



UFPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIAS ELÉTRICA E BIOMÉDICA

GLECIA BEZERRA ROCHA

ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DOIS
EDIFÍCIOS UNIVERSITÁRIOS: Estudo de caso do Instituto de
Geociência e da Biblioteca

Belém – PA

2025



UFPA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIAS ELÉTRICA E BIOMÉDICA**

GLECIA BEZERRA ROCHA

**ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DOIS
EDIFÍCIOS UNIVERSITÁRIOS: Estudo de caso do Instituto de
Geociência e da Biblioteca**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharias Elétrica e Biomédica da Universidade Federal do Pará como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharias Elétrica.

Orientadora: Profa. Dra. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho

Belém – PA

2025

GLECIA BEZERRA ROCHA
ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DOIS
EDIFÍCIOS UNIVERSITÁRIOS: Estudo de caso do Instituto de
Geociência e da Biblioteca

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharias Elétrica e Biomédica da Universidade Federal do Pará como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharias Elétrica.

Orientadora: Profa. Dra. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho

Data da defesa: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a Carminda Célia Moura de Moura Carvalho
(FEEB/ITEC/UFPA – Orientadora)

Eng. Msc. Bruno Santana de Albuquerque,
(DOUTORANDO PPGEE/UFPA – Coorientador)

Prof. Dr. Allan Rodrigo Arrifano Manito
(FEEB/ITEC/UFPA – Examinador 1)

Eng. Bianca Beatriz Silva Correia
(MESTRANDA PPGEE / UFPA – Examinador 2)

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, porque sem ele não estaria aqui, por ser minha rocha e meu refúgio nas dificuldades que enfrentei nesta jornada.

À minha família, meus pais Edson e Rita Rocha, que acreditaram em mim e me apoiaram quando duvidei, meu irmão, Mateus, que enfrentou a mesma jornada com coragem. A memória da minha avó Domingas e da minha tia Joana, que não puderam ver esta conquista, mas que contribuíram para a minha jornada acadêmica com amor e coragem. Aos meus primos, que sabem a dificuldade de entrar na universidade pública sendo um jovem periférico. A todos os meus amigos, meus sinceros agradecimentos, em especial o Squad Omelas, por sempre acreditar que “O momento ainda está por vir”.

À Profa. Dra. Carmina Célia, pela oportunidade de fazer parte do Laboratório de Modelagem e Simulação de Sistemas Elétricos e Termo Energéticos (LABSIM), por seus conselhos e ensinamentos que foram fundamentais para conclusão deste trabalho e para meu crescimento acadêmico.

Ao Laboratório de Modelagem e Simulação de Sistemas Elétricos e Termo Energéticos (LABSIM), agradeço a oportunidade de aprendizado, suporte e estrutura. Aos meus colegas de laboratório que me orientaram quando precisei.

Aos engenheiros eletricitas Adriano, Sérgio e Olyntho, do Banpará, que me orientaram no meu primeiro estágio profissional. A engenheira Steffane, da Albras, que foi minha tutora no meu segundo estágio profissional. Suas orientações, ensinamentos e incentivo foram indispensáveis para o meu desenvolvimento.

“Está tudo bem não ter um sonho, contanto que
haja momentos em que você sinta felicidade.”

Paradise, BTS

INFORMATIVO

Neste documento constam o artigo submetido ao XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO – CBPE, no ano de 2024, assim como sua respectiva comprovação de aceite, utilizados para o crédito na disciplina de Trabalho de Curso, de acordo com a Resolução N. 01/2024 da Faculdade de Engenharias Elétrica e Biomédica.

RESUMO

A crescente demanda por alternativas energéticas renováveis e sustentáveis é impulsionada pela necessidade de mitigar os impactos ambientais das fontes tradicionais e atender às crescentes necessidades energéticas globais. A energia fotovoltaica destaca-se como uma solução promissora, especialmente no Brasil devido à abundância de recursos solares. Nas instituições de ensino superior, a implementação de sistemas fotovoltaicos não apenas visa reduzir custos com energia elétrica, mas também promover a sustentabilidade ambiental e formar profissionais conscientes. Este estudo focaliza a implantação de um sistema fotovoltaico nos edifícios de uma universidade, destacando-se como referência ao conscientizar a sociedade sobre os benefícios da energia solar e ressaltar a importância da sustentabilidade. A metodologia incluiu análise da localização dos edifícios, inclinação dos telhados, pontos de sombreamento e simulação de geração mensal pelo software PVsyst. Resultados indicam que o sistema proposto, com 720 módulos de 575 Wp e 3 inversores, gerou 624,04 MWh. O investimento inicial foi de R\$ 1.067.711,30, com economia projetada de R\$ 387.097,58 em cinco anos e R\$ 5.544.737,42 em 25 anos. Em conclusão, a adoção de sistemas fotovoltaicos em ambientes acadêmicos promove eficiência energética, sustentabilidade e benefícios econômicos significativos a longo prazo.

Palavras-Chave: Sustentabilidade. Eficiência Energética. Sistema Fotovoltaico. Energia Solar. Geração de energia.

ABSTRACT

The increasing demand for renewable and sustainable energy solutions is driven by the need to mitigate environmental impacts of traditional sources and meet rising global energy needs. Solar photovoltaic energy stands out as a promising solution, particularly in Brazil due to abundant solar resources. Within higher education institutions, the implementation of photovoltaic systems aims not only to reduce electricity costs but also to promote environmental sustainability and educate conscientious professionals. This study focuses on deploying a photovoltaic system in university buildings, serving as a model to raise awareness about solar energy benefits and emphasize sustainability. Methodology included site analysis, roof inclination assessment, shading points identification, and monthly generation simulation using PVsyst software. Results show that the proposed system, with 720 modules of 575 Wp and 3 inverters, generated 624.04 MWh. The initial investment was R\$ 1,067,711.30, with projected savings of R\$ 387,097.58 over five years and R\$ 5,544,737.42 over 25 years. In conclusion, adopting photovoltaic systems in academic settings promotes energy efficiency, sustainability, and significant long-term economic benefits.

Keywords: Sustainability. Energy Efficiency. Photovoltaic System. Solar Energy. Power Generation.

LISTA DE ABREVIATURAS/ SIGLAS

Figura 1 – Localização geográfica via <i>Google Earth</i>	13
Figura 2 – Vista superior da edificação com os possíveis causadores de sombreamento.....	14
Figura 3 – Dimensões do módulo FV JKM575N-72HL4-V TIGER NEO da Jinko Solar.....	14
Figura 5 – Vista da modelagem 3D dos módulos no edifício.....	15
Figura 4 – Dados dos Datasheet dos inversores.....	17
Figura 5 – Geração mensal de cada sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca.....	18
Figura 6 – Geração total mensal do sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca.....	19
Figura 7 – Custo do sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca.....	20
Figura 8 – Valor do investimento inicial do SFV e da troca de inversores a cada 10 anos.....	21
Figura 9 – Retorno financeiro do sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS/ SIGLAS

B1, B2, B3	Nome dos agrupamentos dos módulos fotovoltaicos da Biblioteca, dividido em 1, 2 e 3
CBPE	Congresso Brasileiro de Planejamento Energético
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
IG	Instituto de Geociências
IG1, IG2	Nome dos agrupamentos dos módulos fotovoltaicos do Instituto de Geociências, dividido em 1 e 2
Imp	Corrente no Ponto de Máxima Potência
Isc	Corrente de Curto-Circuito
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i> (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência)
MWh	Megawatt-hora
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i> (Temperatura Nominal de Operação da Célula)
Pmax	Potência Máxima
PVsyst	Software de Simulação Fotovoltaica
SFV	Sistema Fotovoltaico
STC	<i>Standard Test Conditions</i> (Condições Padrão de Teste)
Vmp	Tensão no Ponto de Máxima Potência
Voc	Tensão de Circuito Aberto
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. Modelagem	12
2.2. Módulos fotovoltaicos	14
2.3. Dimensionamento dos inversores	16
2.4. Análise de custos	19
3. CONCLUSÃO	22
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
ANEXO A – COMPROVANTES	23
ANEXO B – Sombreamento do sistema obtido via software <i>SketchUp</i>	24
ANEXO C – Gráficos geração de energia dos sistemas fotovoltaicos	28
ANEXO D – Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico do Instituto de Geociências e Biblioteca	32
ANEXO E – <i>Datasheet</i> do módulo “JKM575N-72HL4-V TIGER NEO” da <i>Jinko Solar</i>	33
ANEXO F – <i>Datasheets</i> dos inversores “Growatt- MID 30KTL3-X”, “Growatt-MID 33KTL3-X” e “Growatt-MID 36KTL3-X” da <i>Growatt</i>	34



ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DOIS EDIFÍCIOS UNIVERSITÁRIOS ESTUDO DE CASO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA E DA BIBLIOTECA

Glecia Bezerra Rocha¹, Ayrton Lucas Lisboa do Nascimento¹, Edilberto Oliveira Rozal Filho¹, Bruno Santana de Albuquerque¹, Carminda Célia Moura de Moura Carvalho¹, Maria Emilia Tostes¹

RESUMO

A crescente demanda por alternativas energéticas renováveis e sustentáveis é impulsionada pela necessidade de mitigar os impactos ambientais das fontes tradicionais e atender às crescentes necessidades energéticas globais. A energia fotovoltaica destaca-se como uma solução promissora, especialmente no Brasil devido à abundância de recursos solares. Nas instituições de ensino superior, a implementação de sistemas fotovoltaicos não apenas visa reduzir custos com energia elétrica, mas também promover a sustentabilidade ambiental e formar profissionais conscientes. Este estudo focaliza a implantação de um sistema fotovoltaico nos edifícios de uma universidade, destacando-se como referência ao conscientizar a sociedade sobre os benefícios da energia solar e ressaltar a importância da sustentabilidade. A metodologia incluiu análise da localização dos edifícios, inclinação dos telhados, pontos de sombreamento e simulação de geração mensal pelo software PVsyst. Resultados indicam que o sistema proposto, com 720 módulos de 575 Wp e 3 inversores, gerou 624,04 MWh. O investimento inicial foi de R\$ 1.067.711,30, com economia projetada de R\$ 387.097,58 em cinco anos e R\$ 5.544.737,42 em 25 anos. Em conclusão, a adoção de sistemas fotovoltaicos em ambientes acadêmicos promove eficiência energética, sustentabilidade e benefícios econômicos significativos a longo prazo.

Palavras-Chave: Sustentabilidade; Eficiência Energética; Sistema Fotovoltaico; Energia Solar; Geração de energia.

ABSTRACT

The increasing demand for renewable and sustainable energy solutions is driven by the need to mitigate environmental impacts of traditional sources and meet rising global energy needs. Solar photovoltaic energy stands out as a promising solution, particularly in Brazil due to abundant solar resources. Within higher education institutions, the implementation of photovoltaic systems aims not only to reduce electricity costs but also to promote environmental sustainability and educate conscientious professionals. This study focuses on deploying a photovoltaic system in university buildings, serving as a model to raise awareness about solar energy benefits and emphasize sustainability. Methodology included site analysis, roof inclination assessment, shading points identification, and monthly generation simulation using PVsyst software. Results show that the proposed system, with 720 modules of 575 Wp and 3 inverters, generated 624.04 MWh. The initial investment was R\$ 1,067,711.30, with projected savings of R\$ 387,097.58 over five years and R\$ 5,544,737.42 over 25 years. In conclusion, adopting photovoltaic systems in academic

¹ Universidade Federal do Pará
(gleciarocha9@gmail.com)





settings promotes energy efficiency, sustainability, and significant long-term economic benefits.

Keywords: Sustainability; Energy Efficiency; Photovoltaic System; Solar Energy; Power Generation.

1. INTRODUÇÃO

A busca por energias renováveis está crescendo, especialmente devido às maiores demandas por energia e à necessidade de reduzir os impactos ambientais das fontes convencionais. A energia fotovoltaica, com sua ampla disponibilidade no Brasil, emerge como uma opção promissora. Nas universidades, a instalação de sistemas fotovoltaicos não só cortar custos de eletricidade, mas também promove a sustentabilidade e forma profissionais conscientes para um futuro mais verde. Assim, ao adotar esses sistemas, as universidades não apenas se destacam como referências, educando a sociedade sobre os benefícios da energia solar, mas também sublinham a importância da sustentabilidade ambiental.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Modelagem 3D

O estudo começou com a identificação dos edifícios do Instituto de Geociências (IG/UFPA) e da Biblioteca do Instituto de Geociências, situados no Campus Guamá da Universidade Federal do Pará, visando dimensionar um sistema fotovoltaico. Realizou-se uma inspeção inicial dos prédios para avaliar sua estrutura. Utilizando o Google Earth, estimou-se a altura das edificações e de objetos potenciais de sombreamento, como árvores e caixas d'água, por meio da camada 3D e da ferramenta de medição. Para um dimensionamento adequado, considerou-se a localização geográfica dos prédios e dos elementos que poderiam causar sombreamento no sistema fotovoltaico, dado que a irradiação solar varia conforme latitude e longitude. A imagem dos prédios em relação ao norte geográfico está ilustrada na Figura 1.





Figura 1: Localização geográfica via *Google Earth*

Fonte: Google Earth, modificado pelo autor (2024)

Por meio da planta baixa feita no AutoCad e as informações de geolocalização obtidas anteriormente, foi possível obter as dimensões do prédio. A modelagem 3D da edificação foi realizada no programa *SketchUp* com o uso dos dados obtidos, considerando fatores como altura e inclinação do telhado, bem como, possíveis causadores de sombreamento, como árvores, partes dos prédios e caixas d'água, os quais foram observados durante as visitas no local.

Tomando como referência o norte geográfico, foram identificados alguns possíveis causadores de áreas de sombreamento no telhado da edificação. Conforme apresentado na Figura 2, ao norte da edificação encontram-se árvores e caixas d'água que possuem potencial de sombreamento, devido a sua altura e proximidade dos prédios, podendo causar impacto na eficiência da geração de energia nas primeiras horas do dia. Ao sul e leste também são encontradas árvores que podem sombrear os módulos fotovoltaicos, o que diminuiria a geração. Baseada nessa análise é possível dar início à disposição dos módulos sobre os telhados, considerando todos os possíveis pontos de sombreamento.



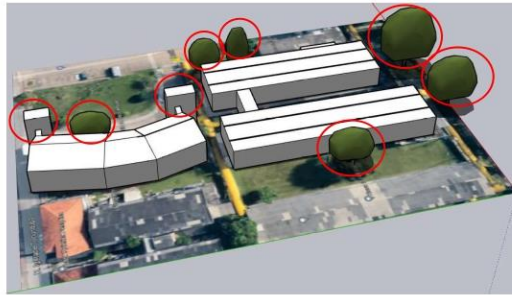


Figura 2: Vista superior da edificação com os possíveis causadores de sombreamento
Fonte: *SketchUp*, modificado pelo autor (2024)

2.2 Módulos fotovoltaicos

Para o desenvolvimento do projeto do sistema fotovoltaico, após a modelagem da envoltória dos prédios, foi escolhido o módulo fotovoltaico no modelo JKM575N-72HL4-V TIGER NEO, tecnologia monocristalino, da marca *Jinko Solar* de 575Wp, considerando o custo de investimento, a eficiência e o fácil acesso para compra. No programa *SketchUp* alguns dados do módulo selecionado, foram adicionados de forma preliminar, para a modelagem do sistema fotovoltaico, pois dessa forma a modelagem será mais fiel na simulação. A Figura 3 apresenta o desenho bidimensional e a medida real do módulo da *Jinko Solar* selecionado para o estudo. Já na Tabela 1, encontra-se os dados do *datasheet* do módulo, com informações de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA).

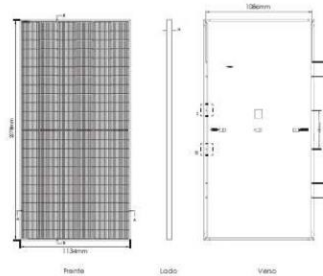


Figura 3: Dimensões do módulo FV JKM575N-72HL4-V TIGER NEO da *Jinko Solar*
Fonte: *Jinko Solar*, modificado pelo autor (2024)





Tabela 1: Dados do módulo JKM575N-72HL4-V TIGER NEO da Jinko Solar

JKM575N-72HL4	STC	NOCT
Potência máxima (Pmax)	575Wp	432Wp
Tensão máxima de energia (Vmp)	42.22V	10.92A
Corrente de potência máxima (Imp)	13.62A	39.60V
Tensão de circuito aberto (Voc)	50.88V	48.33V
Coprente de curto-circuito (Isc)	14.39A	11.62A
Eficiência do módulo STC (%)	22.26%	
Coeficiente de temperatura (%/°C)	-0,0025	

Fonte: autor (2024)

Na figura a seguir tem-se a representação dos dados de dimensão do módulo cadastrados no programa *SketchUp*, que são necessários para a disposição correta nos telhados. A Figura 4, exibe o modelo tridimensional com os módulos fotovoltaicos.

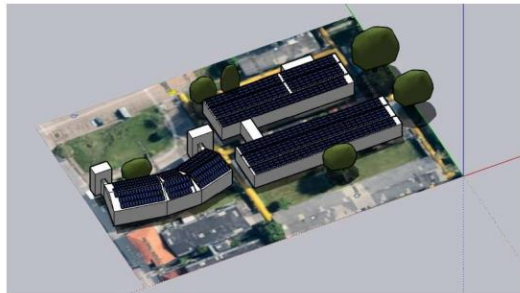


Figura 4: Vista da modelagem 3D dos módulos no edifício
Fonte: *SketchUp*, modificado pelo autor (2024)

Com o módulo cadastrado, foram posicionados os arranjos fotovoltaicos considerando os locais de sombreamento identificados na simulação. Um arranjo fotovoltaico é a disposição em que são organizados e conectados um conjunto de módulos fotovoltaicos a uma mesma entrada de um inversor de um sistema fotovoltaico, podendo ser conectados entre si de modo que a geração seja otimizada. Os arranjos podem ser de dois tipos, em série e em paralelo, onde o resultado da ligação em série é o aumento da tensão, já a ligação em paralelo aumenta a corrente total.





Algumas regiões do telhado não foram preenchidas com módulos fotovoltaicos com o objetivo de minimizar o impacto do sombreamento, permitindo que os outros arranjos não tenham sua geração impactada. Isso foi definido ao observar cenários específicos na modelagem, como durante os períodos de solstício e equinócio do ano, com auge nos meses de março, junho, setembro e dezembro, nos horários de maior geração, que é de 9 horas, no início do dia, até 16 horas, no final do dia.

No prédio do Instituto de Geociências observou-se que as árvores ao leste sombreiam às 9 horas nos períodos do solstício e equinócio, já no mês de junho, durante o solstício, o sombreamento sobre os módulos se dá pelas árvores do norte. Por outro lado, na biblioteca do Instituto de Geociência, os objetos ao redor não sombrearam os módulos em nenhum período do ano, o que possibilitou um arranjo sem nenhuma interferência.

Baseado nas análises já feitas, bem como dados de geração mensal e preço, no Instituto de Geociência (IG), a divisão do telhado foi feita em duas áreas, IG1 e IG2, representadas pelas cores roxa e azul respectivamente, cada área corresponde a um bloco do prédio. Já a cobertura da Biblioteca do Instituto foi dividida em 3 áreas (B1, B2 e B3), representadas pelas respectivas cores rosa, amarelo e verde.

Com estes dados de número de módulos e potência, é possível começar o dimensionamento dos inversores e determinar os arranjos fotovoltaicos para cada entrada de cada MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) do inversor.

2.3 Dimensionamento dos inversores

Para o correto dimensionamento do inversor, é importante analisar para alguns fatores, como a corrente de curto-circuito, a máxima tensão, a potência, a eficiência e a temperatura de operação. Outro fator importante é o número de MPPTs e de entradas deles. Ressalta-se que as áreas sombreadas foram arranjadas de forma que o sombreamento afete uma quantidade mínima de módulos, logo as ligações foram feitas de considerando o sombreamento, a posição e o número de módulos suportadas pelas entradas dos inversores.

A divisão de módulos por inversor foi feita considerando o prédio do Instituto de Geociência e a Biblioteca do Instituto de Geociências:

- IG Prédio 1: 3 inversores, cada um com 5 strings de 16 módulos em série.





- IG Prédio 2 - 3 inversores, cada um com 6 strings de 15 módulos em série.
- Biblioteca 1 (B1) - 1 inversor, com 2 strings de 12 módulos em série e 4 strings de 11 módulos em série. E 1 inversor, com 2 strings de 12 módulos em série, 2 strings de 11 módulos em série e 2 strings de 9 módulos em série.
- Biblioteca 2 (B2) - 1 inversor, com 3 strings de 13 módulos em série.

Os inversores escolhidos para os sistemas foram da marca Growatt Clean Energy Solutions, nos modelos “Growatt- MID 30KTL3-X”, “Growatt-MID 33KTL3-X” e “Growatt-MID 36KTL3-X”, a Figura 5 mostra as informações do datasheet de cada modelo.

DADOS TÉCNICOS DOS INVERSORES			
MODELO	Growatt MID 30KTL3-X	Growatt MID 33KTL3-X	Growatt MID 36KTL3-X
FABRICANTE	GROWATT		
POTÊNCIA NOMINAL (kW)	30kW	33kW	36kW
LINKS (Apto Solar Distribuído)	LINK (E AC1-150)	LINK (E AC1-150)	LINK (E AC1-150)
VALOR MÍNIMO PARA CLIENTES (Apto Solar Distribuído)	95 15-30% (9)	95 15-30% (9)	95 15-30% (9)
ENTRADA CC	POTÊNCIA MÁXIMA (kW)	35kW	38kW
	TENSÃO MÁXIMA (V)	1100V	1100V
	TENSÃO DE PARTIDA (V)	250V	250V
	TENSÃO NOMINAL (V)	600V	600V
	FAIXA DE TENSÃO POR MPPT (V)	180V-1000V	180V-1000V
	NÚMERO DE MPPTs	3	4
	NÚMERO DE STRINGS POR MPPTs	2	2
SAÍDA CA	MÁXIMA CORRENTE DE ENTRADA POR MPPT (A)	25A	25A
	MÁXIMA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO (A)	33A	33A
	POTÊNCIA NOMINAL (kW)	30kW	33kW
	MÁXIMA POTÊNCIA APARENTE (kVA)	33,3kVA	36,6kVA
	CORRENTE NOMINAL (A)	50,5A	55,5A
	MÁXIMA CORRENTE (A)	50,5A	55,5A
	TENSÃO NOMINAL (V)	220V/230V	220V/230V
CONEXÃO DE REDE CA	FREQUÊNCIA DE GRADE (Hz)	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz
	CONEXÃO DE REDE CA	3F+N+T	3F+N+T

Figura 5: Dados dos Datasheet dos inversores

Fonte: autor (2024)

A partir dos inversores dimensionados manualmente, fez-se uso do *software* de projetos fotovoltaicos *PVSyst*, o qual contribui na simulação do sistema com recursos como o cálculo de perdas por sombreamento, dados de geração anual, a emissão de relatórios, entre outros. Por possuir precisão nos resultados ao considerar diversas variáveis, como a eficiência dos equipamentos, ele é uma referência nesse nicho de programas.

Na área 1 do Instituto de Geociências, durante os meses de maio a junho a perda por sombreamento é significativa, pois é elevada durante os horários de maior geração dos meses citados. Já o relatório referente a área 2 do Instituto de Geociências, mostra um sombreamento diferente, pois os horários em que as perdas por sombreamento são significativas, é durante o período de menos geração do dia, os horários antes de 9 horas e após 16 horas.





Já nos relatórios referentes as áreas da Biblioteca do Instituto de Geociências, observa-se um sombreamento menor que os anteriores, nós dois os horários de maior geração, não obtendo um impacto negativo na geração.

O sistema fotovoltaico foi projetado de acordo com a capacidade de módulos que a área do edifício suporta, baseado na potência do módulo de 575Wp e na simulação feita, pode-se prevê uma potência total instalada de 414,00 KWp. Na Figura 6, foi apresentado a geração mensal de acordo com os dados obtidos nos relatórios citados, referente as áreas 1 e 2 do Instituto de Geociências (IG 1 e IG 2), e as áreas 1 e 2 da Biblioteca do Instituto de Geociências (B1 e B2).

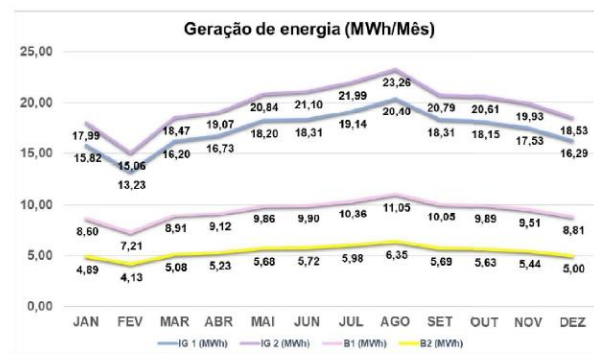


Figura 6: Geração mensal de cada sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca
Fonte: PVsyst, modificado pelo autor (2024)

Ao simular via *software PVsyst* a geração total anual foi de 624,04 MWp, onde foi considerada a irradiação solar diária nos meses do ano, as perdas e a eficiência dentro do *software* usado. Ao observar a Figura 7, é demonstrado o resultado da geração total mensal, correspondente a união de todos os sistemas fotovoltaicos, é mostrada no gráfico em MWh/Mês.



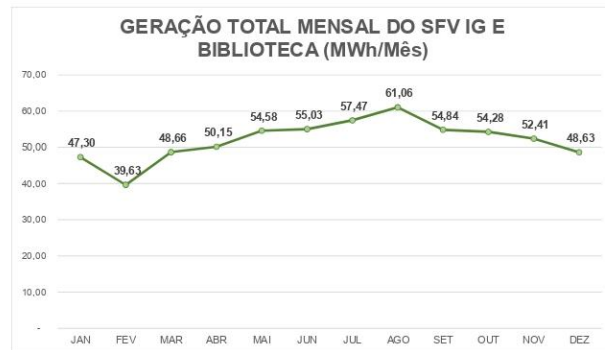


Figura 7: Geração total mensal do sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca
Fonte: autor (2024)

Com base nos dados obtidos, é possível concluir que ao fazer o aproveitamento máximo, da área disponível no edifício, a geração de energia também foi elevada, mesmo considerando a presença de três telhados em orientações distintas. Assim, ao constatar a eficácia do sistema através da simulação, é viável prosseguir com desenvolvimento do diagrama unifilar, incluindo informações referentes a rede a universidade e do sistema fotovoltaico.

2.4 Análise de custos

A análise de custos do sistema fotovoltaico tem uma importância crucial, pois permite a avaliar a viabilidade econômica de investimento. O orçamento de modo simples, vai possuir o investimento inicial de módulos fotovoltaicos e inversores de modo geral, apesar de contar com outros itens na execução da obra, ao considera equipamentos de proteção como DPS e disjuntor, bem como o cabeamento e a mão de obra especializada. Nesta análise será considerado apenas custos ligados aos módulos, inversores e os inversores que serão trocados a cada 10 anos, levando em consideração a garantia da fabricante. Também foi definido uma simulação de 25 anos, para a comparação entre o investimento e a economia





de energia gerada. Na Figura 8, é apresentado os custos referentes módulos e inversores do sistema, como investimento inicial.

CUSTO DO SFV DO IG E BIBLIOTECA					
ÁREA	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS			INVERSORES	
	NÚMERO DE MÓDULOS	PREÇO	PREÇO POR ÁREA	MODELOS	PREÇOS POR INVERSOR
IG1	72	R\$ 87.840,00	R\$ 292.800,00	Growatt-MID 33KTL3-X	R\$ 21.419,10
	96	R\$ 117.120,00		Growatt-MID 33KTL3-X	R\$ 21.419,10
	72	R\$ 87.840,00		Growatt-MID 33KTL3-X	R\$ 21.419,10
IG2	81	R\$ 98.820,00	R\$ 329.400,00	Growatt-MID 36KTL3-X	R\$ 21.309,00
	108	R\$ 131.760,00		Growatt-MID 36KTL3-X	R\$ 21.309,00
	81	R\$ 98.820,00		Growatt-MID 36KTL3-X	R\$ 21.309,00
B1	46	R\$ 56.120,00	R\$ 161.040,00	Growatt- MID 30KTL3-X	R\$ 19.909,00
	22	R\$ 26.840,00		Growatt- MID 30KTL3-X	R\$ 19.909,00
	46	R\$ 56.120,00		Growatt- MID 30KTL3-X	R\$ 19.909,00
B2	18	R\$ 21.960,00	R\$ 95.160,00	Growatt-MID 36KTL3-X	R\$ 21.309,00
	39	R\$ 47.580,00		GrowattMID 36KTL3-X	R\$ 21.309,00
QUANTIDADE TOTAL DE MÓDULOS					720
QUANTIDADE TOTAL DE INVERSORES					9
VALOR TOTAL INVERSORES					R\$ 189.311,30
VALOR TOTAL MÓDULOS					R\$ 878.400,00
VALOR TOTAL GERAL					R\$ 1.067.711,30

Figura 8: Custo do sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca

Fonte: autor (2024)

Para uma análise mais precisa, dois fatores serão considerados, o primeiro é a degradação anual a qual os módulos fotovoltaicos sofrem e o segundo a vida útil dos inversores. Esses dados podem ser encontrados nos *datasheets* de cada componente utilizado no sistema do estudo, o módulo e os inversores são os mesmos da simulação computacional. Sendo assim o módulo “JKM575N-72HL4-V TIGER NEO” com degradação anual de 0,4%, e os inversores “Growatt- MID 30KTL3-X”, “Growatt-MID 33KTL3-X” e “Growatt-MID 36KTL3-X”, que possuem o mesmo fabricante, portanto, a mesma garantia de até 10 anos.

A próxima etapa é feita a estimativa da economia anual de cada sistema, para encontrar esta economia é feito o uso da tarifa fora ponta, presente em todas as faturas de energia das concessionárias presentes no país. Para o estudo, foi utilizada uma tarifa média de 0,47 R\$/KWh ao longo de 25 anos. Com os dados de investimento do sistema, de economia gerada, e o de troca de inversores, pode-se estimar o retorno financeiro que será gerado ao decorrer de 25 anos. Ao analisar a troca dos inversores, é correto dizer que o mínimo de trocas serão duas, pois a garantia máxima de cada inversor é de 10 ano, sendo





assim, no ano 10 e 20, é adicionado uma troca de todo o sistema, este valor é apresentado na Figura 9.

INVESTIMENTO DO SFV DO IG E BIBLIOTECA (MÓDULOS E INVERSORES)				
IG 1	IG 2	B1	B2	VALOR TOTAL GERAL
R\$ 357.057,30	R\$ 393.327,00	R\$ 200.858,00	R\$ 116.469,00	R\$ 1.067.711,30
TROCA DOS INVERSORES A CADA 10 ANOS				
IG 1	IG 2	B1	B2	VALOR TOTAL GERAL
R\$ 64.257,30	R\$ 63.927,00	R\$ 39.818,00	R\$ 21.309,00	R\$ 189.311,30

Figura 9: Valor do investimento inicial do SFV e da troca de inversores a cada 10 anos
Fonte: autor (2024)

Ao realizar a análise de custos do sistema, foi constatado que anos iniciais o saldo será negativo, tendo em vista o investimento necessário ao adquirir os módulos e inversores, na Figura 10 esse cenário fica bem claro. Além disso é possível observar que o saldo fica negativo apenas nos primeiro 3 anos, pois do 4º ano em diante o saldo é positivo e crescente. E apesar das duas trocas de inversores, já esperadas, a cada 10 anos, o saldo não volta a ficar negativo, pois o retorno financeiro é maior que gasto com os inversores.

RETORNO FINANCEIRO DO SFV DO IG E BIBLIOTECA					
NO	IG 1	IG 2	B1	B2	SALDO
1	-R\$ 259.151,60	-R\$ 281.636,20	-R\$ 147.621,10	-R\$ 86.003,60	NEGATIVO
2	-R\$ 161.637,52	-R\$ 170.392,16	-R\$ 94.597,15	-R\$ 55.660,06	NEGATIVO
3	-R\$ 64.513,50	-R\$ 59.593,10	-R\$ 41.785,29	-R\$ 25.437,90	NEGATIVO
4	R\$ 32.222,02	R\$ 50.762,76	R\$ 10.815,32	R\$ 4.663,38	POSITIVO
5	R\$ 128.570,61	R\$ 160.677,20	R\$ 63.205,52	R\$ 34.644,25	POSITIVO
6	R\$ 224.533,79	R\$ 270.151,99	R\$ 115.386,17	R\$ 64.505,20	POSITIVO
7	R\$ 320.113,13	R\$ 379.188,87	R\$ 167.358,09	R\$ 94.246,70	POSITIVO
8	R\$ 415.310,15	R\$ 487.789,61	R\$ 219.122,13	R\$ 123.869,24	POSITIVO
9	R\$ 510.126,38	R\$ 595.955,94	R\$ 270.679,11	R\$ 153.373,28	POSITIVO
10+ TROCA	R\$ 540.306,04	R\$ 639.762,61	R\$ 282.211,86	R\$ 161.450,31	POSITIVO
11	R\$ 634.365,26	R\$ 747.065,34	R\$ 333.357,21	R\$ 190.718,80	POSITIVO
12	R\$ 728.048,24	R\$ 853.938,86	R\$ 384.297,98	R\$ 219.870,21	POSITIVO
13	R\$ 821.356,49	R\$ 960.384,89	R\$ 435.034,98	R\$ 248.905,02	POSITIVO
14	R\$ 914.291,51	R\$ 1.066.405,14	R\$ 485.569,04	R\$ 277.823,69	POSITIVO
15	R\$ 1.006.854,78	R\$ 1.172.001,30	R\$ 535.900,96	R\$ 306.626,68	POSITIVO
16	R\$ 1.099.047,80	R\$ 1.277.175,08	R\$ 586.031,55	R\$ 335.314,46	POSITIVO
17	R\$ 1.190.872,05	R\$ 1.381.928,16	R\$ 635.961,62	R\$ 363.887,49	POSITIVO
18	R\$ 1.282.329,01	R\$ 1.486.262,23	R\$ 685.691,97	R\$ 392.346,23	POSITIVO
19	R\$ 1.373.420,13	R\$ 1.590.178,97	R\$ 735.223,40	R\$ 420.691,13	POSITIVO
20+ TROCA	R\$ 1.399.889,59	R\$ 1.629.753,04	R\$ 744.738,70	R\$ 427.613,66	POSITIVO
21	R\$ 1.490.253,45	R\$ 1.732.840,10	R\$ 793.874,67	R\$ 455.732,26	POSITIVO
22	R\$ 1.580.255,85	R\$ 1.835.514,82	R\$ 842.814,09	R\$ 483.738,38	POSITIVO
23	R\$ 1.669.898,24	R\$ 1.937.778,83	R\$ 891.557,76	R\$ 511.632,48	POSITIVO
24	R\$ 1.759.182,06	R\$ 2.039.633,79	R\$ 940.106,45	R\$ 539.415,00	POSITIVO
25	R\$ 1.848.106,74	R\$ 2.141.081,34	R\$ 988.460,95	R\$ 567.086,39	POSITIVO

Figura 10: Retorno financeiro do sistema fotovoltaico do IG e Biblioteca
Fonte: autor (2024)





A análise do custo demonstra que a instalação de um sistema fotovoltaico em um edifício situado no campus universitário, é viável não apenas para fazer o uso de uma energia de geração limpa e renovável, mas também resulta em um retorno financeiro elevado, que paga o próprio investimento no decorrer dos anos.

3. CONCLUSÃO

O estudo para implementação de um sistema fotovoltaico em uma universidade destacou a importância da energia limpa, que reduz impactos ambientais e gera retorno econômico. Apesar das orientações variadas dos telhados do Instituto de Geociência e da Biblioteca, a geração de energia foi significativa durante os períodos de pico de irradiação solar ao longo do dia. Isso enfatiza a necessidade de um dimensionamento preciso ao instalar sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, M. F. S. Introdução à Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo: Blucher, 2015.

IEA - International Energy Agency. Renewables 2023: Global Status Report. Paris: IEA, 2023.



ANEXO A – COMPROVANTES

1. COMPROVANTE DE ACEITAÇÃO DO ARTIGO



Glecia Bezerra Rocha <gleciarocha9@gmail.com>

APROVADOS - IIV CBPE 2024

iivcbpe@mailers.softaliza.com.br <iivcbpe@mailers.softaliza.com.br>
Para: gleciarocha9@gmail.com

30 de agosto de 2024 às 14:39

Prezado(a) autor(a),

É com satisfação que comunicamos que seu trabalho intitulado ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DOIS EDIFÍCIOS UNIVERSITÁRIOS ESTUDO DE CASO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA E DA BIBLIOTECA submetido para o XIV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE) foi APROVADO.

As inscrições poderão ser realizadas pelo site <https://www.xivcbpe.com.br/> e as orientações de envio de apresentação pôster são as seguintes contidas no formulário: <https://submissao.softaliza.com.br/submissao-de-poster-cbpe-2024/>

Esperamos ver a todos em breve em Manaus-AM.

Comitê Científico do CBPE 2024

2. COMPROVANTE DE APRESENTAÇÃO DO ARTIGO CIENTÍFICO EM EVENTO

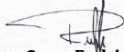


CERTIFICADO

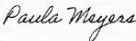
A Sociedade Brasileira de Planejamento Energético certifica que o trabalho intitulado **ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DOIS EDIFÍCIOS UNIVERSITÁRIOS ESTUDO DE CASO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA E DA BIBLIOTECA** foi apresentado em formato pôster, durante o XIV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, realizado de 16 a 18 de outubro de 2024.

Autores: Glecia Bezerra Rocha, Ayrton Lucas Lisboa do Nascimento, Edilberto Oliveira Rozal Filho, Bruno Santana de Albuquerque, Carmina Célia Moura de Moura Carvalho, Maria Emília Tostes.

Itajubá, 18 de outubro de 2024

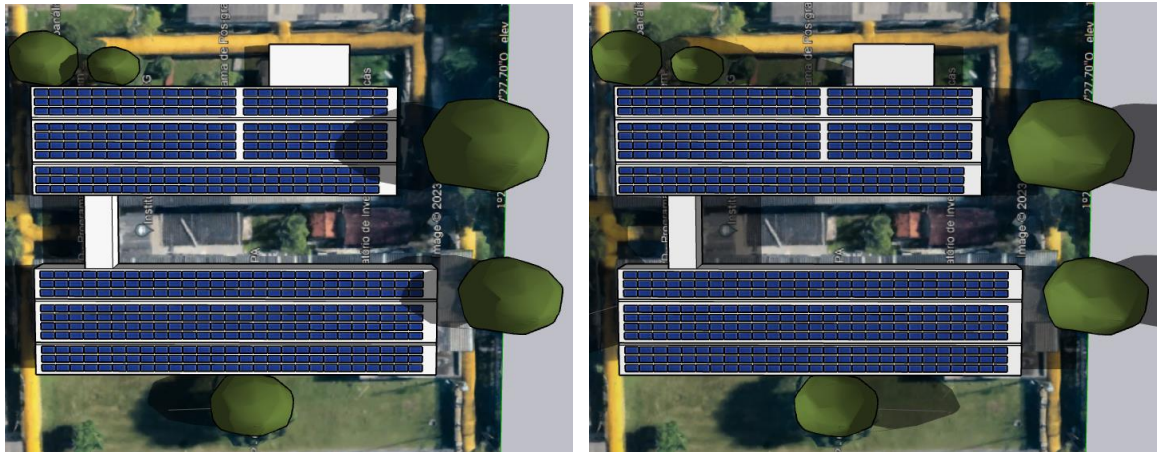

Rubem Cesar Rodrigues Souza
 Presidente SBPE


Sociedade Brasileira de Planejamento Energético


Paula Meyer Soares
 Diretora de Eventos

ANEXO B – SOMBREAMENTO DO SISTEMA OBTIDO VIA SOFTWARE SKETCHUP

Figura 1. Vista superior do telhado no período de equinócio - Dia 22 de março: a) 9 horas e b) 16 horas.



Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

Figura 2. Vista superior do telhado no período de solstício - Dia 22 de junho: a) 9 horas e b) 16 horas.



Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

Figura 3. Vista superior do telhado no período de equinócio - Dia 22 de setembro: a) 9 horas e

b) 16 horas.



Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

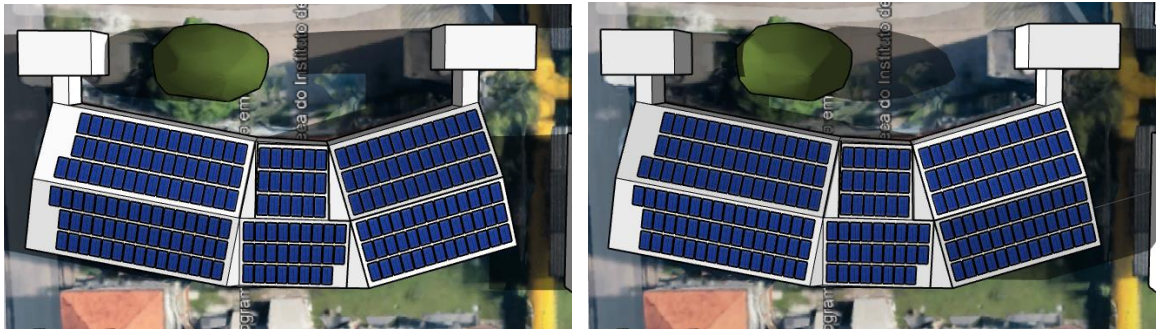
Figura 4. Vista superior do telhado no período de solstício - Dia 22 de dezembro: a) 9 horas e b) 16 horas.



Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

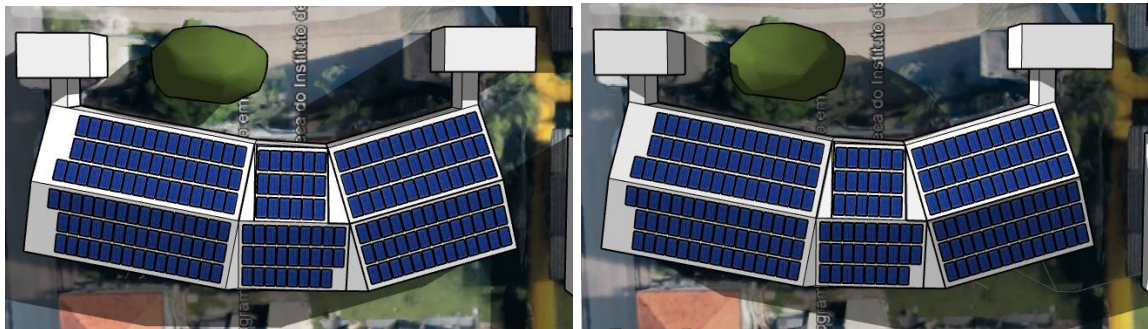
Figura 5. Vista superior do telhado no período de equinócio - Dia 22 de março:

a) 9 horas e b) 16 horas.



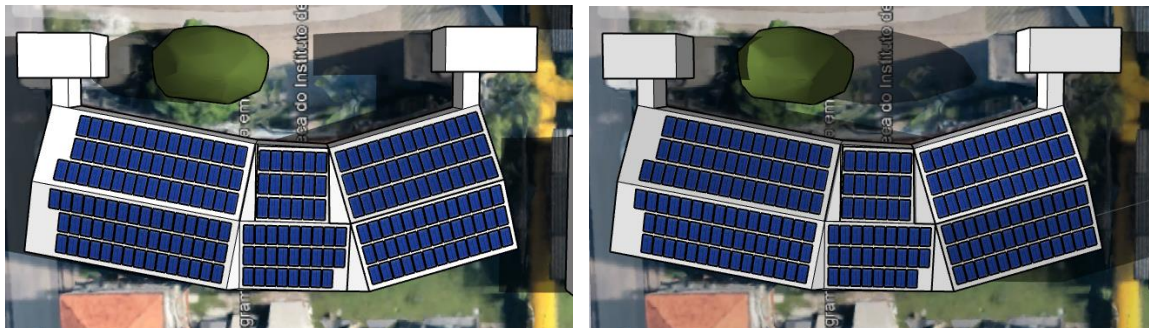
Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

Figura 6. Vista superior do telhado no período de solstício - Dia 22 de junho: a) 9 horas e b) 16 horas.



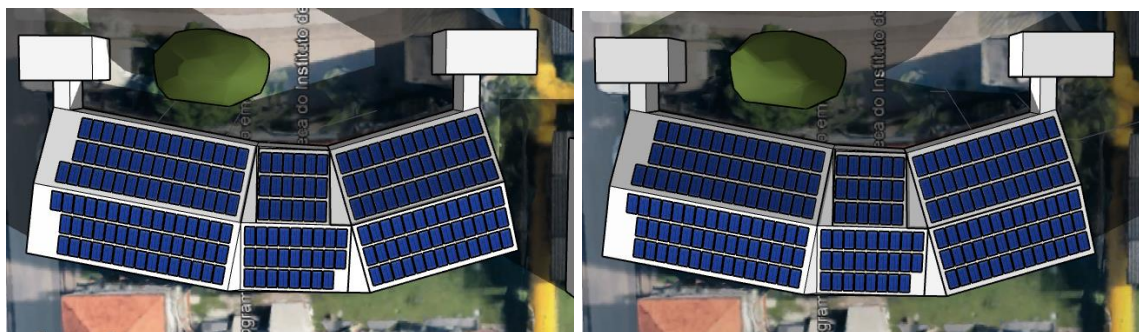
Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

Figura 7. Vista superior do telhado no período de equinócio - Dia 22 de setembro: a) 9 horas e b) 16 horas.



Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

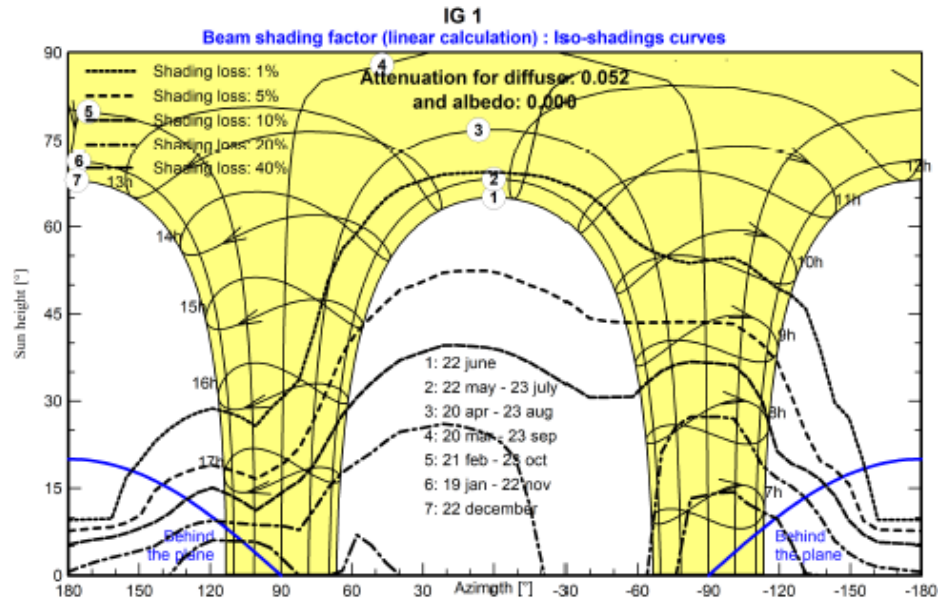
Figura 8. Vista superior do telhado no período de solstício - Dia 22 de dezembro: a) 9 horas e b) 16 horas.



Fonte: *SketchUp*, modificado pelos autores.

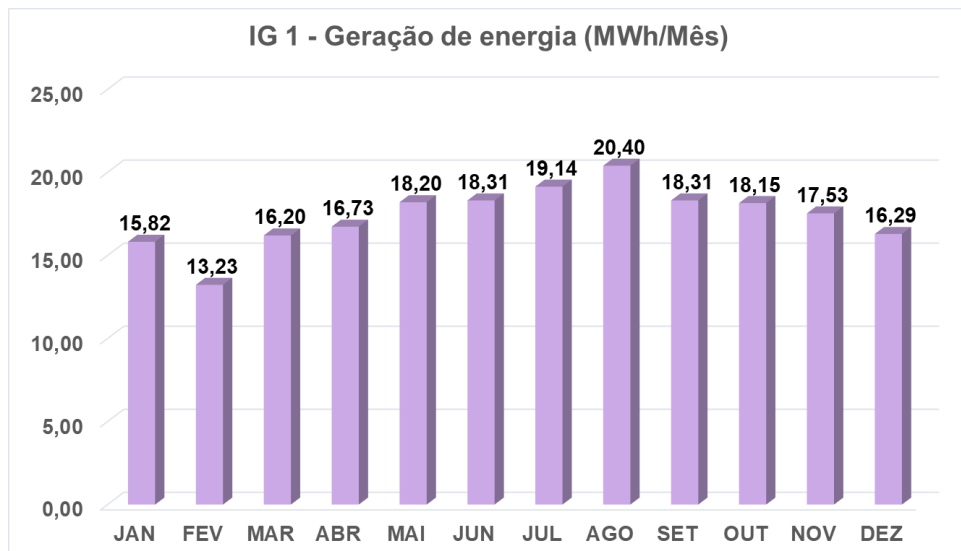
ANEXO C – GRÁFICOS GERAÇÃO DE ENERGIA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Figura 1. Sombreamento anual do Instituto de Geociências 1



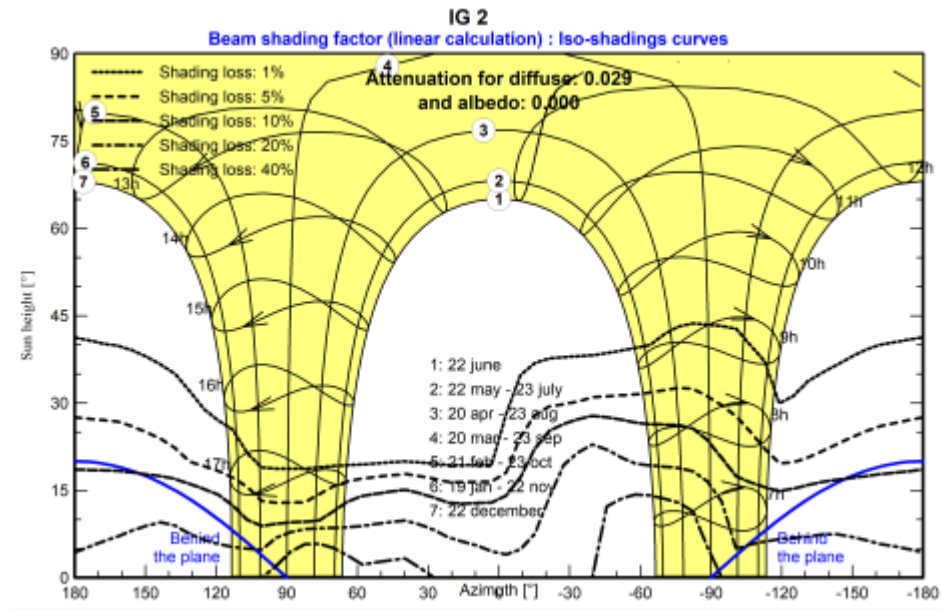
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

Figura 2. Relatório mensal do Instituto de Geociências 1



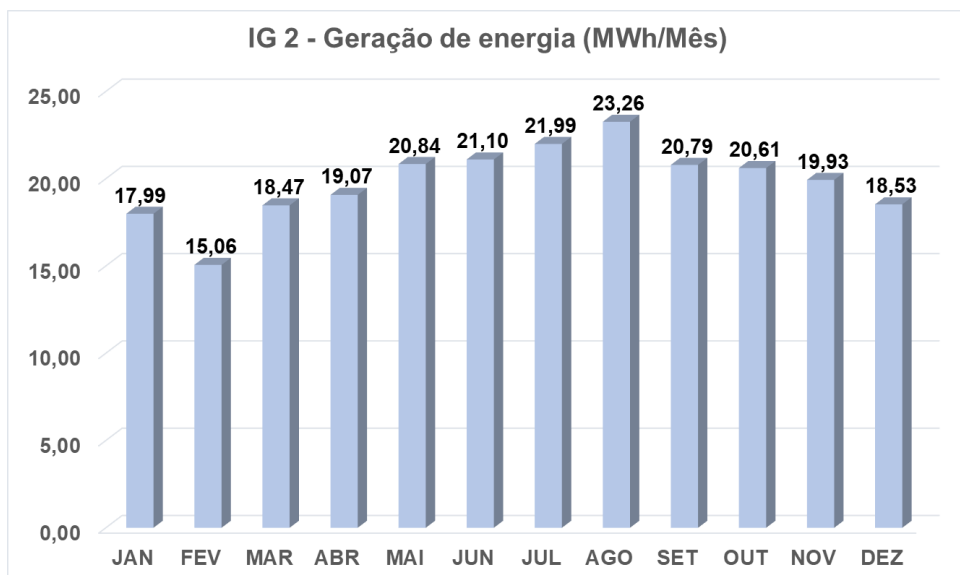
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

Figura 3. Sombreamento anual do Instituto de Geociências 2



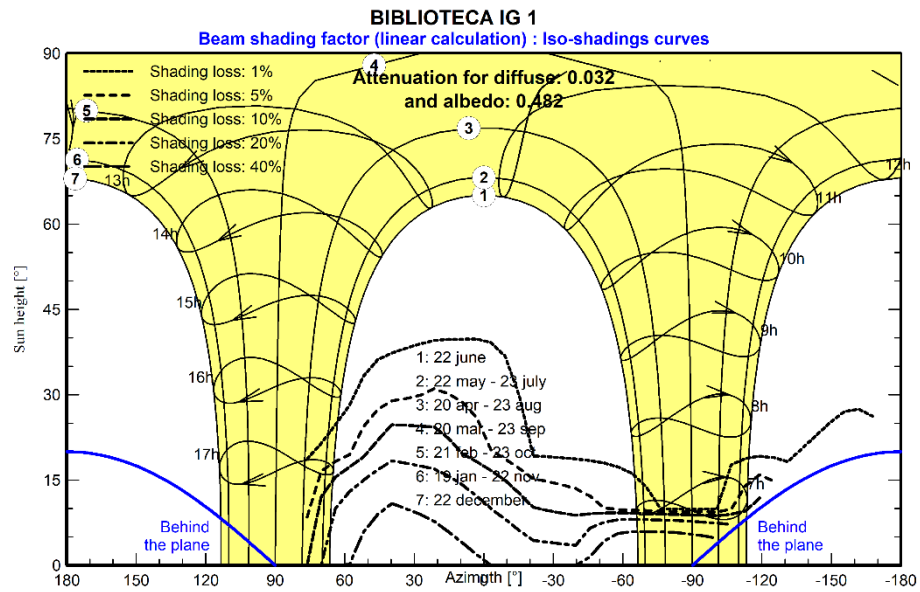
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

Figura 4. Relatório mensal do Instituto de Geociências 2



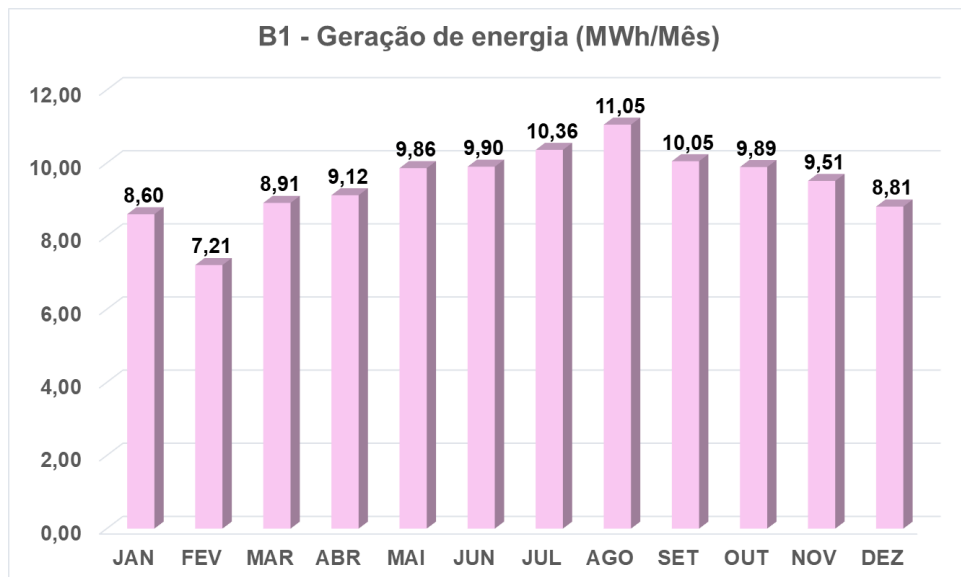
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

Figura 5. Sombreamento anual do Biblioteca Instituto de Geociências 1



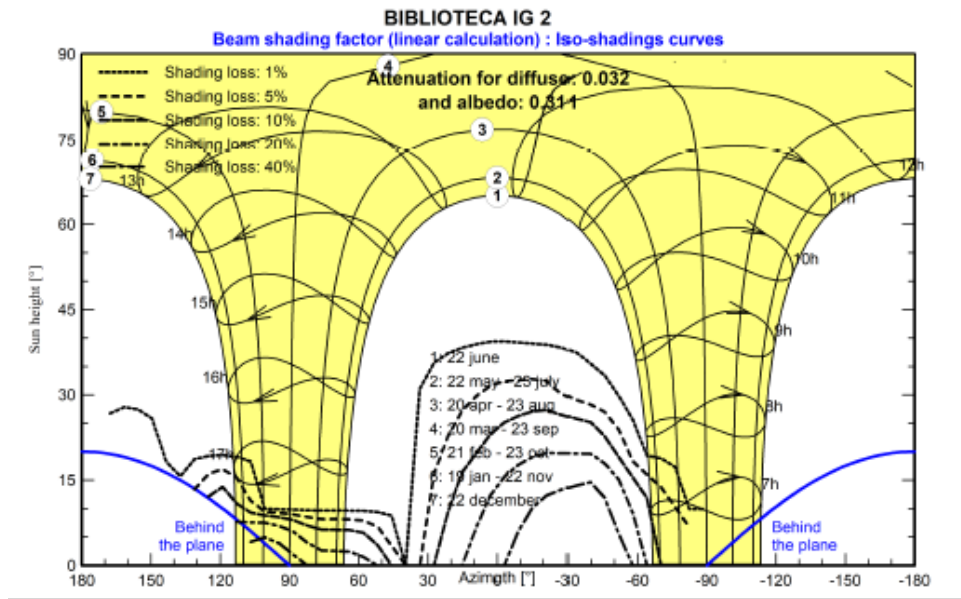
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

Figura 6. Relatório mensal da Biblioteca Instituto de Geociências 1



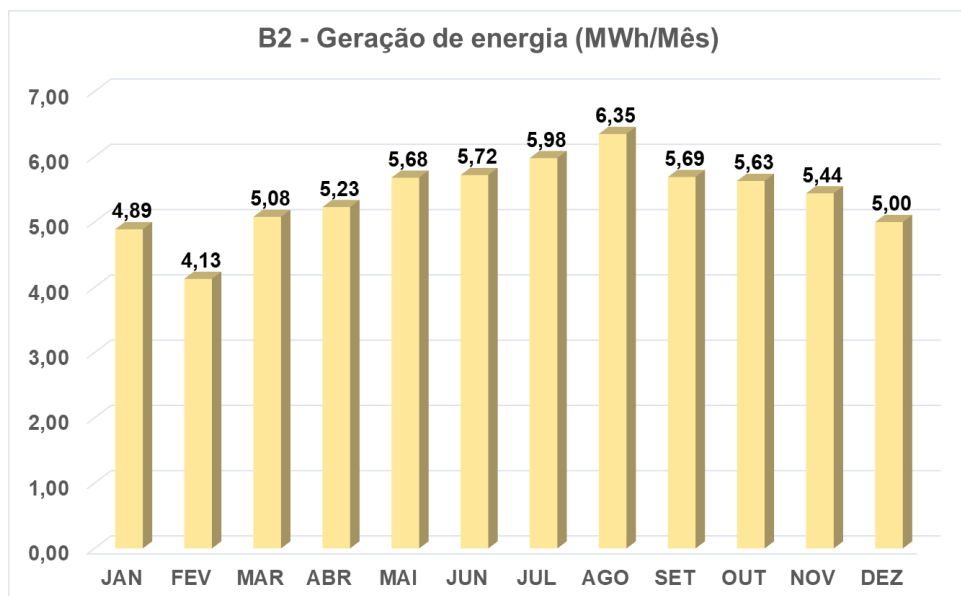
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

Figura 7. Sombreamento anual do Biblioteca Instituto de Geociências 2



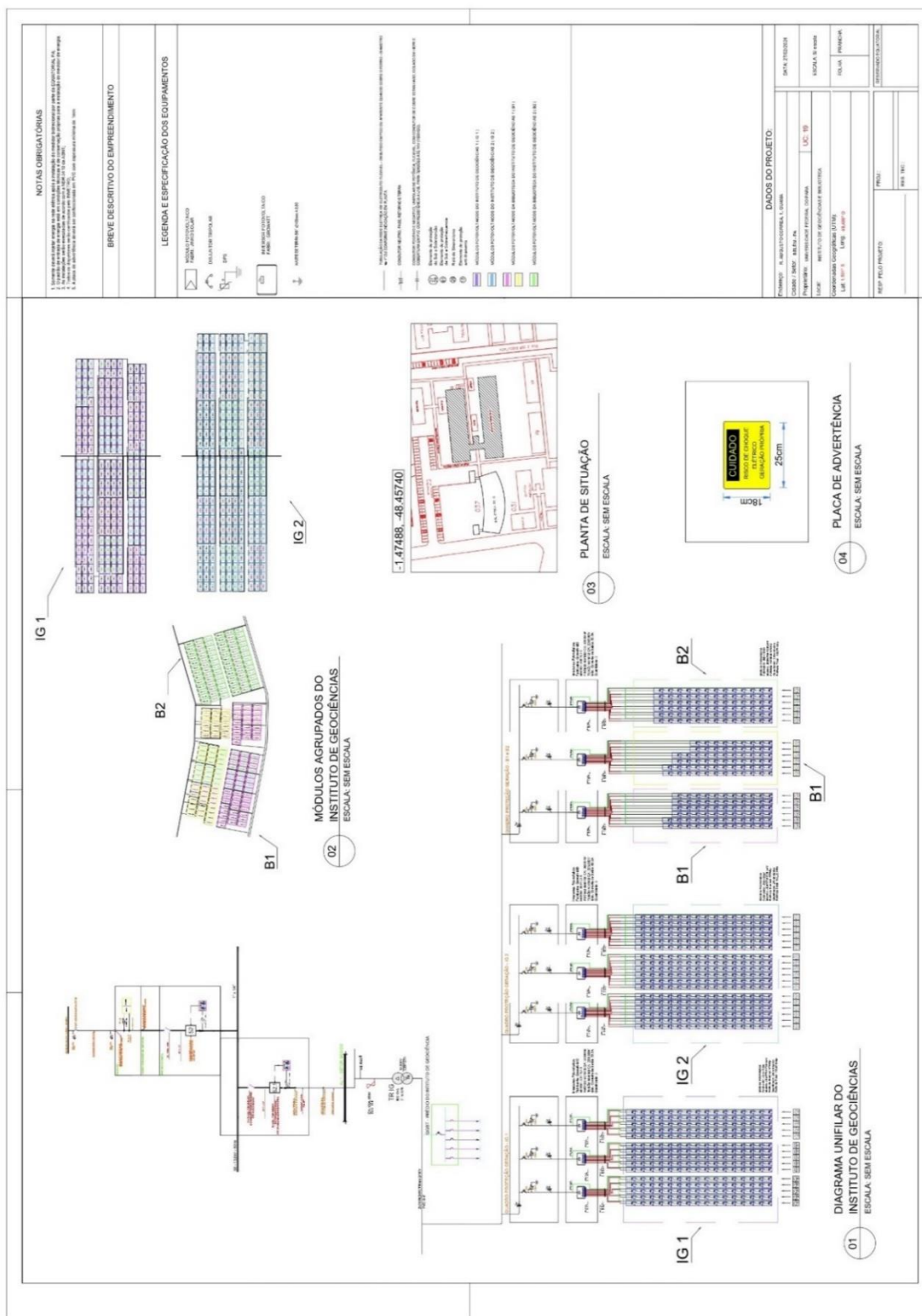
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

Figura 8. Relatório mensal da Biblioteca Instituto de Geociências 2



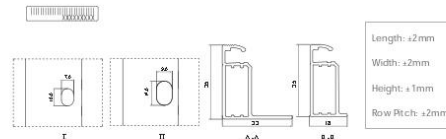
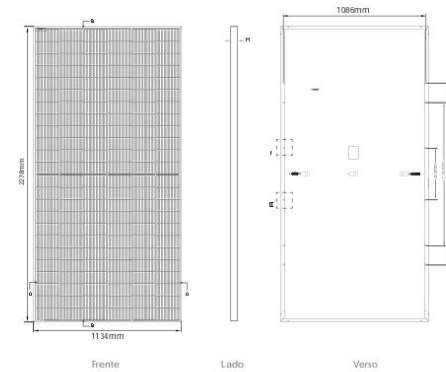
Fonte: PVsyst, modificado pelos autores.

ANEXO D – DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E BIBLIOTECA



ANEXO E – DATASHEET DO MÓDULO “JKM575N-72HL4-V TIGER NEO” DA JINKO SOLAR

Desenhos de engenharia



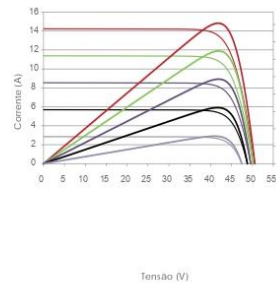
Configuração de embalagem

(Dois paletes = uma pilha)

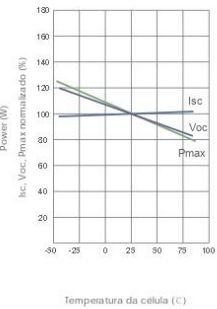
31 pcs/ paleta, 62 pcs/pilha, 620 pcs/container de 40'HQ

Desempenho elétrico e dependência de temperatura

Curvas de corrente-tensão e potência-voltagem (565W)



Dependência de temperatura de Iso, Voc, Pmax



Características mecânicas

Tipo de célula	N type Mono-crystalline
Nº de células	144 (6×24)
Dimensões	2278×1134×35mm (89.69×44.65×1.38 inch)
Peso	28 kg (61.73 lbs)
Vidro frontal	3,2 mm, revestimento anti-reflexo, alta transmissão, baixo teor de ferro, vidro temperado
Quadro	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	Classificação IP68
Cabos de saída	TUV 1 × 4,0 mm ² (+):400 mm, (-):200 mm ou comprimento personalizado

ESPECIFICAÇÕES

Tipo de Módulo	JKM555N-72HL4 JKM555N-72HL4-V		JKM560N-72HL4 JKM560N-72HL4-V		JKM565N-72HL4 JKM565N-72HL4-V		JKM570N-72HL4 JKM570N-72HL4-V		JKM575N-72HL4 JKM575N-72HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência máxima (Pmax)	555Wp	417Wp	560Wp	421Wp	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp	575Wp	432Wp
Tensão máxima de energia (Vmp)	41.64V	39.12V	41.77V	39.25V	41.92V	39.38V	42.07V	39.51V	42.22V	39.60V
Corrente de potência máxima (Imp)	13.33A	10.67A	13.41A	10.73A	13.48A	10.79A	13.55A	10.85A	13.62A	10.92A
Tensão de circuito aberto (Voc)	50.34V	47.82V	50.47V	47.94V	50.60V	48.06V	50.74V	48.20V	50.88V	48.33V
Corrente de curto-circuito (Isc)	14.07A	11.36A	14.15A	11.42A	14.23A	11.49A	14.31A	11.55A	14.39A	11.62A
Eficiência do Módulo STC (%)	21.48%		21.68%		21.87%		22.07%		22.26%	
Temperatura de operação (°C)	-40°C~+85°C									
Tensão máxima do sistema	1000/1500VDC (IEC)									
Classificação máxima do fusível em série	25A									
Tolerância de potência	0~+3%									
Coeficientes de temperatura de Pmax	-0.30%/°C									
Coeficientes de temperatura de Voc	-0.25%/°C									
Coeficientes de temperatura de Isc	0.046%/°C									
Temperatura nominal da célula operacional (NOCT)	45±2°C									

*STC: Irradiance 1000W/m² Temperatura da célula 25 °C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Temperatura ambiente 20 °C AM=1.5

Velocidade do vento 1m/s

ANEXO F – DATASHEETS DOS INVERSORES “GROWATT- MID 30KTL3-X”, “GROWATT-MID 33KTL3-X” E “GROWATT-MID 36KTL3-X” DA GROWATT

Ficha de dados	MID 25KTL3-X1	MID 30KTL3-X	MID 33KTL3-X	MID 36KTL3-X	MID 40KTL3-X
Dados de entrada					
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)	37500W	45000W	49500W	54000W	60000W
Máxima tensão CC	1100V				
Tensão de partida	250V				
Faixa de tensão MPPT/Tensão nominal	600V				
Faixa de tensão MPPT	180-1000V				
Número de MPP trackers	3	3	3	4	4
Número de Strings por MPP tracker	2				
Máxima corrente de entrada por MPP tracker	26A				
Máxima corrente de curto-circuito por MPP tracker	32A				
Saída					
Máxima potência nominal CA	25000W	30000W	33000W	36000W	40000W
Máxima potência aparente CA	27700VA	33300VA*	36600VA	39600VA	44000VA
Tensão nominal CA	220V/380V (340-440V)				
Frequência da rede CA	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)				
Máxima corrente de saída	40A	50.5A	55.5A	60.0A	66.6A
Fator ajustável de potência	0.8leading...0.8lagging				
THDI	< 3%				
Tipo de conexão da rede CA	3W + N + PE				
Eficiência					
Máxima eficiência	98.8%				
Eficiência europeia	98.5%				
Eficiência MPPT	99.9%				
Proteções					
Proteção de polaridade reversa CC	Sim				
Interruptor CC	Sim				
Proteção CA/CC de surtos	Type II / Type II				
Monitoramento de resistência de isolamento	Sim				
Proteção de curto circuito CA	Sim				
Monitoramento de falha do terra	Sim				
Monitoramento da rede	Sim				
Proteção anti-ilhamento	Sim				
Unidade de monitoramento da corrente residual	Sim				
Monitoramento de falha da string	Sim				
Proteção AFCI	OPC				
Dados Gerais					
Dimensões L/A/P	580/435/230mm				
Peso	29.5kg	29.5kg	29.5kg	30.5kg	30.5kg
Faixa de temperatura operacional	- 25°C ... +60°C				
Consumo noturno	< 1W				
Topologia	Sem transformador				
Resfriamento	Natural				
Nível de proteção	IP66				
Humidade relativa	0–100%				
Altitude	4000m				
Conexão CC	H4/MC4(OPC)				
Conexão CA	Connector				
Display	OLED + LED/WIFI + APP				
Interfaces: USB/RS485/WIFI/GPRS /4G/LAN/RF	Sim/Sim/OPC/OPC/OPC/OPC				
Garantia: 5 anos / 10 anos	Sim/OPC				
CE, VDE0126, Greece, EN50549, C10/C11, UTE C 15-712, IEC62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683, CEI0-21, CEI0-16, N4105, TOR Erzeuger, G98/G99, G100, AS/NZS 3100, AS4777, UNE217001, UNE206007, PO12.2, KSC8565					