine Solar		Fabricante ZNshine Solar	
Modelo ZXM7-SHLDD-144-555		Modelo ZXM7-SHLDD-144-555	
(Parâmetros definidos pelo utilizador)		(Parâmetros definidos pelo utilizador)	
Potência unitária	550 Wp	Potência unitária	550 Wp
Número de módulos FV	108 unidades	Número de módulos FV	108 unidades
Nominal (STC)	59.4 kWp	Nominal (STC)	59.4 kWp
Módulos	9 string x 12 Em série	Módulos	9 string x 12 Em série
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		<b>Em condições de func. (50°C)</b>	
Pmpp	54.8 kWp	Pmpp	54.8 kWp
Umpp	456 V	Umpp	456 V
I mpp	120 A	I mpp	120 A
<b>Inversor</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante Growatt New Energy		Fabricante Growatt New Energy	
Modelo MAX 75KTL3 XL2		Modelo MAX 75KTL3 XL2	
(Parâmetros definidos pelo utilizador)		(Parâmetros definidos pelo utilizador)	
Potência unitária	75.0 kWca	Potência unitária	75.0 kWca
Número de inversores	5 * MPPT 13% 0.6 unidade	Número de inversores	5 * MPPT 13% 0.6 unidade
Potência total	46.9 kWca	Potência total	46.9 kWca
Tensão de funcionamento	180-850 V	Tensão de funcionamento	180-850 V
Rácio Phom (DC:AC)	1.27	Rácio Phom (DC:AC)	1.27
Não há partilha de potência entre MPPTs		Não há partilha de potência entre MPPTs	



## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

### PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

### Características do grupo FV

<b>Grupo #3 - Conexão 3</b>		<b>Inversor</b>	
<b>Módulo FV</b>		Fabricante	
Fabricante	ZNshine Solar	Growatt New Energy	
Modelo	ZXM7-SHLDD-144-555	Modelo	
	(Parâmetros definidos pelo utilizador)	MAX 75KTL3 XL2 3	
		(Parâmetros definidos pelo utilizador)	
Potência unitária	550 Wp	Potência unitária	75.0 kWca
Número de módulos FV	108 unidades	Número de inversores	5 * MPPT 13% 0.6 unidade
Nominal (STC)	59.4 kWp	Potência total	46.9 kWca
Módulos	9 string x 12 Em série	Tensão de funcionamento	180-850 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Phom (DC:AC)	1.27
Pmpp	54.8 kWp	Não há partilha de potência entre MPPTs	
Umpp	456 V		
I mpp	120 A		
<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	ZNshine Solar	Fabricante	
Modelo	ZXM7-SHLDD-144-555	Growatt New Energy	
	(Parâmetros definidos pelo utilizador)	Modelo	
		MAX 75KTL3 XL2 4	
		(Parâmetros definidos pelo utilizador)	
Potência unitária	550 Wp	Potência unitária	75.0 kWca
Número de módulos FV	107 unidades	Número de inversores	0.6 unidade
Nominal (STC)	58.9 kWp	Potência total	46.9 kWca
<b>Grupo #4 - Conexão 4</b>			
Número de módulos FV	88 unidades	Número de inversores	4 * MPPT 13% 0.5 unidade
Nominal (STC)	48.4 kWp	Potência total	37.5 kWca
Módulos	8 string x 11 Em série	Tensão de funcionamento	180-850 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Phom (DC:AC)	1.29
Pmpp	44.7 kWp		
Umpp	418 V		
I mpp	107 A		
<b>Grupo #5 - Conexão 4.1</b>			
Número de módulos FV	19 unidades	Número de inversores	1 * MPPT 13% 0.1 unidade
Nominal (STC)	10.45 kWp	Potência total	9.4 kWca
Módulos	1 strings x 19 Em série	Tensão de funcionamento	180-850 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Phom (DC:AC)	1.11
Pmpp	9.65 kWp		
Umpp	723 V		
I mpp	13 A		
<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	ZNshine Solar	Fabricante	
Modelo	ZXM7-SHLDD-144-555	Growatt New Energy	
	(Parâmetros definidos pelo utilizador)	Modelo	
		MAX 75KTL3 XL2 5	
		(Parâmetros definidos pelo utilizador)	
Potência unitária	550 Wp	Potência unitária	75.0 kWca
Número de módulos FV	112 unidades	Número de inversores	0.6 unidade
Nominal (STC)	61.6 kWp	Potência total	46.9 kWca
<b>Grupo #6 - Conexão 5</b>			
Número de módulos FV	90 unidades	Número de inversores	4 * MPPT 13% 0.5 unidade
Nominal (STC)	49.5 kWp	Potência total	37.5 kWca
Módulos	9 string x 10 Em série	Tensão de funcionamento	180-850 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Phom (DC:AC)	1.32
Pmpp	45.7 kWp		
Umpp	380 V		
I mpp	120 A		



## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

### PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

#### Características do grupo FV

<b>Grupo #7 - Conexão 5.1</b>			
Número de módulos FV	22 unidades	Número de inversores	1 * MPPT 13% 0.1 unidade
Nominal (STC)	12.10 kWp	Potência total	9.4 kWca
Módulos	2 string x 11 Em série		
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Tensão de funcionamento	180-850 V
Pmpp	11.17 kWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.29
Umpp	418 V		
I mpp	27 A		
<b>Potência FV total</b>		<b>Potência total inversor</b>	
Nominal (STC)	299 kWp	Potência total	235 kWca
Total	543 módulos	N.º de inversores	4 unidades
Superfície módulos	1403 m <sup>2</sup>	Rácio Pnom	0.9 Não utilizado
		Sem partilha de potência	1.27

#### Perdas do grupo

<b>Fator de perdas térm.</b>		<b>Perdas de qualidade dos módulos</b>						
Temperatura módulos em função irradiância		Fração perdas	0.0 %					
Uc (const.)	20.0 W/m <sup>2</sup> K							
Uv (vento)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s							
<b>Perdas dos módulos com mismatch</b>								
<b>Grupo #1 - Conexão 1</b>								
Fração perdas	2.0 % no MPP							
<b>Grupo #2 - Conexão 2</b>								
Fração perdas	2.0 % no MPP							
<b>Grupo #3 - Conexão 3</b>								
Fração perdas	2.0 % no MPP							
<b>Grupo #4 - Conexão 4</b>								
Fração perdas	2.0 % no MPP							
<b>Grupo #5 - Conexão 4.1</b>								
Fração perdas	2.0 % no MPP							
<b>Grupo #6 - Conexão 5</b>								
Fração perdas	2.0 % no MPP							
<b>Grupo #7 - Conexão 5.1</b>								
Fração perdas	2.0 % no MPP							
<b>Fator de perda IAM</b>								
Efeito de incidência (IAM): Fresnel, revestimento AR, n(vidro)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

#### Perdas de cablagem DC

Res. global dos cabos	10 mΩ		
Fração perdas	1.5 % em STC		
<b>Grupo #1 - Conexão 1</b>		<b>Grupo #2 - Conexão 2</b>	
Res. global do grupo	63 mΩ	Res. global do grupo	63 mΩ
Fração perdas	1.5 % em STC	Fração perdas	1.5 % em STC
<b>Grupo #3 - Conexão 3</b>		<b>Grupo #4 - Conexão 4</b>	
Res. global do grupo	63 mΩ	Res. global do grupo	65 mΩ
Fração perdas	1.5 % em STC	Fração perdas	1.5 % em STC



Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

**PVsyst V7.4.8**

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

**Perdas de cablagem DC**

<b>Grupo #5 - Conexão 4.1</b>		<b>Grupo #6 - Conexão 5</b>	
Res. global do grupo	899 mΩ	Res. global do grupo	53 mΩ
Fração perdas	1.5 % em STC	Fração perdas	1.5 % em STC
<b>Grupo #7 - Conexão 5.1</b>			
Res. global do grupo	260 mΩ		
Fração perdas	1.5 % em STC		

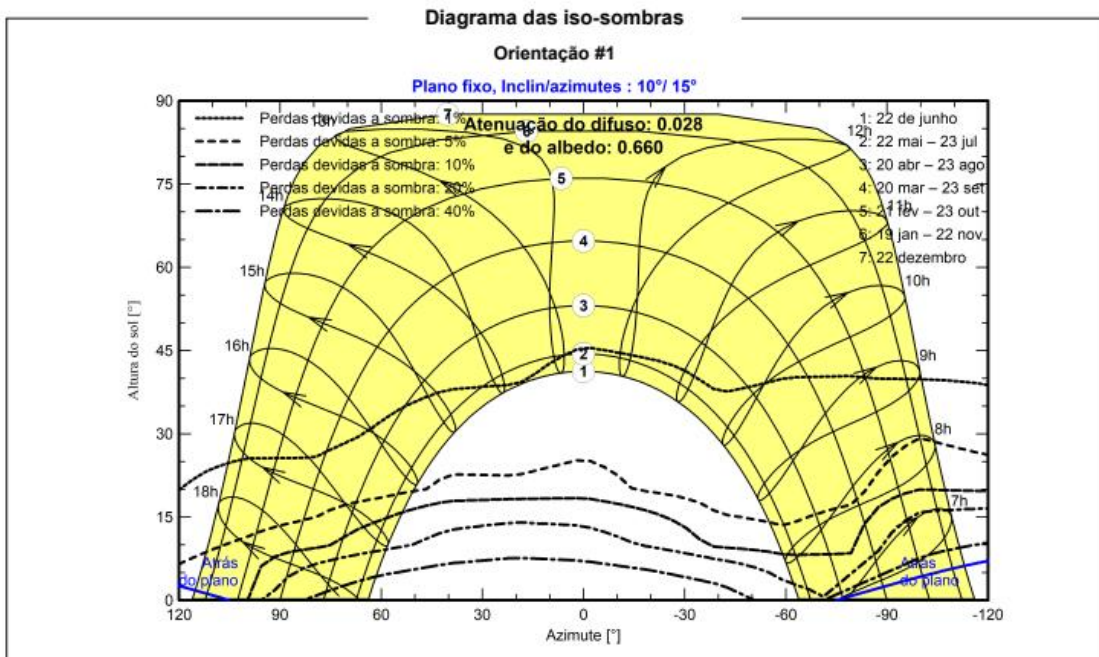
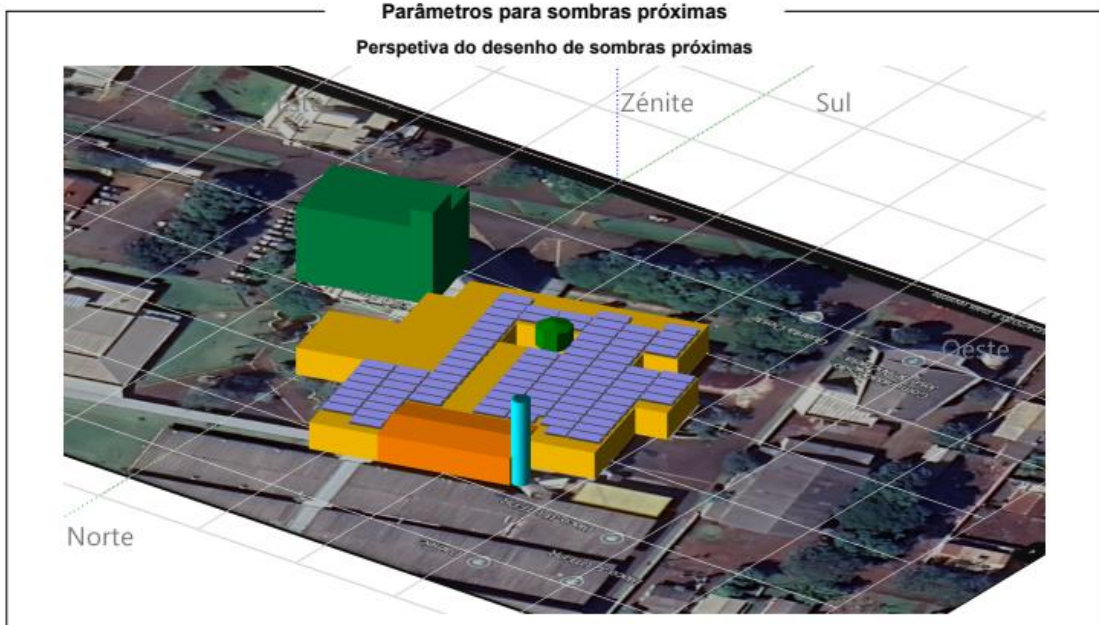


Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17 com V7.4.8





## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

### PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

### Resultados principais

#### Produção do sistema

Energia produzida 503009 kWh/ano Produção específica 1684 kWh/kWp/ano  
Índice de perf. PR 86.05 %

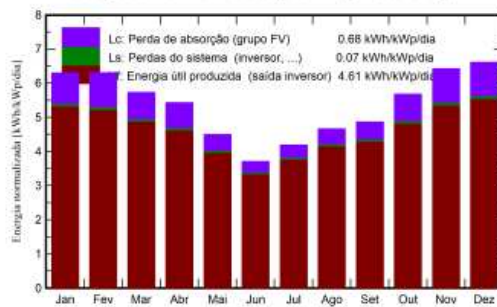
#### Avaliação econômica

**Investimento**  
Global 1.737.280,41 BRL  
Específico 5,82 BRL/Wp

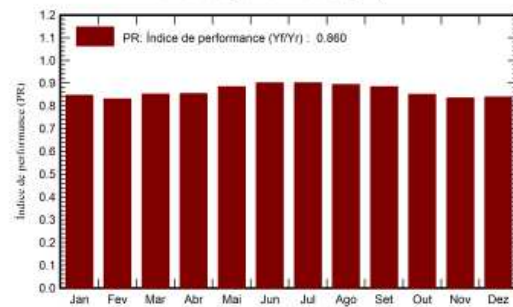
**Custo anual**  
Anuidades 0,00 BRL/ano  
Custos operação 18.276,57 BRL/ano  
Período amortização 5,5 anos

**LCOE**  
Custo da energia 0,16 BRL/kWh

#### Produções normalizadas (por kWp instalado)



#### Índice de performance (PR)



#### Balancos e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	rácio
<b>Janeiro</b>	199.2	93.87	25.88	195.2	188.0	50143	49379	0.847
<b>Fevereiro</b>	174.6	66.97	25.49	176.6	170.6	44462	43774	0.830
<b>Março</b>	171.1	77.59	24.60	177.7	171.5	45947	45253	0.852
<b>Abril</b>	148.3	45.80	21.96	162.9	156.8	42166	41526	0.854
<b>Mai</b>	122.0	39.05	18.02	139.5	133.5	37412	36821	0.884
<b>Junho</b>	96.5	37.80	16.66	111.3	105.6	30442	29970	0.902
<b>Julho</b>	112.3	39.35	15.80	129.8	123.5	35474	34943	0.901
<b>Agosto</b>	130.2	53.40	18.36	144.6	139.0	39188	38589	0.894
<b>Setembro</b>	138.2	69.33	19.80	145.8	140.4	39110	38524	0.885
<b>Outubro</b>	172.6	75.23	22.75	176.1	170.2	45473	44766	0.851
<b>Novembro</b>	195.1	73.53	23.51	192.8	186.4	48839	48073	0.835
<b>Dezembro</b>	211.2	81.45	25.17	205.1	197.6	52192	51392	0.839
<b>Ano</b>	1871.4	753.36	21.48	1957.4	1883.1	510849	503009	0.860

#### Legendas

GlobHor Irradiação horizontal total  
DiffHor Irradiação difusa horizontal  
T\_Amb Temperatura ambiente  
GlobInc Incidência global no plano dos sensores  
GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

EArray Energia efetiva à saída do grupo  
E\_Grid Energia injetada na rede  
PR Índice de performance

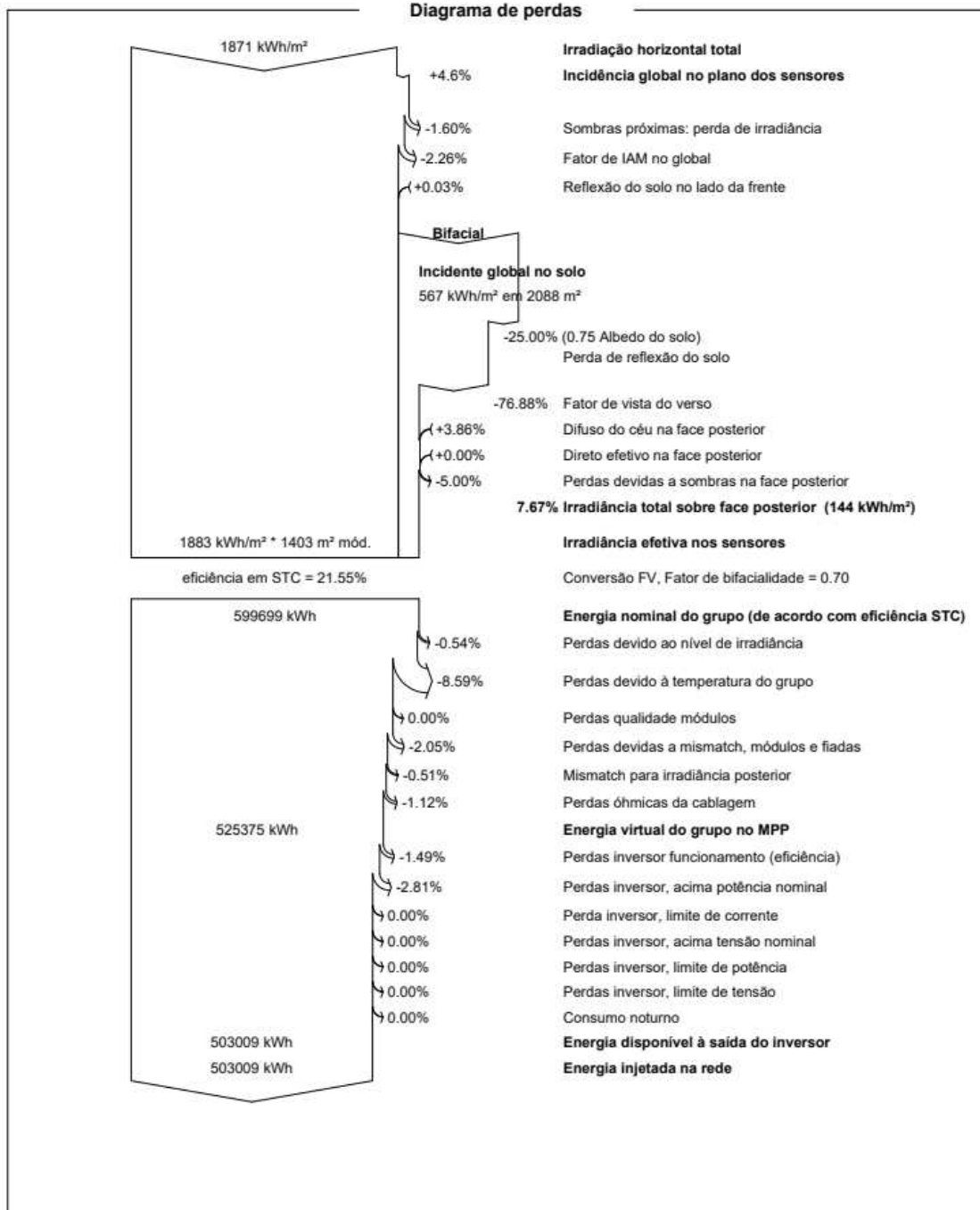


Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8





## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

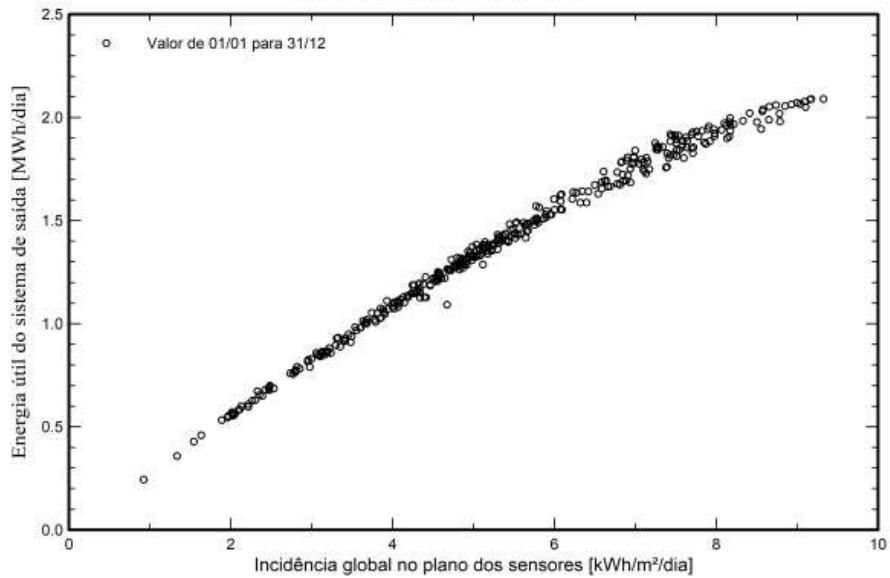
Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

## PVsyst V7.4.8

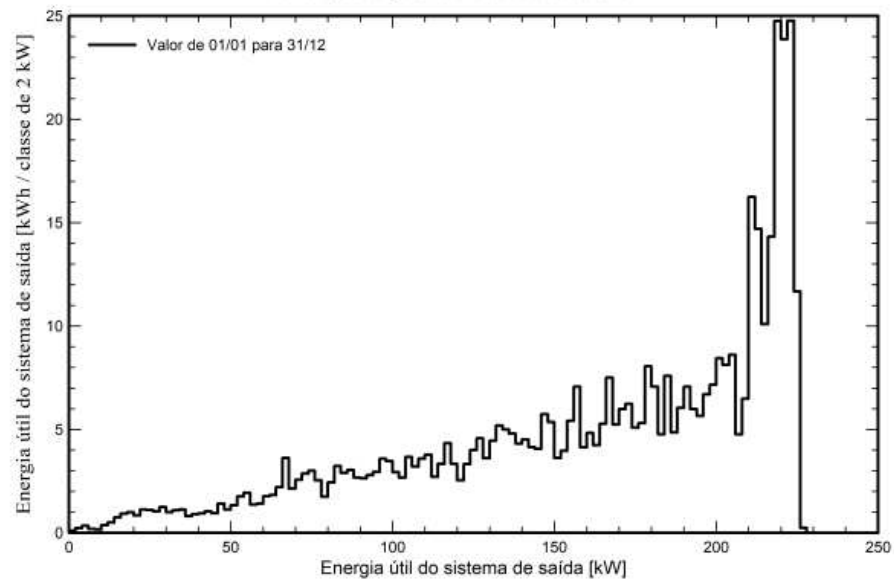
VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

## Gráficos predefinidos

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema





Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

**PVsyst V7.4.8**

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

**Custo do sistema**

**Custos da instalação**

Item	Quantidade unidades	Custo BRL	Total BRL
Instalação			
Custo da instalação completa, por módulo	543	3.199.41	1.737.280.41
		Total	1.737.280.41
		Bem amortizável	0.00

**Custos de operação**

Item	Total BRL/ano
Manutenção	
Limpeza	6.596.00
Total (OPEX)	6.596.00
Incluindo inflação (7.63%)	18.276.57

**Resumo do sistema**

Custo total de instalação	1.737.280.41 BRL
Custos de operação (incluindo inflação 7.63%/ano)	18.276.57 BRL/ano
Energia produzida	503 MWh/ano
Custo da energia produzida (LCOE)	0.1603 BRL/kWh



## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

### PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

### Análise financeira

<b>Período de simulação</b>			
Duração do projeto	25 anos	Ano de início	2024
<b>Variação dos rendimentos ao longo do tempo</b>			
Inflação			7.63 %/ano
Variação da produção (envelhecimento)			0.70 %/ano
Taxa de desconto			0.00 %/ano
<b>Despesas dependentes dos rendimentos</b>			
Taxa de imposto sobre rendimentos			0.00 %/ano
Outros impostos sobre os rendimentos			0.00 %/ano
Dividendos			0.00 %/ano
<b>Financiamento</b>			
Fundos próprios			1.737.280.41 BRL
<b>Venda de eletricidade</b>			
Tarifa de compra		Tarifa hora de ponta	2.19986 BRL/kWh
		Tarifa da hora de vazio	0.48000 BRL/kWh 21:00-18:00
Duração da garantia de tarifas			25 anos
Imposto anual de ligação			0.00 BRL/kWh
Variação da tarifa anual			+11.4 %/ano
Diminuição da tarifa de compra depois da garantia			0.00 %
<b>Rendimento</b>			
Período de amortização			5.5 anos
Valor atual líquido (VPN)			31.447.240.00 BRL
Taxa de rentabilidade interna (TRI)			25.13 %
Rendimento (ROI)			1810.1 %



Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

Análise financeira

Resultados económicos pormenorizados (BRL)

Ano	Venda de eletricidade	Fundos próprios	Custos operação	Subsídio de amortização	Rendimento taxável	Impostos	Lucro depois do imposto	Lucro acumulado	% amortec.
0	0	1.737.280	0	0	0	0	0	-1.737.280	0.0%
1	245.802	0	6.596	0	239.206	0	239.206	-1.498.075	13.8%
2	275.715	0	7.099	0	268.616	0	268.616	-1.229.458	29.2%
3	309.269	0	7.641	0	301.628	0	301.628	-927.830	46.6%
4	346.906	0	8.224	0	338.682	0	338.682	-589.148	66.1%
5	389.124	0	8.851	0	380.272	0	380.272	-208.875	88.0%
6	436.479	0	9.527	0	426.952	0	426.952	218.077	112.6%
7	489.598	0	10.254	0	479.344	0	479.344	697.421	140.1%
8	549.180	0	11.036	0	538.144	0	538.144	1.235.565	171.1%
9	616.014	0	11.878	0	604.136	0	604.136	1.839.701	205.9%
10	690.981	0	12.784	0	678.197	0	678.197	2.517.898	244.9%
11	775.072	0	13.760	0	761.312	0	761.312	3.279.210	288.8%
12	869.396	0	14.810	0	854.586	0	854.586	4.133.796	337.9%
13	975.199	0	15.940	0	959.259	0	959.259	5.093.056	393.2%
14	1.093.878	0	17.156	0	1.076.722	0	1.076.722	6.169.778	455.1%
15	1.227.000	0	18.465	0	1.208.535	0	1.208.535	7.378.313	524.7%
16	1.376.323	0	19.874	0	1.356.449	0	1.356.449	8.734.763	602.8%
17	1.543.818	0	21.390	0	1.522.428	0	1.522.428	10.257.190	690.4%
18	1.731.696	0	23.022	0	1.708.674	0	1.708.674	11.965.864	788.8%
19	1.942.439	0	24.779	0	1.917.660	0	1.917.660	13.883.524	899.2%
20	2.178.828	0	26.669	0	2.152.159	0	2.152.159	16.035.683	1023.0%
21	2.443.986	0	28.704	0	2.415.282	0	2.415.282	18.450.965	1162.1%
22	2.741.412	0	30.894	0	2.710.518	0	2.710.518	21.161.483	1318.1%
23	3.075.035	0	33.252	0	3.041.783	0	3.041.783	24.203.266	1493.2%
24	3.449.258	0	35.789	0	3.413.470	0	3.413.470	27.616.736	1689.7%
25	3.869.024	0	38.520	0	3.830.504	0	3.830.504	31.447.240	1910.1%
<b>Total</b>	<b>33.641.435</b>	<b>1.737.280</b>	<b>456.914</b>	<b>0</b>	<b>33.184.520</b>	<b>0</b>	<b>33.184.520</b>	<b>31.447.240</b>	<b>1910.1%</b>

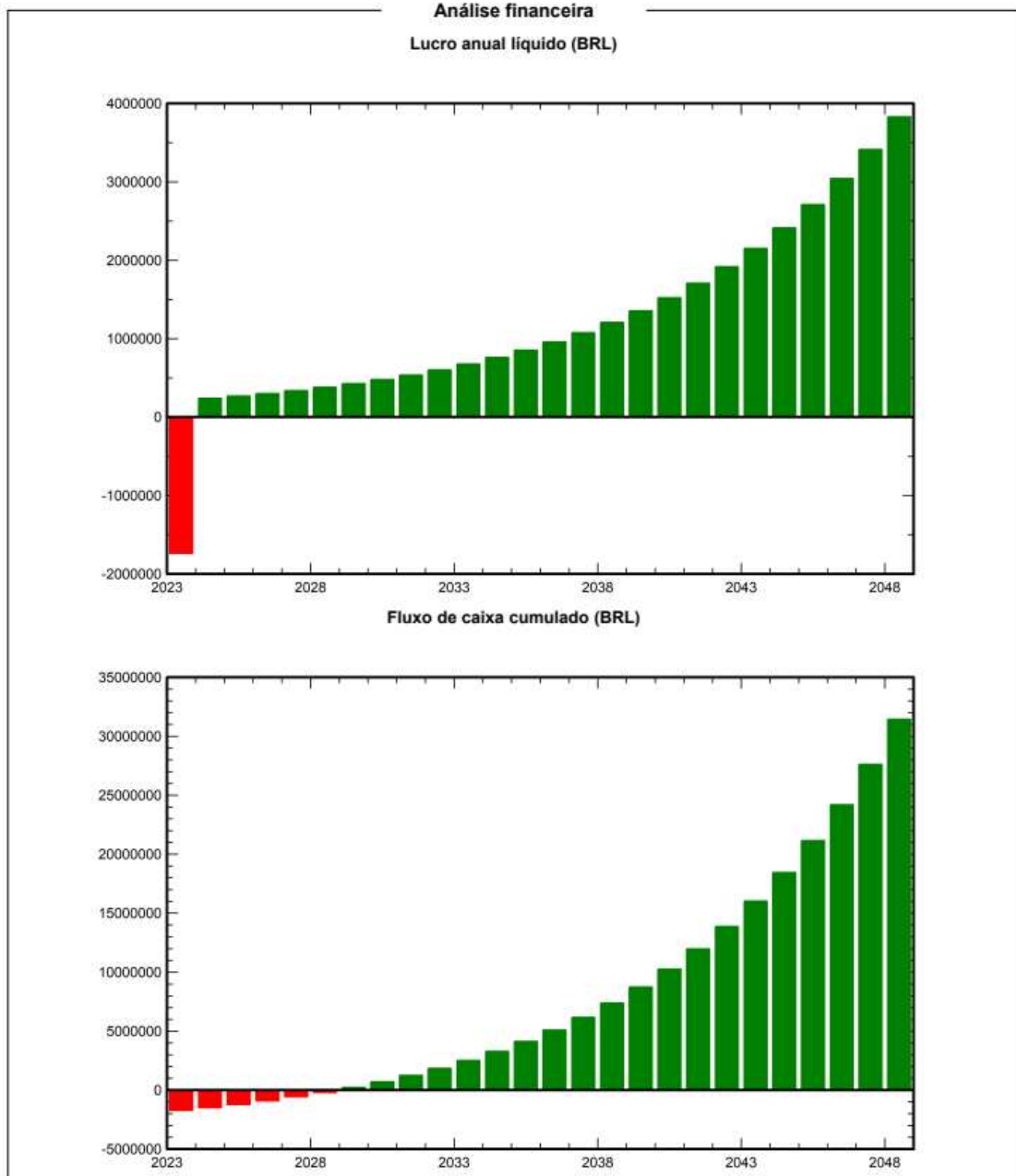


Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8





## Projeto: UNIVERSIDADE NO OESTE DO PARANÁ

Variante: Sistema completo inc 10 dist 3,45

### PVsyst V7.4.8

VC3, Data da simulação: 21/02/25 09:17  
com V7.4.8

#### Balanco de emissões CO<sub>2</sub>

Total: 201.1 tCO<sub>2</sub>

#### Emissões geradas

Total: 540.81 tCO<sub>2</sub>

Origem: Cálculo em detalhe na tabela abaixo

#### Emissões evitadas

Total: 814.9 tCO<sub>2</sub>

Produção do sistema: 503.01 MWh/ano

LCE - Emissões da rede: 81 gCO<sub>2</sub>/kWh

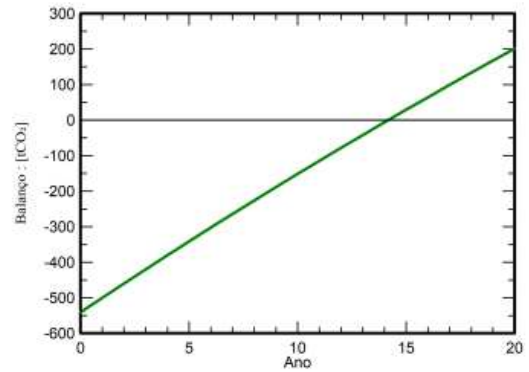
Origem: Lista TEA

País: Brazil

Tempo de vida: 20 anos

Deterioração anual: 1.0 %

#### Economia de emissões de CO<sub>2</sub> em função do tempo



#### Pormenores das emissões durante o ciclo de vida do sistema

Item	LCE	Quantidade	Subtotal
			[kgCO <sub>2</sub> ]
Módulos	1728 kgCO <sub>2</sub> /kWp	298 kWp	515203
Suporta	4.40 kgCO <sub>2</sub> /kg	5420 kg	23860
Inversores	436 kgCO <sub>2</sub> /unidades	4.00 unidades	1745