

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOEL CLAUDIANO DA SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS A REDE INSTALADOS EM CURITIBA COM  
DIFERENTES TOPOLOGIAS**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2022**

**JOEL CLAUDIANO DA SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS A REDE INSTALADOS EM CURITIBA COM  
DIFERENTES TOPOLOGIAS**

**Comparative Analysis Of Grid Connected Photovoltaic Systems  
Installed In Curitiba With Different Topologies**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia (PPGSE), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Linha de Pesquisa: Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

**CURITIBA**

**2022**



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba**



JOEL CLAUDIANO DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE INSTALADOS EM CURITIBA COM DIFERENTES TOPOLOGIAS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Automação E Sistemas De Energia.

Data de aprovação: 31 de Agosto de 2022

Dr. Jair Urbanetz Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Carlos Gabriel Bianchin, Doutorado - Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento, Departamento de Eletricidade, Divisão de Sistemas Elétricos - Lactec

Dr. Paulo Cicero Fritzen, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 01/09/2022.

**Dedico este trabalho a minha  
esposa e aos meus filhos.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida, pela saúde e pela motivação para superar todos os momentos difíceis no decorrer deste mestrado passando pela pior pandemia já vivida neste mundo .

Ao Professor Dr. Jair Urbanetz Junior, pela oportunidade concedida como aluno externo, aluno especial e aluno regular, pela orientação, pela amizade, pela confiança e por toda a atenção.

À minha esposa Andrea pelo companheirismo e por toda a superação dos desafios e dificuldades para que eu pudesse conseguir concluir este trabalho, também aos meus filhos por minhas ausências.

A todos os companheiros da COPEL que me ajudaram com as trocas de turno para que eu pudesse frequentar as aulas.

À COPEL, ao LACTEC e a WHB, empresas onde pude desenvolver ainda mais meus conhecimentos, aprendendo sempre e me capacitando cada vez mais como profissional.

Aos meus companheiros de estudos, aulas e congressos, em especial ao Engenheiro Carlos Eduardo Teixeira das Neves, coautor de muitos artigos e que compartilhamos conhecimentos, alegrias e tristezas.

Aos membros da Banca, Professor Dr. Paulo Cicero Fritzen e Professor Dr. Carlos Gabriel Bianchin, pela amizade e pelos excelentes apontamentos das correções da minha dissertação.

Por poder fazer parte da equipe de pesquisadores do LABENS, motivo de orgulho por sua brilhante contribuição com produção científica para com a sociedade, para com o meio ambiente e para com as gerações futuras.

## RESUMO

SILVA, Joel Claudiano. **Análise Comparativa de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede Instalados em Curitiba com Diferentes Topologias**. 124p. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

A crise hídrica agravada no ano de 2020 evidenciou a dependência do Sistema Interligado Nacional de fontes de geração de energia de alto custo para suprir a demanda de energia elétrica em períodos de escassez hídrica. Os principais fatores para o aumento dos custos de energia elétrica foram o despacho de Geração Térmica e importação de Energia Elétrica da Argentina e Uruguai, segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Este cenário promoveu um crescimento exponencial da parcela da matriz energética brasileira composta por Geração Fotovoltaica, tanto para o surgimento de fazendas Solares, quanto de sistemas comerciais ou residenciais. Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede instalados na cidade de Curitiba, em locais distintos, com diferentes topologias, com inversores e módulos de diferentes características, com orientações e inclinações diversas, de acordo com a disponibilidade de áreas de telhados em cada local. Foram analisadas as projeções iniciais de geração anual e verificado o resultado obtido, buscando o aprimoramento da técnica utilizada por projetistas e integradores de sistemas fotovoltaicos, para obter uma estimativa mais assertiva possível, visando para que o dimensionamento dos sistemas obtenha o melhor resultado para a viabilidade técnica e econômica. Foram analisados os Índices de Mérito: Fator de Capacidade, Produtividade e Taxa de Desempenho de sete sistemas fotovoltaicos instalados na cidade de Curitiba, com o objetivo de comprovar os estudos já realizados sobre o potencial de geração de energia em Curitiba, a partir da análise dos dados de geração de energia elétrica destes sistemas e dos dados de irradiação obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia. A escolha do inversor e o modo de instalação dos painéis fotovoltaicos são fatores determinantes para maximizar o desempenho do sistema fotovoltaico.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica; Índices de Mérito; Geração Distribuída

## ABSTRACT

SILVA, Joel Claudiano. **Comparative Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems Installed in Curitiba with Different Topologies**. 124p. 2022. Dissertation (Master in Electrical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2022.

The water crisis aggravated in 2020 evidenced the dependence of the National Interconnected System on high-cost energy generation sources to supply the demand for electricity in periods of water scarcity. The main factors for the increase in electricity costs were the dispatch of Generation by Thermolectric Power Plants and the importation of Electric Energy from Argentina and Uruguay, according to the Electric Energy Commercialization Chamber. This scenario promoted an exponential growth of the portion of the Brazilian energy matrix composed of Photovoltaic Generation, both for the emergence of Solar farms, as well as commercial or residential systems. This work presents a comparative analysis between Photovoltaic Systems Connected to the Network installed in the city of Curitiba, in different locations, with different topologies, with inverters and modules of different characteristics, with different orientations and inclinations, according to the availability of roof areas in each location. The initial projections of annual generation were analyzed and the result obtained was verified, seeking the improvement of the technique used by designers and integrators of photovoltaic systems, to obtain a more assertive estimate possible, aiming at obtaining the best result for technical and economic feasibility. The Merit Indices: Capacity Factor, Productivity and Performance Rate of seven photovoltaic systems installed in the city of Curitiba were analyzed, with the objective of proving the studies already carried out on the potential of power generation in Curitiba, from the analysis of the data of electricity generation of these systems and the irradiation data obtained from the National Institute of Meteorology. The choice of inverter and the installation mode of photovoltaic panels are determining factors to maximize the performance of the photovoltaic system.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy; Merit Indices; Distributed Generation

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR.....	24
FIGURA 2 - COMPONENTES DO SFVCR.....	25
FIGURA 3 - TELA INICIAL DO RADIASOL.....	29
FIGURA 4 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DO RADIASOL.....	30
FIGURA 5 - SELEÇÃO DE ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA.....	31
FIGURA 6 - TELA DE GRAFICOS DO RADIASOL.....	32
FIGURA 7 - APLICATIVO SOLARMAN SMART.....	33
FIGURA 8 - PLANTA FOTOVOLTAICA.....	34
FIGURA 9 - APLICATIVO AURORA VISION.....	35
FIGURA 10 - GRÁFICO DE PRODUTIVIDADE.....	35
FIGURA 11 - MAPA DE IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL NO PARANÁ.....	37
FIGURA 12 - MAPA POTENCIAL POR MESORREGIÃO - PARANÁ.....	37
FIGURA 13 - SUPORTE DE FIXAÇÃO PARA TELHADO COLONIAL.....	39
FIGURA 14 - CAIXA DE JUNÇÃO (STRING BOX).....	39
FIGURA 15 - DIAGRAMA ELÉTRICO STRING BOX.....	40
FIGURA 16 - IMAGEM AÉREA SISTEMA 1.....	41
FIGURA 17 - INVERSOR ABB UNO - DM-3.3-TL-PLUS-SB.....	43
FIGURA 18 - SUPORTE PARA TELHADO COLONIAL.....	43
FIGURA 19 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS - VISTA FRONTAL - SISTEMA 2.....	44
FIGURA 20 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS - VISTA POSTERIOR - SISTEMA 1.....	44
FIGURA 21 - FERRAMENTA WEB SISTEMA 1.....	45
FIGURA 22 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA VIRTUAL - 1.....	46
FIGURA 23 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA.....	46
FIGURA 24 - IMAGEM AÉREA SISTEMA 2.....	48
FIGURA 25 - INVERSOR CANADIAN CSI-5KTL1P-GI-FL- SISTEMA 2.....	49
FIGURA 26 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS - VISTA LATERAL - SISTEMA 2.....	50
FIGURA 27 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS - VISTA FRONTAL - SISTEMA 2.....	50
FIGURA 28 - <i>STRING BOX</i> CANADIAN.....	51
FIGURA 29 - QUADRO DE PROTEÇÃO CA - QDCA.....	51
FIGURA 30 - FERRAMENTA WEB SISTEMA 2.....	52
FIGURA 31 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA VIRTUAL - 2.....	53
FIGURA 32 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 3.....	53
FIGURA 33 - IMAGEM AÉREA SISTEMA 3.....	55
FIGURA 34 - INVERSOR CANADIAN CSI-5KTL1P-GI-FL - SISTEMA 3.....	57
FIGURA 35 - MÓDULOS INSTALADOS NA FACE OESTE.....	57
FIGURA 36 - MÓDULOS INSTALADOS NA FACE LESTE.....	58
FIGURA 37 - FERRAMENTA WEB SISTEMA 3.....	58
FIGURA 38 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA VIRTUAL - 3.....	59
FIGURA 39 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 3 - LESTE.....	59
FIGURA 40 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 3 - OESTE.....	60
FIGURA 41 - IMAGEM AÉREA SISTEMA 4.....	63
FIGURA 42 - INVERSOR SOFAR, MODELO 5KTML-G2.....	65
FIGURA 43 - VISTA FRONTAL DO PAINEL FOTOVOLTAICO.....	65



FIGURA 44 - TELA DA FERRAMENTA WEB - SISTEMA 4 .....	66
FIGURA 45 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA VIRTUAL - 4 .....	67
FIGURA 46 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 4 - LESTE .....	67
FIGURA 47 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 4 - OESTE.....	68
FIGURA 48 - IMAGEM AÉREA SISTEMA 5 .....	71
FIGURA 49 - INVERSOR SOFAR 7.5KTML-G2 .....	72
FIGURA 50 - SUPORTE DE FIXAÇÃO PARA TELHADO METÁLICO.....	73
FIGURA 51 - MÓDULOS INSTALADOS NO TELHADO METÁLICO .....	73
FIGURA 52 - FERRAMENTA WEB SISTEMA 5 .....	74
FIGURA 53 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA VIRTUAL - 5 .....	74
FIGURA 54 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 5 - LESTE .....	75
FIGURA 55 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 5 - OESTE.....	76
FIGURA 56 - IMAGEM AÉREA SISTEMA 6 .....	78
FIGURA 57 - INVERSOR SOFAR 4KTML-G2 .....	79
FIGURA 58 - IMAGEM DO DETALHE DO SUPORTE DE FIXAÇÃO.....	80
FIGURA 59 - IMAGEM DO DETALHE DO TRILHO DE FIXAÇÃO .....	80
FIGURA 60 - IMAGEM DA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	81
FIGURA 61 - FERRAMENTA WEB SISTEMA 6 .....	81
FIGURA 62 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA VIRTUAL - 6 .....	82
FIGURA 63 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 6 .....	82
FIGURA 64 - IMAGEM AÉREA SISTEMA 7 .....	84
FIGURA 65 - PAINEL FOTOVOLTAICO INSTALADO A FACE OESTE.....	84
FIGURA 66 - INVERSOR ABB UNO-DM-4.6-TL-PLUS-SB .....	86
FIGURA 67 - FERRAMENTA WEB -SISTEMA 7 .....	87
FIGURA 68 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA VIRTUAL - 7 .....	87
FIGURA 69 - GRÁFICO IRRADIAÇÃO ESTIMADA - SISTEMA 7 .....	88
FIGURA 70 - CURVA DE SOBRECARGA .....	91
FIGURA 71 - CURVA DE GERAÇÃO - SISTEMA 1 - 24/12/2020 .....	92
FIGURA 72 - CURVA DE GERAÇÃO - SISTEMA 6 - 10/14/2021 .....	93
FIGURA 73 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 1 .....	97
FIGURA 74 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 2 .....	99
FIGURA 75 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 3 - OESTE ...	101
FIGURA 76 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 3 - LESTE ....	103
FIGURA 77 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 4 - OESTE ...	105
FIGURA 78 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 4 - LESTE ....	107
FIGURA 79 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 5 - OESTE ...	109
FIGURA 80 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 5 - LESTE ....	111
FIGURA 81 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 6 .....	113
FIGURA 82 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 7 .....	115
FIGURA 83 - GRÁFICO ENERGIA MEDIDA VERSUS ENERGIA ESTIMADA .....	117

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS TÉCNICOS DA STRING BOX .....	40
TABELA 2 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 1 .....	47
TABELA 3 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 2 .....	54
TABELA 4 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 3 - OESTE.....	61
TABELA 5 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 3 - LESTE .....	62
TABELA 6 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 4 - LESTE .....	69
TABELA 7 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 4 - OESTE.....	70
TABELA 8 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 5 - LESTE .....	76
TABELA 9 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 5 - OESTE.....	77
TABELA 10 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 6 .....	83
TABELA 11 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA - SISTEMA 7 .....	89
TABELA 12 - ENERGIA ELÉTRICA ESTIMADA.....	90
TABELA 13 - FATOR DE DIMENSIONAMENTO.....	92
TABELA 14 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	94
TABELA 15 - PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS - YIELD.....	95
TABELA 16 - TAXA DE DESEMPENHO (PR) .....	95
TABELA 17 - FATOR DE CAPACIDADE (FC).....	96
TABELA 18 - IRRADIAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL - INMET A807 .....	97
TABELA 19 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 1 .....	98
TABELA 20 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 2 .....	100
TABELA 21 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 3 - OESTE ...	102
TABELA 22 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 3 - LESTE ....	104
TABELA 23 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 4 - OESTE ...	106
TABELA 24 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 4 - LESTE ....	108
TABELA 25 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 5 - OESTE ...	110
TABELA 26 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 5 - LESTE ....	112
TABELA 27 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 6 .....	114
TABELA 28 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO DO SISTEMA 7 .....	116
TABELA 29 - RESUMO DE VALORES E RESULTADOS .....	117

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABENS	Associação Brasileira de Energia Solar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício amorfo
AM	Massa de ar
BEN	Balanco Energético Nacional
BIPV	Building Integrated Photovoltaic (construção fotovoltaica integrada)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCST	Centro de Ciência do Sistema Terrestre
CdTe	Telureto de Cádmio
CCEE	Camara de comercialização de Energia Elétrica
CIH	Centro Internacional de Hidroinformática
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVA	Etil Vinil Acetato
ESMAP	Energy Sector Management Assistance Program
EUA	Estados Unidos da América
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISC	Short circuit current (corrente de curto circuito)
LABENS	Laboratório de Energia Solar
LABREN	Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
MPP	Maximum power point (Ponto de máxima potência)
MPPT	Maximum power point tracking (Rastreador de máxima potência)
m-Si	Silício monocristalino
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDE	Plano Decenal de Energia
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
PTI	Parque Tecnológico Itaipu

p-Si	Silício policristalino
PID	Potential induced degradation (Degradação induzida pelo potencial)
QDCA	Quadro de Distribuição em Corrente Alternada
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
VOC	Open circuit voltage (tensão de circuito aberto)
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Ultravioleta
μ-Si	Silício microcristalino

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
° C	Graus Célsius
%	Porcentagem
G	Irradiância solar
G <sub>ALB</sub>	Albedo
GW	Giga watt
GWh	Giga watt-hora
GWp	Giga watt-pico
G <sub>CS</sub>	Constante solar
G <sub>DIF</sub>	Irradiância difusa
G <sub>DIR</sub>	Irradiância direta
G <sub>HOR</sub>	Irradiância global
G <sub>TOT</sub>	Irradiância total
I <sub>sc</sub>	Corrente de curto circuito
J/m <sup>2</sup>	Joule por metro quadrado
K	Kelvin
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWh/m <sup>2</sup>	Quilowatt-hora por metro quadrado
MWh	Megawatt-hora
MWp/km	Megawatt-pico por quilômetro quadrado
TWh	Tera watt-hora
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
O <sub>3</sub>	Ozônio
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidroelétrica
V	Volts
V <sub>oc</sub>	Tensão de circuito aberto
W	Watt
Wh	Watt-hora

$W/m^2$	Watt por metro quadrado
$Wh/m^2$	Watt-hora por metro quadrado
$Wp$	Watt-pico

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	METODOLOGIA	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
2.1	ENERGIA SOLAR	20
2.2	RADIAÇÃO SOLAR	21
2.3	IRRADIÂNCIA	21
2.4	IRRADIAÇÃO	22
2.5	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA	25
2.6	FERRAMENTA INTERATIVA	26
2.7	RADIASOL	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b>	<b>31</b>
3.1	ESTAÇÃO SOLARIMETRICA VIRTUAL	31
3.2	O MONITORAMENTO DOS INVERSORES	33
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS SFVCR INSTALADOS EM CURITIBA	36
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASOS DE SFVCR INSTALADOS EM CURITIBA</b>	<b>38</b>
4.1	SISTEMA 1 - RESIDÊNCIA TINGUI	41
4.2	SISTEMA 2 - RESIDÊNCIA BOQUEIRÃO	47
4.3	SISTEMA 3 - RESIDÊNCIA SANTA FELICIDADE	54
4.4	SISTEMA 4 - RESIDÊNCIA JARDIM DAS AMÉRICAS	62
4.5	SISTEMA 5 - RESIDÊNCIA CRISTO REI	70
4.6	SISTEMA 6 - RESIDÊNCIA AHU	77
4.7	SISTEMA 7 - RESIDÊNCIA BOM RETIRO	83
4.8	ENERGIA ELÉTRICA ESTIMADA DOS SISTEMAS ANALISADOS	89
4.9	FATOR DE DIMENSIONAMENTO (FDI)	90
4.10	INDICES DE MÉRITO DOS SISTEMAS	93
4.11	PRODUTIVIDADE - Yield	94
4.12	TAXA DE DESEMPENHO OU PERFORMANCE RATIO (PR)	95
4.13	FATOR DE CAPACIDADE	96
4.14	CÁLCULOS DA IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO	96
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>118</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	121
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICE</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede é a opção mais acessível para o consumidor, quer seja residencial, comercial ou industrial. Não depende de outorga ou outra forma de autorização, sendo um processo simplificado, necessitando de uma solicitação de acesso junto à Distribuidora de Energia Elétrica, de acordo com o que estabelece a REN 482/2012.

A energia elétrica no Brasil é gerada predominantemente a partir de usinas hidrelétricas, uma das fontes de geração de mais baixo custo, mas de impactos ambientais consideráveis, devido à necessidade da formação de grandes reservatórios de água para movimentar as turbinas dos geradores. Em menor escala no país, outras formas de geração de energia elétrica são utilizadas: usinas térmicas, nucleares e eólicas (URBANETZ, 2010).

O Brasil possui um grande potencial de geração fotovoltaica. Comparando com a Alemanha, que é um dos líderes mundiais em sistemas fotovoltaicos instalados, em nosso país no local menos ensolarado é possível gerar mais energia elétrica do que no local mais ensolarado do país europeu. Até julho de 2022, a capacidade total de sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil é de 17,48 GWp, sendo 5,46 GWp como grandes centrais geradoras e 12,02 GWp como geração distribuída inserida no sistema de compensação de energia. Esses valores se mostram tímidos quando comparados com países como China, Estados Unidos, Japão e Alemanha, os quais possuem em suas respectivas matrizes elétricas 229,9 GW, 86,9 GW, 61,5 GW e 45,3 GW, demonstrando que o setor no Brasil ainda pode ser muito explorado (PEREIRA et al., 2017) (ANEEL, 2022) (REN 21, 2022).

### 1.1 PROBLEMA

O crescimento populacional, o crescimento da indústria, o desenvolvimento de novas tecnologias, novas necessidades que surgem a cada dia, trazem um grande desafio para as próximas décadas, triplicar a geração de energia no Brasil até o ano de 2050 para atender o aumento do consumo de energia elétrica, conforme amplamente divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE no Plano Nacional de energia PNE 2050. Considerando que hoje no Estado do Paraná,



estima-se que quase 70% do potencial Hidráulico já foram utilizados, é necessário escolher outras fontes de energia para investir e explorar.

A possibilidade de gerar energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos no entorno das edificações só tem a contribuir com a redução dos problemas inerentes às formas convencionais de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica (URBANETZ, 2014).

A instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede é uma opção de livre iniciativa do consumidor e que nos últimos anos estão com preços competitivos, diminuindo gradativamente o custo por kWp instalado. Neste período coincidentemente o custo de energia elétrica subiu devido á crise hídrica, com a aplicação das Bandeiras Tarifarias, bem como com a crise do Covid-19, que trouxe com a Conta Covid, um socorro financeiro em forma de empréstimo ás Distribuidoras de Energia, administrada pela CCEE. Porém a viabilidade técnica não é possível para todos os telhados nos centros urbanos, o que traz um desafio para os projetistas em encontrar a melhor solução, calcular as possíveis perdas e determinar o tempo de retorno do investimento, que é um ponto determinante para o fechamento da venda do SFVCR.

Atualmente, o consumidor que instala o sistema fotovoltaico em sua residência, escritório ou indústria, injeta o excedente de energia na rede da Concessionária e esse excedente é contabilizado como crédito de energia com validade de 60 meses (ANEEL, 2015).

Para que um sistema fotovoltaico apresente os resultados esperados são necessários vários estudos no local de instalação, a fim de minimizar as perdas (TONOLO, 2019).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Fazer uma análise comparativa de desempenho, baseada em índices de Mérito, entre os Sistemas Fotovoltaicos Conectados á Rede (SFVCR) instalados na cidade de Curitiba, em locais distintos, com diferentes topologias, com inversores e módulos de diferentes características, com orientações e inclinações diversas, de acordo com a disponibilidade de áreas de telhados em cada local.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o histórico de geração de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos estudados, no período de doze meses.
- Analisar valores de irradiação diária na cidade de Curitiba, fornecidas pelo INMET e pelo Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná;
- Analisar a geração de energia elétrica, disponíveis nas memórias de massa dos inversores dos sistemas fotovoltaicos estudados;
- Analisar os fatores de perdas;
- Calcular a geração de energia elétrica estimada dos SFVCR estudados;
- Comparar os índices de mérito dos sistemas estudados;
- Analisar dados sobre o funcionamento, configurações e índices de mérito destes SFVCR instalados na capital paranaense;
- Sintetizar e relatar os resultados obtidos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os sistemas fotovoltaicos possuem baixo impacto ambiental, produzem energia elétrica através de uma fonte renovável e de maneira silenciosa. Esta tecnologia, já utilizada em países desenvolvidos desde o início dos anos 80, pode ser amplamente aplicada no Brasil, um país ensolarado por natureza e de grande extensão territorial, onde a geração distribuída tem muito a contribuir (URBANETZ, 2014).

Não são todos os telhados que oferecem a área e orientação ideal para a instalação de um sistema fotovoltaico. É possível calcular as perdas e a produtividade mesmo em situações em que não se tenha a melhor condição, porém aproveitando da melhor maneira possível de se instalar o SFVCR para um resultado econômico satisfatório.

Desta forma, esse trabalho visa analisar sete SFVCR já instalados e incentivar a instalação não só em Curitiba, mas também em outras cidades brasileiras para contribuir com o crescimento da geração distribuída de energia elétrica e o crescimento da matriz solar fotovoltaica.

## 1.4 METODOLOGIA

A metodologia de trabalho adotada prevê uma pesquisa descritiva, ou seja, o estudo de caso de sete sistemas fotovoltaicos instalados na cidade de Curitiba. Para isso, será realizada uma pesquisa bibliográfica nos repositórios de teses, periódicos e nos congressos sobre energia fotovoltaica e também sobre os principais conceitos associados à geração de energia fotovoltaica.

A etapa seguinte foram classificados cada sistema, de acordo com a tecnologia utilizada, arranjos e posicionamento; também foram coletados os dados de irradiação, a fim de analisá-los e calcular os respectivos valores de irradiação para os planos inclinados de cada sistema. Para cada sistema foi criada uma estação solarimétrica virtual, utilizando o *software* RADIASOL e os dados de irradiação local obtidos com a utilização da Ferramenta Interativa WEB do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná e da Estação Solarimétrica INMET A807. Em posse desses valores de irradiação foram calculados os índices de mérito dos sistemas: produtividade, taxa de desempenho e fator de capacidade. Na sequência foi realizado o estudo comparativo entre os sistemas estudados. Por fim, foram registradas as conclusões desse estudo.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho está dividida da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução geral, descrição do problema, justificativa, os objetivos tanto gerais como específicos e o método de pesquisa.

Capítulo 2 - Destinado à revisão bibliográfica, a qual buscou o embasamento teórico sobre sistemas fotovoltaicos conectados a rede, tecnologias comercialmente disponíveis e principais componentes desses sistemas.

Capítulo 3 – Apresenta a metodologia para a análise do desempenho dos sistemas fotovoltaicos analisados na cidade de Curitiba.

Capítulo 4 - Apresenta o estudo de sete sistemas fotovoltaicos instalados em Curitiba e os respectivos índices de mérito, além de revelar os dados teóricos de geração de energia elétrica para cada um desses sistemas e também, e também mostra um comparativo entre os valores históricos de irradiação disponibilizados

pelo Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná e os valores medidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Capítulo 5 - Finalmente, o último capítulo apresenta as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ENERGIA SOLAR

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, e sua energia radiante é praticamente a única fonte de energia que influencia os movimentos atmosféricos e nosso clima. O núcleo, com temperatura de cerca de  $15 \times 10^6$  K, é a região mais densa e mais quente, onde a energia é produzida por reações termonucleares. A superfície do Sol, chamada fotosfera, é composta de gases não homogêneos, sendo as temperaturas nesta região na ordem de 4.000 a 6.000 K (PINHO e GALDINO, 2014).

A partir da energia do Sol ocorre a evaporação, a qual origina o ciclo das águas que permite a geração de eletricidade por meio das hidrelétricas. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, gerando assim, os ventos. Essa radiação solar fornece também energia suficiente para o desenvolvimento de animais e plantas que, ao virarem resíduos, geraram os combustíveis fósseis como o petróleo, gás natural e o carvão (PINHO e GALDINO, 2014).

A superfície terrestre recebe uma quantidade de energia solar, em forma de luz e calor, que é suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades energéticas mundiais durante o ano. Este fato indica que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui uma inesgotável fonte energética, com enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia, tais como: a energia elétrica e a energia térmica. Ao utilizar uma superfície de cor escura para captar a radiação solar, obtêm-se a energia térmica, ao passo que ao se utilizar células fotovoltaicas o resultado será a energia elétrica, ou seja, de acordo com o equipamento usado para captar a radiação solar consegue-se um determinado tipo de energia (VILLALVA et al, 2012).

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839, pelo cientista francês Alexander- Edmond Becquerel (1820-1891), observando que ao iluminar um eletrodo imerso em solução eletrolítica, surgia uma diferença de potencial entre os eletrodos. A energia é obtida de forma estática e silenciosa, por não haver

movimentação mecânica, não poluente e renovável (BRAUN-GRAMBOLLE, 2010) (PINHO e GALDINO, 2014) (RÜTHER, 2004) (VIANA, 2010) (VILLALVA, 2010).

O efeito fotovoltaico também é explicado como a conversão direta da energia da luz (espectro visível) em energia elétrica. Para realizar essa conversão, são utilizadas células fotovoltaicas, que é definida como um conversor fotovoltaico elementar, a qual foi desenvolvida para a conversão da energia solar em energia elétrica. A célula solar fotovoltaica é constituída por uma junção p-n de material semicondutor, e recoberta por uma película anti-refletora na face frontal. Contatos elétricos são integrados nas superfícies frontal e posterior, destinados a fornecer tensão e corrente à uma carga (DIAS, 2006) (PEREIRA JUNIOR, 2011) (PINHO e GALDINO, 2014) (STRANGUETO, 2012).

## 2.2 RADIAÇÃO SOLAR

A superfície terrestre é atingida horizontalmente pela radiação solar que é composta pela radiação direta e pela radiação difusa. A radiação direta corresponde aos raios de sol que chegam diretamente na superfície, e, por sua vez, a radiação difusa corresponde aos raios de sol que chegam indiretamente à superfície devido à poeira, nuvens ou outros possíveis objetos (VILLALVA et al, 2012).

A radiação solar é definida como uma forma de energia advinda do Sol, por meio de propagação de ondas eletromagnéticas. Ao atingir a superfície terrestre, essa energia pode ser distribuída e/ou decomposta sobre os planos, horizontal e/ou inclinado. De forma genérica o termo “radiação solar” pode ser utilizado como o fluxo de potência, quando denominado de Irradiância solar, normalmente medida em Watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ). Quando o termo é expresso em termos de energia, denomina-se irradiação solar (PINHO e GALDINO, 2014) (TOLMASQUIM, 2016).

## 2.3 IRRADIÂNCIA

A irradiância é uma grandeza que quantifica a radiação solar e, é expressa em  $W/m^2$  (Potência por Área) (VILLALVA et al, 2012). A potência solar por unidade de área e tempo radiante na camada acima da atmosfera é de  $1.366 W/m^2$  (denominada de constante solar). Em condições de céu claro, a máxima irradiância

medida na superfície terrestre é de  $1000 \text{ W/m}^2$  (ALDABÓ, 2002). Esta irradiância é utilizada como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação de células e módulos fotovoltaicos (VILLALVA et al, 2012) (NREL, 2016).

## 2.4 IRRADIAÇÃO

A irradiação é a grandeza usada para mesurar a energia solar incidente sobre uma área por um determinado tempo ( $\text{Wh/m}^2$ ), que expressa energia por área. Esta medida é útil para fazer dimensionamentos dos sistemas fotovoltaicos, pois pode definir o recurso solar disponível em uma região específica (VILLALVA et al, 2012).

Com o intuito de padronizar e de definir os principais termos técnicos sobre energia solar no Brasil, foi elaborada a norma NBR 10899:2006 intitulada Terminologia sobre Energia Solar Fotovoltaica (ABNT, 2006).

A partir dessa norma, são citados, a seguir, os termos mais relevantes para esse trabalho, bem como as respectivas definições.

**Irradiância solar ( $G$ )** - Taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área, normalmente medida em watt por metro quadrado ( $\text{W/m}^2$ ).

**Irradiância direta ( $G_{\text{DIR}}$ )** - Irradiância solar incidente em uma superfície, sem ter sido espalhada pela atmosfera, podendo ser horizontal ou normal.

**Irradiância difusa ( $G_{\text{DIF}}$ )** - Potência radiante do céu, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, excluída a irradiância direta.

**Irradiância global ( $G_{\text{HOR}}$ )** - Potência radiante solar, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, que é igual à irradiância direta mais a irradiância difusa.

**Albedo ( $G_{\text{ALB}}$ )** - Índice relativo à fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devido à refletância dos arredores e do solo onde está instalado um dispositivo.

**Irradiância total ( $G_{\text{TOT}}$ )** - Potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebida em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer.

**Irradiação solar (I ou H)** - Irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, é medida em watt hora por metro quadrado ou Joule por metro quadrado ( $\text{Wh/m}^2$  ou  $\text{J/m}^2$ ). É simbolizada por "I", quando integrada em uma hora e por "H", quando integrada em um dia.

**Irradiação difusa ( $I_{DIF}$  ou  $H_{DIF}$ )** - Irradiância difusa integrada durante um intervalo de tempo especificado.

**Irradiação direta ( $I_{DIR}$  ou  $H_{DIR}$ )** - Irradiância direta integrada durante um intervalo de tempo especificado.

**Irradiação global ( $I_{HOR}$  ou  $H_{HOR}$ )** - Irradiância global integrada durante um intervalo de tempo especificado, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, que é igual à irradiância direta mais a irradiância difusa.

**Irradiação total ( $I_{TOT}$  ou  $H_{TOT}$ )** - Irradiância total integrada durante um intervalo de tempo especificado, recebida em uma unidade de área com qualquer inclinação, que é igual à irradiância direta mais a difusa e de albedo.

**Corrente de curto – circuito ( $I_{sc}$ )** - Corrente de saída de um conversor fotovoltaico, na condição de curto-circuito e para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total.

**Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ )** - Tensão gerada através de um conversor fotovoltaico sem carga (aberto), para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total.

**Condições – padrão de referência para ensaio (STC)** - Temperatura de junção da célula em 25°C, irradiância total de 1.000 W/m<sup>2</sup> normal à superfície de ensaio com espectro AM 1,5.

**Massa de ar (AM)** – Espessura da camada atmosférica a ser atravessada pela energia radiante do sol.

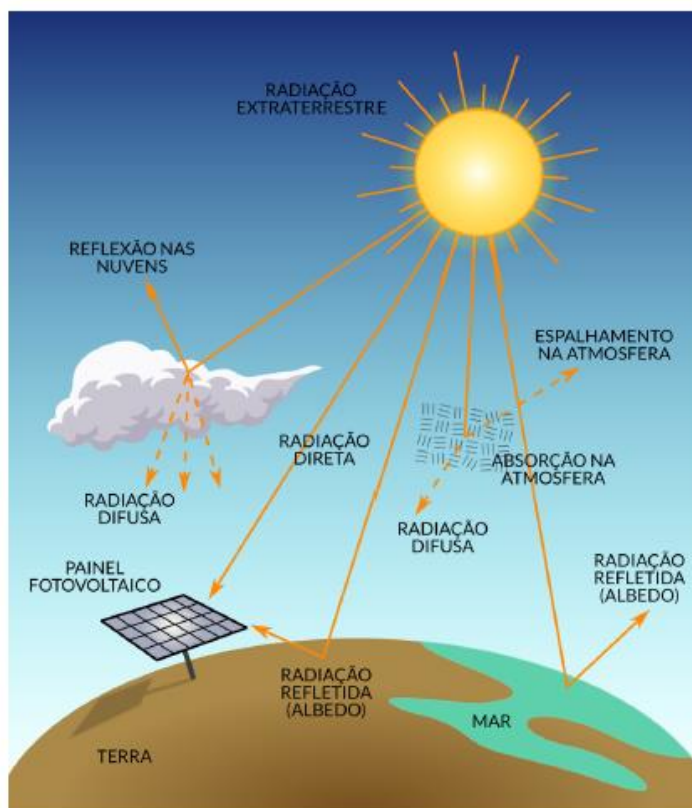
**Potência máxima ( $P_{mp}$ )** - Potência em um ponto da curva característica de um conversor fotovoltaico, onde o produto da corrente (A) pela tensão (V) é máximo, no quadrante de geração.

**Potência de pico ( $W_p$ )** - Potência nominal de saída de um conversor fotovoltaico, sob as condições padrão de referência para ensaio.

Parte da radiação solar que entra na atmosfera da Terra é absorvida e espalhada, sendo que a radiação direta vem em uma linha direta do sol, enquanto que a radiação difusa é espalhada para fora do feixe direto por moléculas, aerossóis e nuvens (NREL, 2016). A Figura 1, representa os principais componentes da irradiação.



**Figura 1 - Componentes da Radiação Solar**



Fonte: TIEPOLO et al, 2017.

De acordo com GreenPro (2004) a intensidade da radiação solar fora da atmosfera da Terra depende da distância entre o Sol e a Terra. Porém, ao longo do ano, essa distância varia entre os valores  $1,47 \times 10^8$  km e  $1,52 \times 10^8$  km e, como resultado disso, o valor da irradiância oscila entre  $1.325 \text{ W/m}^2$  e  $1.412 \text{ W/m}^2$ .

A constante solar, também conhecida por constante de energia solar, é o valor médio da irradiância. Embora esta grande não seja estritamente constante, ela representa a quantidade de fluxo de energia solar que atravessa a órbita média da Terra, cujo valor aceito atualmente é  $1.366 \text{ W/m}^2$  (NREL, 2016).

Contudo, este nível de irradiância não atinge a superfície da Terra, visto que a atmosfera terrestre reduz esse nível por meio da reflexão, da absorção tanto pelo ozônio, como pelo vapor de água, pelo oxigênio e pelo dióxido de carbono e da dispersão causada pelas moléculas de ar, pelas partículas de poeira ou pela poluição em suspensão, permitindo com que ao meio-dia a irradiação incidente na superfície da Terra seja de aproximadamente  $1.000 \text{ W/m}^2$ , valor esse independente da localização. Vale ressaltar que se a energia contida na radiação solar for

adicionada ao longo de um ano, obter-se-á a irradiação global anual, dada em kWh/m<sup>2</sup> (GREENPRO, 2004).

## 2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA

Os sistemas conectados são caracterizados por estarem efetivamente integrados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica e não possuem elementos para armazenar a sua energia gerada, então durante os momentos nos quais não existe geração de energia fotovoltaica, o sistema utiliza a rede da concessionária como fonte de energia. Fazendo uma analogia simplificada, a rede de energia elétrica no caso do SFVCR tem a função de uma bateria, pois durante o dia o sistema fornece energia para rede e durante a noite a unidade consumidora consome a energia da rede elétrica pública.

As principais vantagens do SFVCR são: elevada produtividade, visto que toda a energia disponibilizada pelos módulos é utilizada. O SFVCR é constituído basicamente pelos painéis fotovoltaicos, pelo inversor, o qual disponibiliza energia elétrica em corrente alternada para a instalação e, pelo fato desse equipamento ser conectado em paralelo com a rede elétrica, ele injeta o excedente de energia gerado e, pelo medidor bidirecional, o qual contabiliza a energia injetada na rede da concessionária elétrica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012) (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Os principais equipamentos do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica estão representados na Figura 2.

**Figura 2 - Componentes do SFVCR**



**Fonte: GERASOL, 2016.**

O SFVCR é regulamentado pela Lei 14.300 de 2022 e funcionamento do sistema de compensação de energia elétrica. De modo simplificado, o sistema de compensação transforma a sobra da produção de energia fotovoltaica que não foi consumida instantaneamente em créditos (quilowatts-hora, kWh) a serem abatidos do consumo total. Para tanto, utiliza-se um medidor bidirecional, o qual é responsável por registrar a quantidade de energia gerada/injetada na rede, em kWh, e a energia consumida da concessionária, em kWh. E com isso, a produção de energia excedente transforma-se em créditos para uso posterior do cliente, dentro de um período máximo de sessenta meses.

## 2.6 FERRAMENTA INTERATIVA

Os primeiros estudos sobre energia solar no Brasil iniciaram na década de 50 e se intensificando na década de 70 em função da crise do petróleo, quando o governo brasileiro forneceu vários incentivos para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Neste período ocorreram importantes avanços nesta área, que culminaram com a instalação de 20 estações na então denominada Rede Solarimétrica Nacional. Operando a partir de 1977, duas destas estações foram implantadas no Paraná, sendo uma em Curitiba e outra em Foz do Iguaçu.

Ainda na década de 70 foi fundada a Associação Brasileira de Energia Solar - ABENS, as pesquisas sobre energia solar ficaram praticamente restritas às universidades e centros de pesquisa durante anos. Foi com o lançamento da Resolução 482/2012 da ANEEL, mais tarde complementada pelas resoluções 517/2012 e 687/2015, a qual permite e regulamenta a conexão de micro e minigeradores de energia elétrica à rede de distribuição, que impulsionou o uso esta fonte de energia renovável por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR). Atualmente já foram instalados mais de 12.000 sistemas no Brasil, sendo aproximadamente 1.000 no Estado do Paraná, os quais necessitam de informações precisas e atualizadas das estimativas da irradiação média, diária, mensal e anual em superfície, relevantes para o desenvolvimento de novos projetos e também na previsão da geração de energia elétrica em sistemas já instalados ou a serem implantados no estado.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), instituição com mais de 100 anos de existência e referência no estado em ensino, pesquisa e

extensão, em conjunto com a Itaipu Binacional, maior produtora de energia elétrica do planeta, através do Parque Tecnológico Itaipu (PTI) e Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), e com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), referência internacional que atua na vanguarda da ciência e tecnologia espacial na área de modelamento, coleta e interpretação de dados espaciais, fecharam uma parceria para elaborar o Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, disponibilizando suas informações para toda à sociedade.

O projeto, sob a coordenação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba, por meio do Grupo de Pesquisa em Energia Solar e Sistemas Fotovoltaicos e do Laboratório de Energia Solar (UTFPR/LABENS), tem como objetivo, disponibilizar uma ferramenta de consulta e análise do potencial de irradiação solar e da geração de energia elétrica fotovoltaica no estado, de forma a promover e disseminar o uso desta tecnologia em prol do desenvolvimento sustentável.

A obtenção e disponibilização de informações mais precisas sobre a irradiação solar e a produtividade estimada em sistemas fotovoltaicos, permitirão maior assertividade quanto à investimentos na área de energia solar por toda a sociedade paranaense, do pequeno ao grande investidor. Isso possibilita, ainda, que importantes pesquisas sejam desenvolvidas nas variadas áreas que utilizam essa fonte energética.

Os produtos voltados à energia solar no Paraná foram desenvolvidos pelo INPE, por meio do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (INPE/CCST/LABREN) que, com o apoio da UTFPR/LABENS, realizou a validação e interpretação dos dados, fazendo uso do modelo de transferência radiativa BRASIL-SR, que é um modelo computacional baseado em satélite que estima a irradiação solar descendente na superfície pela interpolação entre condições claras e nubladas, usando o parâmetro de índice efetivo de cobertura de nuvens, obtido a partir de imagens visíveis de satélite, e também das informações obtidas para o Estado do Paraná no âmbito do projeto do Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2a edição.

Em complementação ao Atlas e atendendo a uma sociedade conectada aos inúmeros recursos tecnológicos disponíveis, foi desenvolvida a Ferramenta Interativa WEB do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, que permite a qualquer

cidadão, além de navegar pelo Atlas, visualizar o potencial solar e fotovoltaico em qualquer local do estado.

Diferentemente dos *softwares* disponíveis no Brasil, esta ferramenta permite a visualização da distribuição da irradiação solar de todas as suas componentes (global horizontal, direta normal, difusa e no plano inclinado na latitude) por meio de mapas, em forma de valor e na forma gráfica.

A ferramenta permite também a visualização das médias de irradiação e do potencial fotovoltaico de todo o estado, por mesorregião e por município, de forma a atender as mais diferentes aplicações desta fonte.

A Ferramenta Interativa do Atlas Solar Paraná foi desenvolvida por meio de esforços conjuntos entre o Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), Laboratório de Energia Solar (LABENS) e Parque Tecnológico de Itaipu (PTI) e com a colaboração dos parceiros Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Itaipu Binacional. Esta ferramenta exibe na forma de mapas, tabelas e gráficos valores de irradiação para as variáveis: Global Horizontal, Plano Inclinado na Latitude, Direta Normal e Difusa, e também apresenta valores de produtividade para a variável Plano Inclinado na Latitude.

Pesquisas desenvolvidas pelos pesquisadores da UTFPR, baseadas em dados apresentados no Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), já indicavam o grande potencial de radiação solar no Estado do Paraná.

## 2.7 RADIASOL

O RADIASOL é um programa desenvolvido e disponibilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O *software* RADIASOL utiliza modelos matemáticos disponíveis na literatura, desenvolvidos para executar operações e obter resultados horários, diários e mensais de radiação solar sobre superfícies inclinadas.

A Figura 3, mostra a tela inicial do *software* RADIASOL.

Figura 3 - TELA INICIAL DO RADIASOL



Fonte: UFRGS.

O cálculo da intensidade da radiação solar em superfícies inclinadas é um procedimento trabalhoso devido ao elevado número de operações aritméticas envolvidas. Além de cálculos trigonométricos são necessários modelos de distribuição temporal e espacial da radiação solar.

Com o intuito de encontrar o valor da irradiação incidente no painel fotovoltaico de interesse, utilizou-se como base de cálculo de irradiação, o valor disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) através da estação A807, onde existe um piranômetro no plano horizontal. Tal estação está localizada no Centro Politécnico, no bairro Jardim das Américas, na cidade de Curitiba (URBANETZ et al, 2014a).

Como o piranômetro do INMET está instalado na posição horizontal é necessário calcular o valor da irradiação que efetivamente incide no painel fotovoltaico analisado. Para tanto, utiliza-se o RADIASOL, programa que permite a partir da inserção dos valores de irradiação no plano horizontal, identificar os valores de irradiação para qualquer plano, independentemente da inclinação e do desvio azimutal em relação ao norte (UFRGS, 2012).

A Figura 4, mostra a estação Solarimétrica de Curitiba no RADIASOL.

Figura 4 - ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DO RADIASOL

**Selecione um país e uma estação**

*País*

*Estação*

**RADIÇÃO SOLAR**



Latitude  N/S:  Longitude  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
4,67	4,11	3,47	3,06	2,53	2,47	3,11	3,31	3,67	4,22	4,94	5,06

**Radiação em kWh/m<sup>2</sup>**

Fonte: UFRGS.

### 3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para análise dos índices de mérito em geradores fotovoltaicos é necessário conhecer as características da planta fotovoltaica, a energia elétrica produzida pelo respectivo sistema, bem como a irradiação solar incidente no painel fotovoltaico analisado. De posse desses valores é possível calcular o fator de capacidade (%), a Produtividade também chamada *Yield* (kWh/kWp), e a Taxa de Desempenho, também chamada *Performance Ratio* (%). Estes índices permitem comparar o desempenho de plantas fotovoltaicas com potências diferentes, bem como em diferentes localidades e modos diversos de instalação.

#### 3.1 ESTAÇÃO SOLARIMETRICA VIRTUAL

O método utilizado para obter os dados de Irradiação de cada local, com o cálculo das perdas por desvio azimutal e de inclinação, foi de criar uma Estação Solarimétrica virtual para cada sistema em dois momentos, primeiro com dados históricos das médias dos últimos 17 anos, utilizando como base de dados as informações da Ferramenta Iterativa WEB, obtendo assim a irradiação estimada, depois com a medição exata do período objeto deste estudo, utilizando os dados de Irradiação no Plano Horizontal medidos pela Estação Solarimétrica localizada no Centro Politécnico da UFPR em Curitiba, a INMET A807.

Utilizando o *software* RADIASOL, foram criadas cada estação virtual, inserindo a localização exata, sua Latitude e Longitude e os dados de Irradiação Global Horizontal.

A Figura 5 mostra a tela de seleção da Estação Solarimétrica.



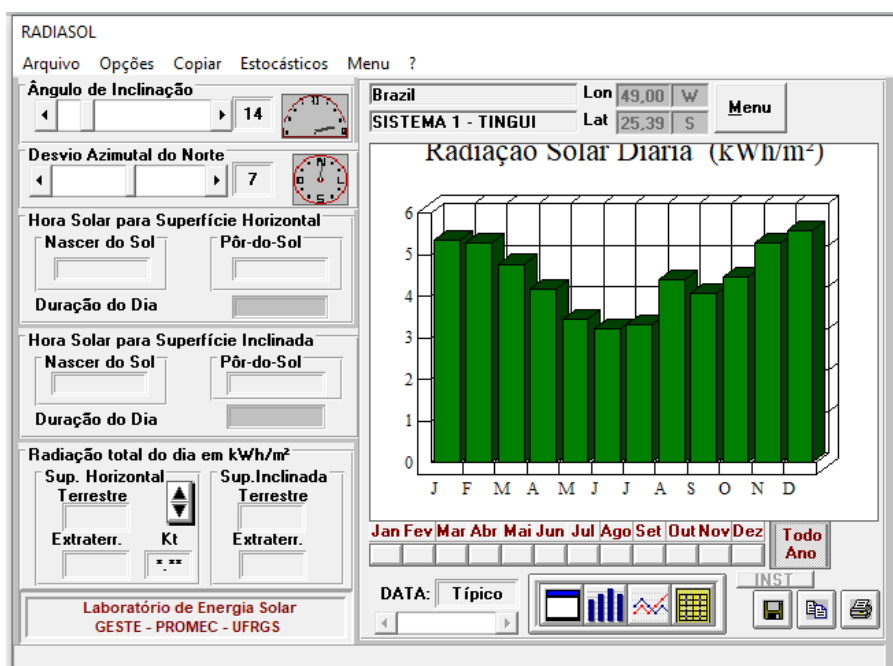
Figura 5 - SELEÇÃO DE ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA



Fonte: RADIASOL.

Com a estação virtual selecionada, foram inseridas as informações de desvio azimutal e ângulo de inclinação dos módulos, foram obtidos assim, os dados de Irradiação já considerando as perdas relacionadas. Os resultados podem ser gerados em gráficos de linha, gráfico de barras ou tabelas. A Figura 6, mostra a tela do gráfico de barras gerado pelo RADIASOL.

Figura 6 - TELA DE GRAFICOS DO RADIASOL



Fonte: RADIASOL.

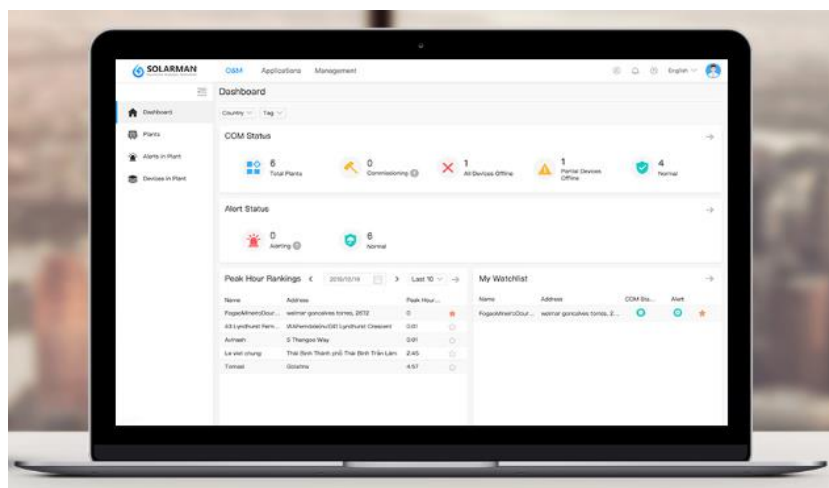
Com esta estação virtual da irradiação histórica sobre o plano do painel analisado foi possível estimar a energia elétrica que esta planta poderia produzir, já com os dados medidos no período de estudo, foram analisados os índices de mérito.

### 3.2 O MONITORAMENTO DOS INVERSORES

Foram utilizados dois sistemas para a coleta dos dados de geração dos sete sistemas, os inversores CANADIAN e SOFAR são monitorados pelo aplicativo SOLARMAN SMART, que é um aplicativo de gerenciamento de energia inteligente, que é especialmente projetado para usuários globais, sendo compatível com os inversores SOFAR, CANADIAN, DEYE, SOLYS, GROWATT E REFUSOL. Este aplicativo monitora 5 dos 7 Sistemas estudados neste trabalho, sendo os Sistemas 2 e 3 que possuem inversores da marca CANADIAN e os Sistemas 4, 5 e 6 que possuem inversor da marca SOFAR.

A Figura 7, mostra a tela inicial do aplicativo SOLARMAN SMART.

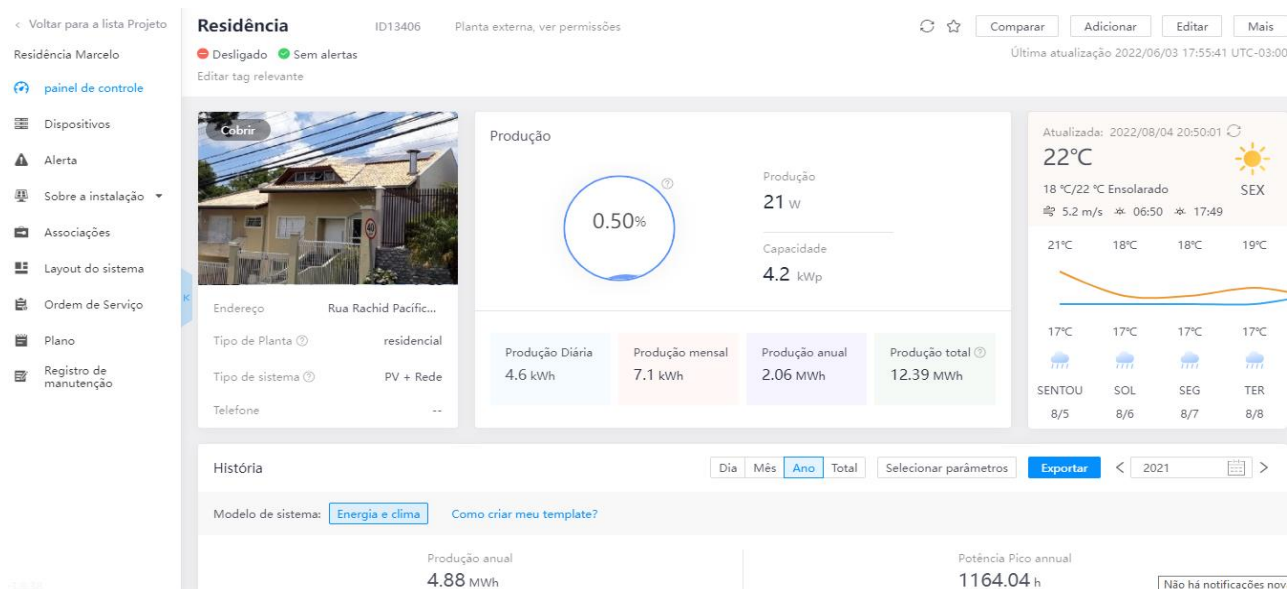
**Figura 7 - APLICATIVO SOLARMAN SMART**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 8, mostra a tela de exibição da planta fotovoltaica selecionada no aplicativo SOLARMAN SMART.

**Figura 8 - PLANTA FOTOVOLTAICA**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

Já os inversores ABB são monitorados pelo aplicativo Aurora Vision Plant Management Platform, que é a geração de monitoramento e gerenciamento de plantas fotovoltaicas ABB FIMMER. Esta é uma solução baseada em nuvem, disponível através de uma interface de usuário do navegador da WEB para os dados da planta fotovoltaica, que fornece acesso altamente interativo e em tempo real às principais métricas de desempenho e operações. O AURORA VISION tem muitas visualizações de painel que permitem a ampla gestão de desempenho por meio de relatórios, diagnósticos, análises ou alerta de eventos e gerenciamento. Este aplicativo monitora os Sistemas 1 e 7.

A Figura 9, mostra a tela inicial do aplicativo AURORA VISION.

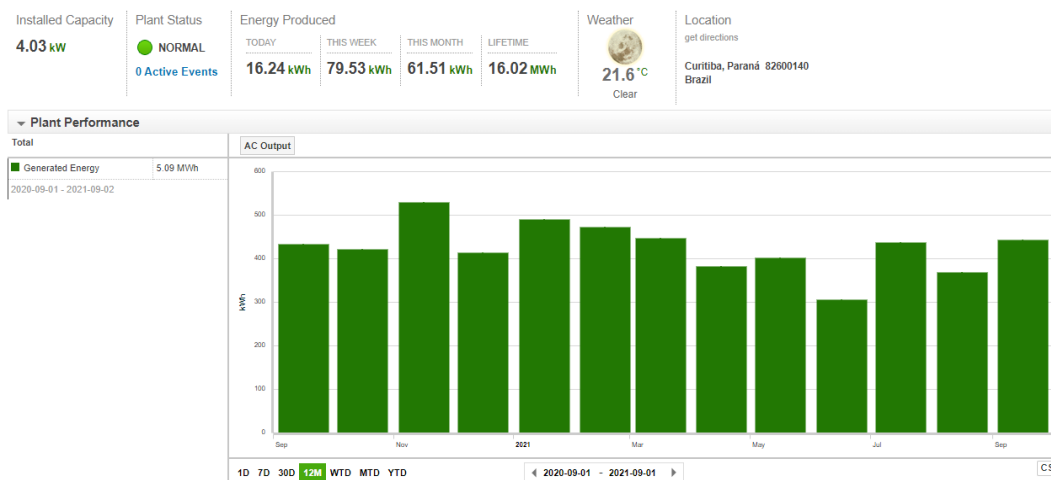
**Figura 9 - APLICATIVO AURORA VISION**



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 10, mostra a tela de exibição de produtividade da planta fotovoltaica selecionada no aplicativo AURORA VISION.

**Figura 10 - GRÁFICO DE PRODUTIVIDADE**



Fonte: Autoria própria, 2022.

Estes dados de energia elétrica efetivamente produzida pelos respectivos geradores fotovoltaicos serão utilizados em conjunto com a irradiação solar incidente medida na cidade de Curitiba no mesmo período analisado, para o cálculo dos índices de mérito (Fator de Capacidade, Produtividade e Taxa de Desempenho).

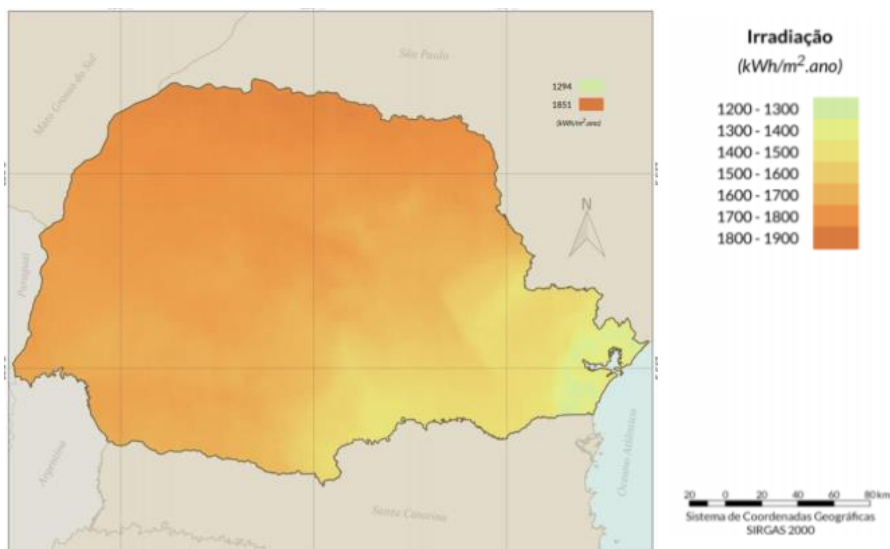
### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SFVCR INSTALADOS EM CURITIBA

Este subcapítulo traz a caracterização dos SFVCR instalados na cidade de Curitiba.

O estado do Paraná destaca-se em pesquisas como um excelente potencial para geração fotovoltaica, isso se deve ao fato de possuir radiação solar superior à maioria dos países europeus, onde está concentrada uma grande capacidade instalada mundial. Pertencente à região sul do Brasil, com área de 199.880 km<sup>2</sup>, o Paraná apresenta um consumo em torno de 28,9 TWh (TIEPOLO et al., 2017). Segundo o Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, o clima do Paraná apresenta contrastes nos regimes de precipitação e temperatura sendo a maior parte deles resultado do relevo e da localização geográfica do estado. A localização geográfica também garante uma das maiores amplitudes do ciclo anual de temperatura no Brasil, com maior contraste entre o inverno e o verão. Além disso, o planalto meridional e as serras produzem diferenças relevantes na distribuição das temperaturas, fazendo com que o Paraná esteja incluído na região Sul do Brasil com precipitação em forma de neve.

O estado do Paraná é atualmente o maior gerador de eletricidade do país, gerando aproximadamente 16,4% de toda a energia produzida no país (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018). Essa geração é advinda de hidroelétricas, visto que o Paraná apresenta recursos hídricos abundantes, oriundos das diversas bacias hidrográficas. A Figura 11, apresenta o total diário da irradiação global horizontal no estado do Paraná, destacando o potencial de geração fotovoltaico da região.

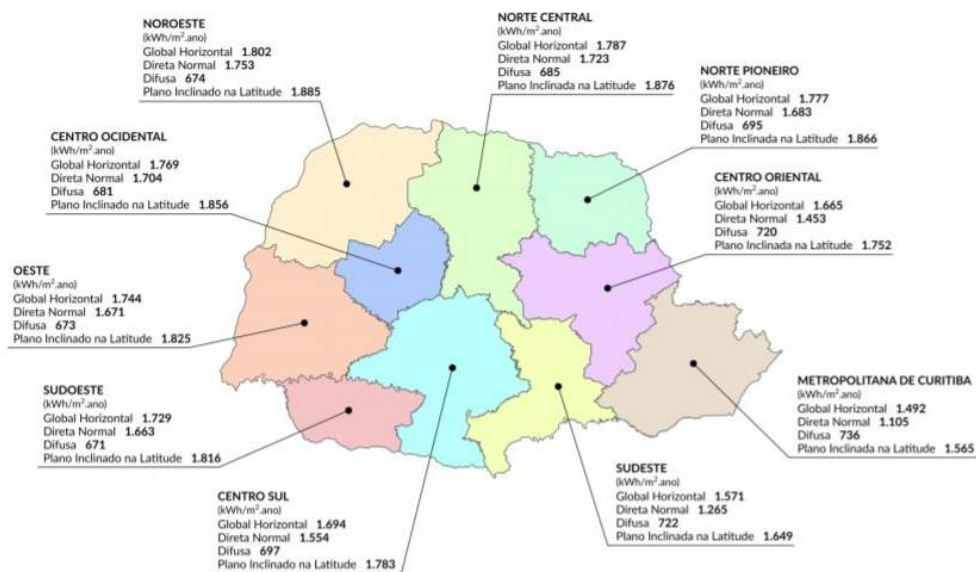
**Figura 11 - Mapa de irradiação global horizontal no Paraná**



Fonte: TIEPOLO et al, 2017.

O estado do Paraná possui uma irradiação média total anual de 1.705 kWh/m<sup>2</sup> (TIEPOLO et al.,2017). A Figura 12 apresenta o potencial anual médio de energia solar dividindo o estado em mesorregiões, podendo observar que a mesorregião com maior irradiação média anual global horizontal é de 1.802 kWh/m<sup>2</sup> na mesorregião Noroeste e com menor potencial a região metropolitana de Curitiba com 1.492 kWh/m<sup>2</sup>.

**Figura 12 - MAPA POTENCIAL POR MESORREGIÃO - PARANÁ**



Fonte: TIEPOLO et al, 2017.

#### 4 ESTUDO DE CASOS DE SFVCR INSTALADOS EM CURITIBA

Neste capítulo é apresentado o estudo de sete sistemas fotovoltaicos instalados em Curitiba e os respectivos índices de mérito, além de revelar os dados estimados de geração de energia elétrica para cada um desses sistemas e também, mostra um comparativo entre os valores de geração estimada e geração verificada no período analisado.

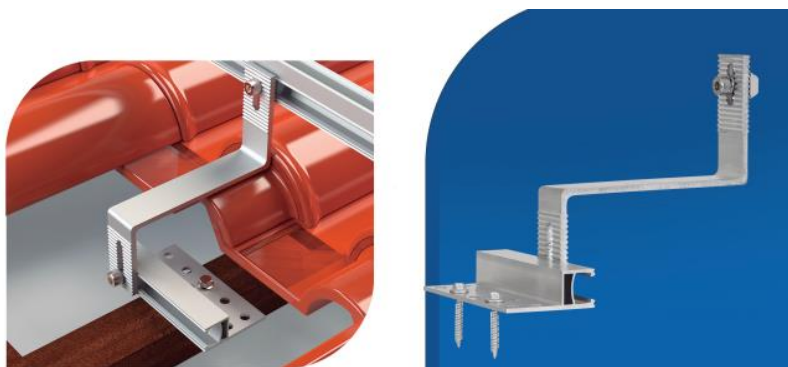
Foram analisados sete sistemas instalados em residências, em bairros distintos na cidade de Curitiba, com topologias diferentes, tais como: módulos, inversores, inclinação e orientação. Sua medição da produção de energia compreendeu um período de um ano, entre setembro de 2020 e agosto de 2021. É importante salientar que a escolha dos módulos e dos inversores foi feita de acordo com as condições comerciais na época da sua instalação, como preço e disponibilidade em estoque. Foram estudados os seguintes sistemas e nomeados de acordo com seu bairro, sendo:

- Sistema 1 - **Residência Tingui** - 4,02 kWp, conectado em 1 *string* de 12 módulos.
- Sistema 2 - **Residência Boqueirão** - 4,26 kWp, conectado em 1 *string* de 12 módulos.
- Sistema 3 - **Residência Santa Felicidade** - 4,26 kWp, conectado em 2 *strings* de 6 módulos em 2 MPPTs.
- Sistema 4 - **Residência Jardim das Américas** - 4,26 kWp, conectado em 2 *strings*, sendo uma de 7 módulos na MPPT 1 e outra de 5 módulos na MPPT 2.
- Sistema 5 - **Residência Cristo Rei** - 5,7 kWp, conectado em 2 *strings* de 9 módulos em 2 MPPTs.
- Sistema 6 - **Residência AHU** - 5,11 kWp, conectado em 2 *strings* de 7 módulos em 2 MPPTs.
- Sistema 7 - **Residência Bom Retiro** - 4,1 kWp, conectado em 2 *strings* de 5 módulos em 2 MPPTs.

Todos os sete sistemas foram instalados sobre o telhado com estrutura de fixação para telhado Colonial. Em todos foram instaladas as proteções na entrada e na saída do inversor, sendo Caixas de Junção (*String Box*) na entrada CC equipados com Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) e chave seccionadora e Quadro de Distribuição na saída CA (QDCA) equipados com disjuntor Classe C e DPS. Todos os DPS e pontos de aterramento devidamente equipotencializados com o aterramento da rede existente.

A Figura 13, mostra o suporte de fixação para telhado do tipo Colonial.

**Figura 13 - Suporte de Fixação para telhado Colonial**



Fonte: Catálogo CCM, 2022.

A Figura 14, mostra imagem da Caixa de Junção (String Box), que é a proteção elétrica do circuito de Corrente Contínua da entrada do inversor.

**Figura 14 - Caixa de Junção (String Box)**

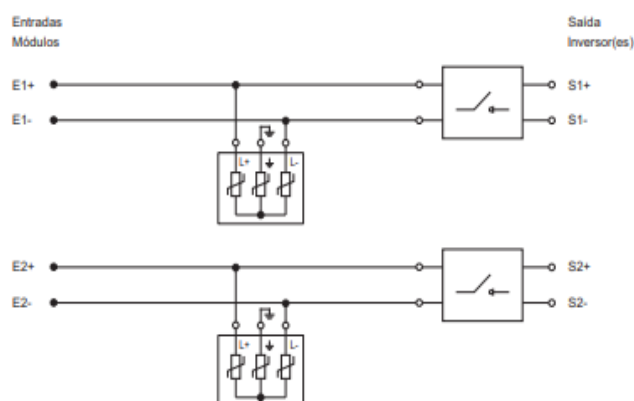


Fonte: Autoria própria, 2022.



A Figura 15, mostra o diagrama elétrico com o esquema de ligação da Caixa de Junção (*String Box*), que é a proteção elétrica do circuito de Corrente Contínua da entrada do inversor.

**Figura 15 - Diagrama Elétrico String Box**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Tabela 1, mostra os dados com as características técnicas da Caixa de Junção.

**Tabela 1 - Dados Técnicos da String Box**

<b>Tipo</b>	<b>SB-02A</b>	
Nº de Entradas	2	
Nº de Saídas	2	
Nº de MPPT´s do Inversor	2	
Maxima Tensão de Entrada DC	600Vcc	
<b>Chave Seccionadora DC</b>	<b>BYT.2-32</b>	
Nº de polos	4	
Tensão de Operação / Corrente	600 Vcc	32A
	800 Vcc	32A
	1000Vcc	13A
	1200Vcc	13A
Conformidade padrão	IEC/EM 60947-3	

**Fonte: Autoria própria, 2022.**

#### 4.1 SISTEMA 1 - RESIDÊNCIA TINGUI

O Sistema fotovoltaico 1, foi instalado em abril de 2019 no bairro Tingui em Curitiba. É uma residência onde moram um casal e dois filhos, sua Unidade Consumidora é atendida com circuito trifásico de 220V. Seu painel fotovoltaico possui 12 módulos BYD, modelo POLI HALF CELL 335W de tecnologia de silício policristalino, conectados em série, com uma potência instalada de 4,02 kWp, conectados à rede através de um inversor monofásico, sem transformador, em 220V de 3.3 kW da ABB, modelo UNO-DM-3.3-TL-PLUS-SB. Seu painel ocupa uma área de 24 m<sup>2</sup>. A inclinação e orientação do painel acompanhou a estrutura do telhado (15 graus de inclinação e 7 graus oeste de desvio em relação ao norte). A Figura 16, mostra os módulos instalados no telhado onde é possível perceber visualmente o desvio azimutal a oeste.

Figura 16 - Imagem Aérea Sistema 1



Fonte: Autoria própria, 2022.

#### Dados do Inversor

- Modelo: ABB 3.3 Uno
- Registro INMETRO: 005659/2020
- Tensão por *string*: 457 Vcc
- Local da Instalação: Área de serviços da lavanderia

## ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA (CC)

- Potência fotovoltaica nominal de entrada: 3500W
- Tensão máxima: 600Vcc
- Faixa de operação MPPT: 170 a 530V
- Tensão CC de partida: 200V (ajustável de 120V a 350V)
- Corrente CC máxima de entrada: 20A
- Corrente CC máxima para cada MPPT: 10A
- Número de MPPTs independentes: 02
- Número de pares de *strings* em paralelo para cada MPPT: 01

## ESPECIFICAÇÕES DE SAÍDA CA

- Potência CA Nominal: 3300W
- Potência Máxima em CA: 3300W
- Corrente Máxima em CA: 14,5A
- Saída nominal CA: 220Vca - 60Hz
- THD: <3,0%
- Conexão CA: Monofásica
- Eficiência: Eficiência máxima: 97%

## Dados Gerais

- Dimensões: 553mm x 418mm x 175mm
- Peso líquido: 15Kg
- Ambiente de operação: Interno ou externo
- Montagem: Fixação na parede
- Temperatura de operação: -25°C a +60°C
- Umidade relativa: 0% a 100%
- Altitude: 2000m
- Grau de proteção: IP65
- Topologia: Sem transformador
- Ventilação: Convecção natural
- Comunicação: Wi-Fi
- Monitoramento incluso: Aurora Vision
- Garantia: 05 anos contra defeitos de fabricação

A Figura 17, mostra o inversor ABB modelo UNO-DM-3.3-TL-PLUS-SB instalado e é possível visualizar as proteções QDCA e a String Box CC instaladas, bem como os eletrodutos dos cabamentos separados.

**Figura 17 - Inversor ABB UNO - DM-3.3-TL-PLUS-SB**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 18, mostra o detalhe da instalação do suporte de fixação para telhado colonial, o qual é fixado por parafusos diretamente no madeiramento de fixação das telhas.

**Figura 18 - Suporte para Telhado Colonial**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 19, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico visto frontalmente e é possível perceber visualmente a inclinação do telhado.

**Figura 19 - Módulos Fotovoltaicos - vista frontal - Sistema 2**



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 20, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico visto do posterior evidenciando a divisão em duas filas, porém este arranjo está instalado eletricamente em um só circuito.

**Figura 20 - Módulos Fotovoltaicos - vista posterior - Sistema 1**

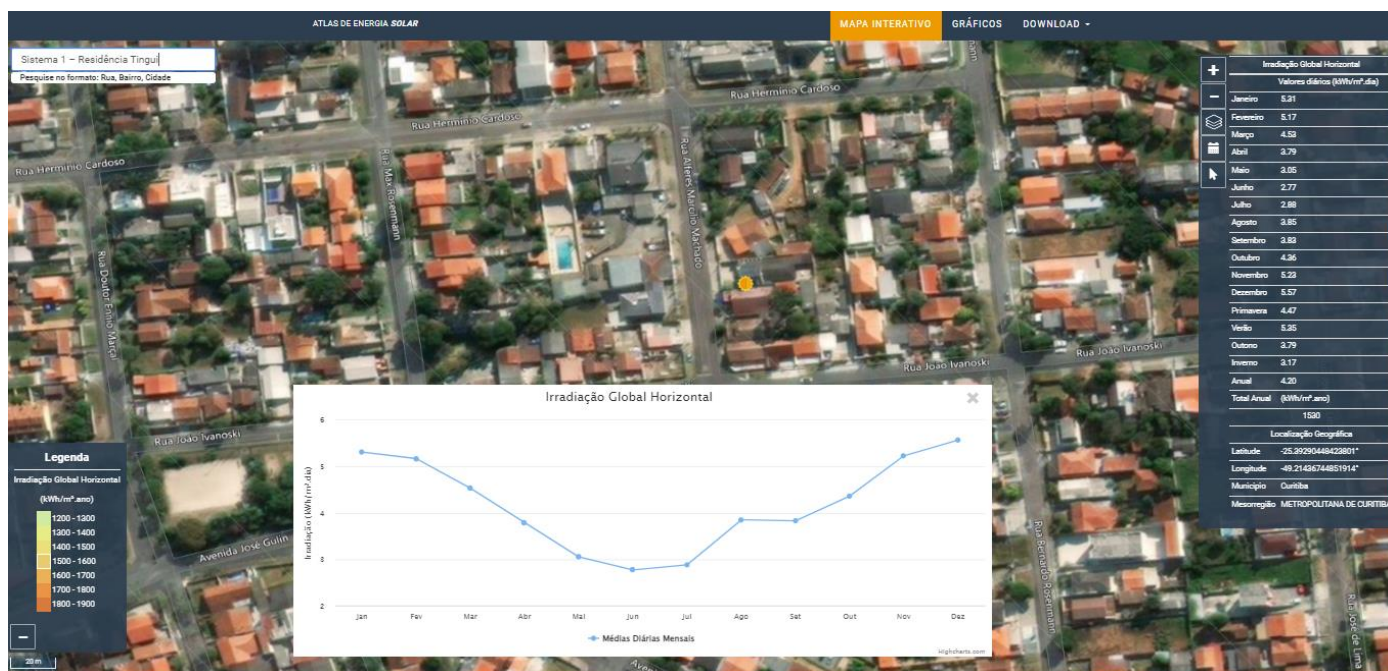


Fonte: Autoria própria, 2022.



A Figura 21, mostra uma visão geral da tela da Ferramenta WEB do Atlas Solar do Estado do Paraná com os dados históricos de Irradiação Global Horizontal no ponto exato da localização do Sistema 1, os quais foram utilizados para inserção na base de dados do *software* RADIASOL.

Figura 21 - Ferramenta WEB Sistema 1



Fonte: Ferramenta WEB, 2022.

A Figura 22, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 1 Tinguí, já com os dados de irradiação do local inseridos.

Figura 22 - Estação Solarimétrica Virtual - 1

**Selecione um país e uma estação**

*País*

*Estação*

**RADIÇÃO SOLAR**

Latitude  N/S:  Longitude  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,31	5,17	4,53	3,79	3,05	2,77	288,1	3,85	3,83	4,36	5,23	5,57

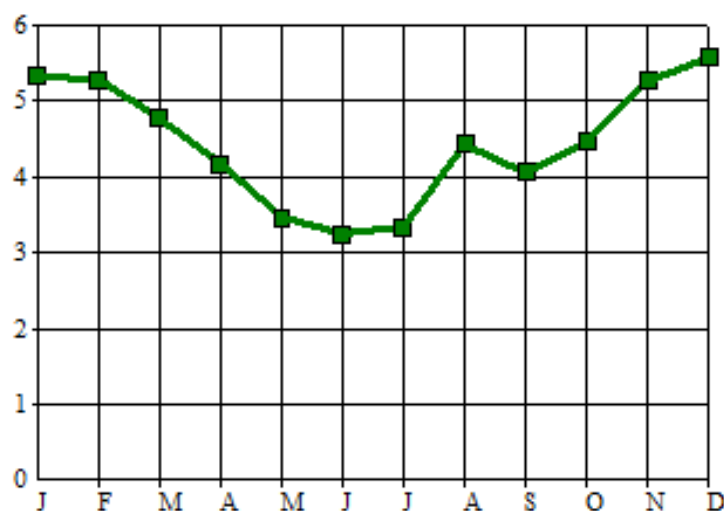
**Radiação em kWh/m<sup>2</sup>**

Fonte: RADIASOL.

A Figura 23, mostra o gráfico gerado com o resultado da simulação após a inserção de desvio azimutal e inclinação do painel.

Figura 23 - Gráfico Irradiação Estimada

### Radiação Solar Diária (kWh/m<sup>2</sup>)



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 2 mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 1.

Tabela 2 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 1

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	4,08
06:30	124	99	60	20	0	0	0	4	38	74	115	135	55,75
07:30	260	240	193	141	95	76	84	136	154	196	251	275	175,08
08:30	408	400	351	291	227	204	213	302	292	334	403	427	321,00
09:30	537	544	500	443	369	343	354	472	428	463	536	559	462,33
10:30	626	642	606	557	483	458	469	603	528	553	627	649	566,75
11:30	673	693	659	616	545	523	533	672	579	599	675	698	622,08
12:30	675	695	661	619	548	525	535	676	580	600	677	700	624,25
13:30	631	648	612	565	490	465	476	614	533	557	632	655	573,17
14:30	545	553	510	452	377	351	362	486	435	469	544	568	471,00
15:30	416	410	361	299	234	210	220	314	299	341	412	437	329,42
16:30	266	247	199	146	98	80	87	143	157	200	258	282	180,25
17:30	128	102	63	22	0	0	0	4	39	76	118	139	57,58
18:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	4,08
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5323</b>	<b>5273</b>	<b>4775</b>	<b>4171</b>	<b>3466</b>	<b>3235</b>	<b>3333</b>	<b>4426</b>	<b>4062</b>	<b>4462</b>	<b>5264</b>	<b>5572</b>	<b>4.446,83</b>

Fonte: RADIASOL.

#### 4.2 SISTEMA 2 - RESIDÊNCIA BOQUEIRÃO

O sistema fotovoltaico 2, foi instalado em janeiro de 2020 no bairro Boqueirão. É uma residência onde mora uma família de três pessoas, sua Unidade consumidora é atendida com circuito bifásico de 220V. Seu painel fotovoltaico possui 12 módulos CANADIAN, modelo CS3U-355P 355W de tecnologia de Silício Policristalino conectados em série, com uma potência instalada de 4,26 kWp, conectados à rede através de um inversor monofásico, sem transformador, em 220 V de 5 kW da marca CANADIAN, modelo CSI-5KTL1P-GI-FL, e seu painel ocupa uma área de 23,8 m<sup>2</sup>. A inclinação e orientação do painel acompanhou a estrutura do telhado, sendo 15 graus de inclinação e 6 graus leste de desvio em relação ao norte. A Figura 24, mostra os módulos instalados no telhado da Residência Boqueirão onde é possível perceber visualmente o desvio azimutal a leste.



**Figura 24 - Imagem Aérea Sistema 2**



Fonte: Autoria própria, 2022.

#### **Dados do Inversor:**

- Modelo: CANADIAN CSI-5KTL1P-GI-FL
- Registro INMETRO: 007228/2020
- Tensão por *string*: 472 Vcc
- Local da Instalação: Embaixo da escada

#### **ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA (CC)**

- Máx. Potência PV recomendada (STC): 5800 W
- Máx. Tensão de Entrada CC: 600 V
- Tensão de partida: 120 V
- Faixa de Tensão CC: 90-520 V
- Faixa de Tensão de Trabalho MPP: 80-550 V
- Tensão Nominal: 330 V
- Máxima Corrente de Entrada ( $I_{mp}$ ) 11 A
- Máxima Corrente de Entrada ( $I_{sc}$ ) 17,2 A
- Número de Rastreadores MPP: 2 / Cordas por MPPT: 1

#### **ESPECIFICAÇÕES DE SAÍDA CA**

- Potência Nominal de Saída CA: 5000 W
- Máx. Potência de Saída CA: 5000 W
- Máx. Corrente de Saída: 22,7 A

- Tensão Ca Nominal: 220V / 230V
- Frequência de Rede CA: 50Hz / 60Hz
- Fator de Potência: 0,8 liderando ~ 0,8 defasado
- THD: <1,5%
- Conexão CA: Monofásico
- Eficiência Max .: 98,1%
- Eficiência CEC: 97,3%
- Eficiência MPPT:> 99,5%

#### **DADOS GERAIS:**

- Faixa de Temperatura Operacional: -25 ° C ~ + 60 ° C
- Emissão de Ruído (Típico): <20 dB (A)
- Altitude: 4000m
- Topologia: Sem Transformador
- Ventilação: Natural
- Grau de Proteção: IP65
- Umidade Relativa: 100%
- Tela LCD
- Interfaces: RS232 / Wi-Fi
- Garantia: 7 anos
- Peso bruto: 11,5Kg
- Dimensão: 310x534x160mm

A Figura 25, mostra o inversor CANADIAN CSI-5KTL1P-GI-FL instalado e os eletrodutos dos cabearmentos separados.

**Figura 25 - Inversor CANADIAN CSI-5KTL1P-GI-FL- Sistema 2**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 26, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico, este arranjo está instalado eletricamente em um só circuito com os módulos ligados em série, ligado á MPPT1 do inversor.

**Figura 26 - Módulos Fotovoltaicos - vista lateral - Sistema 2**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 27, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico fixado em telhado de fibrocimento com base de madeira.

**Figura 27 - Módulos Fotovoltaicos - vista frontal - Sistema 2**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 28, mostra a *String Box* CC instalada, bem como os eletrodutos dos cabeios separados.

**Figura 28 - STRING BOX CANADIAN**



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 29, mostra as proteções QDCA instalada, é equipada com um disjuntor bifásico Curva C de 25 Amperes.

**Figura 29 - Quadro de proteção CA - QDCA**

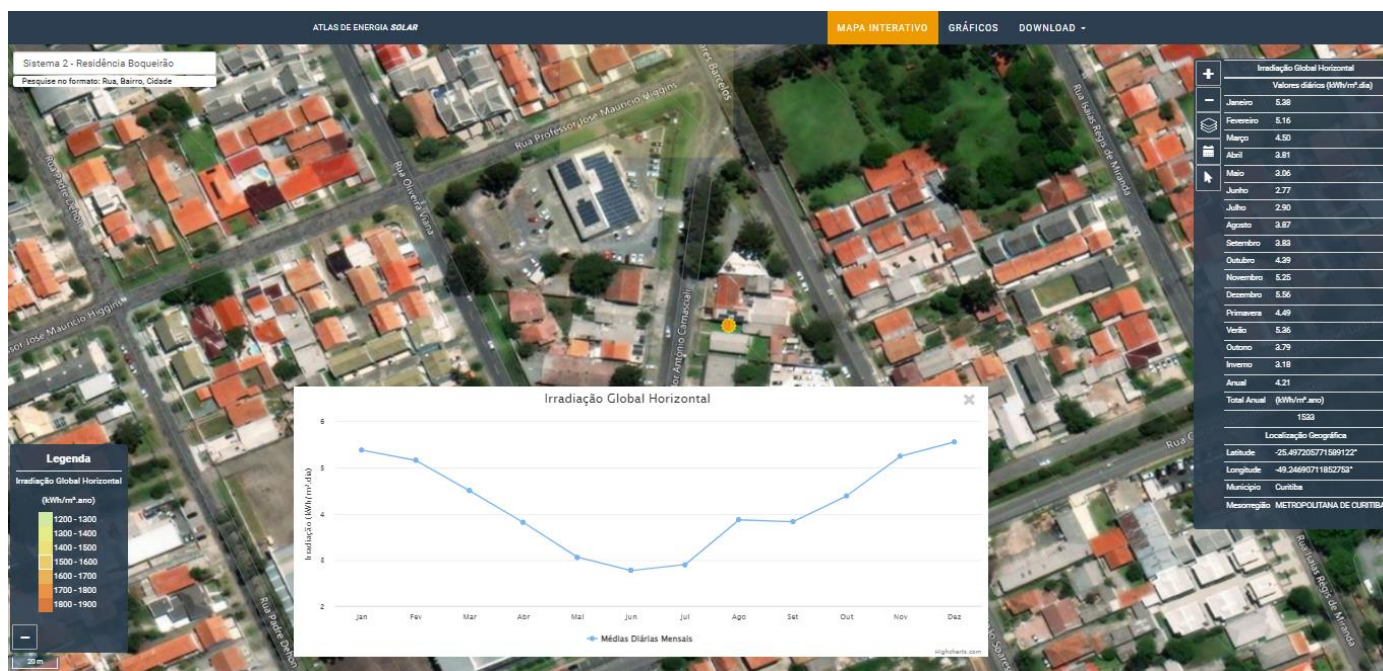


Fonte: Autoria própria, 2022.



A Figura 30, mostra uma visão geral da tela da Ferramenta WEB do Atlas Solar do Estado do Paraná com os dados de Irradiação Global Horizontal no ponto exato da localização do Sistema 2, os quais foram utilizados para inserção na base de dados do *software* RADIASOL.

Figura 30 - Ferramenta WEB Sistema 2



Fonte: Ferramenta WEB, 2022.

A Figura 31, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 2 Boqueirão, já com os dados de irradiação do local inseridos.

Figura 31 - Estação Solarimétrica Virtual - 2

**Selecione um país e uma estação**

*País*

*Estação*

**RADIÇÃO SOLAR**

Latitude  N/S:  Longitude  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,38	5,16	4,50	3,81	3,06	2,77	2,90	3,87	3,83	4,39	5,25	5,56

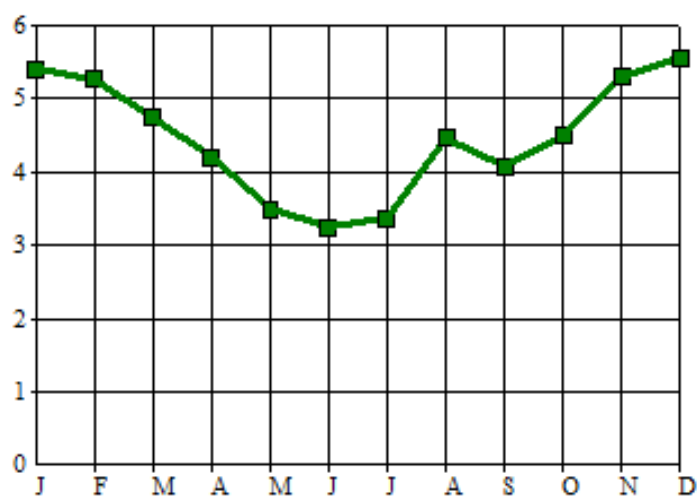
Radiação em kWh/m<sup>2</sup>

Fonte: RADIASOL.

A Figura 32, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico.

Figura 32 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 3

### Radiação Solar Diária (kWh/m<sup>2</sup>)



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 3, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 2.

**Tabela 3 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 2**

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	25	<b>4,33</b>
06:30	129	102	62	22	0	0	0	4	39	76	119	139	<b>57,67</b>
07:30	269	246	197	147	98	79	88	144	157	201	259	281	<b>180,50</b>
08:30	422	409	357	301	235	210	222	316	298	343	413	436	<b>330,17</b>
09:30	552	552	506	455	379	351	366	489	435	472	546	566	<b>472,42</b>
10:30	639	646	608	568	492	466	481	618	533	561	634	653	<b>574,92</b>
11:30	684	693	656	624	551	526	541	681	581	605	680	698	<b>626,67</b>
12:30	682	692	655	621	548	524	539	677	579	604	678	696	<b>624,58</b>
13:30	634	641	602	562	486	460	475	608	529	557	630	648	<b>569,33</b>
14:30	545	543	498	447	371	344	358	477	429	467	539	559	<b>464,75</b>
15:30	414	400	349	294	229	204	216	305	293	337	405	427	<b>322,75</b>
16:30	263	240	192	142	96	77	85	138	154	197	253	275	<b>176,00</b>
17:30	126	99	60	20	0	0	0	4	38	75	116	135	<b>56,08</b>
18:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	25	<b>4,33</b>
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5395</b>	<b>5263</b>	<b>4742</b>	<b>4203</b>	<b>3485</b>	<b>3241</b>	<b>3371</b>	<b>4461</b>	<b>4065</b>	<b>4495</b>	<b>5290</b>	<b>5563</b>	<b>4464,5</b>

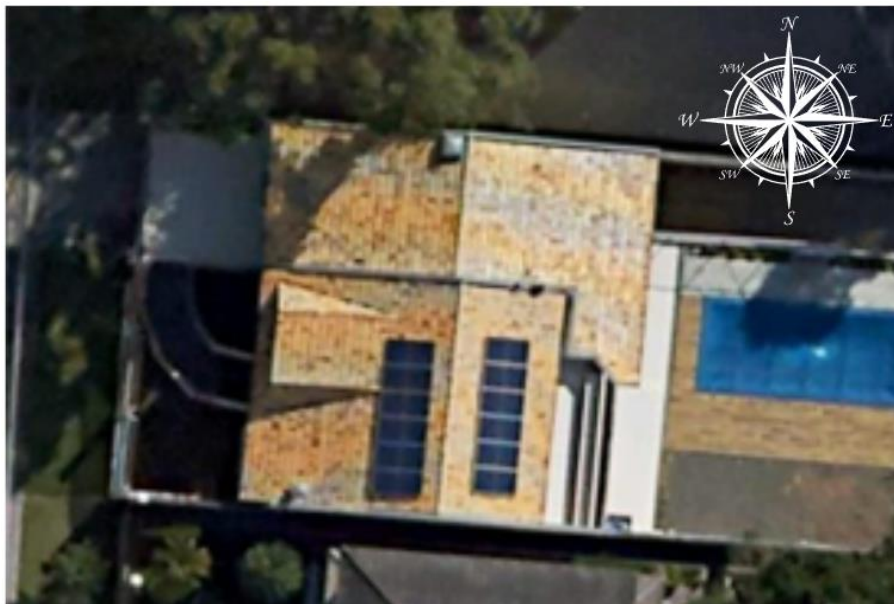
Fonte: RADIASOL.

#### 4.3 SISTEMA 3 - RESIDÊNCIA SANTA FELICIDADE

O sistema fotovoltaico 3 foi instalado em fevereiro de 2020 no bairro Santa Felicidade. É uma residência onde moram um casal e três filhos, sua Unidade consumidora é atendida com circuito trifásico de 220V. Seu painel fotovoltaico possui 12 módulos CANADIAN, modelo CS3U-355P 355W de tecnologia de Silício Policristalino conectados em série, divididos em dois circuitos de 6 módulos cada, com uma potência instalada de 4,26 kWp, conectados à rede através de um inversor monofásico, sem transformador, em 220 V de 5 kW da marca CANADIAN, modelo CSI-5KTL1P-GI-FL, e seu painel ocupa uma área de 23,8 m<sup>2</sup>. A inclinação e orientação dos dois painéis acompanharam a estrutura do telhado, sendo 21 graus de inclinação e desvio em relação ao norte de 89 graus oeste para a circuito 1 e 91 graus leste para o circuito 2. A Figura 33, mostra o inversor e os módulos instalados

no telhado da Residência Santa Felicidade onde é possível perceber visualmente o desvio azimutal a leste e oeste.

**Figura 33 - Imagem Aérea Sistema 3**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

### **Dados do Inversor**

- Modelo: CANADIAN CSI-5KTL1P-GI-FL
- Registro INMETRO: 007228/2020
- Tensão por *string*: 235 Vcc
- Local da Instalação: Na sacada do ático

### **ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA (CC)**

- Máx. Potência PV recomendada (STC): 5800 W
- Máx. Tensão de Entrada CC: 600 V
- Tensão de partida: 120 V
- Faixa de Tensão CC: 90-520 V
- Faixa de Tensão de Trabalho MPP: 80-550 V
- Tensão Nominal: 330 V
- Máxima Corrente de Entrada (Imp) 11 A
- Máxima Corrente de Entrada (Isc) 17,2 A
- Número de Rastreadores MPP: 2 / Cordas por MPPT: 1



## ESPECIFICAÇÕES DE SAÍDA CA

- Potência Nominal de Saída CA: 5000 W
- Máx. Potência de Saída CA: 5000 W
- Máx. Corrente de Saída: 22,7 A
- Tensão Ca Nominal: 220V / 230V
- Frequência de Rede CA: 50Hz / 60Hz
- Fator de Potência: 0,8 indutivo ~ 0,8 capacitivo
- THD: <1,5%
- Conexão CA: Monofásico
- Eficiência Max .: 98,1%
- Eficiência CEC: 97,3%
- Eficiência MPPT:> 99,5%

## DADOS GERAIS:

- Faixa de Temperatura Operacional: -25 ° C ~ + 60 ° C
- Emissão de Ruído (Típico): <20 dB (A)
- Altitude: 4000m
- Topologia: Sem Transformador
- Ventilação: Natural
- Grau de Proteção: IP65
- Umidade Relativa: 100%
- Tela LCD
- Interfaces: RS232 / Wi-Fi
- Garantia: 7 anos
- Peso bruto: 11,5Kg
- Dimensão: 310x534x160mm

A Figura 34, mostra o inversor CANADIAN, modelo CSI-5KTL1P-GI-FL instalado e é possível visualizar as proteções QDCA e a *String Box* CC instalada, bem como os eletrodutos dos cabamentos separados.

**Figura 34 - Inversor CANADIAN CSI-5KTL1P-GI-FL - Sistema 3**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 35, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico instalado a face oeste, este arranjo está instalado eletricamente sendo um circuito com seis módulos em série ligados na MPPT 1 do inversor.

**Figura 35 - Módulos instalados na face oeste**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 36, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico instalado a face leste, este arranjo está instalado eletricamente sendo um circuito com seis módulos em série ligados na MPPT 2 do inversor.

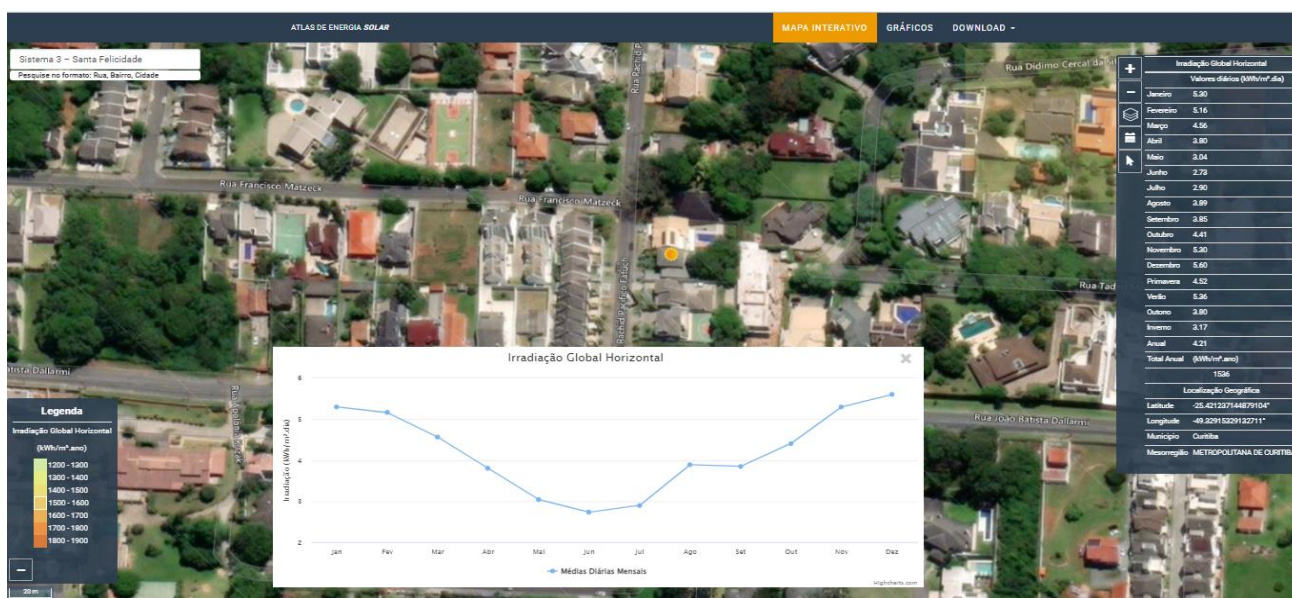
**Figura 36 - Módulos instalados na face leste**



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 37, mostra uma visão geral da tela da Ferramenta WEB do Atlas Solar do Estado do Paraná com os dados de Irradiação Global Horizontal no ponto exato da localização do Sistema 3, os quais foram utilizados para inserção na base de dados do *software* RADIASOL.

**Figura 37 - Ferramenta WEB Sistema 3**



Fonte: Ferramenta WEB, 2022.

A Figura 38, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 3 Santa Felicidade, já com os dados de irradiação do local inseridos.

Figura 38 - Estação Solarimétrica Virtual - 3

**Selecione um país e uma estação**

*País*

*Estação*

**RADIÇÃO SOLAR**

Latitude  N/S:  Longitude  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,30	4,16	4,56	3,80	3,04	2,73	2,90	3,89	3,85	4,41	5,30	5,60

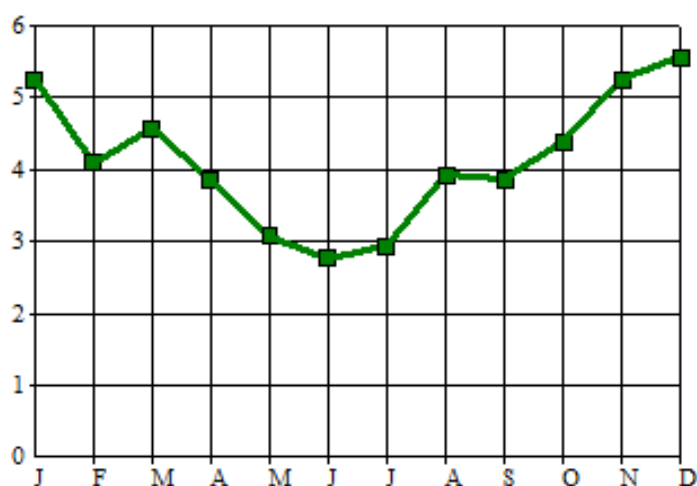
Radiação em kWh/m<sup>2</sup>

Fonte: RADIASOL.

A Figura 39, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o leste.

Figura 39 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 3 - leste

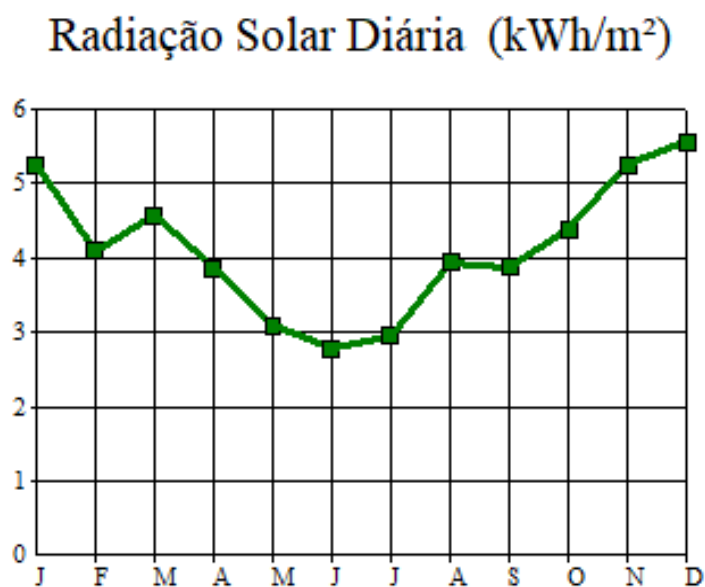
### Radiação Solar Diária (kWh/m<sup>2</sup>)



Fonte: RADIASOL.

A Figura 40, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o oeste.

Figura 40 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 3 - oeste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 4, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 3 para o circuito oeste.

Tabela 4 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 3 - Oeste

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	4,08
06:30	115	78	56	18	0	0	0	4	35	71	107	123	50,58
07:30	230	179	161	117	79	62	69	102	134	175	221	241	147,50
08:30	361	292	292	232	177	152	162	212	250	298	356	377	263,42
09:30	487	400	427	359	289	258	273	348	370	419	486	507	385,25
10:30	584	484	539	471	393	358	376	475	471	515	588	608	488,50
11:30	646	533	610	547	465	429	451	569	535	574	653	674	557,17
12:30	665	543	636	576	492	456	479	611	555	591	675	696	581,25
13:30	640	512	613	550	463	427	451	593	528	564	651	673	555,42
14:30	573	443	535	464	376	341	364	503	449	491	584	609	477,67
15:30	457	335	397	323	245	215	233	349	320	370	463	492	349,92
16:30	302	207	228	164	107	85	97	170	173	222	301	331	198,92
17:30	149	89	76	31	0	0	0	4	46	87	142	168	66,00
18:30	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	37	6,83
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5253</b>	<b>4095</b>	<b>4570</b>	<b>3852</b>	<b>3086</b>	<b>2783</b>	<b>2955</b>	<b>3940</b>	<b>3866</b>	<b>4377</b>	<b>5253</b>	<b>5560</b>	<b>4.132,50</b>

Fonte: RADIASOL.

A Tabela 5, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 3 para o circuito Leste.



**Tabela 5 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 3 - Leste**

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	38	<b>6,92</b>
06:30	149	89	76	31	0	0	0	4	46	87	143	168	<b>66,08</b>
07:30	303	208	228	163	107	85	97	170	173	222	302	332	<b>199,17</b>
08:30	458	335	397	322	244	213	232	347	320	370	463	492	<b>349,42</b>
09:30	573	443	534	462	374	339	362	501	448	491	584	609	<b>476,67</b>
10:30	639	512	612	548	461	424	449	589	527	563	651	673	<b>554,00</b>
11:30	665	542	635	573	489	453	476	608	554	590	674	696	<b>579,58</b>
12:30	646	533	609	545	463	427	448	565	534	573	652	674	<b>555,75</b>
13:30	584	484	537	469	391	355	374	472	470	515	587	608	<b>487,17</b>
14:30	487	400	426	357	288	257	271	346	369	419	486	507	<b>384,42</b>
15:30	361	292	292	231	176	152	162	211	249	298	356	377	<b>263,08</b>
16:30	230	179	161	117	79	62	69	102	134	175	222	242	<b>147,67</b>
17:30	115	78	56	18	0	0	0	4	35	71	107	123	<b>50,58</b>
18:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	<b>4,08</b>
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5254</b>	<b>4095</b>	<b>4563</b>	<b>3836</b>	<b>3072</b>	<b>2767</b>	<b>2940</b>	<b>3919</b>	<b>3859</b>	<b>4374</b>	<b>5253</b>	<b>5563</b>	<b>4.124,58</b>

Fonte: RADIASOL.

#### 4.4 SISTEMA 4 - RESIDÊNCIA JARDIM DAS AMÉRICAS

O sistema fotovoltaico 4, foi instalado em março de 2020 no bairro Jardim das Américas. É uma residência onde moram um casal e dois filhos, sua Unidade consumidora é atendida com circuito bifásico de 220V. Seu painel fotovoltaico possui 12 módulos CANADIAN, modelo CS3U-355P 355W de tecnologia de Silício Policristalino, conectados em série e divididos em dois circuitos, sendo um de 7 módulos e um de 5 módulos. Sua potência instalada é de 4,26 kWp, conectados à rede através de um inversor monofásico, sem transformador, em 220V, de 5 kW da SOFAR, modelo 5KTML-G2, seu painel ocupa uma área de 23,8 m<sup>2</sup>. A inclinação e orientação do painel acompanhou a estrutura do telhado, sendo 25 graus de inclinação e desvio em relação ao norte de 106 graus oeste para a circuito 1 e 74 graus leste, para o circuito 2. A Figura 41, mostra os módulos instalados no telhado da Residência Jardim das Américas onde é possível perceber visualmente o desvio azimutal a leste e oeste.

**Figura 41 - Imagem Aérea Sistema 4**



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 42, mostra o inversor SOFAR, modelo 5KTML-G2 e é possível visualizar as proteções QDCA e a String Box CC instaladas, bem como os eletrodutos dos cabeios separados.

#### **Dados do Inversor:**

- Modelo: SOFAR 5 KTML - G2
- Registro INMETRO: 003363/2020
- Tensão por *string*: 197 Vcc e 276 Vcc
- Local da Instalação: No Ático

#### **ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA (CC)**

- Potencia máxima de entrada recomendada – 7500Wp
- Potencia máxima CC por MPPT – 3500W
- Número de MPPTs – 2
- Número de entradas CC – 1 por MPPT
- Tensão máxima de entrada – 600V
- Tensão de partida – 60V
- Tensão nominal de entrada – 360V
- Faixa de tensão operacional das MPPTs – 50V-570V
- Tensão máxima das MPPTs – 210V-520V
- Corrente máxima de entrada por MPPT – 12.5A/12.5A
- Corrente máxima de curto-circuito por MPPT – 15A/15A



## ESPECIFICAÇÕES DE SAÍDA CA

- Potência nominal – 5000W
- Máximo de força AC – 5000VA
- Corrente nominal de saída – 21.7A
- Máximo de corrente de saída – 24.1A
- Tensão nominal da rede – L/N/PE, 220Vac, 230Vac, 240Vac
- Faixa de tensão de rede – 180Vac, Frequência nominal – 50Hz/60Hz
- Faixa de frequência da rede – 45Hz-55Hz / 54Hz-66Hz
- Faixa ajustável de potência ativa – 0~100%
- Fator de potência – 1padrão (ajustável +/-0.8)
- Eficiência máxima – 98.4%
- Eficiência europeia ponderada – 97.5%
- Eficiência das MPPTs - >99.9%

## PROTEÇÃO

- Proteção contra polaridade invertida CC – Sim
- Interruptor CC – Opcional
- Proteção AFCI – Opcional
- Classe de proteção/Categoria de sobretensão – I/III
- Proteção de segurança – anti-ilhamento / RCMU / monitoramento de falhas no terra
- SPD – MOV: Tipo III padrão

## DADOS GERAIS

- Faixa de temperatura ambiente suportado – -30°~+60°
- Topologia – sem transformação
- Grau de proteção – IP65
- Faixa de umidade relativa aceitável – 0~100%
- Altitude máxima de operação – 4000M
- Ruído - <25db
- Peso – 10KG
- Refrigeração – Natural
- Display – LCD
- Garantia – 5/7/10 anos

**Figura 42 - inversor SOFAR, modelo 5KTML-G2**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 43, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico instalado a face oeste, este arranjo está instalado eletricamente sendo um circuito com sete módulos em série ligados na MPPT 1 do inversor.

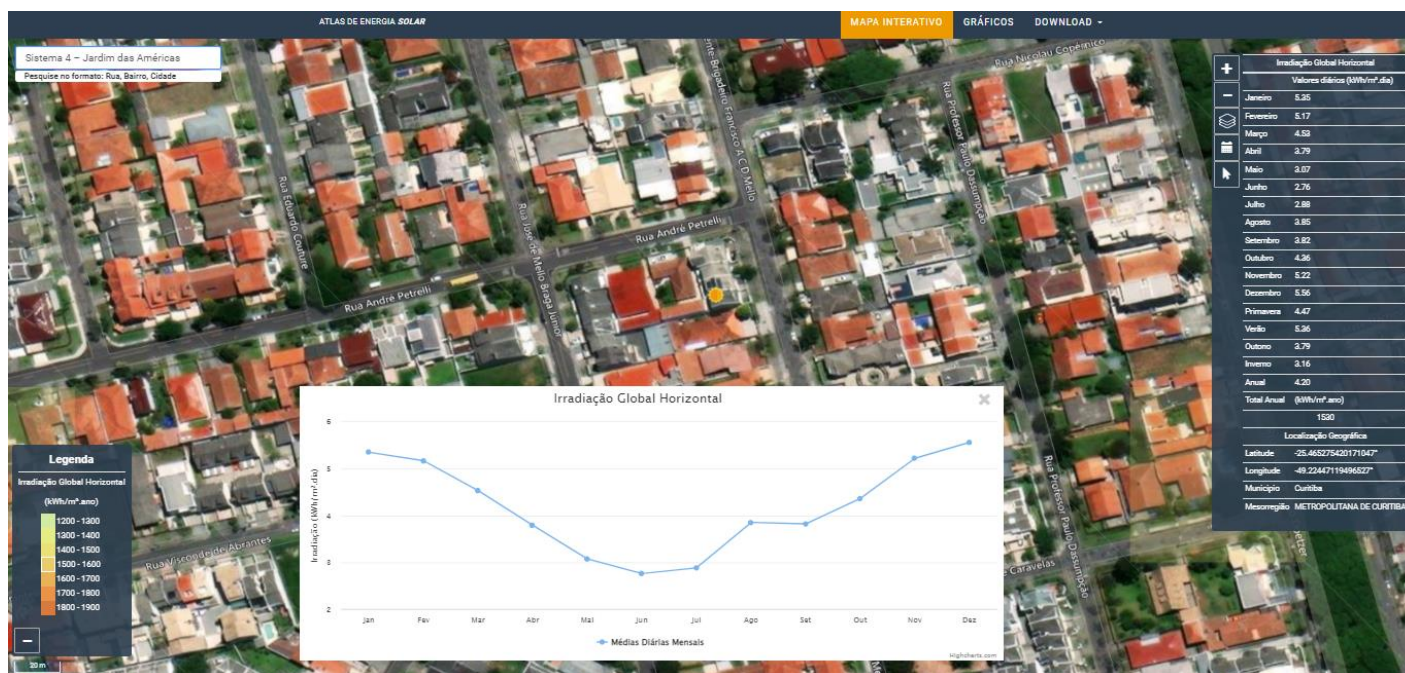
**Figura 43 - Vista Frontal do painel fotovoltaico**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 44, mostra uma visão geral da tela da Ferramenta WEB do Atlas Solar do Estado do Paraná com os dados de Irradiação Global Horizontal no ponto exato da localização do Sistema 4 os quais foram utilizados para inserção na base de dados do *software* RADIASOL.

**Figura 44 - Tela da Ferramenta WEB - Sistema 4**



Fonte: Ferramenta WEB, 2022.

A Figura 45, mostra a tela do *software* RADIASOL, com a estação solarimétrica virtual Sistema 4 Jardim das Américas, já com os dados de irradiação do local inseridos.

Figura 45 - Estação Solarimétrica Virtual - 4

**Selecione um país e uma estação**

*País*

*Estação*

**RADIÇÃO SOLAR**

Latitude  N/S:  Longitude  E/W:

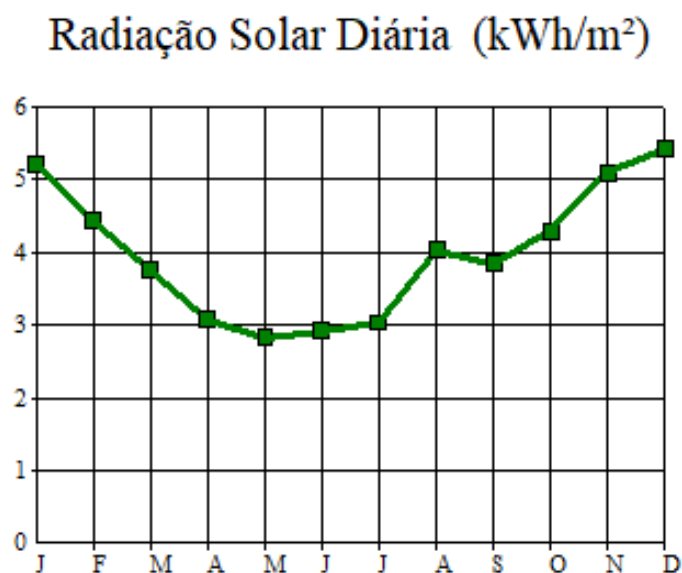
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,35	4,53	3,79	3,07	2,76	2,76	2,88	3,85	3,82	4,36	5,22	5,56

Radiação em kWh/m<sup>2</sup>

Fonte: RADIASOL.

A Figura 46, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o leste.

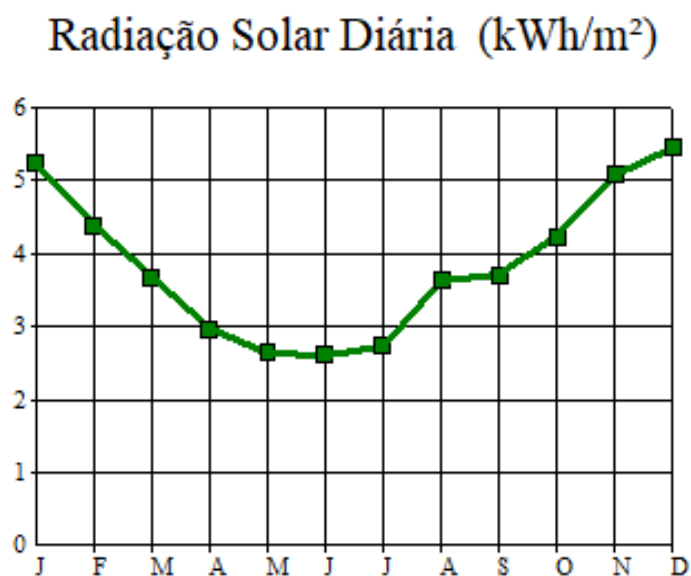
Figura 46 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 4 - leste



Fonte: RADIASOL.

A Figura 47, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o oeste.

Figura 47 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 4 - oeste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 6, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 4 para o circuito leste.

**Tabela 6 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 4 - Leste**

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	<b>Média Anual</b>
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	37	<b>6,75</b>
06:30	150	100	57	20	0	0	0	4	47	86	139	165	<b>64,00</b>
07:30	305	234	174	120	95	92	101	177	174	220	294	325	<b>192,58</b>
08:30	461	376	306	240	218	230	242	362	322	366	452	484	<b>338,25</b>
09:30	576	491	421	352	339	365	379	522	450	485	570	598	<b>462,33</b>
10:30	640	560	494	428	421	454	468	611	528	555	635	661	<b>537,92</b>
11:30	663	587	523	459	451	481	494	627	553	581	657	682	<b>563,17</b>
12:30	640	571	509	444	430	449	462	579	531	563	634	657	<b>539,08</b>
13:30	575	514	454	389	365	370	382	481	465	503	568	589	<b>471,25</b>
14:30	475	421	364	302	270	264	275	348	363	407	466	487	<b>370,17</b>
15:30	350	304	253	200	167	153	162	210	244	288	340	360	<b>252,58</b>
16:30	222	185	144	101	74	61	68	101	132	170	211	229	<b>141,50</b>
17:30	115	83	48	15	0	0	0	4	35	69	105	122	<b>49,67</b>
18:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	<b>4,17</b>
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5217</b>	<b>4426</b>	<b>3747</b>	<b>3070</b>	<b>2830</b>	<b>2919</b>	<b>3033</b>	<b>4026</b>	<b>3844</b>	<b>4293</b>	<b>5096</b>	<b>5420</b>	<b>3.993,42</b>

Fonte: RADIASOL.

A Tabela 7, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 4 para o circuito oeste.

**Tabela 7 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 4 - Oeste**

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	<b>4,08</b>
06:30	114	83	48	15	0	0	0	4	35	69	105	122	<b>49,58</b>
07:30	225	185	144	102	74	62	68	101	132	170	214	234	<b>142,58</b>
08:30	353	303	250	195	160	145	153	189	237	285	341	364	<b>247,92</b>
09:30	475	416	356	292	254	235	246	308	349	400	464	489	<b>357,00</b>
10:30	573	507	444	375	338	326	339	424	445	493	563	588	<b>451,25</b>
11:30	636	563	497	427	397	395	409	514	508	551	627	654	<b>514,83</b>
12:30	659	579	511	441	417	425	440	559	530	569	651	679	<b>538,33</b>
13:30	638	553	483	412	391	404	419	549	506	545	630	660	<b>515,83</b>
14:30	576	486	412	339	316	327	342	472	433	476	568	600	<b>445,58</b>
15:30	465	375	301	233	206	210	222	331	311	361	454	490	<b>329,92</b>
16:30	311	234	172	118	90	85	94	165	170	219	298	334	<b>190,83</b>
17:30	155	101	57	20	0	0	0	4	46	86	142	171	<b>65,17</b>
18:30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	40	<b>7,42</b>
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5227</b>	<b>4385</b>	<b>3675</b>	<b>2969</b>	<b>2643</b>	<b>2614</b>	<b>2732</b>	<b>3620</b>	<b>3702</b>	<b>4224</b>	<b>5084</b>	<b>5449</b>	<b>3.860,33</b>

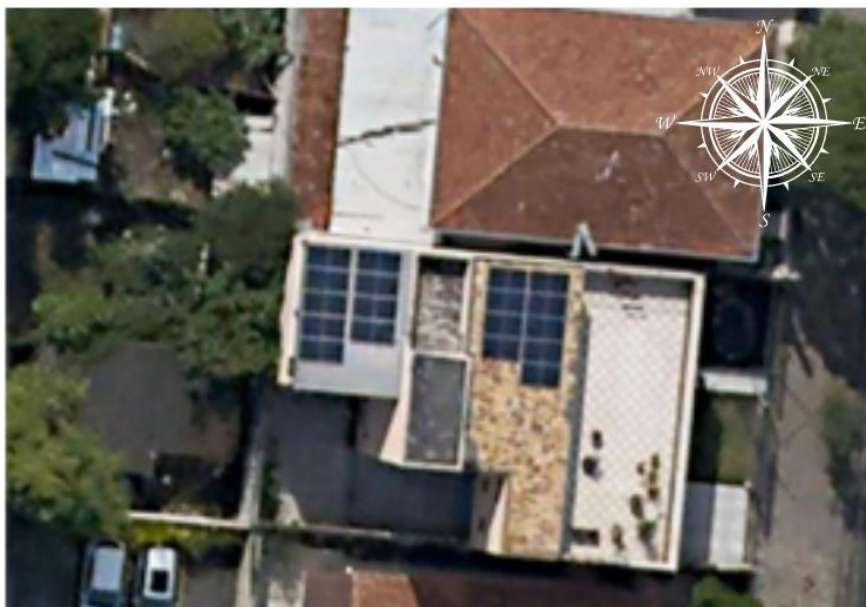
Fonte: RADIASOL.

#### 4.5 SISTEMA 5 - RESIDÊNCIA CRISTO REI

O sistema fotovoltaico 5, foi instalado em julho de 2020 no bairro Cristo Rei, opera de forma ininterrupta desde então. É uma residência onde moram um casal e dois filhos, sendo um triplex que no térreo existe um ponto comercial da família, também atendido pelo sistema, sendo uma única Unidade Consumidora, atendida com circuito trifásico de 220V. Seu painel fotovoltaico possui 18 módulos RISEN, modelo MONO-PERC RISEN 400W HALF-CELL, de tecnologia de Silício Monocristalino, conectados em série, divididos em dois circuitos de 9 módulos. Sua potência instalada é de 7,2 kWp, conectados à rede através de um inversor monofásico de 7.5 kW, sem transformador, em 220V, da marca SOFAR, modelo 7.5KTML-G2. Seu painel ocupa uma área de 36,4 m<sup>2</sup>. A inclinação e orientação do painel acompanhou a estrutura do telhado, sendo 15 graus de inclinação e desvio em relação ao norte de 78 graus oeste para a circuito 1 e 17 graus de inclinação 92 graus leste para o circuito 2. A Figura 48, mostra os módulos instalados no telhado da Residência Cristo Rei onde é possível perceber visualmente o desvio azimutal a leste e oeste.



Figura 48 - Imagem Aérea Sistema 5



Fonte: Autoria própria, 2022.

#### Dados do Inversor:

- Modelo: SOFAR 7.5 KTML- G2
- Registro INMETRO: 003359/2020
- Tensão por *string*: 376Vcc
- Local da Instalação: Edícula no terraço

#### ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA (CC)

- Máx. potência PV recomendada: 10000 Wp
- Máx. tensão de entrada PV: 600 Vcc
- Tensão nominal de entrada: 380 Vcc
- Máx. corrente de entrada PV: 18 A
- Número de MPPTs: 2
- Faixa de tensão MPPT: 80 Vcc~540 Vcc
- Tensão inicial: 90 Vcc

#### ESPECIFICAÇÕES DE SAÍDA CA

- Potência nominal de saída CA: 7,5 kW
- Tensão nominal de saída CA: 220/230 Vca
- Corrente máxima de saída: 36,2 A
- Frequência nominal da rede: 60 Hz
- Faixa de frequência da rede: 55~65 Hz
- Fator de potência: 1 *default*



- Fator de potência ajustável: 0,8 (indutivo)~0,8 (capacitivo)
- Eficiência Máxima: 97,6%
- Eficiência Europeia: 97,0%

### Proteção

- Anti-ilhamento: Sim
- Conexão CC invertida: Sim
- Proteção de temperatura: Sim
- Proteção de fuga de corrente: Sim
- Proteção de falha à terra: Sim
- Proteção contra surtos: Sim

A Figura 49, mostra o inversor SOFAR, modelo 7.5KTML-G2 instalado e é possível visualizar as proteções QDCA e a String Box CC instaladas, bem como os cabamentos separados, que chegam às caixas de proteção pela tubulação embutida na parede.

**Figura 49 - Inversor SOFAR 7.5KTML-G2**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 50, mostra o detalhe da instalação do suporte de fixação para telhado metálico, o qual é fixado por parafusos diretamente na estrutura do telhado de zinco.

**Figura 50 - Suporte de fixação para telhado metálico**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 51, mostra o detalhe da instalação dos módulos nos trilhos fixados no telhado metálico.

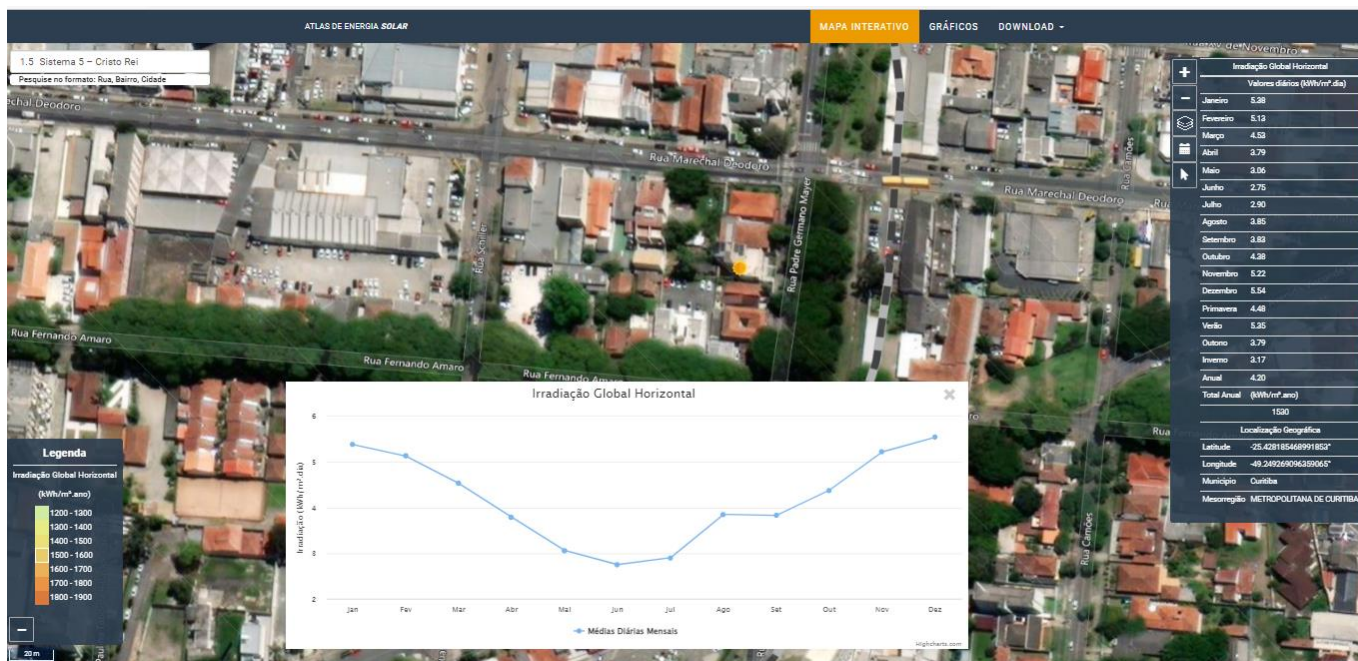
**Figura 51 - Módulos instalados no telhado metálico**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 52, mostra uma visão geral da tela da Ferramenta WEB do Atlas Solar do Estado do Paraná com os dados de Irradiação Global Horizontal no ponto exato da localização do Sistema 5, os quais foram utilizados para inserção na base de dados do *software* RADIASOL.

Figura 52 - Ferramenta WEB Sistema 5



Fonte: Ferramenta WEB, 2022.

A Figura 53, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 5 Cristo Rei, já com os dados de irradiação do local inseridos.

Figura 53 - Estação Solarimétrica Virtual - 5

**Selezione um país e uma estação**

**País**

**Estação**

**Latitude**  **N/S:**  **Longitude**  **E/W:**

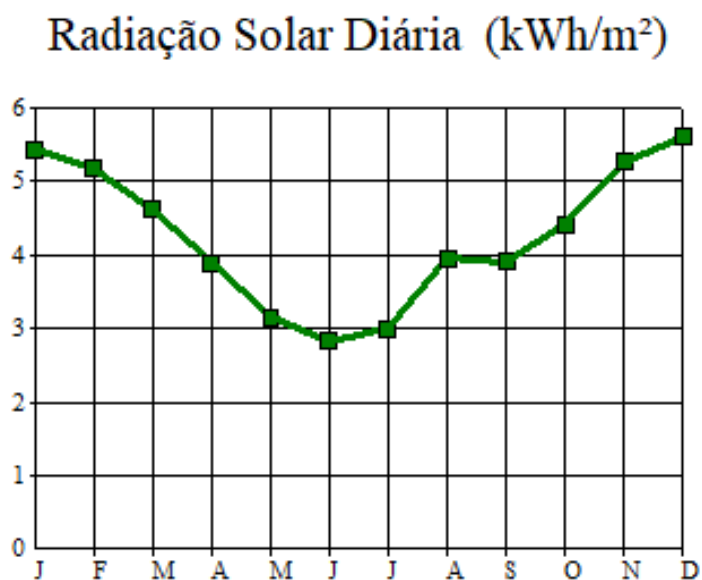
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,38	5,13	4,53	3,79	3,06	2,75	2,90	3,85	3,83	4,38	5,22	5,54

**Radiação em kWh/m²**

Fonte: RADIASOL.

A Figura 54, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o leste.

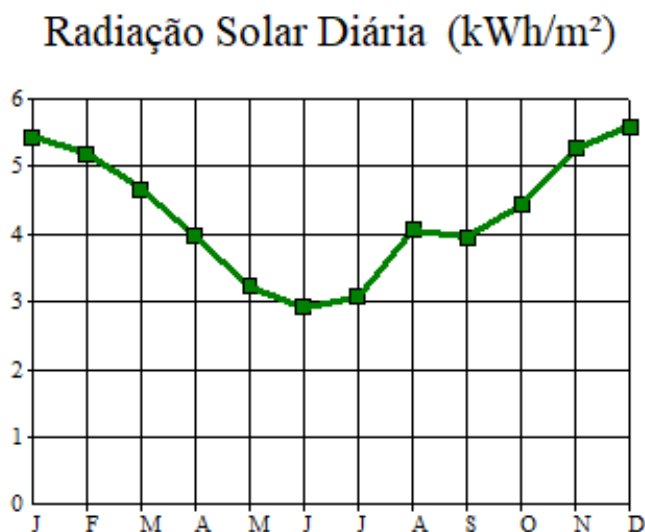
Figura 54 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 5 - leste



Fonte: RADIASOL.

A Figura 55, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o oeste.

Figura 55 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 5 - oeste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 8, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo software RADIASOL para o sistema 5 para o circuito leste.

Tabela 8 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 5 - Leste

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	35	<b>6,33</b>
06:30	150	118	73	28	0	0	0	4	45	84	136	162	<b>66,67</b>
07:30	305	276	221	159	105	83	94	160	169	217	290	321	<b>200,00</b>
08:30	464	444	387	315	241	211	227	332	314	364	450	481	<b>352,50</b>
09:30	584	575	527	457	373	338	357	486	443	486	572	600	<b>483,17</b>
10:30	654	651	609	547	464	428	448	581	526	562	643	669	<b>565,17</b>
11:30	683	679	638	578	498	461	481	608	557	592	672	697	<b>595,33</b>
12:30	666	659	617	555	475	439	458	574	541	579	655	679	<b>574,75</b>
13:30	606	595	550	483	405	369	386	487	480	523	594	618	<b>508,00</b>
14:30	508	490	440	371	301	269	283	363	379	428	496	520	<b>404,00</b>
15:30	379	354	303	241	185	159	169	224	257	306	366	390	<b>277,75</b>
16:30	241	212	168	118	80	62	69	103	136	180	229	250	<b>154,00</b>
17:30	117	91	56	18	0	0	0	4	36	71	107	124	<b>52,00</b>
18:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	<b>4,17</b>
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5401</b>	<b>5144</b>	<b>4589</b>	<b>3870</b>	<b>3127</b>	<b>2819</b>	<b>2972</b>	<b>3926</b>	<b>3883</b>	<b>4392</b>	<b>5233</b>	<b>5570</b>	<b>4.243,83</b>

Fonte: RADIASOL.



A Tabela 9, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 5 para o circuito oeste.

**Tabela 9 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 5 - Oeste**

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	<b>4,17</b>
06:30	118	92	56	18	0	0	0	4	36	71	107	125	<b>52,25</b>
07:30	245	217	172	122	80	63	70	105	140	183	233	254	<b>157,00</b>
08:30	386	362	312	251	193	167	178	239	264	312	373	397	<b>286,17</b>
09:30	516	501	453	386	315	283	298	385	390	437	505	528	<b>416,42</b>
10:30	613	606	563	500	423	388	406	514	492	532	603	625	<b>522,08</b>
11:30	672	668	629	571	494	459	478	599	552	587	662	685	<b>588,00</b>
12:30	687	685	647	592	513	478	499	629	566	598	676	700	<b>605,83</b>
13:30	655	654	616	557	476	440	461	596	532	565	645	670	<b>572,25</b>
14:30	582	575	529	462	380	345	365	494	446	487	571	598	<b>486,17</b>
15:30	459	441	386	316	244	214	229	334	314	363	446	476	<b>351,83</b>
16:30	300	273	219	158	105	84	94	159	168	216	286	315	<b>198,08</b>
17:30	147	116	72	28	0	0	0	4	44	83	134	158	<b>65,50</b>
18:30	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	33	<b>6,00</b>
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5423</b>	<b>5190</b>	<b>4654</b>	<b>3961</b>	<b>3223</b>	<b>2921</b>	<b>3078</b>	<b>4062</b>	<b>3944</b>	<b>4434</b>	<b>5263</b>	<b>5588</b>	<b>4.311,75</b>

Fonte: RADIASOL.

#### 4.6 SISTEMA 6 - RESIDÊNCIA AHU

O sistema fotovoltaico 6, foi instalado em agosto de 2020 no bairro AHU, opera de forma ininterrupta desde então. É uma residência onde moram um casal e dois filhos, em um condomínio fechado. Seu painel fotovoltaico possui 14 módulos da CANADIAN, modelo CANADIAN 365W HALF-CELL POLY de tecnologia de Silício Policristalino, conectados em série, divididos em dois circuitos de 7 módulos. Sua potência instalada de 5,11 kWp, conectados à rede através de um inversor monofásico de 4 kW, sem transformador, conectado em 220 V, da marca SOFAR, modelo 4KTM-L-G2. Seu painel ocupa uma área de 28,2 m<sup>2</sup>. A inclinação e orientação do painel acompanhou a estrutura do telhado, sendo 25 graus de inclinação e orientado ao norte. A Figura 56, mostra os módulos instalados no

telhado da Residência AHU onde é possível perceber visualmente que não há desvio azimutal.

**Figura 56 - Imagem Aérea Sistema 6**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

### **Dados do Inversor**

- Modelo: SOFAR 4KTLM-G3
- Registro INMETRO: 003361/2020
- Tensão por *string*: 278Vcc
- Local da Instalação: No Sótão

### **ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA (CC)**

- Máx. potência PV recomendada: 6000 Wp
- Máx. tensão de entrada PV: 600 Vcc
- Tensão nominal de entrada: 380 Vcc
- Máx. corrente de entrada PV: 15 A
- Número de MPPTs: 2
- Faixa de tensão MPPT: 80 Vcc~550 Vcc

## ESPECIFICAÇÕES DE SAÍDA CA

- Potência nominal de saída CA: 4,0 kW
- Tensão nominal de saída CA: 220/230 Vca
- Corrente máxima de saída: 20 A
- Frequência nominal da rede: 50/60 Hz
- Fator de potência: 1 default
- Eficiência Máxima: 98,2%
- Eficiência Europeia: 97,3%

## Proteção

- Anti-ilhamento: Sim
- Conexão CC invertida: Sim
- Proteção de temperatura: Sim
- Proteção de fuga de corrente: Sim
- Proteção de falha à terra: Sim
- Proteção contra surtos: Sim

A Figura 57, mostra o inversor SOFAR, modelo 4KTML-G2 instalado e é possível visualizar a proteção *String Box* CC instalada, bem como os cabamentos separados, a proteção CA foi instalada no QDCA existente.

Figura 57 - Inversor SOFAR 4KTML-G2



Fonte: Autoria própria, 2022.



A Figura 58, mostra o detalhe do suporte de fixação para instalação dos trilhos para fixação dos módulos fotovoltaicos, o qual é fixado por parafusos.

**Figura 58 - Imagem do detalhe do suporte de fixação**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 59, mostra o detalhe da instalação dos trilhos de fixação para telhado colonial, o qual é fixado por parafusos diretamente no madeiramento de fixação das telhas.

**Figura 59 - Imagem do detalhe do trilho de fixação**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 60, mostra o detalhe da instalação dos módulos fotovoltaicos fixados nos trilhos para telhado colonial.

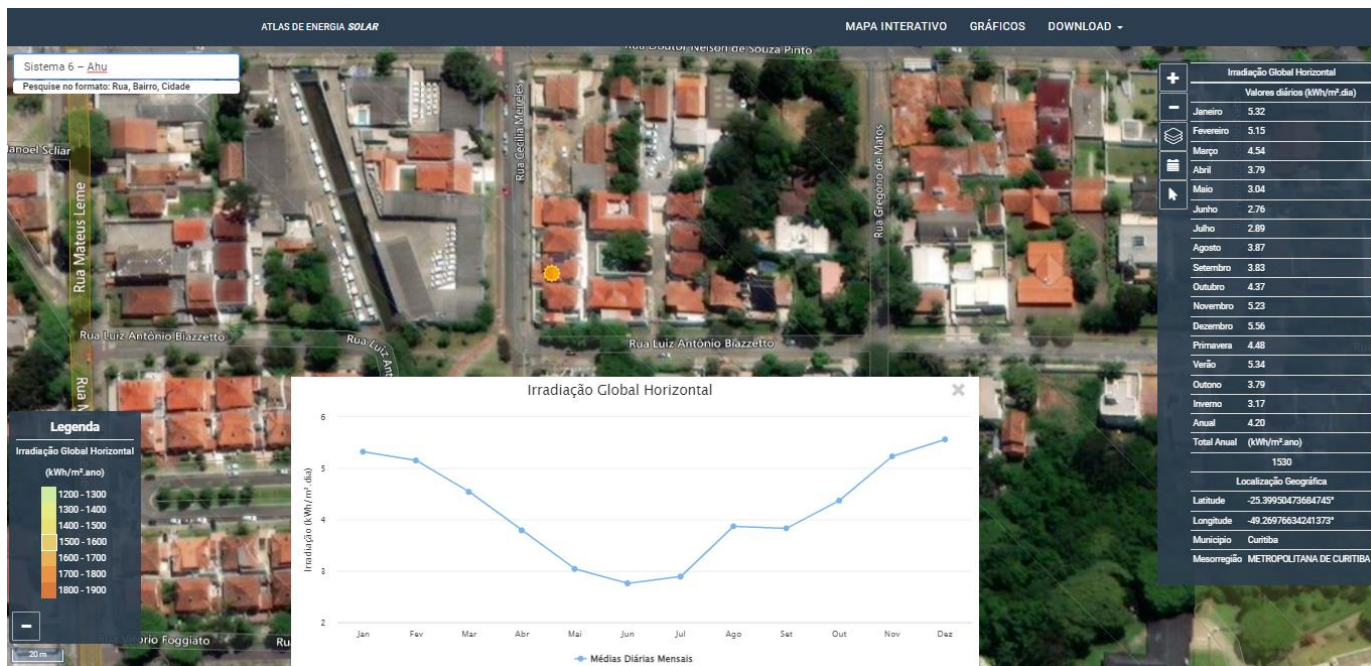
Figura 60 - Imagem da instalação dos módulos fotovoltaicos



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 61, mostra uma visão geral da tela da Ferramenta WEB do Atlas Solar do Estado do Paraná com os dados de Irradiação Global Horizontal no ponto exato da localização do Sistema 6, os quais foram utilizados para inserção na base de dados do *software* RADIASOL.

Figura 61 - Ferramenta WEB Sistema 6



Fonte: Ferramenta WEB, 2022.

A Figura 62, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 6 AHU, já com os dados de irradiação do local inseridos.

Figura 62 - Estação Solarimétrica Virtual - 6

**Selecione um país e uma estação**

*País*

*Estação*

**RADIÇÃO SOLAR**

Latitude  N/S:  Longitude  E/W:

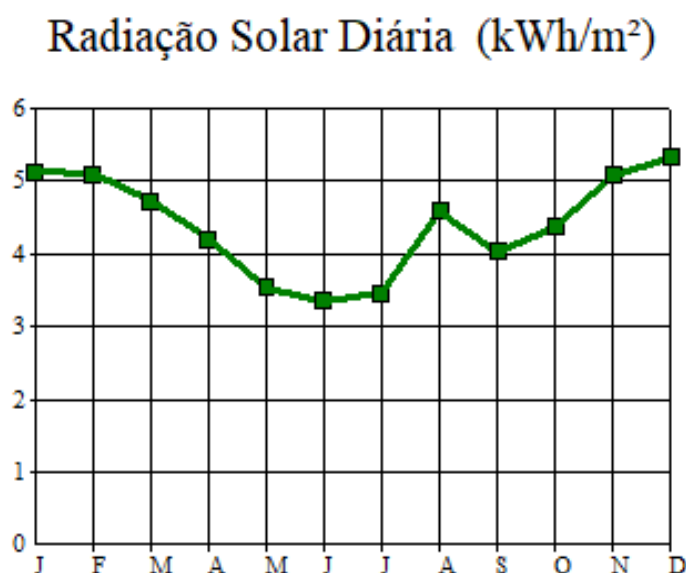
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,32	5,15	4,54	3,79	3,04	2,76	2,89	3,87	3,83	4,37	5,23	5,56

**Radiação em kWh/m<sup>2</sup>**

Fonte: RADIASOL.

A Figura 63, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o norte.

Figura 63 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 6



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 10, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 6.

**Tabela 10 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 6**

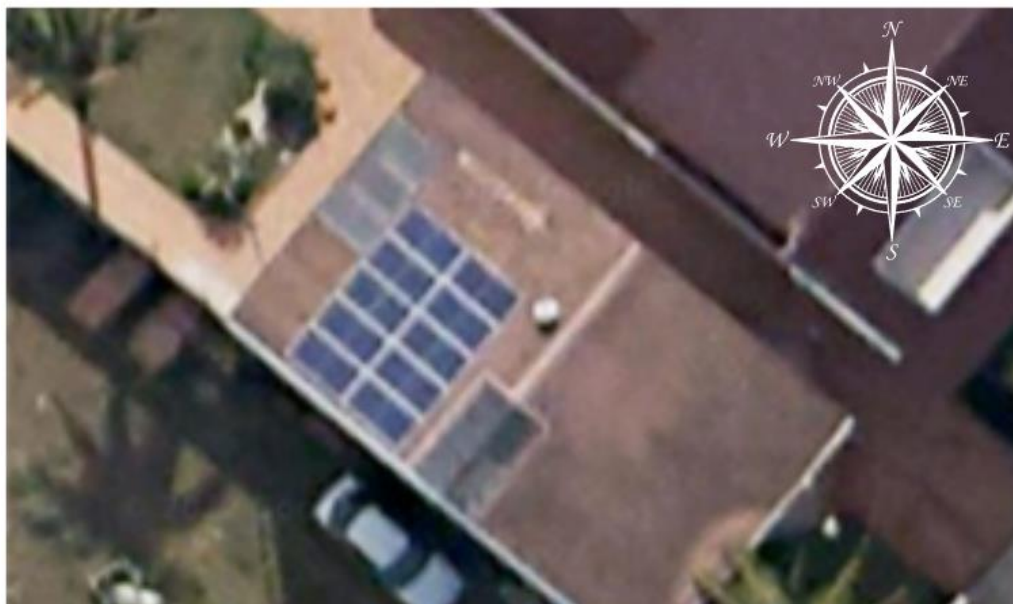
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	<b>4,08</b>
06:30	120	96	60	22	0	0	0	4	38	73	111	129	<b>54,42</b>
07:30	251	234	193	144	98	80	88	144	153	192	243	263	<b>173,58</b>
08:30	395	390	350	296	234	213	224	318	292	329	390	410	<b>320,08</b>
09:30	521	530	499	450	380	358	372	496	427	455	520	538	<b>462,17</b>
10:30	608	625	603	565	497	478	492	630	526	544	609	626	<b>566,92</b>
11:30	653	674	654	622	558	542	556	698	575	588	656	673	<b>620,75</b>
12:30	653	674	654	622	558	542	556	698	575	588	656	673	<b>620,75</b>
13:30	608	625	603	565	497	478	492	630	526	544	609	626	<b>566,92</b>
14:30	521	530	499	450	380	358	372	496	427	455	520	538	<b>462,17</b>
15:30	395	390	350	296	234	213	224	318	292	329	390	410	<b>320,08</b>
16:30	251	234	193	144	98	80	88	144	153	192	243	263	<b>173,58</b>
17:30	120	96	60	22	0	0	0	4	38	73	111	129	<b>54,42</b>
18:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	<b>4,08</b>
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5130</b>	<b>5098</b>	<b>4718</b>	<b>4198</b>	<b>3534</b>	<b>3342</b>	<b>3464</b>	<b>4580</b>	<b>4022</b>	<b>4362</b>	<b>5074</b>	<b>5326</b>	<b>4.404,00</b>

Fonte: RADIASOL.

#### 4.7 SISTEMA 7 - RESIDÊNCIA BOM RETIRO

O sistema fotovoltaico 7, foi instalado em setembro de 2020 no bairro Bom Retiro. É uma residência onde moram um casal e dois filhos. Seu painel fotovoltaico possui 10 módulos CANADIAN, modelo HIKU CANADIAN 410W POLY-PERC de tecnologia de Silício Policristalino, conectados em série, divididos em dois circuitos de 5 módulos. Sua potência instalada é de 4,1 kWp, conectados à rede através de um inversor monofásico de 4,6 kW da ABB, modelo ABB UNO-DM-4.6-TL-PLUS-SB, sem transformador, em 220V. Seu painel ocupa uma área de 20,2 m<sup>2</sup>. A inclinação e orientação do painel acompanhou a estrutura do telhado, sendo 19 graus de inclinação e desvio em relação ao norte de 48 graus oeste. A Figura 64 mostra os módulos instalados no telhado da Residência Bom Retiro, onde é possível perceber visualmente o desvio azimutal para o oeste.

**Figura 64 - Imagem Aérea Sistema 7**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 65, mostra o detalhe da instalação do painel fotovoltaico instalado a face oeste, este arranjo está instalado eletricamente sendo dois circuitos com cinco módulos em série ligados respectivamente nas MPPTs 1 e 2 do inversor.

**Figura 65 - Painel fotovoltaico instalado a face oeste**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**



## DADOS DO INVERSOR:

- Modelo: Inversor ABB UNO-DM-4.6-TL-PLUS-SB
- Registro INMETRO: 005663/2020
- Tensão por *string*: 198 Vcc
- Local da Instalação: No sótão

## ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA (CC)

- Potência fotovoltaica nominal de entrada: 4750W
- Tensão máxima: 600Vcc
- Faixa de operação MPPT: 150 a 530V
- Tensão CC de partida: 200V (ajustável de 120V a 350V)
- Corrente CC máxima de entrada: 32A
- Corrente CC máxima para cada MPPT: 16A
- Número de MPPTs independentes: 02
- Número de pares de *strings* em paralelo para cada MPPT: 01

## ESPECIFICAÇÕES DE SAÍDA CA

- Potência CA Nominal: 4600W
- Potência Máxima em CA: 4600W
- Corrente Máxima em CA: 20A
- Saída nominal CA: 220Vca - 60Hz
- Conexão CA: Monofásica
- Eficiência: Eficiência máxima: 97%

## DADOS GERAIS

- Dimensões: 553mm x 418mm x 175mm
- Peso líquido: 15Kg
- Ambiente de operação: Interno ou externo
- Montagem: Fixação na parede
- Temperatura de operação: -25°C a +60°C
- Umidade relativa: 0% a 100%
- Altitude: 2000m
- Grau de proteção: IP65
- Topologia: Sem transformador
- Ventilação: Convecção natural
- Comunicação: Wi-Fi
- Monitoramento incluso: Aurora Vision
- Garantia: 05 anos contra defeitos de fabricação

A Figura 66, mostra o inversor ABB, modelo ABB UNO-DM-4.6-TL-PLUS-SB instalado e é possível visualizar as proteções QDCA e a *String Box* CC instaladas, bem como os eletrodutos dos cabearmentos separados.

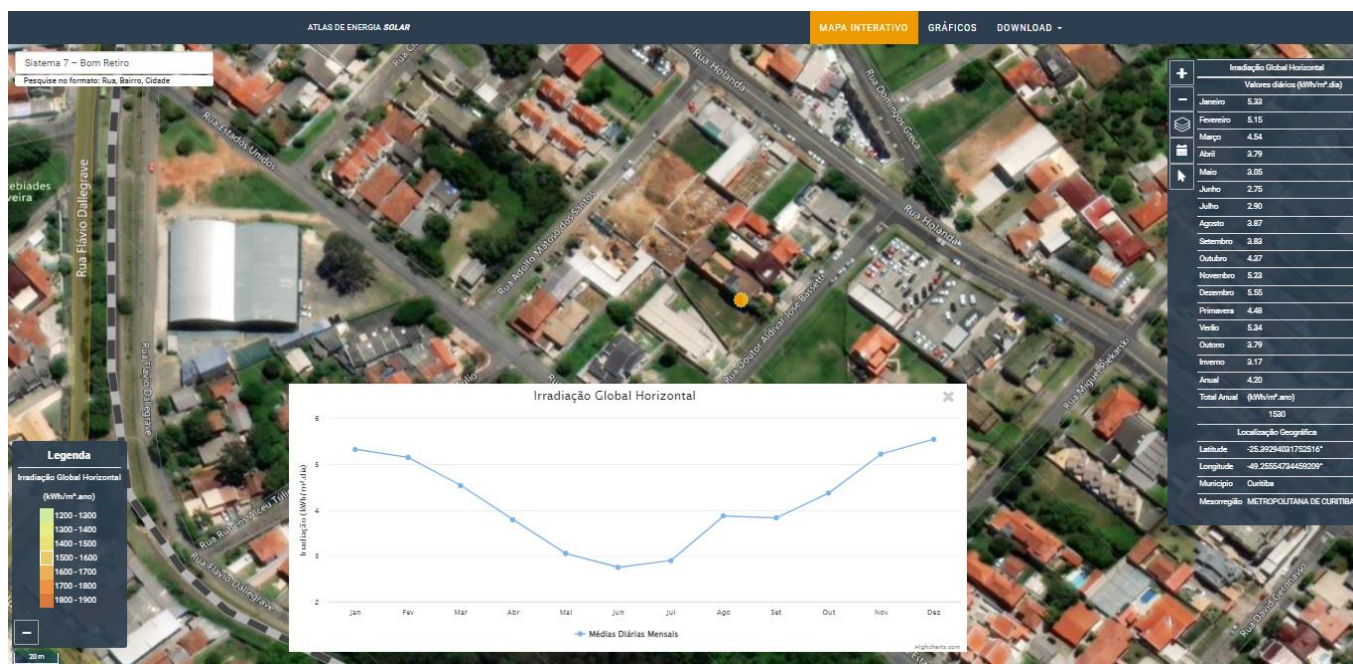
**Figura 66 - Inversor ABB UNO-DM-4.6-TL-PLUS-SB**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A Figura 67, mostra uma visão geral da tela da Ferramenta WEB do Atlas Solar do Estado do Paraná com os dados de Irradiação Global Horizontal no ponto exato da localização do Sistema 7, os quais foram utilizados para inserção na base de dados do *software* RADIASOL.

Figura 67 - Ferramenta WEB -Sistema 7



Fonte: Ferramenta WEB, 2022.

A Figura 68, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 7 – Bom Retiro, já com os dados de irradiação do local inseridos.

Figura 68 - Estação Solarimétrica Virtual - 7

**Selecione um país e uma estação**

**País**

**Estação**

**Latitude**  **N/S:**  **Longitude**  **E/W:**

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,33	5,15	4,54	3,79	3,05	2,75	2,90	3,87	3,83	4,37	5,23	5,55

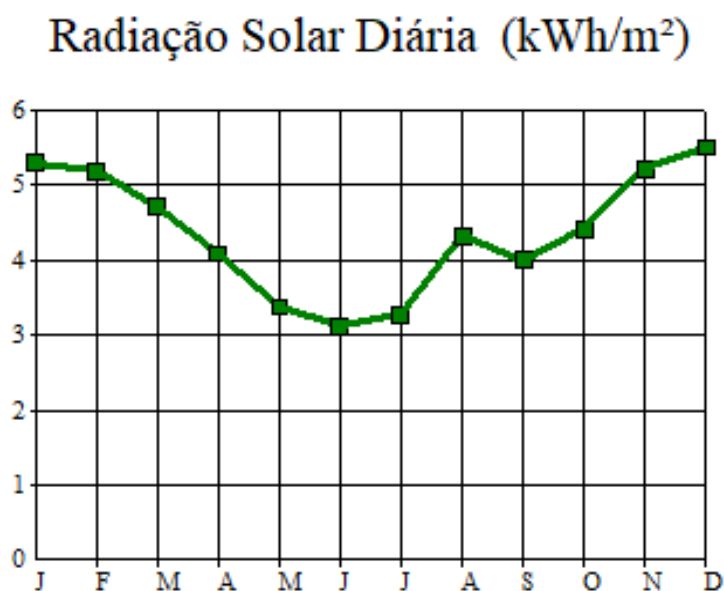
**Radiação em kWh/m²**

Fonte: RADIASOL.



A Figura 69, mostra o gráfico gerado pelo *software* RADIASOL, com o resultado da simulação feita após a inserção das informações de desvio azimutal e inclinação do painel fotovoltaico orientado para o norte.

Figura 69 - Gráfico Irradiação Estimada - Sistema 7



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 11, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 7.

Tabela 11 - RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (kWh/m<sup>2</sup>) - Sistema 7

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
05:30	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	30	5,33
06:30	140	113	71	28	0	0	0	5	44	82	129	152	63,67
07:30	288	269	218	160	108	87	98	166	168	212	279	306	196,58
08:30	443	438	388	323	251	224	240	351	316	359	438	464	352,92
09:30	567	574	535	475	395	365	385	523	451	484	565	588	492,25
10:30	641	655	624	575	498	469	489	633	540	564	641	662	582,58
11:30	674	688	657	612	539	512	531	671	575	597	674	694	618,67
12:30	661	672	640	592	520	492	511	641	561	587	660	679	601,33
13:30	603	608	573	519	447	417	435	552	501	532	600	619	533,83
14:30	506	502	461	400	332	303	318	414	397	436	501	521	424,25
15:30	377	361	316	258	202	177	189	256	267	311	369	390	289,42
16:30	238	215	173	125	83	64	72	112	141	182	229	249	156,92
17:30	116	91	56	18	0	0	0	4	35	70	106	123	51,58
18:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	24	4,17
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>TOTAL</b>	<b>5294</b>	<b>5186</b>	<b>4712</b>	<b>4085</b>	<b>3375</b>	<b>3110</b>	<b>3268</b>	<b>4328</b>	<b>3996</b>	<b>4416</b>	<b>5211</b>	<b>5501</b>	<b>4.373,50</b>

Fonte: RADIASOL.

#### 4.8 ENERGIA ELÉTRICA ESTIMADA DOS SISTEMAS ANALISADOS

Com os valores de Irradiação Solar Diária obtida no Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, e com o auxílio do programa RADIASOL, obteve-se as irradiações no plano inclinado para cada sistema, e utilizando a equação (1) isolando a energia, é possível obter os valores de energia estimada mês a mês e total anual. Foi considerado o PR típico de 75%.

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT}.PR} \quad (1)$$

Onde:

- P<sub>FV</sub>**: é a potencia instalada (Wp)
- E**: é a energia diária a ser gerada (Wh)
- G**: é a irradiância na condição STC (1000W/m<sup>2</sup>);
- H<sub>TOT</sub>**: é a irradiação diária
- PR**: é a *performance ratio* do SFVCR (0,7 a 0,8)

A Tabela 12, apresenta a energia elétrica estimada anual para cada Sistema.

Tabela 12 - Energia Elétrica Estimada

SFVCR	Potência (kWp)	Irradiação Histórica Anual no Plano Inclinado	Energia Elétrica Estimada (kWh/ano)
Sistema 1	4,02	1.623	4.894
Sistema 2	4,2	1.630	5.134
Sistema 3	4,2	1.507	4.747
Sistema 4	4,26	1.433	4.580
Sistema 5	7,2	1.561	8.432
Sistema 6	5,11	1.607	6.161
Sistema 7	4,1	1.597	4.909

Fonte: Autoria própria, 2022.

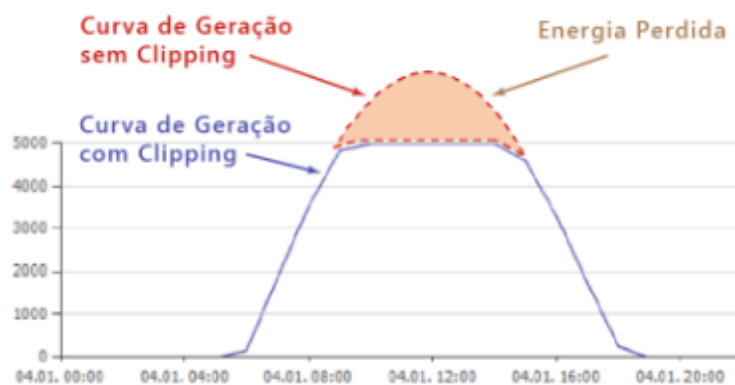
#### 4.9 FATOR DE DIMENSIONAMENTO (FDI)

O Fator de Dimensionamento (FDI) é a medida que define o sobredimensionamento ou Sobrecarregamento (também chamado de *oversizing*), que corresponde a um FDI acima de 100%. O sobrecarregamento ocorre quando a potência do arranjo fotovoltaica é superior à potência do inversor. A potência gerada pelos módulos depende da irradiância recebida num determinado instante, reduzida pelas perdas relacionadas ao aquecimento dos módulos. Enquanto a potência gerada pelo conjunto fotovoltaico está inferior à potência máxima do inversor, então este consegue repassar toda a energia e injetá-la na rede elétrica. Quando o inversor chega ao seu limite máximo, ele ativa a proteção interna e limita sua potência de saída para evitar danos por superaquecimento. Tecnicamente, o MPPT do inversor sai do ponto de máxima potência (Pmp), aumentando a tensão até encontrar um ponto de trabalho dentro do limite. Este efeito de corte da potência é chamado de *Power Clipping*. É importante destacar que o sobrecarregamento ou *oversizing* é uma técnica muito utilizada para melhorar o desempenho nos horários fora de pico, inclusive já sendo previsto e dimensionado pelo fabricante do inversor no seu projeto construtivo.

No gráfico da Figura 70, é apresentada a curva da geração num dia de sol pleno, a curva azul continuaria no traçado vermelho, mas é cortada justamente na

potência máxima do inversor, a perda de energia é representada na imagem pela área em vermelho.

**Figura 70 - Curva de Sobrecarga**



**Fonte: Solarize, 2021.**

O primeiro item analisado foi o Fator de Dimensionamento (FDI), para determinar qual a sobrecarga nos inversores foi utilizada a equação (2).

$$FDI = \frac{\text{Potência máxima de saída do inversor}}{\text{Potência total dos módulos}} \quad (2)$$

A Tabela 13, mostra a relação entre a Potência Instalada dos Módulos e a Potência dos Inversores, que determinam o Fator de Dimensionamento, que é a sobrecarga do Inversor.

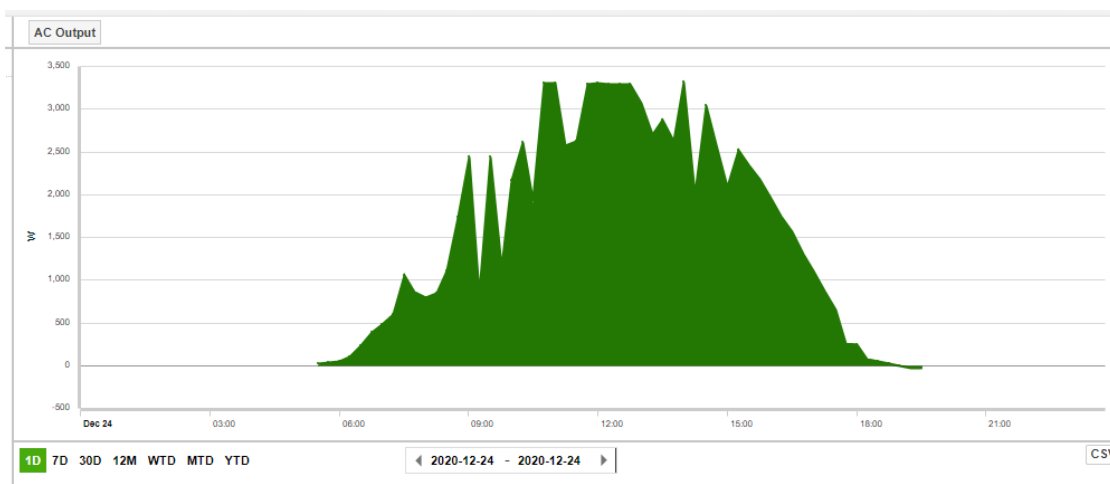
Tabela 13 - Fator de Dimensionamento

SFVCR	Potência Painel (kWp)	Potência Inversor (kW)	Fator de Dimensionamento (FDI)%
Sistema 1	4,02	3,3	0,82
Sistema 2	4,20	5,0	1,19
Sistema 3	4,20	5,0	1,19
Sistema 4	4,26	5,0	1,17
Sistema 5	7,20	7,5	1,04
Sistema 6	5,11	4,0	0,78
Sistema 7	4,10	4,6	1,12

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os Sistemas 1 e 6 apresentaram sobrecarga de 18% e 22%, e foi possível comprovar o corte de potência (*Power Clipping*) em alguns dias, como evidenciado na Figura 71 e na Figura 72.

Figura 71 - Curva de Geração - Sistema 1 - 24/12/2020



Fonte: Aurora Vision, 2020.

**Figura 72 - Curva de Geração - Sistema 6 - 10/14/2021**



**Fonte: Solarman Smart, 2021.**

#### 4.10 INDICES DE MÉRITO DOS SISTEMAS

A partir da obtenção energia gerada e da irradiação incidente no plano horizontal, é possível calcular os índices de mérito do SFVCR, que são: produtividade (*yield*); taxa de desempenho (*performance ratio*) e fator de capacidade (FC). A análise do desempenho dos sistemas utilizou os valores de energia gerada no período de operação de setembro de 2020 a agosto de 2021. Os valores de irradiação incidentes nos módulos fotovoltaicos para o período analisado foram obtidos diretamente no site do INMET coletados pela estação solarimétrica A807, localizada no Centro Politécnico da UFPR em Curitiba, estes valores foram medidos no plano horizontal, então eles foram inseridos no RADIASOL e assim, foram obtidos o valor de irradiação para cada sistema analisado, devido a diferentes inclinações e orientações.

A Tabela 14, mostra os valores medidos da geração total anual em kWh de cada sistema, os valores foram coletados pelo sistema de monitoramento, para o início dos cálculos dos índices de mérito dos Sistemas em questão.

Tabela 14 - Geração de Energia Elétrica

SFVCR	Potência (kWp)	Geração De Energia Elétrica (kWh/ano)
Sistema 1	4,02	<b>5.020</b>
Sistema 2	4,2	<b>5.350</b>
Sistema 3	4,2	<b>4.850</b>
Sistema 4	4,26	<b>4.550</b>
Sistema 5	7,2	<b>7.640</b>
Sistema 6	5,11	<b>5.820</b>
Sistema 7	4,1	<b>4.630</b>

Fonte: Autoria própria, 2022.

#### 4.11 PRODUTIVIDADE - YIELD

A produtividade representa a quantidade de energia elétrica que um SFVCR é capaz de produzir para cada 1 kWp (quilowatt-pico) de potência instalada, sendo que o valor máximo ao longo do ano é obtido quando o painel fotovoltaico é instalado nas condições consideradas ideais de geração, ou seja: com inclinação igual à latitude do local, orientado para o Norte geográfico (no caso do hemisfério Sul), sem sombreamento e com uma taxa de desempenho estabelecida (PR).

A produtividade é determinada pela relação entre a energia gerada (kWh) e a potência FV instalada (kWp), normalmente vinculada a um ano de operação (*yield* anual), porém pode ser também considerado o *yield* mensal. A Equação (3) apresenta a grandeza em questão.

$$Y = \frac{\text{Energia Gerada (kWh)}}{\text{Potência FV (kWp)}} \quad (3)$$

A Tabela 15, mostra os valores de produtividade de cada um dos sistemas em questão.

Tabela 15 - PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS - YIELD

SFVCR	Potência (kWp)	Geração De Energia Elétrica (kWh/ano)	YIELD (kWh/kWp)
Sistema 1	4,02	5.020	1.249
Sistema 2	4,2	5.350	1.274
Sistema 3	4,2	4.850	1.155
Sistema 4	4,26	4.550	1.068
Sistema 5	7,2	7.640	1.061
Sistema 6	5,11	5.820	1.139
Sistema 7	4,1	4.630	1.129

Fonte: Autoria própria, 2022.

#### 4.12 TAXA DE DESEMPENHO OU PERFORMANCE RATIO (PR)

É a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000W/m<sup>2</sup> incidentes no painel FV, também normalmente vinculada a um ano de operação, *performance ratio* anual, porém, pode ser também considerada a *performance ratio* mensal. Esta grandeza é expressa em porcentagem. A Equação (4) apresenta a grandeza em questão.

$$PR = \frac{\text{Yield}}{\text{Irradiação}/1000} (\%) \quad (4)$$

A Tabela 16, mostra os valores calculados da Taxa de Desempenho anual de cada Sistema para o período analisado.

Tabela 16 - TAXA DE DESEMPENHO (PR)

SFVCR	Potência (kWp)	YIELD (kWh/kWp)	PR(%)
Sistema 1	4,02	1.249	<b>76,7</b>
Sistema 2	4,20	1.274	<b>78,3</b>
Sistema 3	4,20	1.155	<b>75,3</b>
Sistema 4	4,26	1.068	<b>70,8</b>
Sistema 5	7,20	1.061	<b>67,8</b>
Sistema 6	5,11	1.139	<b>70,6</b>
Sistema 7	4,10	1.129	<b>70,6</b>

Fonte: Autoria própria, 2022.



#### 4.13 FATOR DE CAPACIDADE

É a capacidade real de gerar energia em função da energia que seria gerada operando em potência nominal durante 24 horas por dia, também expresso em percentual. A Equação (5) apresenta as grandezas em questão.

$$FC = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV} \cdot 24 \cdot \text{dias}} (\%) \quad (5)$$

A Tabela 17, apresentou os resultados dos valores calculados do Fator de Capacidade de cada Sistema para o período entre os meses de setembro de 2020 a agosto de 2021.

**Tabela 17 - FATOR DE CAPACIDADE (FC)**

SFVCR	Potência (kWp)	Geração De Energia Elétrica (kWh/ano)	FC(%)
Sistema 1	4,02	5.020	<b>14,26</b>
Sistema 2	4,2	5.350	<b>14,54</b>
Sistema 3	4,2	4.850	<b>13,18</b>
Sistema 4	4,26	4.550	<b>12,19</b>
Sistema 5	7,2	7.640	<b>12,11</b>
Sistema 6	5,11	5.820	<b>13,00</b>
Sistema 7	4,1	4.630	<b>12,89</b>

**Fonte: Autoria própria, 2022.**

#### 4.14 CÁLCULOS DA IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO

Com a utilização do *software* RADIASOL, inserindo os dados de Irradiação do Inmet e ajustando a inclinação dos painéis e o desvio azimutal de cada sistema analisado, foram obtidos valores médios horários e gerados os gráficos e tabelas para os cálculos necessários para o período analisado.

A Tabela 18, apresenta os valores medidos de irradiação incidentes nos módulos fotovoltaicos para o período analisado, estes valores foram coletados diretamente no site do INMET, referente à estação solarimétrica A807.

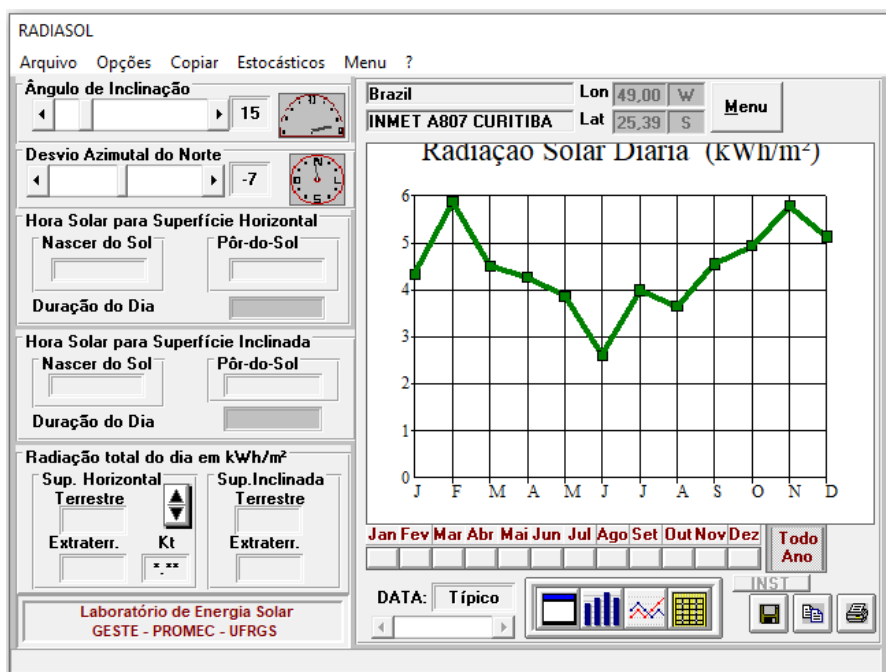
Tabela 18 - Irradiação no Plano Horizontal - INMET A807

set/20	out/20	nov/20	dez/20	jan/21	fev/21	mar/21	abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21
4,22	4,79	5,74	5,13	4,34	5,73	4,31	3,86	3,32	2,36	3,31	3,30

Fonte: INMET A807, 2021.

A Figura 73, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 1, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 73 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 1



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 19, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 1 com os valores medidos no período analisado.

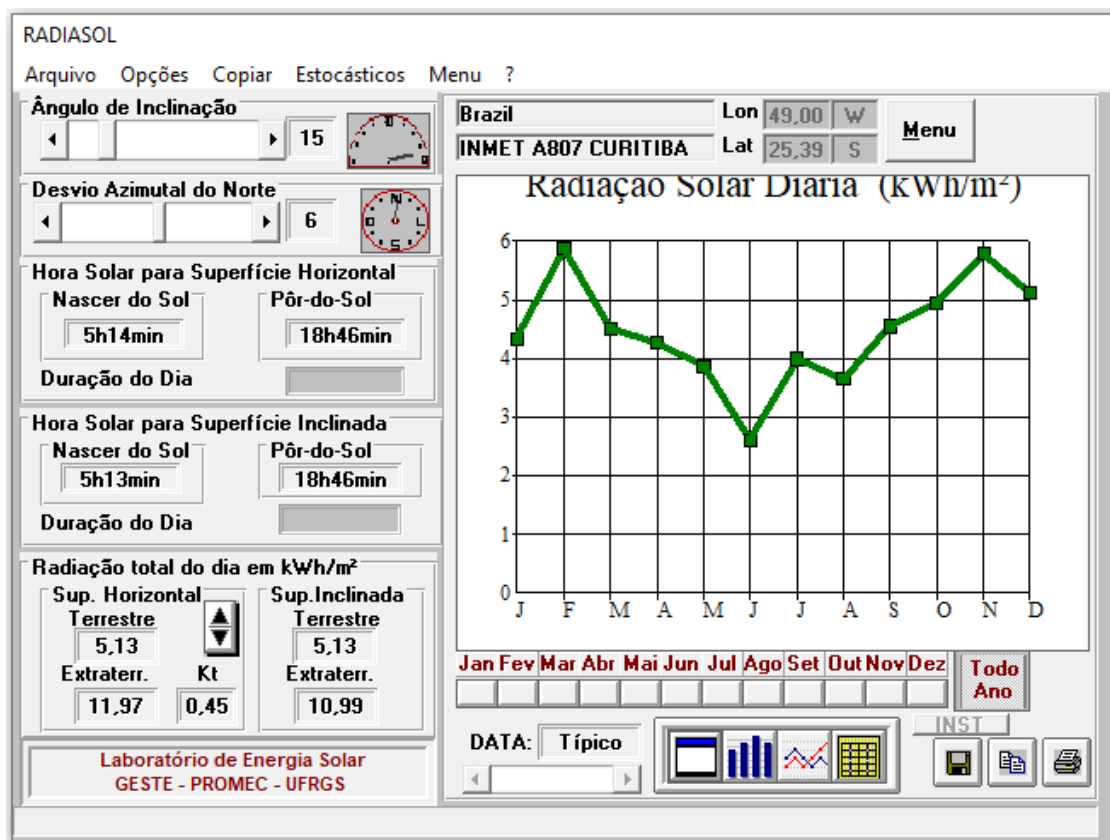
Tabela 19 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 1

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
6:30	104	108	57	21	0	0	0	4	41	81	124	126	56
7:30	213	266	183	144	106	63	101	113	171	215	275	254	175
8:30	330	446	332	297	254	166	257	249	327	371	443	393	322
9:30	435	605	473	453	412	277	424	389	480	513	589	514	464
10:30	510	714	573	570	538	370	559	500	591	612	688	598	569
11:30	550	771	623	630	606	422	633	558	647	662	742	643	624
12:30	551	774	625	633	609	424	637	561	649	664	745	645	626
13:30	512	723	578	577	547	374	570	506	598	618	696	602	575
14:30	439	619	481	463	423	281	438	398	491	523	601	521	473
15:30	334	461	339	307	263	169	268	255	337	380	456	400	331
16:30	215	277	188	149	111	64	107	117	176	222	285	259	181
17:30	105	113	59	23	0	0	0	4	44	83	129	129	57
18:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4328	5877	4511	4267	3869	2610	3994	3654	4552	4944	5791	5130	4461

Fonte: RADIASOL.

A Figura 74, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 2, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 74 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 2



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 20, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 2 com os valores medidos no período analisado.

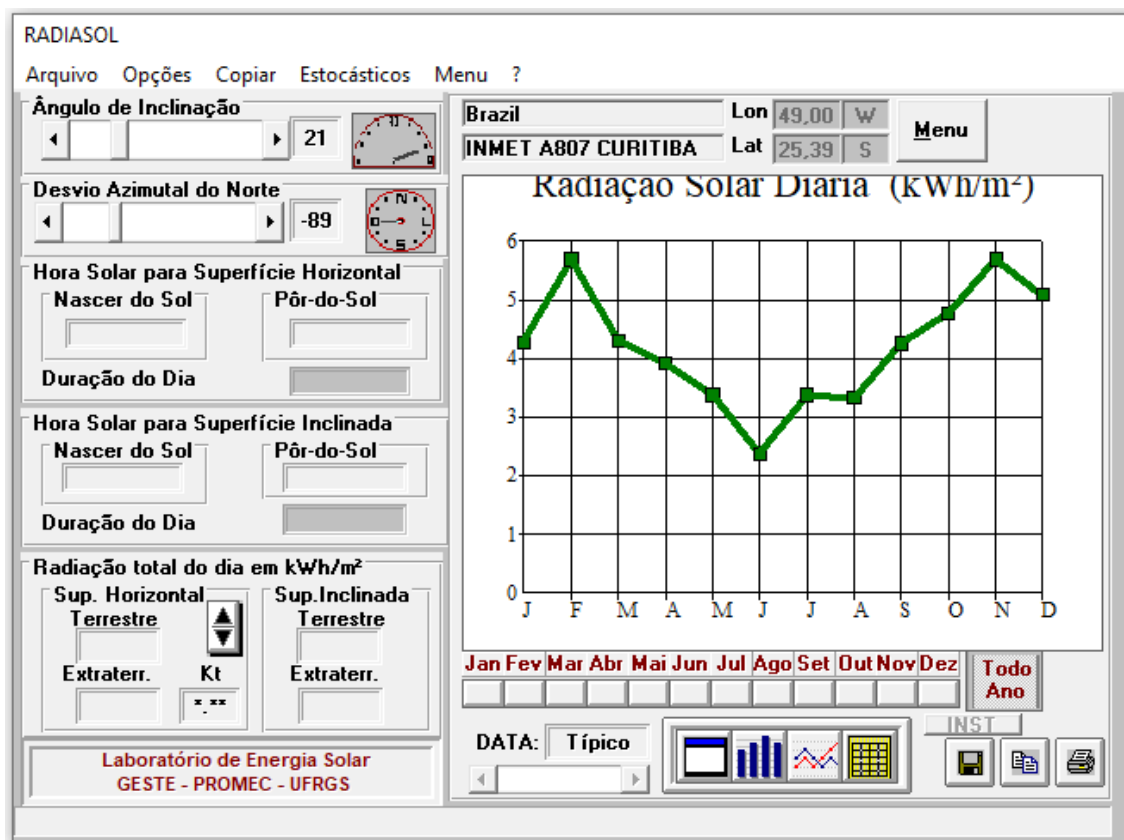
Tabela 20 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 2

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
6:30	105	113	59	23	0	0	0	4	44	83	129	128	57
7:30	215	276	188	149	110	64	107	117	176	221	284	259	181
8:30	333	460	339	306	262	169	267	255	336	380	455	399	330
9:30	438	618	480	462	422	281	438	397	490	522	600	520	472
10:30	512	722	578	577	546	374	570	506	598	618	695	602	575
11:30	551	774	625	633	609	424	637	561	649	664	744	644	626
12:30	551	771	624	630	606	423	633	559	647	662	742	643	624
13:30	511	714	573	570	539	370	560	500	591	612	689	598	569
14:30	436	606	473	453	412	277	426	390	481	514	590	515	464
15:30	330	447	332	298	254	166	258	249	328	372	444	393	323
16:30	213	267	184	145	106	63	101	114	171	216	276	254	176
17:30	104	108	57	21	0	0	0	4	42	81	124	126	56
18:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4329	5876	4512	4267	3866	2611	3997	3656	4553	4945	5790	5127	4461

Fonte: RADIASOL.

A Figura 75, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 3 oeste, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 75 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 3 - oeste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 21, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 3 face oeste, com os valores medidos no período analisado.

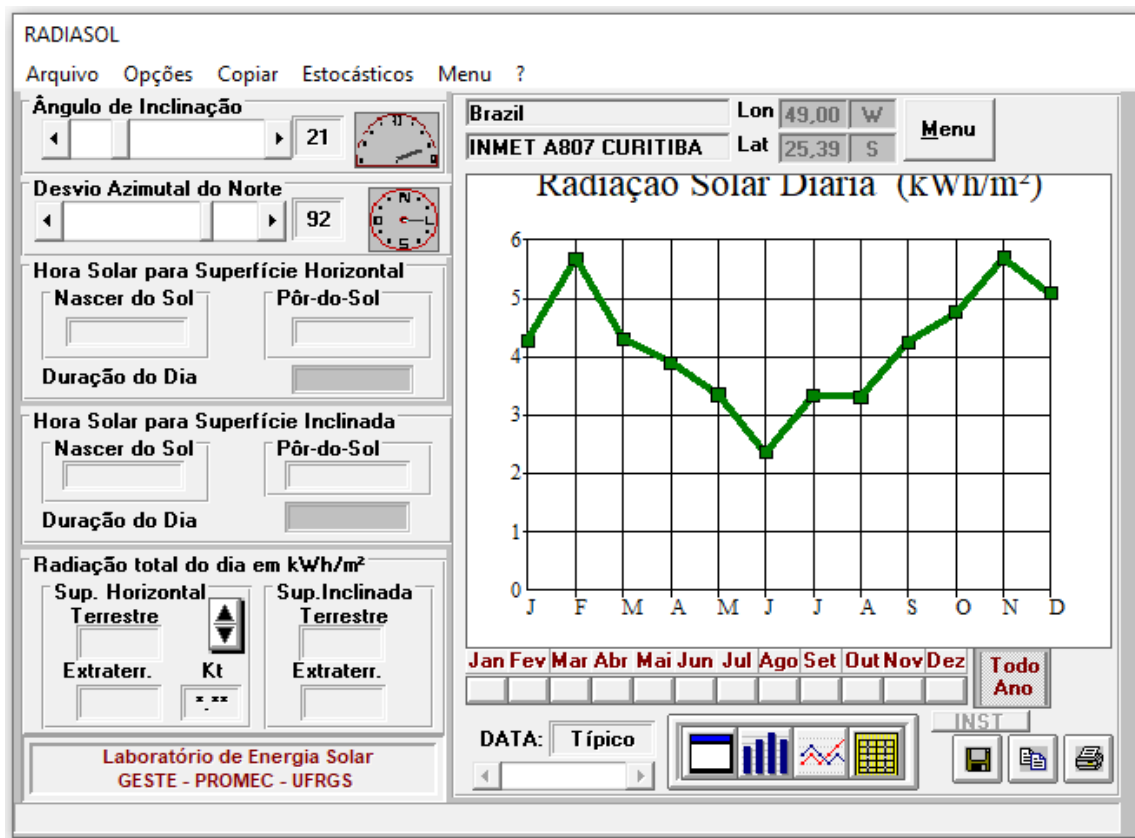
Tabela 21 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 3 - Oeste

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
6:30	100	96	54	19	0	0	0	4	38	75	111	117	51
7:30	200	212	158	118	83	56	73	96	140	183	229	229	148
8:30	309	361	283	234	183	141	167	200	263	315	373	355	265
9:30	412	510	410	362	305	233	292	316	395	446	514	474	389
10:30	490	633	514	477	420	316	414	420	508	553	626	565	495
11:30	536	716	579	555	504	372	506	490	583	620	702	622	565
12:30	544	752	600	585	540	387	549	515	612	643	732	638	591
13:30	513	735	574	560	515	355	529	487	589	620	712	611	567
14:30	448	665	496	474	425	278	438	402	507	547	645	546	489
15:30	349	527	365	331	281	173	288	270	367	417	519	435	360
16:30	228	336	209	168	125	67	124	128	200	252	341	290	206
17:30	112	147	69	32	0	0	0	4	55	99	163	147	69
18:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	31	6
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4274	5690	4311	3915	3381	2378	3380	3332	4257	4770	5698	5083	4206

Fonte: RADIASOL.

A Figura 76, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 3 leste, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 76 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 3 - leste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 22, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 3 face leste, com os valores medidos no período analisado.



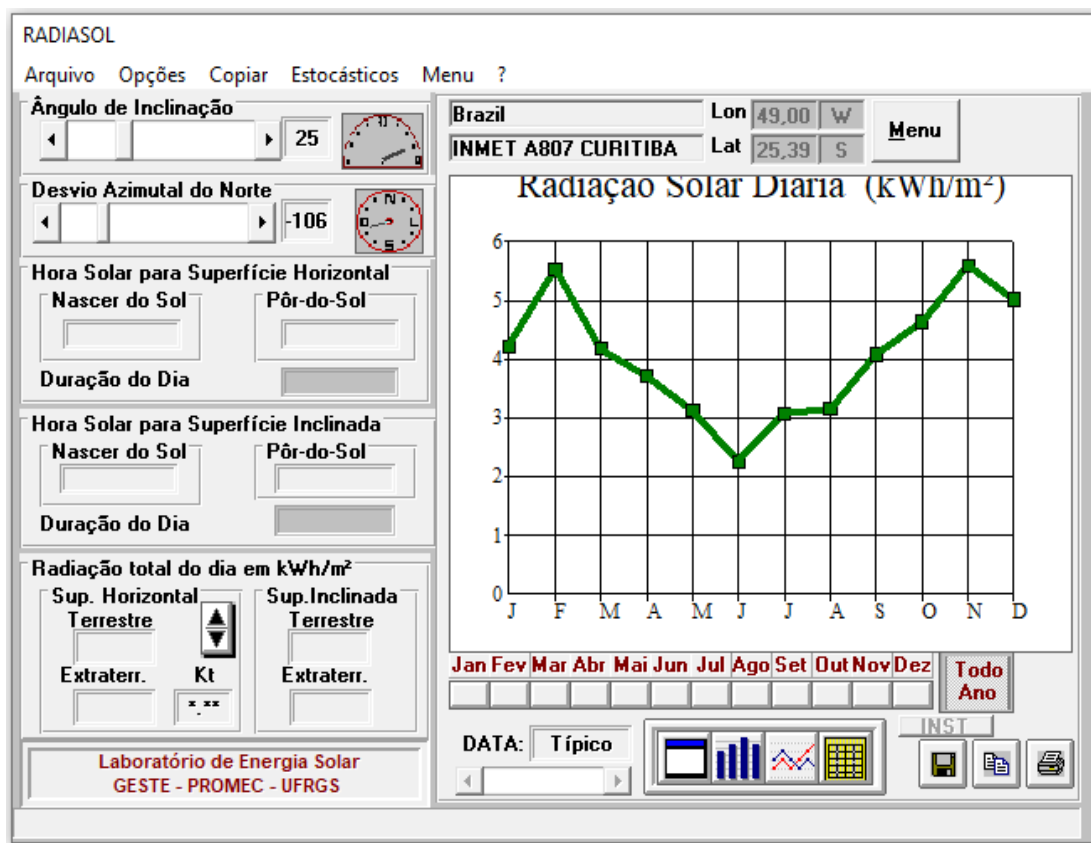
Tabela 22 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 3 - leste

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	31	6
6:30	112	147	69	32	0	0	0	4	55	99	163	147	69
7:30	228	336	208	167	124	67	123	128	200	252	342	291	206
8:30	349	527	365	329	279	172	285	269	366	417	519	436	359
9:30	448	664	495	471	421	277	433	399	505	546	645	546	488
10:30	513	734	573	557	511	353	523	484	586	618	711	611	565
11:30	544	750	599	582	535	385	542	512	609	642	731	637	589
12:30	536	715	578	552	499	370	500	487	581	619	701	622	563
13:30	490	632	513	474	416	314	408	417	506	551	626	565	493
14:30	412	509	409	360	302	232	288	314	393	446	514	474	388
15:30	309	360	282	232	182	141	165	199	262	314	373	355	265
16:30	200	212	157	118	83	56	73	96	140	183	230	230	148
17:30	100	96	54	19	0	0	0	4	38	75	111	117	51
18:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4274	5682	4302	3893	3352	2367	3340	3313	4241	4762	5698	5085	4192

Fonte: RADIASOL.

A Figura 77, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 4 oeste, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 77 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 4 - oeste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 23, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 4 face oeste.

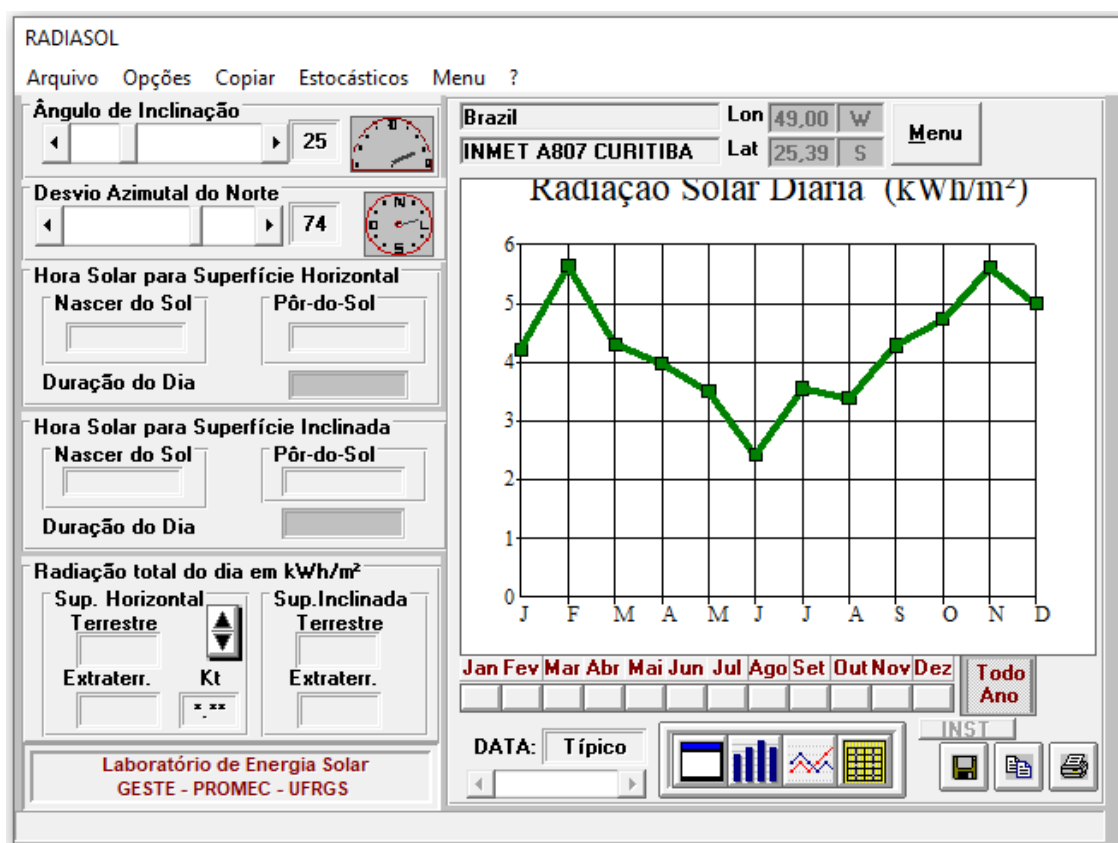
Tabela 23 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 4 - Oeste

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
6:30	98	95	53	18	0	0	0	4	38	74	110	116	51
7:30	196	202	155	117	82	56	73	96	138	177	221	224	145
8:30	303	341	270	217	168	137	152	187	247	301	358	346	252
9:30	403	483	390	335	273	220	251	293	369	426	493	461	366
10:30	481	604	491	443	378	296	361	390	478	530	604	552	467
11:30	527	689	557	519	458	349	449	458	552	598	681	609	537
12:30	536	729	580	553	497	365	496	486	584	624	715	627	566
13:30	507	719	558	534	481	338	486	463	566	605	700	604	547
14:30	444	656	486	456	402	267	409	386	493	538	640	542	477
15:30	348	528	361	323	270	168	274	263	361	414	521	436	356
16:30	229	341	208	166	122	66	121	126	199	253	348	294	206
17:30	113	152	70	32	0	0	0	4	56	101	168	150	71
18:30	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	33	7
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4218	5539	4179	3713	3131	2262	3072	3156	4081	4641	5594	5017	4050

Fonte: RADIASOL.

A Figura 78, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 4 leste, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 78 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 4 - leste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 24, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 4 face leste, com os valores medidos no período analisado.

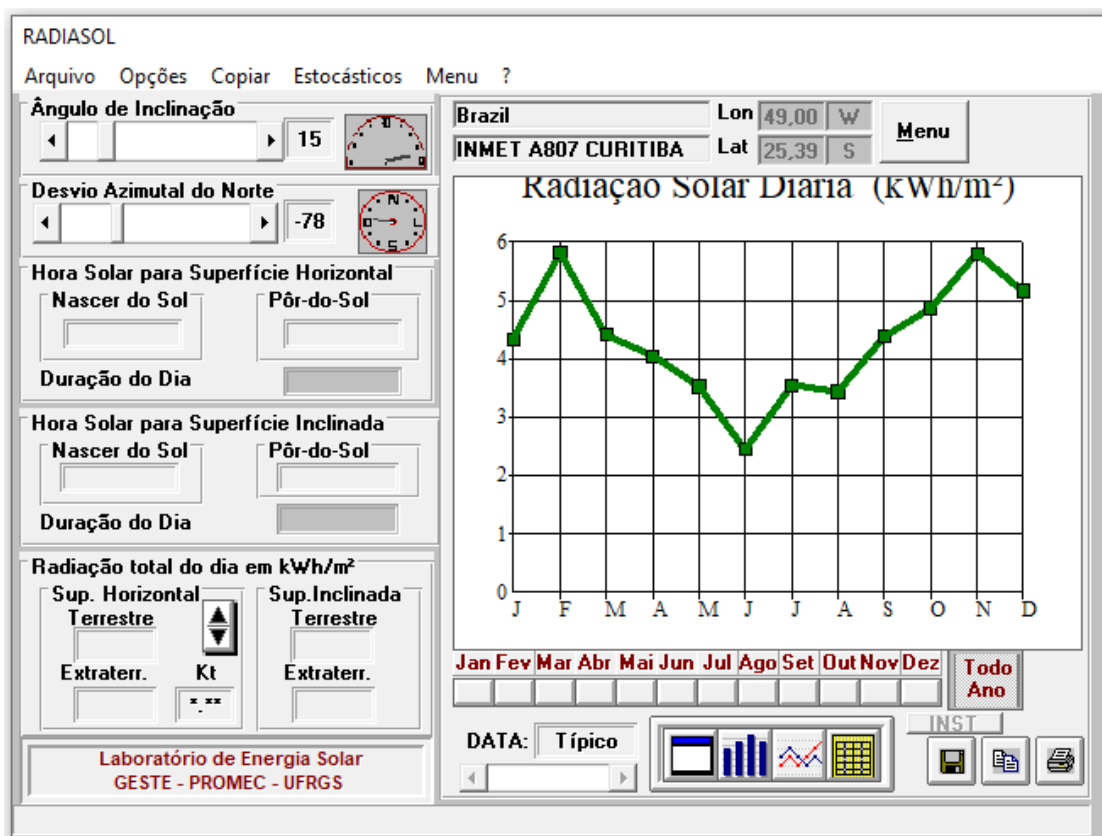
Tabela 24 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 4 - Leste

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	31	6
6:30	111	149	70	34	0	0	0	4	57	100	163	145	69
7:30	226	339	211	174	133	69	135	132	205	254	342	288	209
8:30	346	532	370	342	296	178	309	279	376	421	519	432	367
9:30	444	668	501	489	447	287	468	415	518	550	644	541	498
10:30	508	736	577	574	540	365	562	500	598	620	708	604	574
11:30	537	749	601	596	562	396	580	526	618	641	724	629	597
12:30	528	709	577	562	521	379	530	497	585	615	691	611	567
13:30	482	620	509	479	430	320	429	423	507	544	611	552	492
14:30	403	494	403	360	309	234	299	315	390	436	496	460	383
15:30	302	345	276	230	183	141	169	198	258	305	356	343	259
16:30	195	200	155	117	82	55	72	95	138	177	217	221	144
17:30	99	95	53	18	0	0	0	4	38	74	110	116	51
18:30	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4213	5636	4303	3975	3503	2424	3553	3388	4288	4737	5613	4996	4219

Fonte: RADIASOL.

A Figura 79, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 5 oeste, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 79 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 5 - oeste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 25, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 5 face oeste, com os valores medidos no período analisado.

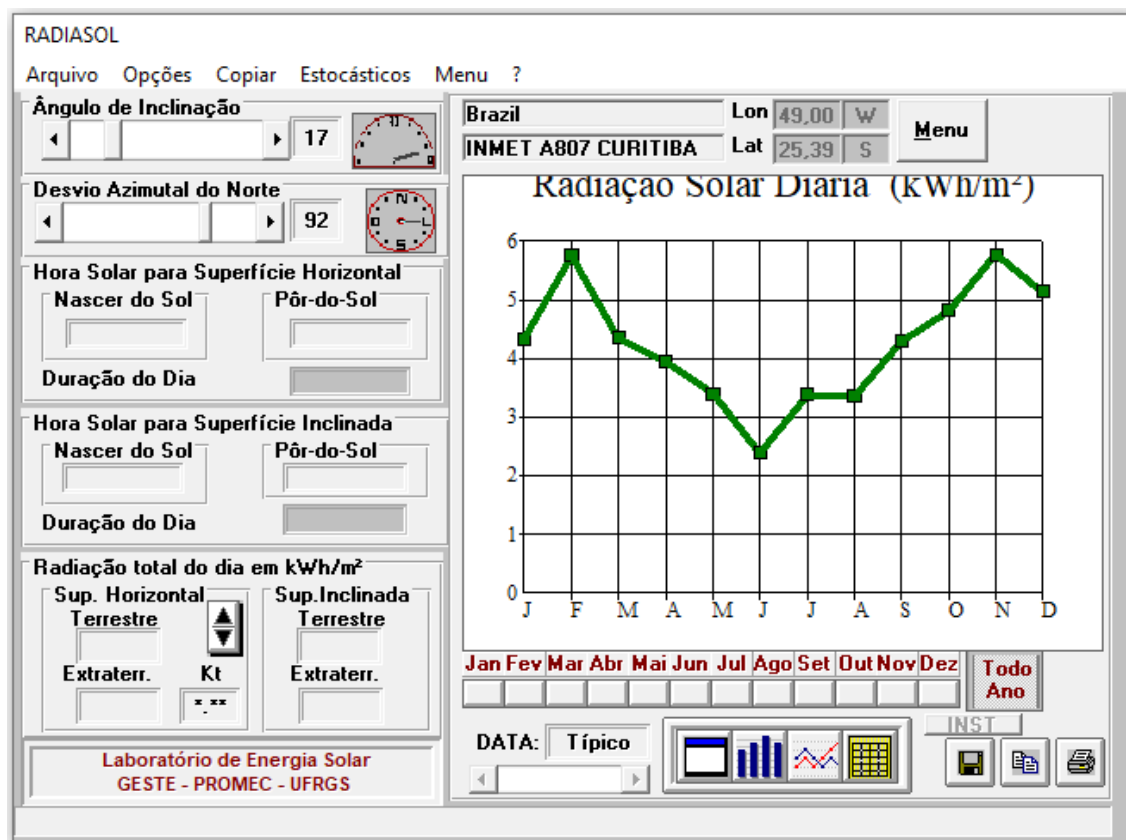
Tabela 25 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 5 - Oeste

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
6:30	101	96	54	19	0	0	0	4	38	75	112	120	52
7:30	206	232	167	123	83	57	73	98	149	195	247	240	156
8:30	320	393	300	254	204	149	193	215	285	336	401	372	285
9:30	424	548	433	392	337	247	330	339	425	473	546	494	416
10:30	502	667	538	509	457	333	457	446	539	578	655	583	522
11:30	547	743	599	582	536	389	544	514	608	640	724	637	589
12:30	552	768	614	603	562	400	575	532	628	656	745	648	607
13:30	519	740	581	569	525	362	540	495	596	626	716	616	574
14:30	451	658	496	473	424	280	436	402	506	545	640	545	488
15:30	348	513	360	324	275	172	280	266	360	410	506	430	354
16:30	226	320	204	163	120	67	118	125	194	244	327	284	199
17:30	111	138	66	29	0	0	0	4	52	95	154	142	66
18:30	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	29	5
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4339	5816	4412	4040	3523	2456	3546	3440	4380	4873	5800	5163	4316

Fonte: RADIASOL.

A Figura 80, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 5 leste, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 80 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 5 - leste



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 26, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 5 face leste, com os valores medidos no período analisado.



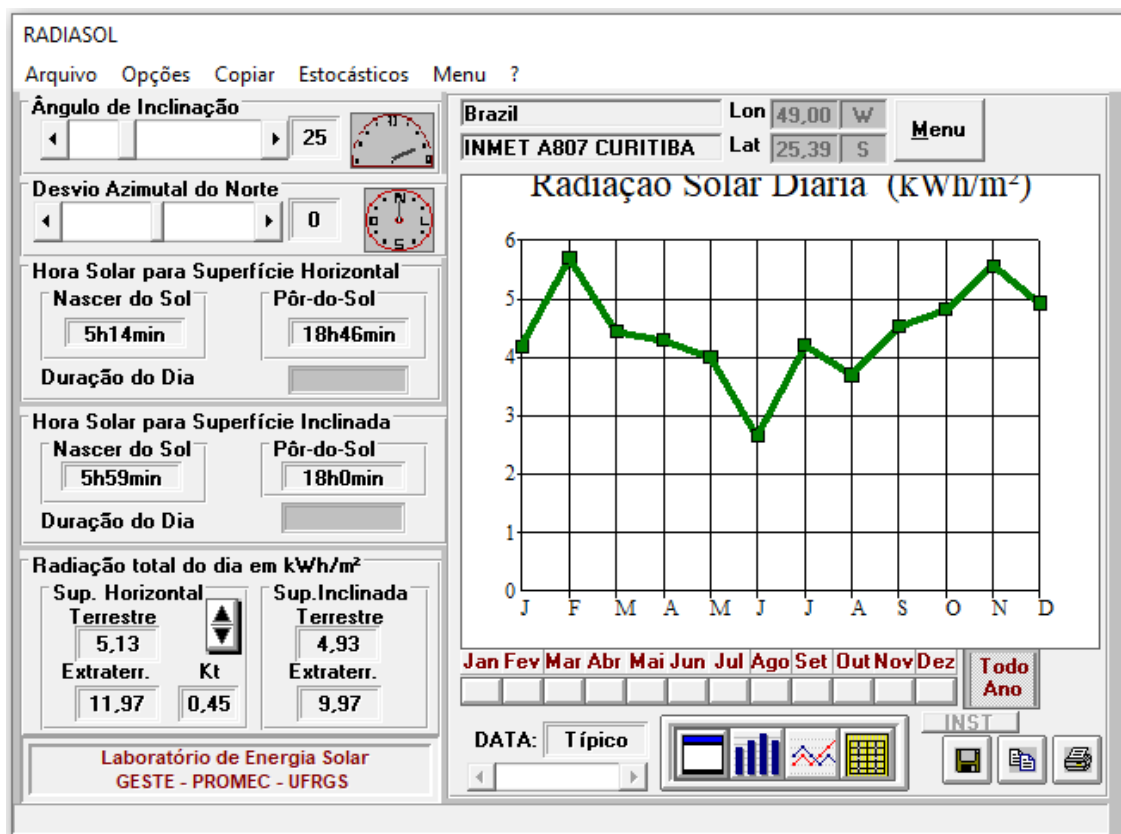
Tabela 26 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 5 - leste

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	30	6
6:30	112	142	67	30	0	0	0	4	53	97	158	145	67
7:30	228	327	205	163	120	66	118	125	195	247	334	288	201
8:30	349	518	361	323	272	171	277	265	360	412	512	433	354
9:30	450	660	494	468	416	276	426	397	502	544	643	546	485
10:30	517	736	575	559	511	355	522	486	588	621	714	615	567
11:30	550	759	606	589	542	389	550	518	616	649	740	645	596
12:30	543	730	589	564	513	377	515	498	593	630	715	632	575
13:30	498	652	526	490	433	323	427	430	522	566	644	577	507
14:30	420	533	422	376	318	239	307	326	410	462	534	487	403
15:30	316	381	293	244	192	145	178	207	275	327	392	367	276
16:30	204	225	163	119	83	57	73	97	144	191	242	237	153
17:30	100	96	54	19	0	0	0	4	38	75	112	118	51
18:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4320	5759	4355	3944	3400	2398	3393	3357	4296	4821	5769	5143	4246

Fonte: RADIASOL.

A Figura 81, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 6, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 81 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 6



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 27, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 6, com os valores medidos no período analisado.

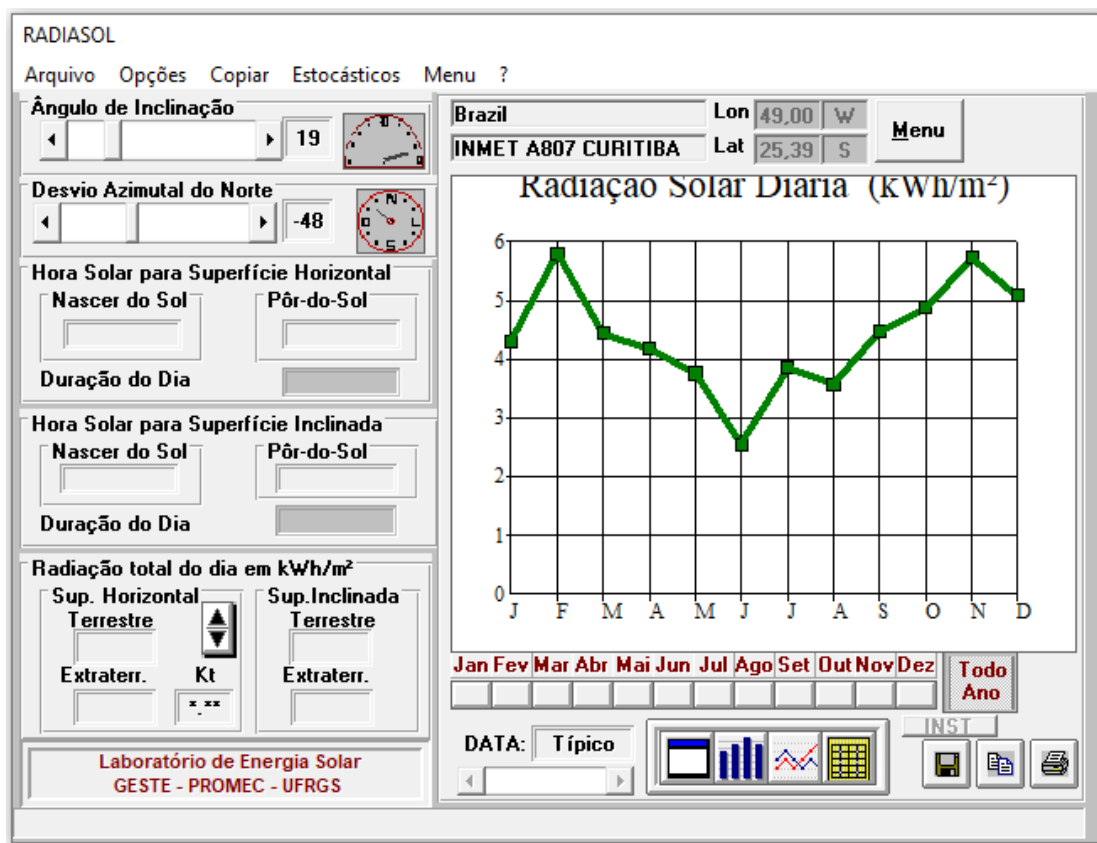
Tabela 27 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 6

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	22	4
6:30	101	105	57	22	0	0	0	4	42	79	119	121	54
7:30	206	260	182	147	112	64	110	116	172	212	266	245	174
8:30	320	437	329	303	267	169	276	254	329	365	429	379	321
9:30	423	593	469	461	432	284	455	398	483	505	572	497	464
10:30	496	700	567	578	562	379	595	510	592	602	669	579	569
11:30	535	755	616	637	630	432	669	567	646	650	720	622	623
12:30	535	755	616	637	630	432	669	567	646	650	720	622	623
13:30	496	700	567	578	562	379	595	510	592	602	669	579	569
14:30	423	593	469	461	432	284	455	398	483	505	572	497	464
15:30	320	437	329	303	267	169	276	254	329	365	429	379	321
16:30	206	260	182	147	112	64	110	116	172	212	266	245	174
17:30	101	105	57	22	0	0	0	4	42	79	119	121	54
18:30	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	22	4
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4190	5700	4440	4296	4006	2656	4210	3698	4528	4826	5568	4930	4421

Fonte: RADIASOL.

A Figura 82, mostra a tela do *software* RADIASOL, com estação solarimétrica virtual Sistema 7, já com os dados medidos de irradiação do local inseridos no período analisado.

Figura 82 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 7



Fonte: RADIASOL.

A Tabela 28, mostra os valores de Irradiação gerados a partir dos cálculos feitos pelo *software* RADIASOL para o sistema 7, com os valores medidos no período analisado.

Tabela 28 - Irradiação no plano inclinado do Sistema 7

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir Sair													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	23	4
6:30	100	96	54	18	0	0	0	4	38	75	111	118	51
7:30	203	229	167	126	88	57	78	101	151	194	242	236	156
8:30	316	392	303	263	217	153	212	223	291	336	396	366	289
9:30	420	549	438	408	362	257	364	354	436	475	542	487	424
10:30	498	670	544	529	491	348	503	466	553	582	652	577	534
11:30	542	747	606	604	575	406	595	536	624	644	722	630	603
12:30	547	771	620	625	600	418	626	553	643	660	742	641	621
13:30	514	740	586	588	559	377	585	514	609	627	710	608	585
14:30	445	655	499	487	449	290	470	416	515	545	631	536	495
15:30	342	506	361	332	288	177	299	273	364	407	495	420	355
16:30	222	313	202	165	125	68	125	127	194	241	317	276	198
17:30	109	133	66	29	0	0	0	4	52	93	147	138	64
18:30	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	27	5
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4289	5801	4446	4174	3754	2551	3857	3571	4470	4879	5732	5083	4384

Fonte: RADIASOL.

Os resultados dos cálculos foram sintetizados em uma tabela de resumo de valores e resultados, organizados por sistema, considerando os valores totais ou médios anuais. Dessa forma foram realizadas as análises e comparações para elaborar as conclusões finais.

A Tabela 29, mostra o resumo dos resultados dos valores calculados de cada Sistema.

Tabela 29 - Resumo de Valores e Resultados

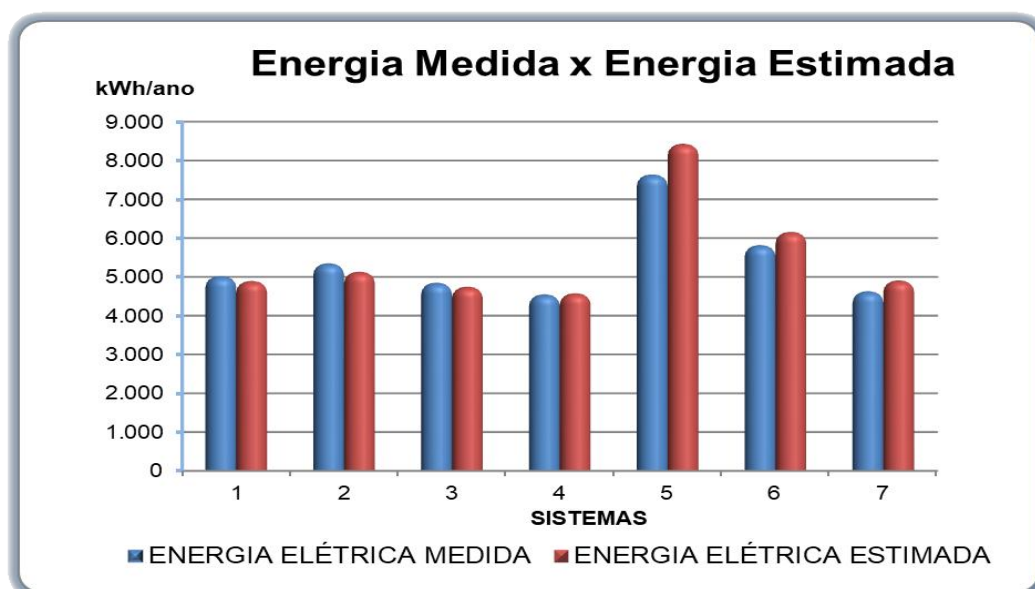
SFVCR	Potência (kWp)	Geração Energia (kWh/ano)	FC(%)	YIELD (kWh/kWp)	PR(%)	Potência Inversor (kW)	Fator de Dimensionamento (FDI)%
Sistema 1	4,02	5.020	14,26	1.249	76,70	3,3	0,82
Sistema 2	4,20	5.350	14,54	1.274	78,30	5,0	1,19
Sistema 3	4,20	4.850	13,18	1.155	75,30	5,0	1,19
Sistema 4	4,26	4.550	12,19	1.068	70,80	5,0	1,17
Sistema 5	7,20	7.640	12,11	1.061	67,80	7,5	1,04
Sistema 6	5,11	5.820	13,00	1.139	70,60	4,0	0,78
Sistema 7	4,10	4.630	12,89	1.129	70,60	4,6	1,12

Fonte: Autoria própria, 2022.

Para analisar o método utilizado nesta pesquisa, foi gerado o gráfico comparativo entre a geração de energia elétrica estimada e a geração de energia efetivamente medida. Dessa forma é possível realizar as análises e comparações também para embasar melhor as conclusões finais.

A Figura 83, mostra o gráfico comparativo entre a energia elétrica medida e a energia elétrica estimada para os sete sistemas analisados.

Figura 83 - Gráfico Energia Medida Versus Energia Estimada



Fonte: Autoria própria, 2022.

## 5 CONCLUSOES

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas.

A energia solar é uma fonte abundante e inesgotável de energia e o Brasil é um país privilegiado por estar próximo ao meridiano e ter um grande potencial de geração de energia fotovoltaica em comparação com os países da Europa, mesmo quando se trata de Curitiba, seus índices de irradiação também são muito bons, nesta comparação.

As normas e leis que regulamentam a Geração Distribuída e a compensação de créditos de energia são muito favoráveis ao consumidor brasileiro e a matriz solar fotovoltaica deve crescer exponencialmente nos próximos anos.

O método utilizado nesta dissertação para a estimativa de geração utilizando os dados da Ferramenta Interativa WEB e o RADIASOL, adotando o valor de *Performance Ratio* típico de 75%, assim como a utilização do RADIASOL com os dados de Irradiação do Inmet para o cálculo dos índices de mérito também apresentaram um resultado eficaz para as análises propostas.

O monitoramento dos inversores fornecido pelos fabricantes permite o acompanhamento do desempenho de forma simplificada para o usuário final e pode ser um indicativo inicial para a verificação de problemas de sobrecarga e perdas de produtividade.

O sistema 1 apresentou o segundo melhor resultado entre os índices de mérito dos sistemas analisados. O seu sistema apresentou uma sobrecarga de 17,91% em relação ao inversor, foi constatado então que este sistema sofre perda pelo corte de potência (ou efeito *Power Clipping*) nos melhores dias de geração do ano, mas que é compensado pelo melhor desempenho nos horários fora de pico. Para o inversor utilizado, a recomendação do fabricante é uma sobrecarga máxima de 30%, o que significa que não é possível ampliação deste Sistema, pois um novo módulo de 335W já ultrapassaria a sobrecarga admissível pelo manual do inversor. O painel não sofre efeito de sombreamento e apresentou facilidade na instalação em relação ao acesso ao telhado, sua inclinação suave permitiu que os trabalhos fossem executados de forma segura e rápida. Este sistema será substituído por um arranjo com 10 módulos de 550W e um Inversor ABB de 5kW no segundo semestre de 2022 em virtude da previsão de aumento de consumo do proprietário.

O sistema 2 apresentou os melhores índices de mérito entre os sistemas analisados. Seu o painel fotovoltaico foi instalado nas condições próximas das condições ótimas, teve um pequeno desvio de 6 graus a leste e uma inclinação de 15 graus, o que melhorou o desempenho no verão. Este sistema apresentou um alívio de carga de 19,5%, o que representa a possibilidade de ampliação do sistema com mais seis módulos de 355W sem comprometer a sobrecarga máxima admitida pelo fabricante. O telhado utilizado, apesar de possuir platibandas nas laterais, não foi afetado por sombreamento, sua instalação foi de fácil acesso ao telhado, instalado sobre o telhado de fibrocimento com base de madeira, que também facilitou a instalação dos suportes por não ser necessária a retirada de telhas.

O sistema 3 apresentou o terceiro melhor índices de mérito entre os sistemas analisados. Seu o painel fotovoltaico foi instalado com duas orientações diferentes, sendo o kit de equipamentos igual ao sistema 2. O que justifica a diferença da produtividade é o modo de instalação. Em relação a sobrecarga o sistema apresentou um alívio de carga de 19,05%, o que representa que há disponibilidade de potência no inversor para um futuro ampliação do sistema, assim como o sistema 2, permitindo a instalação de mais seis módulos de 355W, sem comprometer a sobrecarga máxima admitida pelo fabricante. Foi necessária a instalação de dois painéis em duas orientações diferentes em função do posicionamento do telhado, sendo uma orientada para oeste e a outra para o leste. O modelo de telha existente é do tipo colonial, o que facilitou a instalação, bem como o acesso ao telhado facilitado por uma grande sacada no segundo pavimento.

O sistema 4 apresentou o quarto melhor índice de produtividade mesmo não tendo os melhores índices de fator de capacidade entre os sistemas analisados. Seu o painel fotovoltaico foi instalado com duas orientações diferentes, também ficaram com as quantidades diferentes em função de que a área disponível na face leste possui uma limitação de espaço. Esta diferença causa uma diferença de tensão entre às duas entradas do inversor. O sistema apresentou um alívio de carga no inversor de 17,37% ou seja ainda é permitido uma ampliação de sete módulos de 355W, porém não há área de telhado disponível, o que traria a necessidade da troca dos módulos por outro de maior potência. A inclinação acentuada do telhado dificultou a execução da instalação e trabalhos em altura.

O sistema 5, apesar de ser o de maior potência instalada, apresentou os piores índices de mérito entre os sistemas analisados. Seus dois painéis



fotovoltaicos foram instalados acompanhando a inclinação e orientação do telhado, sendo que o desvio a leste foi superior a 90 graus. Ademais, o painel com orientação oeste está fixado rente ao telhado metálico, fato este que reduz a ventilação do painel e pode causar um maior aquecimento dos módulos. Este sistema não sofre influência de sombreamento. Em relação a sobrecarga apresentou um alívio de carga de 4,17% permitindo uma ampliação futura de oito módulos de 400W, pois seu inversor permite uma sobrecarga de 40%, segundo o fabricante.

O sistema 6 apresentou o segundo pior índices de mérito entre os sistemas analisados. Seu o painel fotovoltaico foi instalado nas condições próximas das condições ótimas, orientado para o norte geográfico e uma inclinação igual à latitude de Curitiba de 25°. Porém apresentou uma sobrecarga de 21,72%, o que justifica parte de sua perda com a ocorrência do efeito de corte de potência de sua geração em momento de pico de geração acima de sua potência. A instalação do inversor em um ambiente sem ventilação evidenciou uma maior perda por aquecimento no momento da transformação de energia CC em CA, o que contribuiu significativamente para diminuir a Taxa de Desempenho deste sistema. Sua instalação foi facilitada pelo modelo da telha colonial, porém a inclinação acentuada do seu telhado dificultou os trabalhos em altura, seu acesso foi facilitado pelo telhado da churrasqueira no primeiro pavimento, que possibilitou o acesso em dois planos.

O sistema 7, também apresentou um dos piores índices de mérito entre os sistemas analisados. Seu o painel fotovoltaico foi instalado com um desvio a oeste, após sete meses do início de sua operação iniciou-se uma construção de um prédio de três pavimentos no terreno ao fundo, esta construção projeta uma sombra ao final da tarde em parte do painel, causando uma perda de produtividade no período do inverno. Não apresentou sobrecarga em seu inversor ficando com um alívio de carga de 12,2% em relação a potência nominal de entrada, segundo os dados de placa do fabricante pode ser sobrecarregado em 40%. A instalação do sistema apresentou uma grande dificuldade de acesso ao telhado e também em relação a sua inclinação acentuada.

A análise dos índices de méritos apresentados revela que os resultados estão dentro dos valores desejados e aceitáveis. Verificou-se que os sistemas com o arranjo com apenas uma orientação para o norte, mesmo com desvio azimutal, apresentaram resultados superiores aos sistemas com dois circuitos com orientação

e desvio azimutal diferente. Verificou-se que seis sistemas possuem células fotovoltaicas fabricadas a partir do mesmo material, silício policristalino, e mesmo assim, os índices de desempenho destes sistemas apresentaram valores diferentes.

A análise comparativa entre os valores de energia elétrica gerada e os valores de energia estimados, foram mais acentuadas nos sistemas em que a *performance ratio* ficou abaixo de 75%.

Por fim, pode-se afirmar que o principal fator que justifica a diferença no que diz respeito à geração de energia elétrica foi o modo de instalação dos painéis fotovoltaicos, mais precisamente a inclinação e o desvio azimutal, principalmente quando se compara os sistema 2 e 3 que possuem o mesmo Kit fotovoltaico CANADIAN instalados com topologias diferentes.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da Análise Comparativa de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede Instalados em Curitiba com Diferentes Topologias, sugere-se para trabalhos futuros:

- ampliar o período de coleta e análise dos dados de geração de energia elétrica e da Irradiação anual;
- analisar fatores de perda como a sujidade, perda por aquecimento e por degradação do material dos módulos ao longo dos anos;
- aplicar o método para outras regiões do Paraná, utilizando a Ferramenta Interativa WEB e o RADIASOL.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Energia solar**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_solar/3\\_2.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_2.htm). Acesso em: 24 de novembro 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Registros de micro e minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**. Brasília, 2017b. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Fonte.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp). Acesso em: 07 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa Nº 687**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2021.

ANEEL. **NOTA TÉCNICA 0056 . 2017**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica\\_0056\\_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9)>. Acesso em: 26 de novembro 2021.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTNBR 10899: Energia Solar Fotovoltaica — Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ATLAS DE ENERGIA SOLAR DO ESTADO DO PARANÁ, 2017. Disponível em: <http://www.atlassolarparana.com>. Acesso em 5 de março de 2022.

PRODIST. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. 2018. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9)>. Acesso em: 22 de novembro 2021.

RADIASOL. Disponível em: < <http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 11. Nov. 2021.

REN21, **RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR DE 21ST CENTURY**. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. "**Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**". 1a Edição. Curitiba: INPE, 2017.

TONIN, Fabianna Stumpf. **Caracterização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, na cidade de Curitiba**. 2017.

TONOLO, Édwin Augusto. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR campus Curitiba**. 2019.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis-SC, 2010. Disponível em: [http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese\\_Jair\\_Urbanetz\\_Junior.pdf](http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Jair_Urbanetz_Junior.pdf)

Acesso em: 25 de novembro de 2019.

## APÊNDICE

Artigos Científicos Publicados Durante o Desenvolvimento da Dissertação

**Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos instalados com diferentes topologias na cidade de Curitiba.** Publicado nos anais do resumo aprovado no XIII CBPE 2022 – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Autores: Joel Claudiano da Silva, Jair Urbanetz Júnior. \*

**ANÁLISE DOS ÍNDICES DE MÉRITO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AMBIENTES DISTINTOS – SOLO E FLUTUANTE.** Publicado nos anais do IX CBENS 2022 - Congresso Brasileiro de Energia Solar. Autores: Carlos Eduardo Teixeira das Neves, Jair Urbanetz Júnior, Joel Claudiano da Silva, Roberson Pereira Ziwich, Gustavo Rafael Collere Possetti, Luis Henrique Novak.

**ASPECTOS AMBIENTAIS, DE LICENCIAMENTO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES NO ESTADO DO PARANÁ.** Publicado nos anais do IX CBENS 2022 - Congresso Brasileiro de Energia Solar. Autores: Soraia Giordani, Cícero Martins Júnior, Carlos Eduardo Teixeira das Neves, Jair Urbanetz Júnior, Joel Claudiano da Silva.

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE INSTALADOS EM CURITIBA COM DIFERENTES TOPOLOGIAS.** Publicado nos anais do IX CBENS 2022 - Congresso Brasileiro de Energia Solar . Autores: Joel Claudiano da Silva, Jair Urbanetz Júnior, Carlos Eduardo Teixeira das Neves.

**Estudo de Caso da Mudança de Gás GN Para GLP na WHB Automotive SA.** Publicado nos anais do XII CBPE 2020 – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Autores: Joel Claudiano da Silva, Fabio Fernando Wasilewski Da Cruz, Fernando Werner, Gustavo Valpecovski Urbanetz, Jair Urbanetz Júnior.

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELETRICA COM A IMPLANTAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES EM RESERVATÓRIOS DE AGUA NO ESTADO DO PARANÁ.** Publicado nos anais do XI CBPE 2018 – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Autores: Carlos Eduardo Teixeira das Neves, Joel Claudiano da Silva, Jair Urbanetz Júnior, Gustavo Rafael Collere Possetti, Luis Henrique Novak.

**A INFLUÊNCIA DO SFVCR NO AUMENTO DA VIDA UTIL DE TRANSFORMADORES DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO.** Publicado nos anais do XI CBPE 2018 – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Autores: Joel Claudiano da Silva, Carlos Eduardo Teixeira das Neves, Ângelo Magno da Silva Jair Urbanetz.