

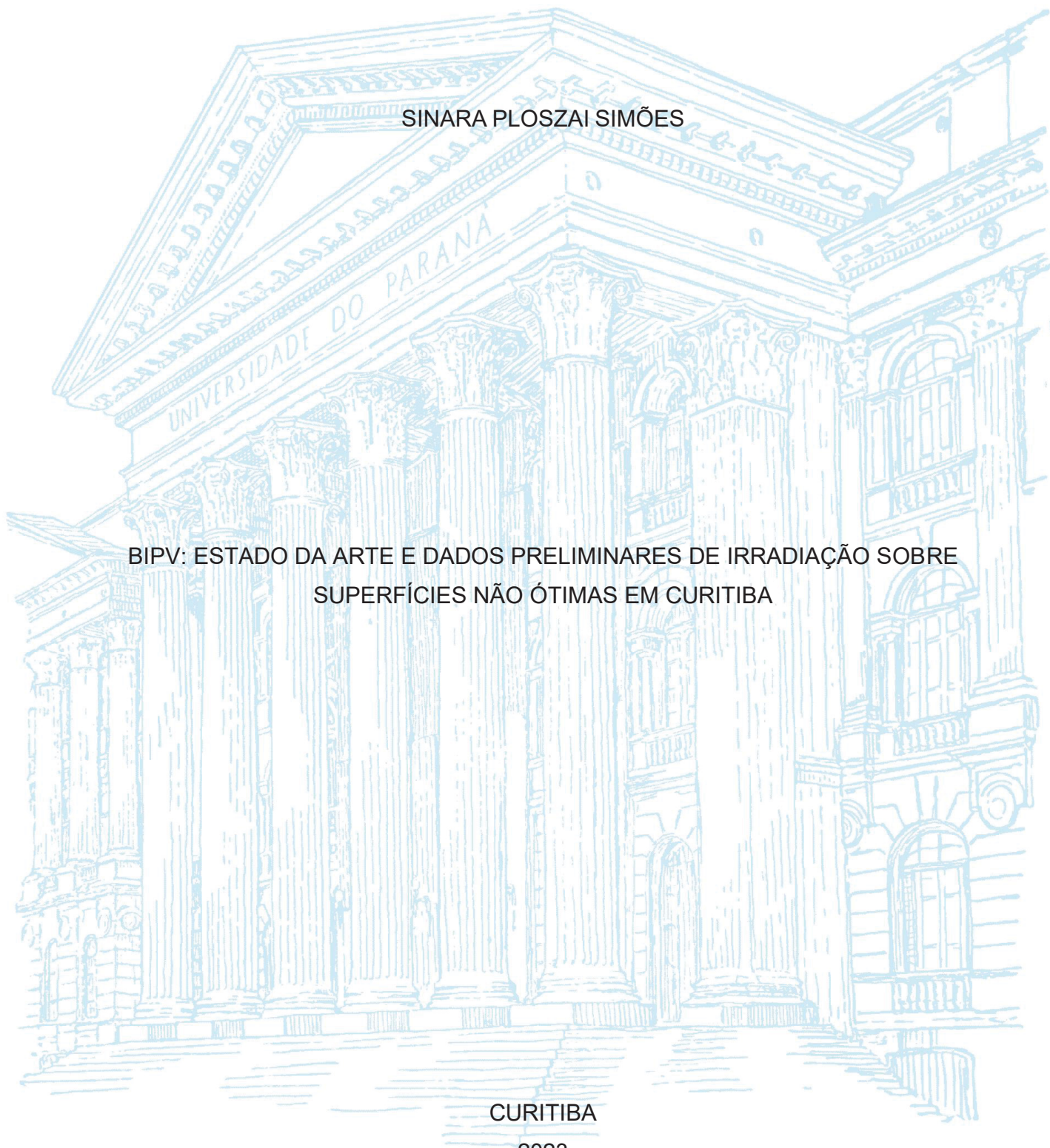
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SINARA PLOSZAI SIMÕES

BIPV: ESTADO DA ARTE E DADOS PRELIMINARES DE IRRADIAÇÃO SOBRE
SUPERFÍCIES NÃO ÓTIMAS EM CURITIBA

CURITIBA

2023



SINARA PLOSAI SIMÕES

BIPV: ESTADO DA ARTE E DADOS PRELIMINARES DE IRRADIAÇÃO SOBRE
SUPERFÍCIES NÃO ÓTIMAS EM CURITIBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGECC, Setor de Tecnologia, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná – UFPR, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Simões, Sinara Ploszai

BIPV: estado da arte e dados preliminares de irradiação sobre superfícies não ótimas em Curitiba / Sinara Ploszai Simões. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Aloísio Leoni Schmid

1. Arquitetura - Aspectos ambientais. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Energia solar. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Schmid, Aloísio Leoni. IV . Título.

Bibliotecário: Leticia Priscila Azevedo de Sousa CRB-9/2029

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **SINARA PLOSZAI** intitulada: **BIPV: estado da arte e dados preliminares de irradiação sobre superfícies não ótimas em Curitiba**, sob orientação do Prof. Dr. ALOÍSIO LEONI SCHMID, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Fevereiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

24/02/2023 21:24:25.0

ALOÍSIO LEONI SCHMID

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

26/02/2023 08:42:41.0

LUCIMARA STOLZ ROMAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

22/02/2023 14:32:41.0

LEANDRO CARLOS FERNANDES

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Aos meus protetores e guias, por me concederem amparo e sabedoria.

A Eduardo, pelo apoio incondicional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid, pela dedicação, paciência e pelo auxílio durante a elaboração deste trabalho.

Aos demais professores do PPGEC, pela seriedade e comprometimento.

A UFPR pela oportunidade e pelo ambiente proporcionado.

Aos colegas de turma e amigos, pelo apoio e incentivo.

E a todos que de alguma forma me apoiaram no processo.

RESUMO

O Brasil tem registrado uma intensa inserção de fontes renováveis, notadamente a solar fotovoltaica, na matriz elétrica nacional. Com mais de 24 GW de capacidade instalada, a solar fotovoltaica é a terceira principal fonte do País respondendo por mais de 11% da matriz elétrica brasileira. Apesar da tecnologia de geração de energia fotovoltaica ter conquistado mercado, sua utilização é limitada aos módulos de silício mono e policristalinos instalados em coberturas ou em usinas sobre o solo. A falta de conhecimento de novas aplicações e materiais por parte dos profissionais é o principal causador do uso limitado da tecnologia no cenário nacional. Embora pouco convencionais no mercado brasileiro, os sistemas fotovoltaicos integrados aos edifícios, ou BIPV, como costumam ser conhecidos, incorporam em seus projetos a utilização de painéis solares para substituir telhas convencionais, janelas, compor *brises-soleil* entre outras funcionalidades. Existem poucos estudos que investigam as vantagens e desvantagens de disposições das células fotovoltaicas em diferentes posições que as utilizadas nos sistemas correntes. No presente estudo procura-se elucidar as vantagens da utilização de materiais fotovoltaicos na arquitetura através da pesquisa documental e estudos de caso como também entender a variação da geração de energia com variações de inclinação e azimute não ideais ao considerar o albedo do entorno e a conversão da energia refletida, na cidade de Curitiba, Paraná, através de uma análise preliminar dos dados coletados pelo artefato zero.

Palavras-chave: BIPV; Conversão fotovoltaica; Energia Solar; sistemas fotovoltaicos integrados às edificações; Arquitetura.

ABSTRACT

Brazil has registered an intense insertion of renewable sources, notably solar photovoltaics, in the national electricity matrix. With more than 24 GW of installed capacity, photovoltaic solar energy is the third main source in the country, accounting for more than 11% of the Brazilian electricity matrix. Although photovoltaic energy generation technology has conquered the market, its use is limited to mono and polycrystalline silicon modules installed on roofs or in power plants on the ground. The lack of knowledge of new applications and materials by professionals is the main cause of the limited use of technology in the national scenario. Although unconventional in the Brazilian market, building-integrated photovoltaic systems, or BIPV, as they are often known, incorporate in their projects the use of solar panels to replace conventional tiles, windows, compose brises-soleil, among other features. There are few studies that investigate the advantages and disadvantages of arrangements of photovoltaic cells in different positions than those used in conventional systems. In the present study we seek to elucidate the advantages of using photovoltaic materials in architecture through documentary research and case studies, as well as to understand the variation in energy generation with variations of inclination and azimuth that are not ideal when considering the albedo of the environment and the conversion of reflected energy, in the city of Curitiba, Paraná, through a preliminary analysis of the data collected by the artefato zero project.

Keywords: BIPV; Photovoltaic conversion; Solar energy; building integrated photovoltaics; Architecture.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA MENTAL (A AUTORA, 2022).....	23
FIGURA 2 - TOTAL DIÁRIO DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL. MÉDIA ANUAL (PEREIRA, 2017).....	29
FIGURA 3 - RADIAÇÃO SOLAR (SOUZA et al., 2020).....	32
FIGURA 4 - MÓDULO DE SILÍCIO MONOCRISTALINO, FILME FINO E CÉLULAS DE OPV (SILVEIRA, 2020)	39
FIGURA 5 - DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS DO DOMO (SILEIRA E SCHMIT, 2020) .	40
FIGURA 6 - PROJETO DO ARTEFATO (SILVEIRA E SCHMIT, 2020)	41
FIGURA 7 - IMAGEM DO ARTEFATO INSTALADO (ARTEFATO ZERO, 2020)	41
FIGURA 8 - PLANIFICAÇÃO DO DOMO DE MAIO A OUTUBRO (A AUTORA, 2022) .	43
FIGURA 9 - PLANIFICAÇÃO DO DOMO EM NOVEMBRO E DEZEMBRO (A AUTORA, 2022).....	44
FIGURA 10 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA BIPVT (Adaptado de DEBBARMA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2017)	49
FIGURA 11 - DIAGRAMAS DE PERDAS ANUAIS DE IRRADIAÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO EM RELAÇÃO AO ÂNGULO AZIMUTAL E INCLINAÇÃO EM PORTO ALEGRE, RIO DE JANEIRO E RECIFE (CHIVELET E SOLLA, 2010)	51
FIGURA 12 - EXEMPLO DE PROJETO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CÉLULAS DENTRO DO MÓDULO, COM MARGEM SUFICIENTE PARA EVITAR SOMBRAS IMPORTANTES NAS CÉLULAS DAS BORDAS (CHIVELET E SOLLA, 2010).....	56
FIGURA 13 - COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL (A AUTORA, 2022).....	58
FIGURA 14 - SHOW ROOM CALYXO LIFAN MARIN 4,59KWP (TEK ENERGY, 2020)	63
FIGURA 15 - INTERIOR DA BIBLIOTECA POMPEU FABRA (CHIVELET E SOLLA, 2010).....	67
FIGURA 16 - FACHADA SOLAR ADAPTATIVA (ETH ZÜRICH, 2020).....	69
FIGURA 17 - TELHAS FOTOVOLTAICAS ETERNIT SOLAR ONDULADA F140 2.44 E BIG-F11 TÉGULA (ETERNIT SOLAR, 2022; TÉGULA, 2022)	71
FIGURA 18 - ACADEMIA MONT-CENIS (SBP, 2020)	72

FIGURA 19 - VISTA DA FACHADA FKI TOWER (URBAN NEXT, 2020).....	74
FIGURA 20 - DETALHE DA FACHADA FKI TOWER (URBAN NEXT, 2020).....	75
FIGURA 21 - VISTA DO JARDIM NO ÁTRIO DA COBERTURA (URBAN NEXT, 2020)	76
FIGURA 22 - VISTA DA ÁREA DE ESTAR DO RESORT (YYA 2020).....	78
FIGURA 23 - VISTA DA PASSARELA DO RESORT (YYA, 2020)	79
FIGURA 24 - TORRE DE SERVIÇO MANCHESTER CIS TOWER (GIGAZINE, 2007)	80
FIGURA 25 - ESPAÇO ENTRE OS MÓDULOS EXTERNOS E O ANTIGO REVESTIMENTO INTERNO DE MOSAICOS (YUMPU 2020)	81
FIGURA 26 - GRUPOS DE MÓDULOS DISPOSTOS NA HORIZONTAL (GIGAZINE, 2007).....	82
FIGURA 27 - PLANTA BAIXA: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)	83
FIGURA 28 - FACHADA SUL: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020).....	84
FIGURA 29 - TETO EM SHED: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020).....	84
FIGURA 30 - SISTEMA FOTOVOLTAICO E MECANISMOS DE VEDAÇÃO NO TELHADO FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020).....	85
FIGURA 31 - IMAGEM DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E MECANISMOS DE VEDAÇÃO NO TELHADO FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020).....	85
FIGURA 32 - PERFIL DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS DAS ALAS SUL E CENTRAL FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020).....	86
FIGURA 33 - COBERTURA EM SHED: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020) ..	87
FIGURA 34 - FACHADA DO EDIFÍCIO SÊNECA (ARCOWEB, 2020).....	88
FIGURA 35 - VISTA INTERNA DA LOGO DA TOTVS (ARCOWEB, 2020)	89
FIGURA 36 - VISTA INTERNA DO EDIFÍCIO SÊNECA (ARCOWEB, 2020)	90
FIGURA 37 - IMAGEM AÉREA DO CARPORT INSTALADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (NEGÓCIOS, 2020)	91
FIGURA 38 - IMAGEM DO CARPORT INSTALADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (A AUTORA, 2020).....	92
FIGURA 39 - CARPORT INSTALADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (A AUTORA, 2020).....	93
FIGURA 40 - INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS DO DOMO (A AUTORA, 2023).....	95

FIGURA 41 - ROSA DOS VENTOS (A AUTORA, 2022)	96
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR, 2023).....	14
GRÁFICO 2 - GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A REDE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR, 2023).....	20
GRÁFICO 3 - VARIAÇÃO MENSAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA DIFERENTES INCLINAÇÕES (RONÇANI; ZANCHETTA; RAMPINELLI, 2014).....	34
GRÁFICO 4 - PERDAS ANGULARES ANUAIS DE UM MÓDULO DE SILÍCIO CRISTALINO, CALCULADAS PARA PORTO ALEGRE, REPERESENTADAS EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DO MÓDULO (CHIVELET E SOLLA, 2010)	54
GRÁFICO 5 - GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE FILME FINO - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023).....	97
GRÁFICO 6 - GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE SILÍCIO - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023).....	98
GRÁFICO 7 - MÉDIAS DAS GERAÇÕES DO MÊS DE MAIO A DEZEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)	104

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS DO DOMO (SILVEIRA, 2020)	40
TABELA 2 - VALORES GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE FILME FINO - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023).....	95
TABELA 3 - VALORES GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE SILÍCIO CRISTALINOS - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023)	97
TABELA 4 - PLANILHA DE CONVERSÃO DE TECNOLOGIAS (A AUTORA, 2023)	99
TABELA 5 – INTERPOLAÇÃO E SIMETRIA DA GERAÇÃO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO DO MÊS DE JUNHO (A AUTORA, 2023)	100
TABELA 6 – GERAÇÃO DO MÊS DE MAIO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	100
TABELA 7 - GERAÇÃO DO MÊS DE JUNHO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	101
TABELA 8 - GERAÇÃO DO MÊS DE JULHO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	101
TABELA 9 - GERAÇÃO DO MÊS DE AGOSTO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	101
TABELA 10 - GERAÇÃO DO MÊS DE SETEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	102
TABELA 11 - GERAÇÃO DO MÊS DE OUTUBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	102
TABELA 12 - GERAÇÃO DO MÊS DE NOVEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	102
TABELA 13 - GERAÇÃO DO MÊS DE DEZEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022).....	103
TABELA 14 - MÉDIAS DAS GERAÇÕES DOS MÊS DE MAIO A DEZEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)	103
TABELA 15 - PERDA DE DESEMPENHO DOS MÓDULOS DE SILÍCIO CRISTALINOS E FILME FINOS COM A VARIAÇÃO DE INCLINAÇÃO E DESIO AZIMUTAL (A AUTORA, 2023).....	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 CONTEXTO E PROBLEMA	16
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA.....	20
1.5 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA	21
1.5.1 Unidade de análise	21
1.5.2 Delimitação do problema.....	21
1.5.3 Justificativa da escolha do método a partir do objetivo.....	22
1.5.4 Mapa mental	22
1.5.5 Testes de validade	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1.1 Sistemas fotovoltaicos de geração de energia.....	26
2.1.2 Not about fashion, but about survival	28
2.2 ESTADO DA ARTE.....	32
2.2.1 Estudos sobre influência do ângulo azimutal e da inclinação do módulo fotovoltaico na geração de energia elétrica.....	33
3 MÉTODO	37
3.1 ARTEFATO ZERO	37
3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	42
3.3 RESULTADOS OBTIDOS.....	42
4 PESQUISA DOCUMENTAL SOBRE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ARQUITETURA	46

4.1 CONDIÇÕES ÓTIMAS PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES	49
4.1.1 Fatores de perda	52
4.1.2 Barreiras para a implantação de BIPV no Brasil	56
4.1.3 Ensino de sistemas fotovoltaicos de geração de energia para arquitetos.....	59
4.2 MATERIAL FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA DISPONÍVEL NO MERCADO BRASILEIRO	62
4.2.1 Aplicações da tecnologia fotovoltaica na pele dos edifícios	64
4.2.2 Fachadas ventiladas e sistemas de paredes cortinas	64
4.2.3 Sistemas de janelas e brise-soleil	68
4.2.4 Cobertura e claraboias	69
4.3 ESTÉTICA BIPV	73
4.3.1 Casos BIPV internacionais	73
5 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS DO ARTEFATO ZERO.....	94
5.1 MÉTODO 1	94
5.2 MÉTODO 2	99
6 APRENDIZAGEM, RESULTADOS E DISCUSSÕES	106
REFERÊNCIAS	107
ANEXO 1. MÓDULO DE SILÍCIO POLICRISTALINO UTILIZADO	116
ANEXO 2. MÓDULO DE FILME FINO UTILIZADO.....	118
ANEXO 3. MÓDULO DE OPV UTILIZADO	119

1 INTRODUÇÃO

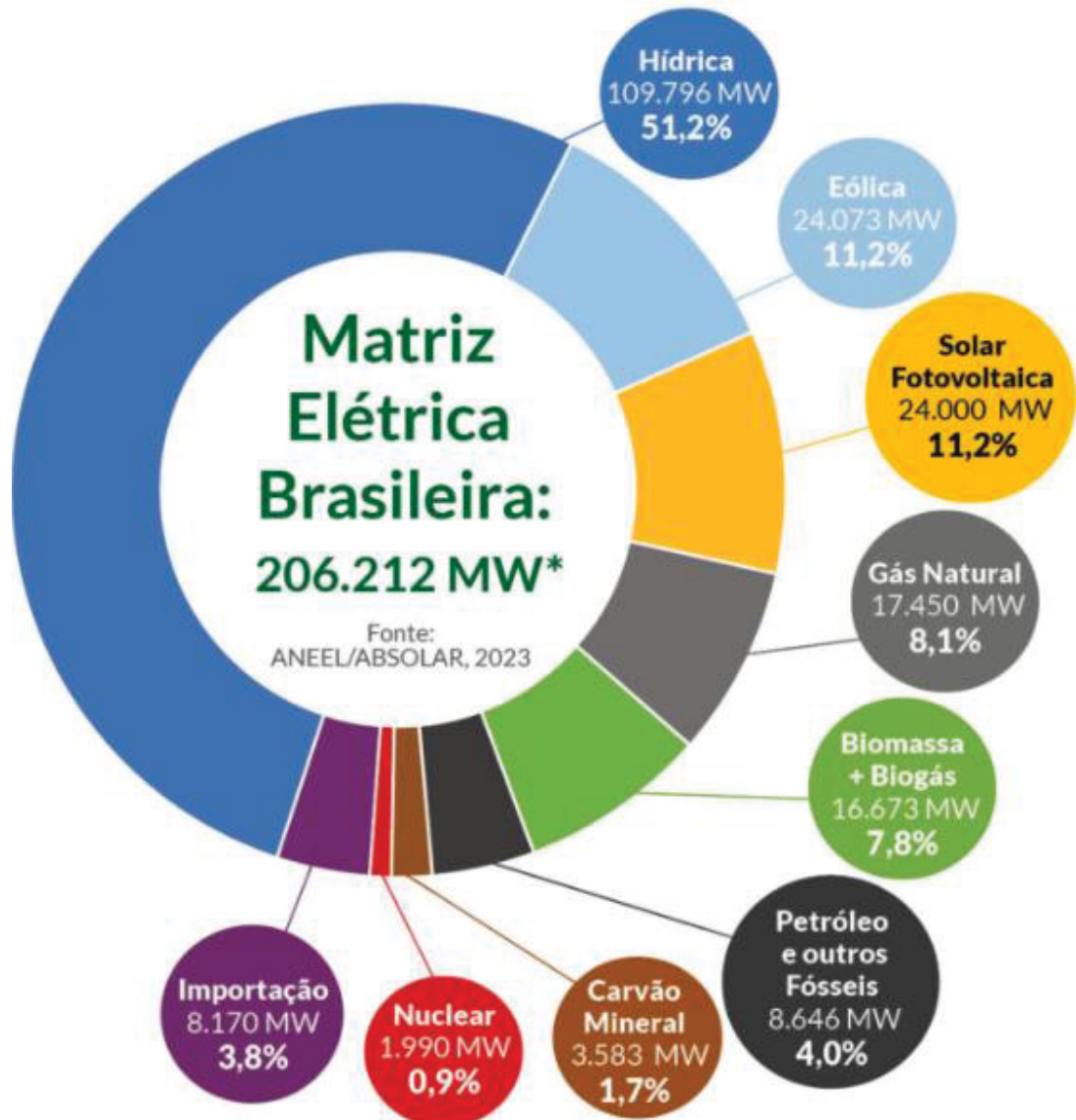
A geração de energia elétrica através de tecnologias mais sustentáveis e fontes renováveis tem sido muito discutida devido a preocupações relacionadas a meio ambiente, independência energética e altos custos com combustíveis fósseis. A utilização da energia solar fotovoltaica tem crescido na última década pois é uma opção viável para auxiliar os edifícios a atender seus gastos energéticos (YAO *et al.*, 2017).

Segundo um levantamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), a energia solar tornou-se a terceira maior fonte da matriz elétrica brasileira – à frente das termelétricas a gás natural e biomassa. A instalação de sistemas fotovoltaicos soma 24 GW de capacidade, dado que pode ser verificado no GRÁFICO 1 (2023).

Por muitos anos, os sistemas fotovoltaicos foram instalados como estruturas independentes montadas em edifícios e utilizados apenas para geração de energia. Porém nos últimos anos, o número de estudos sobre diferentes soluções de integração de sistemas de geradores de energia solares a edifícios aumentou (CAPELLETTI; NELLI; REATTI, 2018).

Como consequência, tecnologias fotovoltaicas modernas já estão disponíveis para o setor da construção a preços competitivos. Isso impulsiona o surgimento de abordagens inovadoras para se encontrar novas soluções arquitetônicas na escala do edifício (CAPELLETTI; NELLI; REATTI, 2018).

GRÁFICO 1 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR, 2023)



*A potência total da matriz não inclui a importação e segue critério aplicado pelo MME, que adiciona, nos valores de capacidade instalada, as quantidades de mini e microgeração distribuída associadas a cada tipo de fonte.

O desenvolvimento do mercado de células fotovoltaicas permite novas soluções para a integração arquitetônica de materiais de geração solar nos edifícios (CHIVELET E SOLLÁ, 2010). Novas formas e tamanhos de células circulam no mercado internacional de modo que seu uso integrado proporciona o aumento do valor estético, funcional e ambiental de uma edificação (SANTOS, 2013).

Além da possibilidade de novas aplicações, outro fato que impulsiona o crescimento do mercado fotovoltaico são as políticas de incentivo que atraem investimentos de capital privado (PAGLIARO *et al.*, 2010).

Para aumentar o desempenho energético dos edifícios, a União Europeia estabeleceu um quadro legislativo que inclui a Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios 2010/31/UE e a Diretiva de Eficiência Energética 2012/27/EU (Energy Performance of Buildings Directive). Juntas, as diretrizes promovem políticas que ajudarão alcançar um parque imobiliário altamente eficiente energeticamente e descarbonizado até 2050 criar um ambiente estável para decisões de investimento de modo a permitir que consumidores e empresas façam escolhas mais informadas para economizar energia e dinheiro.

Após a introdução de regras de desempenho energético nos códigos de construção nacionais das cidades europeias, os edifícios consomem apenas metade hoje, em comparação com edifícios típicos da década de 1980 (EUROPEAN UNION, 2022).

O Brasil apresenta condições diferenciadas para a implantação da fonte solar fotovoltaica. Especialmente, as regiões Nordeste, norte de Minas Gerais e de São Paulo, bem como Centro-Oeste apresentam índices de irradiação solar e produtividades anuais das usinas solares elevados, quando comparados aos valores de países desenvolvidos, como Alemanha, Reino Unido ou Japão. Porém, os maiores consumidores de energia elétrica se localizam nas regiões Sudeste e Sul. Portanto, é necessário que se promova um acréscimo proporcional da geração para os locais de alto consumo.

Em 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL instituiu a Resolução Normativa Nº 482, que estabeleceu as bases para a instalação e a conexão de usinas de micro e minigeração distribuída de energia e também criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

O Sistema de Compensação de Energia permite ao consumidor de mini e microgeração de energia, a obtenção de créditos (em kWh) por eventuais excedentes injetados na rede da concessionária que são descontados de faturas posteriores.

O novo Marco Legal da Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD) pautado pela Lei 14.300/2022 diferencia-se do Sistema de Compensação de Energia, e da antiga REN 482/2012 (Resolução Normativa nº 482/2012) em alguns pontos e o principal deles é em

relação ao valor da compensação. Na antiga REN 482/2012, a compensação considerava todos os componentes da tarifa de eletricidade, ou seja, não havia impostos sobre a tarifa de distribuição.

A nova regra reduz o valor da energia elétrica compensada. Em média, considerando as 58 principais distribuidoras e tarifas Grupo B - Convencional, na Lei 14.300, a compensação sofre uma redução gradual média que pode variar entre 31 % e 36 % dependendo das características da modalidade de compensação.

Para essa transição, para os sistemas que protocolaram a solicitação de acesso na distribuidora ao longo de 2022 continuam com os benefícios concedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Esses consumidores serão beneficiados pela ausência de tarifas até 2045.

Com a regulamentação, a geração e consumo de energia solar no Brasil, tanto para casas, pequenos negócios, propriedades rurais, entre outros, ganha mais equilíbrio e estabilidade, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar (2022).

O mercado BIPV no Brasil é ainda pouco desenvolvido. Os módulos full-screen têm sido a tecnologia mais recente e mais próxima aos materiais utilizados em integrações fotovoltaicas nas edificações. Trata-se de um módulo que não possui uma moldura na parte dianteira, e sim um vidro inteiro, o que promove a autolimpeza nos módulos. Esse diferencial de serem projetados para lidar com as intempéries é citado por Silveira, Dias e Schmid (2018) como uma característica necessária para os produtos BIPV pois permite a sua utilização em coberturas e fachadas como peças construtivas.

Devido ao mercado ínfimo de materiais para a integração arquitetônica disponível no Brasil, há pouca pesquisa sobre o tema. A análise então, do comportamento de células disponíveis em diferentes orientações e inclinações realizado em um experimento e não somente e simulações em softwares pode auxiliar a otimizar o uso da tecnologia existente em nosso país

1.1 CONTEXTO E PROBLEMA

Desde 2019, a fonte solar está entre as mais competitivas no Brasil. A evolução do preço da geração energética fotovoltaica em leilões de energia no mercado regulatório

cresceu 210% em três anos. O aumento das instalações foi causado principalmente pela diminuição dos custos dos produtos fotovoltaicos e pelos reajustes frequentes nas faturas de energia elétrica motivados pela crise hídrica que assolou o país. Para se ter uma ideia, entre março e maio de 2021, a região centro-oeste brasileira registrou uma redução de 267 km³ no volume total de água existente em rios, lagos, solo e aquíferos, em relação à média dos últimos 20 anos, o que tornou a tecnologia fotovoltaica uma alternativa viável ao consumidor fazendo com que a fonte solar fotovoltaica atingisse novos recordes de geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (ABSOLAR, 2022 e CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2023).

Embora a tecnologia de geração de energia solar fotovoltaica tenha conquistado espaço no mercado brasileiro, sua utilização ainda é em sua maioria arcaica com módulos de silício mono e policristalinos instalados em coberturas ou em usinas sobre o solo (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Apesar do mercado fotovoltaico estar em crescente expansão e novas tecnologias em células fotovoltaicas serem desenvolvidas, no Brasil ainda há poucos exemplares de instalações que fogem ao padrão básico de instalações citado. A falta de informação sobre as propriedades dos materiais e seus componentes e estudos sobre suas formas de utilização são algumas das justificativas pelas quais os profissionais não aplicam as diferentes formas de integração fotovoltaica nas edificações.

Além disso, os recursos disponíveis no mercado brasileiro priorizam a aplicação dos módulos após a fase de construção, sobrepondo camadas de materiais, o que resulta em gastos desnecessários.

O principal fator causador do desconhecimento sobre sistemas fotovoltaicos, citado anteriormente, é o processo de formação dos arquitetos. Através de uma pesquisa com arquitetos em vários países, Kanter, Horvat e Dubois (2014) constataram que os profissionais acreditam que projetar com painéis solares integrados à arquitetura exige mais conhecimento técnico do que o habitual de modo que a maioria deles admitiu que possuem pouco ou nenhum entendimento sobre o assunto.

A carência de conhecimento sobre os potenciais e aplicações de sistemas de geração de energia a partir da fonte solar e a falta de informações técnicas que instruem

profissionais são alguns dos obstáculos que os arquitetos enfrentam durante a concepção e escolha dos materiais para seus projetos.

Segundo Santos (2013), os profissionais da arquitetura aprovavam a utilização de sistemas solares de geração de energia, porém manifestavam muitas dúvidas e incertezas em relação ao desempenho e aplicação da tecnologia. Considero que tal formulação do problema permanece atual, já que não foram identificadas ações formativas que acompanhassem a popularização recente dos sistemas fotovoltaicos no Brasil.

A análise de sistemas fotovoltaicos é fundamental, pois seu desempenho é influenciado por condições climáticas locais específicas, como temperatura, intensidade da radiação solar e espectro solar, além de outras variáveis, como orientação e sombreamento. Em relação à orientação de um sistema fotovoltaico, é importante considerar a inclinação e o azimuth. A inclinação pode ser definida como o ângulo entre o plano horizontal e a matriz fotovoltaica, enquanto o azimuth representa a orientação da superfície da matriz (SEDRAOUI *et al.*, 2017).

Portanto, é a seguinte formulação de problema da presente pesquisa: é possível, nas condições brasileiras da região de Curitiba, a integração arquitetônica de sistemas fotovoltaicos, de modo que sejam, no mínimo, neutros em relação à estética nos edifícios e instalações, e proporcionem resultado rentável?

1.2 OBJETIVOS

Nesse contexto, o objetivo geral desse trabalho é duplo.

O primeiro é o de realizar uma revisão do estado da arte que não é aquele continuamente feito em dissertações e teses como também referente à pesquisa publicada em artigos e dissertações. Esta revisão será feita do modo convencional; mas acrescenta-se uma revisão prospectiva da tecnologia oferecida, que se assemelha mais a uma pesquisa documental.

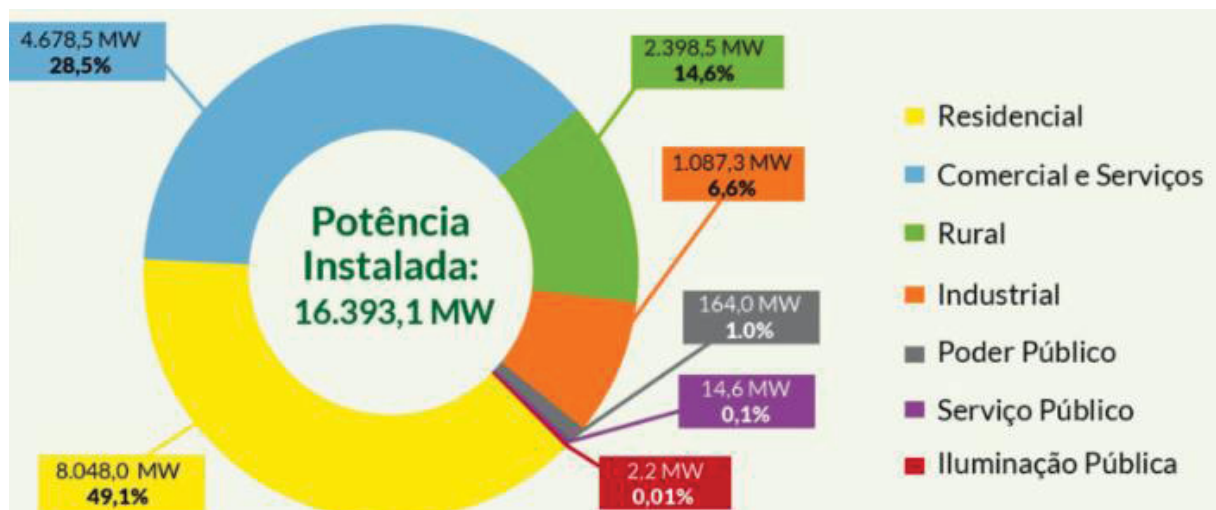
O segundo é o de investigar preliminarmente os dados de geração fotovoltaica do artefato zero, instalado no centro politécnico da Universidade Federal do Paraná e sintetizar as informações de maneira que esta dissertação possa servir como ferramenta de apoio para profissionais da área de modo a melhor otimizar o uso de materiais fotovoltaicos nas edificações respeitando as superfícies existentes e evitando as medidas de adaptação que interferem na forma dos edifícios.

1.3 JUSTIFICATIVA

Dados do último Balanço Energético Nacional (2021) mostram que o setor residencial é um dos maiores consumidores de energia em nosso país. O ano de 2020 foi marcado pela pandemia que ocasionou grandes impactos na economia mundial e nacional. Devido às políticas de distanciamento social, e à prática de home office adotada por várias empresas, o setor residencial registrou um aumento de 4,05% no consumo de energia dos domicílios. Por essa razão, incentivar o uso de sistemas fotovoltaicos é positivo pois além de gerar energia elétrica próxima ao ponto de consumo sem ocupar área extra, não interfere negativamente no seu entorno, conciliando desenvolvimento econômico e cuidado com o meio ambiente.

Embora a matriz energética em nosso país seja predominantemente hídrica, proveniente da geração de hidrelétricas, a fonte solar fotovoltaica tem aumentado. Segundo a ABSOLAR, em setembro de 2023 os sistemas de geração distribuída conectados ao Sistema Interligado Nacional ultrapassaram 16,3GW de potência operacional (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 2 - GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A REDE
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR, 2023)



Esses dados refletem a necessidade de desenvolver pesquisas relacionadas à área de ambiente construído que incentivem a aplicação de sistemas de geração de energia fotovoltaica nas edificações.

Através da análise dos dados gerados pelo artefato zero a pesquisa tem como justificativa a possibilidade de contribuir para sanar a carência de dados sobre a geração energética de células fotovoltaicas em diferentes inclinações e azimutes.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica integrados às edificações começaram a ser empregados a partir dos anos 90 e despertaram maior interesse após os anos 2000 (BIYIK *et al.*, 2017). A tecnologia é utilizada em fachadas, coberturas e anteparos em construções de diversos países, com destaque para Alemanha e China.

Seu potencial multiuso de geração de energia com apelo estético high-tech e suas vantagens como a diminuição dos custos de materiais pela não sobreposição de camadas culminou em um interesse cada vez maior dos arquitetos e engenheiros.

Resultado disso, são os diversos estudos experimentais e numéricos relacionados ao projeto do sistema BIPV e seus efeitos no desempenho do edifício.

No Brasil, sua utilização foi um pouco mais tardia: somente em 2012 os consumidores puderam gerar sua própria energia conectada à rede elétrica. Esse atraso reflete atualmente na forma de usar os sistemas. Ainda estamos na fase inicial de aplicação dos módulos fotovoltaicos na cobertura e pouca tecnologia para integrar os sistemas nas edificações circula no mercado brasileiro.

Além do início tardio, existem outras barreiras que retardam o uso dos BIPV's em nosso país. A falta de incentivos governamentais que possam auxiliar a expansão do uso da tecnologia fotovoltaica e a ausência de conhecimentos dos profissionais sobre as suas potencialidades são alguns exemplos de entraves.

1.5 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA

O planejamento e a condução do projeto de pesquisa serão expostos das seguintes formas:

1.5.1 Unidade de análise

Os objetos de avaliação deste projeto de pesquisa são dois: a) o mercado de sistemas fotovoltaicos integrados a edifícios b) os dados coletados pelo artefato zero de modo a quantificar o potencial de módulos de orientações supostamente desfavoráveis na região da latitude onde o experimento foi construído.

1.5.2 Delimitação do problema

O recorte geográfico do problema é a região de Curitiba, em que vivem 1.948.626 habitantes, com sua latitude, altitude e meteorologia influenciando o recurso solar

disponível em cada orientação e inclinação de fachada ou telhado. O recorte temporal é contemporâneo.

1.5.3 Justificativa da escolha do método a partir do objetivo

O método deste projeto de pesquisa tem caráter duplo: explicativo dedutivo e exploratório com abordagem quali-quantitativa. Para o desenvolvimento da pesquisa as estratégias utilizadas serão:

- • pesquisa documental sobre tecnologias atuais de integração arquitetônica de sistemas fotovoltaicos;
- • levantamento dos materiais fotovoltaicos e sistemas de medição utilizados pelo artefato zero;
- • análise das pesquisas da equipe que desenvolveu o artefato zero;
- • análise dos dados gerados pelo artefato entre os meses de maio a dezembro de 2022 através de planilhas e gráficos.

Segundo Fontelles *et al.* (2009) o sucesso do correto delineamento da pesquisa de coleta de dados depende diretamente da obtenção de dados esperados durante um período de tempo definido e a comparação dessas informações de maneira a permitir que uma possível diferença entre os números seja quantificada em termos absolutos e relativos.

Após o desenvolvimento sistemático dos itens acima os resultados serão compilados de forma a orientar os profissionais sobre os diferentes usos dos sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

1.5.4 Mapa mental

FIGURA 1 - MAPA MENTAL (A AUTORA, 2022)



1.5.5 Testes de validade

Embora as vantagens da integração de módulos fotovoltaicos nas edificações sejam claras e a multifuncionalidade dos sistemas já seja reconhecida através de estudos e testes, a tecnologia ainda enfrenta obstáculos de aceitação junto ao público investidor. Um dos fatores inibidores é o desconhecimento dos arquitetos e construtores, justamente os profissionais que indicarão os seus clientes e investidores os materiais e técnicas que podem ser utilizados nas edificações (HEINSTEIN; BALLIF E PERRET-AEBI, 2013).

O Brasil tem registrado uma intensa inserção de fontes renováveis em sua matriz energética. Embora aquecido, o mercado nacional ainda pode ser considerado incipiente quando comparado a China, Japão e Estados Unidos. O desenvolvimento da fonte solar fotovoltaica avança, mas ainda há potencial a ser explorado.

A maior parte do mercado fotovoltaico brasileiro atua através da utilização de módulos solares com células à base de silício e sua utilização em coberturas e em instalações em solo. Novos usos do material na construção civil e novos tipos de materiais vêm sendo desenvolvidos por pesquisadores em todo mundo. Porém, em nosso país, verifica-se atualmente uma corrida energética fotovoltaica na qual

instaladores convencem seus clientes a instalar os sistemas com o objetivo de escaparem de futuras taxações e impostos.

Com pouco espaço no mercado, não existem muitas pesquisas a respeito do aprimoramento do uso dos módulos de silício. Desta forma, dados sobre produção de energia e desempenho devido à inclinação do telhado e também da posição da edificação com relação ao ângulo azimutal são quase escassos.

As pesquisas existentes no Brasil que exploram esse tema contam com softwares de simulação que utilizam informações de dados de rendimentos das células disponibilizados pelos fabricantes. Estes por sua vez são extraídos em testes realizados em ambientes controlados e pouco podem ser comparados com uma real instalação que conta com fatores externos como regime de nebulosidade, albedo, sombreamento, entre outros.

Diferentemente das simulações esta pesquisa conta com dados de geração provenientes de uma real instalação, o artefato zero. Desenvolvido por uma equipe do departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Paraná, associada ao PPGDesign e no contexto do projeto Minirredes¹, esta pesquisa é a primeira a analisar os dados do experimento construído no Centro Politécnico em Curitiba, Paraná.

A necessidade de extrapolar os limites do atual cenário nacional de instalação de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica provém do fato de que a autora desta pesquisa trabalha na área há cinco anos. Graduada em arquitetura, sempre ansiou por novos usos e aplicações dos materiais disponíveis no mercado de trabalho.

Avançar os resultados dessa instalação através da verificação dos dados gerados pelo artefato zero edifica e valida a sua importância como meio de obter esclarecimentos e resultados reais de diferentes modos de instalações fotovoltaicas.

Dessa forma, valida-se o constructo por apresentar a pertinência do estudo que otimiza a utilização de sistemas de geração de energia fotovoltaica na construção civil.

O projeto de pesquisa dispõe de validade interna pois os dados coletados são extraídos de modelos que utilizam das mesmas células fotovoltaicas empregadas em

¹ projeto PD 2866-0470/2017, no âmbito do programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico Companhia Paranaense de Energia – COPEL, regulamentado pela ANEEL, coordenado por Gustavo Henrique da Costa Oliveira e André Pedretti

produtos do mercado. A validade interna do estudo pode ser ameaçada por alguns módulos que estão instáveis e apresentam problemas de geração.

A validade externa da pesquisa é justificada para instalações fotovoltaicas de latitude, altitude e regime de insolação próximas ao local onde o artefato zero está situado, locais nos quais os resultados do estudo são aplicáveis. Quanto à replicação dos resultados para outras localidades, de notável diferença de irradiação solar seja pela latitude ou condições meteorológicas, ela seria condicionada ao uso de um equipamento equivalente em tal localidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão de literatura abrange o referencial teórico, um estudo exploratório que tem como objetivo abordar informações sobre conceitos da geração de energia fotovoltaica.

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Os conteúdos compreendidos pelo referencial teórico são a descrição dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia, o amadurecimento do pensamento em defesa do desenvolvimento sustentável entre as nações e suas formas de aplicação e integração nas edificações.

2.1.1 Sistemas fotovoltaicos de geração de energia

Basicamente, o efeito fotovoltaico corresponde à geração de uma diferença de potencial elétrico entre dois terminais de uma estrutura, geralmente uma junção p-n. Em um dispositivo iluminado, o efeito fotoelétrico interno é capaz de gerar um par elétron-lacuna ao absorver um fóton (LIMA, 2020).

Atualmente, a radiação solar é uma das mais importantes fontes de energia renovável, principalmente na faixa espectral do infravermelho e da luz visível, que pode ser convertida diretamente em energia térmica ou elétrica com o auxílio de materiais e equipamentos adequados. Um dispositivo capaz de converter luz diretamente em energia elétrica produzindo tensão e corrente quando iluminado é chamado de célula fotovoltaica (LIMA, 2020).

Em 1839 o físico francês Edmund Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico ao mergulhar placas metálicas de platina e prata em um eletrólito produzindo uma diferença de potencial quando expostas à luz (BRITO; VALLÊRA, 2006). 34 anos depois, em 1873, Willoughby Smith acidentalmente produziu a primeira célula fotovoltaica

com barras de selênio em tubos de vidro com fios de platina nas extremidades (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA, 2004).

O selênio foi utilizado anos mais tarde em 1877 por William Grylls Adams e Richard Evans Day para desenvolver o primeiro dispositivo fotoprodutor de eletricidade através do depósito do material em um substrato de ferro em contato com um fio de ouro. Com eficiência de conversão de 0,5%, o sistema foi comercializado no final do século XIX por Werner Siemens como fotômetros em aparelhos fotográficos (BRITO; VALLÊRA, 2006). Charles Fritz aperfeiçoou o modelo e dobrou sua eficiência energética anos depois (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA, 2004).

Vallêra e Brito chamam de “o nascimento” do desenvolvimento da célula solar de silício por Calvin Fuller em 1953 (2016). Através da dopagem do material (processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício com o objetivo de controlar suas propriedades elétricas) com gálio mergulhados em lítio. O processo fez surgir um campo elétrico permanente já que o gálio funciona como condutor de cargas positivas e doador eletrônico. O lítio, por sua vez, acumula cargas negativas, gerando uma corrente elétrica.

Gerald Pearson e Daryl Chapin auxiliaram Fuller a otimizar sua invenção e juntos registraram sua patente em 1957. O experimento foi colocado em prática em 1965 em um painel com nove células para fornecer energia a uma rede telefônica no estado da Geórgia, Estados Unidos, porém após sete meses de uso, a tecnologia foi considerada cara para a época (WOLF, 1960).

Embora a aplicação da célula solar foi descartada para o uso no mercado de energia da época, a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço do governo dos EUA, responsável pela pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial, ou NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) incorporou a tecnologia como *back-up* para uma pilha no satélite Vanguard I. Surpreendentemente, o painel de células solares substituiu a pilha e manteve o aparelho que transmitia sinais à terra em funcionamento durante oito anos. A partir daí todos os satélites dos EUA incorporaram células solares em seus projetos (KOLTUN, 1996).

A corrida para o espaço das décadas de sessenta aperfeiçoou a tecnologia em termos de eficiência, porém a crise petrolífera de 1973 acelerou os investimentos a fim

de diminuir os custos de produção das células solares. Isso estimulou o uso de novos materiais, como o silício multicristalino (BRITO; VALLÊRA, 2006).

A maturidade das células solares segundo Britto e Vallêra (2006) foi atingida durante as décadas de oitenta e noventa quando as preocupações ambientais aumentaram principalmente pela queima de combustíveis fósseis, motivando o desenvolvimento do mercado de energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos.

2.1.2 Not about fashion, but about survival

“Solar architecture is not about fashion, it is about survival. Em tradução literal, arquitetura solar não é a respeito de moda, é a respeito de sobrevivência.” Lord Norman Foster defendeu o arquiteto inglês Lord Norman Foster em seu compromisso com a arquitetura sustentável, solar e com fontes renováveis de energia, na primeira Conferência Europeia de Arquitetura Solar de 1993 em Florença (PALZ, 2010).

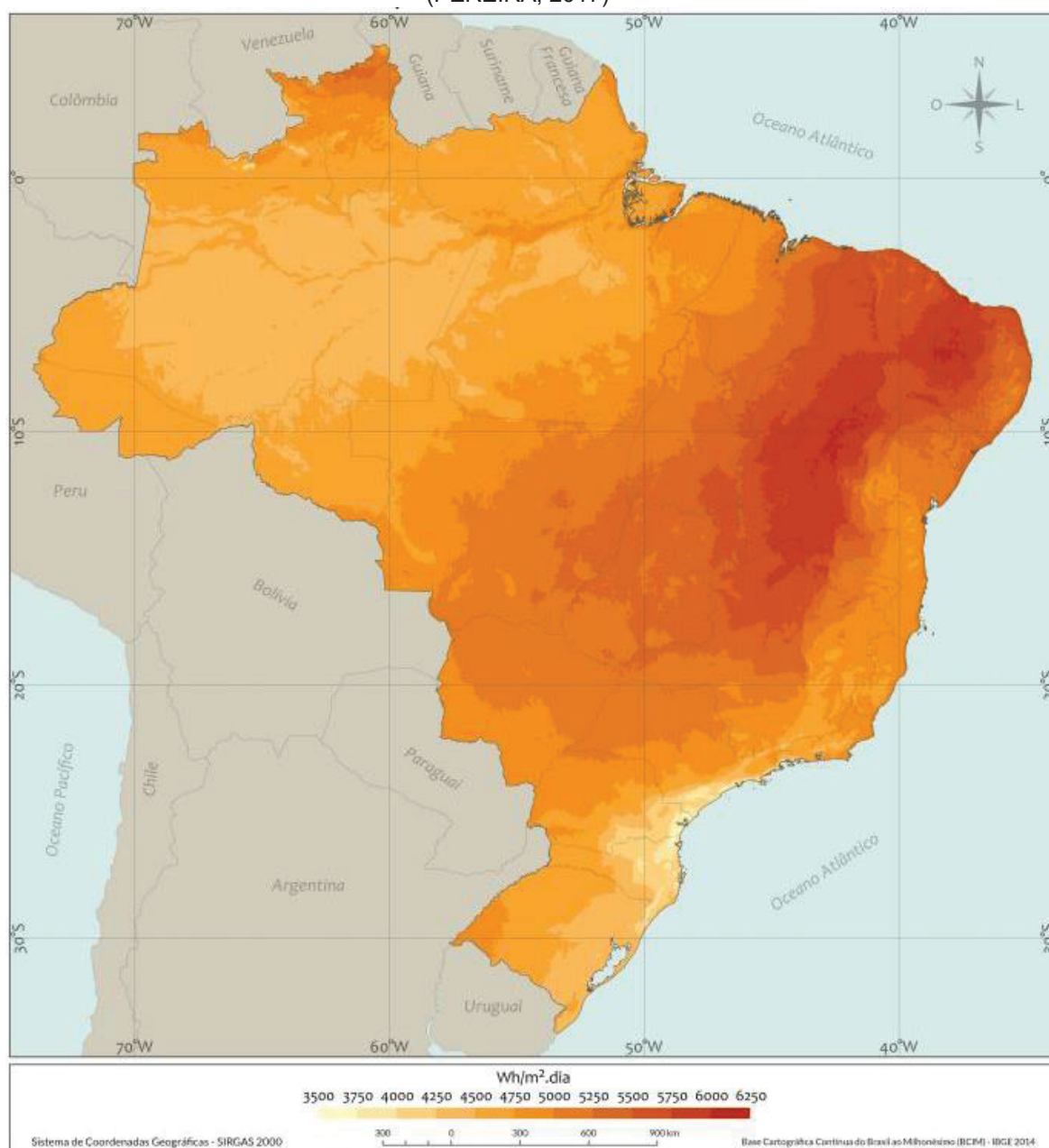
Os autores Chivelet e Solla (2010) apontam que a energia solar fotovoltaica será uma das mais importantes fontes na matriz energética no mundo e seu êxito ocorrerá a partir de uma combinação entre conquistas tecnológicas e comprometimento social:

“A família que decide ter uma casa fotovoltaica, bem como a instituição que decide construir uma sede fotovoltaica [...] está declarando que optou por mundo sustentável e está mostrando que pode dar uma contribuição eficaz, não apenas simbólica; está fazendo-o mediante a adoção de uma geração de energia limpa [...] e além disso está contribuindo para o crescimento de uma indústria perfeitamente capaz de tornar essa opção mais econômica.” (p. 10)

Segundo o estudo realizado em 2019 pelo ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, a EPE - Empresa de Pesquisa Energética e a CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, chamado de “Previsão de Carga e Planejamento Anual da Operação Energética 2019-2023” é previsto o crescimento do consumo no Sistema Interligado Nacional de 3,8% ao ano.

Observa-se na Figura 2 que os valores de irradiação solar considerados bons para a geração de eletricidade (acima de 4 kWh/m²/dia) ocorrem em mais de 90% do território brasileiro, embora a potência total instalada seja de pouco mais de 2 GW de potência em micro e minigeração distribuída de energia elétrica (ABSOLAR, 2019).

FIGURA 2 - TOTAL DIÁRIO DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL. MÉDIA ANUAL (PEREIRA, 2017)



Devido à distância entre o Sol e Terra, a radiação engloba duas componentes: a direta que não sofre desvios e a difusa na qual o feixe de irradiação direto é espalhado por moléculas, aerossóis e nuvens (TIEPOLO *et al.*, 2017).

Tiepolo *et al.* (2017) argumenta que em dias totalmente nublados a radiação que chega à superfície da Terra é totalmente difusa enquanto que em dias de céu claro sem nuvens, a radiação predominante é a direta em torno de 80% e o restante difusa.

As ondas eletromagnéticas são distribuídas em comprimentos de onda (ou frequências), podendo ser classificada em 3 grandes faixas:

- i) radiação ultravioleta (UV): radiação de comprimento de onda abaixo de 400 nm;
- ii) luz visível (VIS): de comprimento de onda entre 400 e 780 nm e
- iii) radiação infravermelha (IV): comprimento de onda acima de 780 nm.

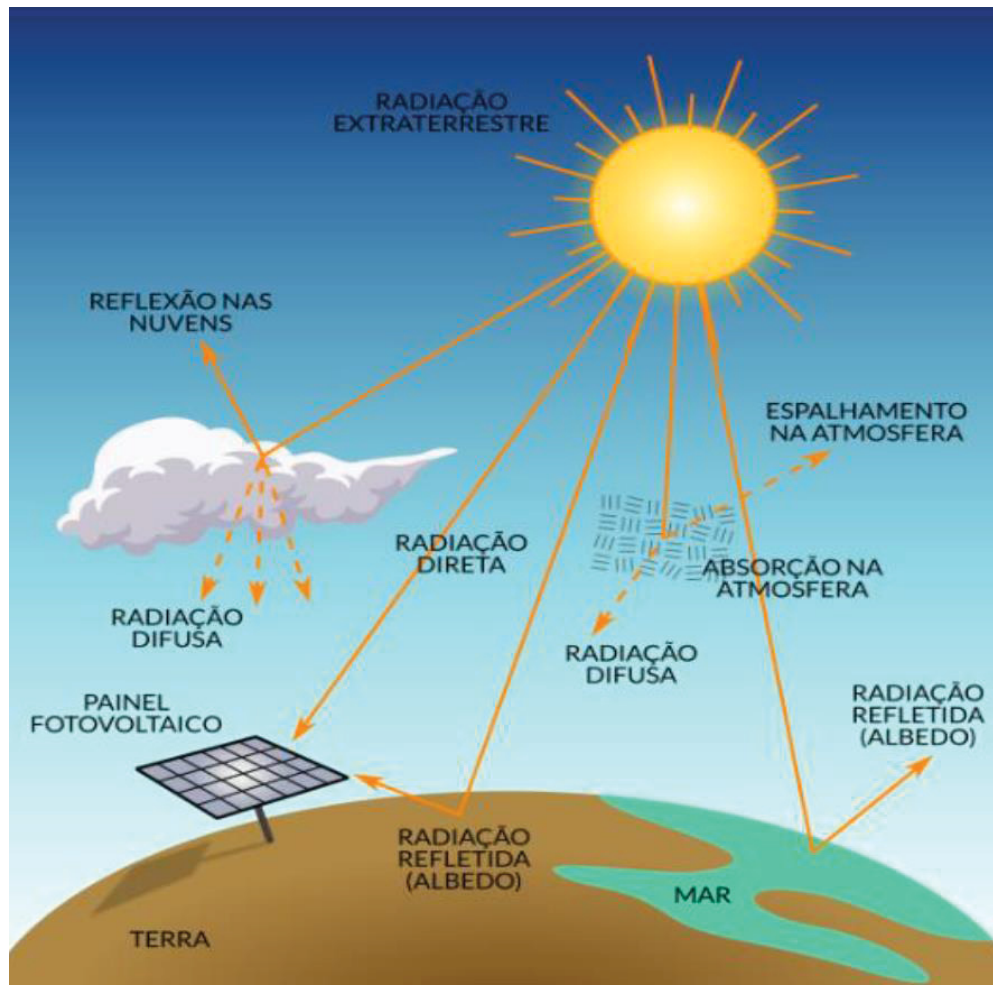
De acordo com os dados obtidos por Neves (2016) os módulos fotovoltaicos têm maior rendimento em condições de menores “Massas Ar” ou maiores quantidades de água na atmosfera. Maiores quantidades de água na atmosfera estão relacionadas a uma maior absorção do infravermelho, o que eleva o valor da energia média dos fótons:

Como pode ser observado, em todos eles a tendência do espectro foi de ter um formato com maiores intensidades nas regiões de menor comprimento de onda e o contrário nos maiores valores de comprimento de onda conforme o horário se aproximava das 12:00 horas. A explicação para estas mudanças está relacionada à diminuição do parâmetro Massa Ar e a consequente diminuição do efeito causado pelo espalhamento Rayleigh. Conforme o Sol se aproxima da zênite (que ocorre próximo ao meio dia) a radiação solar percorre um caminho menor na atmosfera do que as 10:00h ou as 14:00h, resultando em um espalhamento menos intenso. Deste modo há modificações no formato espectral e, como este fenômeno físico é mais pronunciado nos menores valores de μ_a , uma 1,972 1,9725 1,973 1,9735 1,974 09:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 APE (eV) Hora 142 diminuição deste espalhamento acaba levando a maiores intensidades nas regiões do visível e ultravioleta. Como nestas regiões os fótons são mais energéticos, a energia média dos fótons se eleva (Neves, 2016).

A quantidade de radiação depende do ângulo entre o módulo e o sol que impacta na radiação solar incidente em uma superfície (SOUZA *et al.*, 2020).

As diferentes formas de irradiância são:

- Irradiância extraterrestre: fração de energia que incide em um plano horizontal imaginário situado no topo na atmosfera por unidade de área.
- Irradiância global horizontal: quantidade de energia total (irradiância direta e difusa) que incide em um plano horizontal.
- Irradiância direta normal: fração de energia proveniente do Sol que incide perpendicularmente à superfície por unidade de área.
- Irradiância direta: fração de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal.
- Irradiância difusa: fração de energia que incide em um plano horizontal por unidade de área decorrente do espalhamento do feixe solar.
- Irradiação refletida (albedo): irradiação refletida pelo ambiente do entorno (SOUZA *et al.*, 2020).

FIGURA 3 - RADIAÇÃO SOLAR (SOUZA *et al.*, 2020)

2.2 ESTADO DA ARTE

Esta seção apresenta as discussões a respeito dos dados de geração dos módulos solares sob diferentes ângulos azimutais e da inclinação

2.2.1 Estudos sobre influência do ângulo azimutal e da inclinação do módulo fotovoltaico na geração de energia elétrica

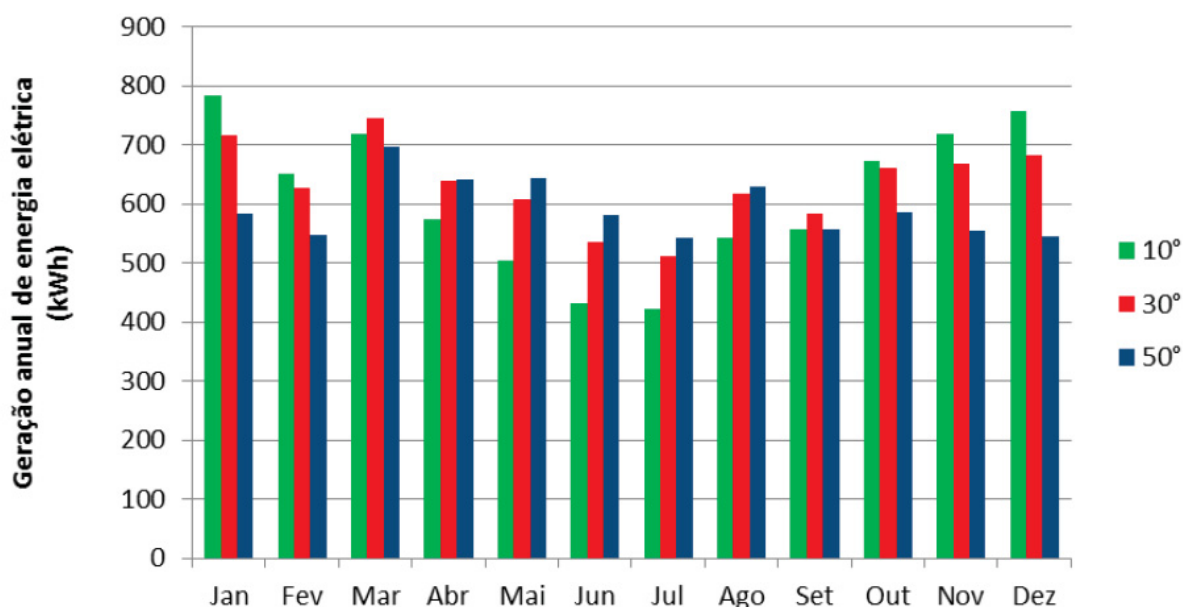
O ângulo azimutal e a inclinação do módulo fotovoltaico exercem influência considerável na geração de energia elétrica.

Simulações realizadas com o *software System Advisor Model* (SAM) em um sistema de sistema fotovoltaico composto por 24 módulos de 225 W e eficiência de 15,06 %, dispostos em 2 *strings* em paralelo de 12 painéis na cidade de Florianópolis, Santa Catarina (latitude de $-27,7^\circ$ e longitude de $-48,5^\circ$), evidenciam essa influência. Nos meses de verão o *software* demonstrou que inclinações do módulo fotovoltaico com azimute constante em 0° resultaram em uma redução na geração de energia, enquanto que nos meses de inverno ocorreu o contrário (RONÇANI, ZANCHETTA, RAMPINELLI, 2014).

Isso aconteceu porque no inverno o ângulo solar é menor que no verão, desta forma, uma maior inclinação do módulo resulta em raios solares atingindo a superfície de maneira mais perpendicular. Enquanto que no verão para que isso ocorra é necessário que o mesmo esteja com uma menor inclinação (RONÇANI, ZANCHETTA, RAMPINELLI, 2014).

A maximização da geração ocorreu com a inclinação próxima da latitude do local, com 25° . Comparativamente, com inclinação de 50° , a geração anual de energia elétrica foi 6,4 % inferior (RONÇANI, ZANCHETTA, RAMPINELLI, 2014).

GRÁFICO 3 - VARIAÇÃO MENSAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA DIFERENTES INCLINAÇÕES (RONÇANI; ZANCHETTA; RAMPINELLI, 2014)



Com relação ao ângulo azimutal, pode-se perceber que o ângulo de inclinação que maximiza a geração de energia elétrica ao longo do ano é 0°. Com azimute de 90°, a geração anual de energia é 18,1% inferior à geração com ângulo azimutal de 0° (RONÇANI, ZANCHETTA, RAMPINELLI, 2014).

Outra pesquisa com tema semelhante comparou as perdas de geração por desvio azimutal de um sistema de geração solar fotovoltaica instalada em Curitiba, no Escritório verde do campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná contendo 10 módulos de silício policristalino de 210 Wp ligados em série (TONOLO, 2019).

O telhado no qual o sistema está localizado tem inclinação de 15° e angulação de 22° de desvio azimutal. Para determinar a perda de geração do sistema foi realizada a comparação com um sistema instalado nas condições ideais, para a cidade de Curitiba (Latitude: 25,26 S Longitude: 49,00 W), 25° de inclinação e ângulo azimutal de 0° através do *software* RADIASOL (TONOLO, 2019).

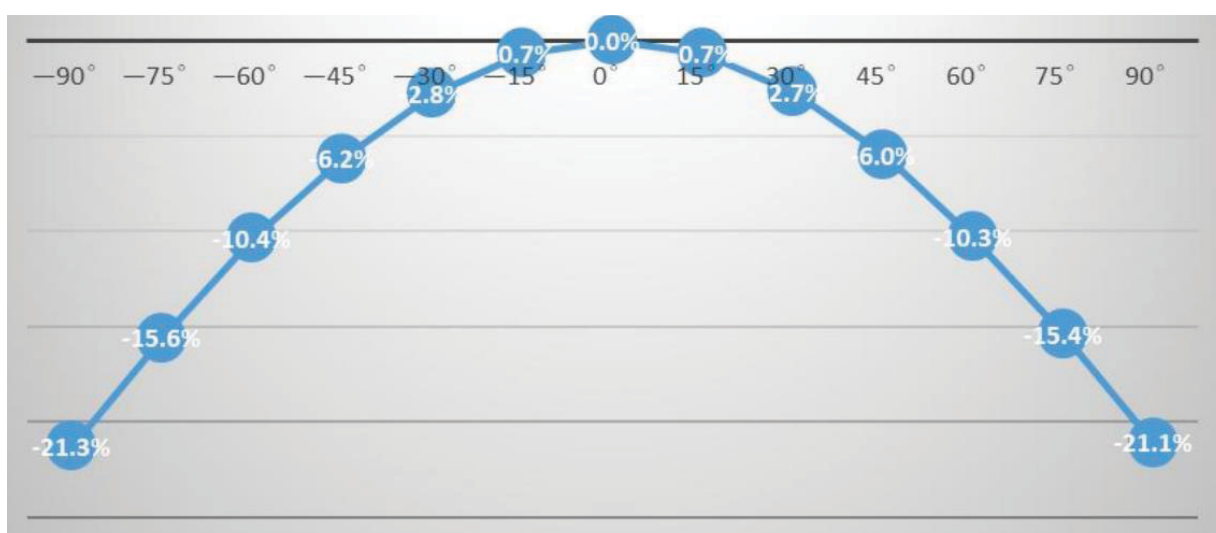
Nos meses mais quentes, nos quais a trajetória do Sol é mais a pino, o sistema com a orientação mais próxima da latitude apresentou maiores níveis de irradiação. No restante do ano, o sistema com inclinação igual à latitude obteve melhores resultados.

Na média anual, a diferença foi de 45 kWh/m²mês, resultando em uma diferença percentual anual de 1,02% (TONOLO, 2019).

De acordo com a fabricante de inversores Solis a perda relativa de geração de energia muda de forma semelhante nas variações de azimuth para leste e oeste como uma parábola. Ou seja, quando o azimuth aumenta gradualmente de 0° para leste ou oeste, a perda de geração de energia muda significativamente.

No ângulo entre o azimuth e o norte com variações dentro de $\pm 15^\circ$ as perdas relativas de geração de energia estão dentro de 1%.

GRÁFICO 3 – RELAÇÃO ENTRE PERDAS DE ENERGIA E VARIAÇÃO DO AZIMUTE EM SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICOS



SANTOS e RUTHER (2014) defendem que para que ocorra um aumento da aceitação da tecnologia fotovoltaica em todo o mundo, os arquitetos precisam ser informados sobre as potencialidades e limitações de integração de PV no envelope do edifício, uma vez que os módulos PV podem ter um impacto considerável na composição visual arquitetônica.

Desta forma, estudos a respeito da integração arquitetônica dessa tecnologia em edifícios que visam encontrar uma maior relação entre geração de energia anual ou sazonal (função) e composição arquitetônica (forma) auxiliam o mercado a desenvolver

tecnologias de produtos para interação arquitetônica de modo a aumentar o desempenho dos geradores fotovoltaicos através da maximização da irradiação solar recebida (SANTOS, RUTHER, 2014).

Ressalta-se que dentre os artigos e pesquisas sobre o tema, não foram encontrados dados gerados por artefatos ou modelos reais, somente simulações resultantes de *softwares*.

3 MÉTODO

A arquitetura tem buscado recursos inovadores para atender às novas demandas de um mercado que considera a sustentabilidade um aspecto de valor. Assim, a integração de módulos fotovoltaicos as edificações é uma maneira de associar tecnologia, design e economia a projetos mais sustentáveis

Porém, o uso de BIPV no Brasil não é comum quanto em outros países como Holanda, Dinamarca e Alemanha. Os exemplos internacionais dos sistemas refletem a qualidade dos materiais e o domínio de técnicas de utilização de perfis apropriados para fixação e vedação dos módulos em aplicações não somente em fachadas e coberturas, tema desta dissertação, como também em outros usos como *brises-soleil* e claraboias.

Para que o BIPV seja popularizado no Brasil é preciso que os profissionais da construção civil dominem o conhecimento de uso, aplicação e vantagens dos sistemas fotovoltaicos. Desta forma certamente irão sentir-se preparados para introduzir o material em seus projetos e defender o uso destes para seus clientes.

O desafio do profissional é definir a combinação ideal entre os critérios de projeto e alcançar a melhor relação preço-desempenho do sistema fotovoltaico. Porém para que isso aconteça os profissionais precisam conhecer as vantagens do sistema e seu funcionamento para que, no estágio inicial do projeto, ocorra a definição da fachada ou cobertura fotovoltaica de modo a otimizar os custos da construção.

3.1 ARTEFATO ZERO

A partir da necessidade de aprofundar os estudos sobre os diversos tipos de células fotovoltaicas e seu desempenho em diferentes usos e orientações pontuados anteriormente, o artefato zero foi desenvolvido de modo a suprir a não compreensão de arquitetos, designers e engenheiros de como ocorre a conversão fotovoltaica em ângulos e direções não ideais.

O artefato zero foi instalado no centro politécnico próximo à entrada principal do prédio de administração de modo a evitar vandalismo, aproximar a comunidade acadêmica do estudo e favorecer a inserção dos componentes na cultura local.

O domo com raio de 1,45 metros é formado por 120 módulos com dimensões reduzidas de três diferentes tipos de células solares: silício policristalino, filme fino e orgânicas- OPV.

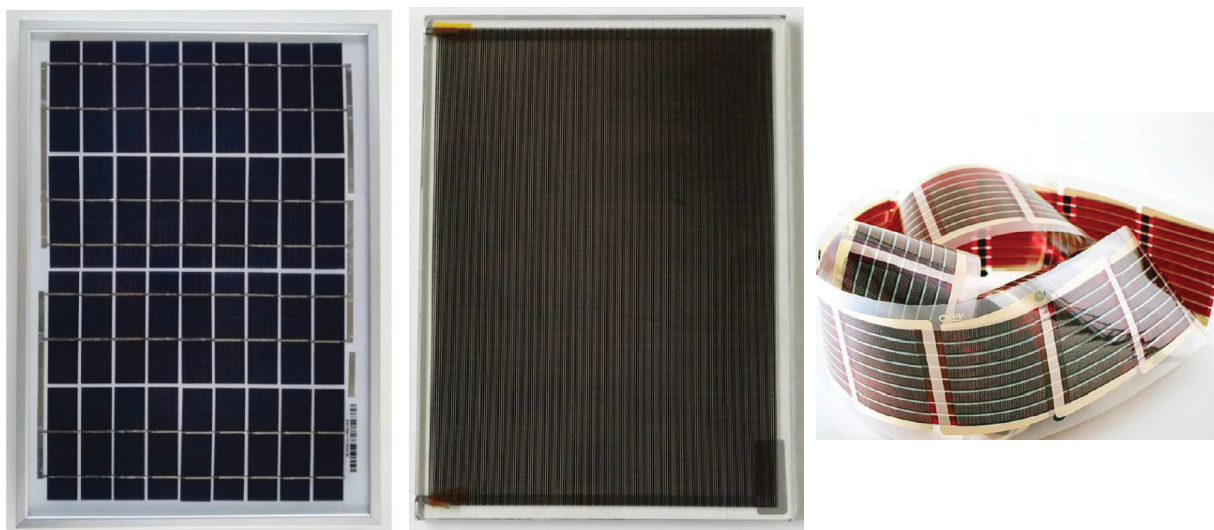
O primeiro deles possui 36 células de silício policristalino e é da marca e modelo Sinosola Sa10-36p sendo seu tamanho 350 x 252 x 18 milímetros e potência do módulo de 10 Wp, com capacidade de geração de até 33Wh/dia. Com cerca de 1 kg, o módulo tem Eficiência de 11,34% na conversão fotovoltaica e corrente de Máxima Potência 0,53A (SILVEIRA, 2020).

Os módulos de filme fino são compostos por Telureto de Cádmio (CdTe), encapsulados em um sanduíche e vidro e foram produzidos na China pela fabricante *FirstSolar* com as mesmas medidas dos módulos de silício policristalino. Com transparência de 40%, o módulo possui eficiência aproximada de 13%, potência máxima de 5,2 W e corrente de máxima potência 0,21A (SILVEIRA, 2020).

Já os módulos orgânicos (OPV) são compostos por um filme fino encapsulado em um substrato polimérico PET (poli tereftalato de etila) e importados da empresa *Infinity PV* da Dinamarca. Com eficiência entre 1,5 a 7% e potência de 1W a 6W por metro linear, as células têm corrente máxima de 0,25 A até 0,6 A sendo que estes números podem variar de acordo com as dimensões. No experimento foram utilizadas células com dimensões de 10 x 18 cm aproximadamente (SILVEIRA, 2020).

A disposição dos módulos no artefato é alternada com azimuth e inclinação variados de modo a obter dados de irradiação solar em ângulos diferentes do ideal. Desta forma é possível entender a geração em cada uma das três células e diferentes posicionamentos (SILVEIRA, 2020).

FIGURA 4 - MÓDULO DE SILÍCIO MONOCRISTALINO, FILME FINO E CÉLULAS DE OPV
(SILVEIRA, 2020)



De modo a controlar a radiação solar refletida, e tendo em vista que segundo Silveira et al. (2020) *projetos que consideram o albedo como parte do sistema podem apresentar resultados onde adotam um design que possibilita a utilização de um albedo controlado com lonas brancas de comprimentos e inclinações calculadas para minimizar a interferência de fatores externos como a grama e os edifícios do entorno.*

A fim de evitar sombreamentos, o artefato foi instalado afastado do solo o que tornou sua base um local de reunião e convivência dos alunos. Na parte inferior do domo, foi posicionado o equipamento responsável pela coleta de dados e conexão dos 248 cabos provenientes dos módulos fotovoltaicos (SILVEIRA, 2020).

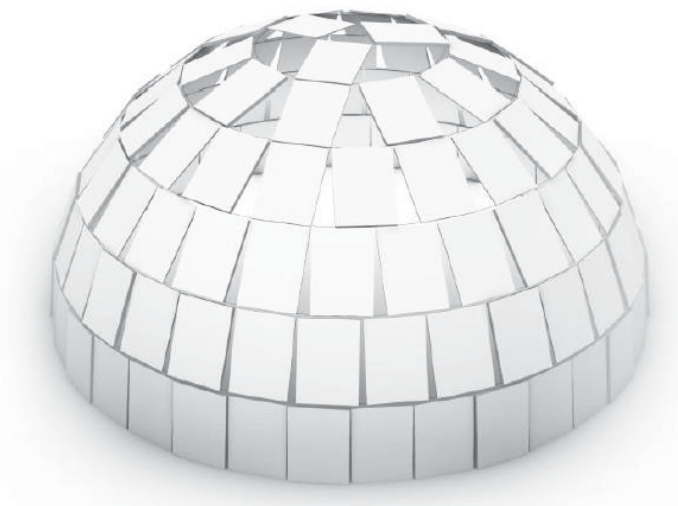
O domo é formado por seis inclinações diferentes, considerando a maior quantidade de inclinações possíveis em um domo com raio escolhido, que iniciam de uma posição quase horizontal até uma inclinação quase vertical de uma linha de módulos em fileiras.

Na tabela abaixo é possível verificar a disposição dos módulos no artefato, suas dimensões e quantidades assim como suas distâncias do centro do domo. A Tabela 1 ilustra tal situação.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS DO DOMO (SILVEIRA, 2020)

Inclinação (graus)	cos (ang)	Dimensão maior do módulo (cm)	Dimensão menor do módulo (cm)	Número de módulos (unidade)	Número inteiro de módulos (unidade)	Raio interno menor (cm-centro)	Raio externo menor (cm-centro)	Raio externo maior (cm-aresta)	Perímetro externo maior (cm)
7,5	0,991	35,0	25,2	3,0	3	6,300	41,00	42,89	269,50
22,5	0,924	35,0	25,2	10,7	10	42,9	75,23	76,28	479,26
37,5	0,793	35,0	25,2	19,0	19	76,3	104,04	104,80	658,50
52,5	0,609	35,0	25,2	26,1	26	104,8	126,11	126,74	796,32
67,5	0,383	35,0	25,2	31,6	31	126,7	140,13	140,70	884,03
82,5	0,131	35,0	25,2	35,1	35	140,7	145,26	145,81	916,16
Total de módulos:					124				

FIGURA 5 - DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS DO DOMO (SILEIRA E SCHMIT, 2020)



Além do cuidado com a disposição dos módulos, albedo e sombreamento do entorno, o design do artefato inclui uma plataforma com grade metálica para possibilitar a limpeza dos módulos (SILVEIRA, 2020).

FIGURA 6 - PROJETO DO ARTEFATO (SILVEIRA E SCHMIT, 2020)

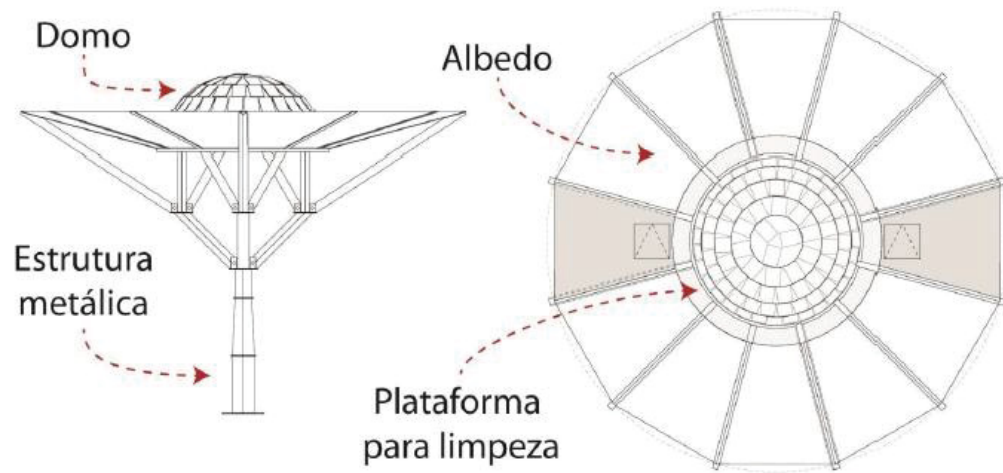


FIGURA 7 - IMAGEM DO ARTEFATO INSTALADO (ARTEFATO ZERO, 2020)



3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Os 240 cabos do experimento estão conectados a um equipamento de telemetria que disponibiliza de forma remota os relatórios. Tal equipamento possui três módulos *Load Switch* que realiza a leitura da potência proporcional à irradiação solar incidente nos módulos fotovoltaicos. Um módulo TRACER também foi inserido e faz a comunicação do equipamento com a internet. Um servidor TCP/IP recebe os dados do equipamento em forma de relatório.

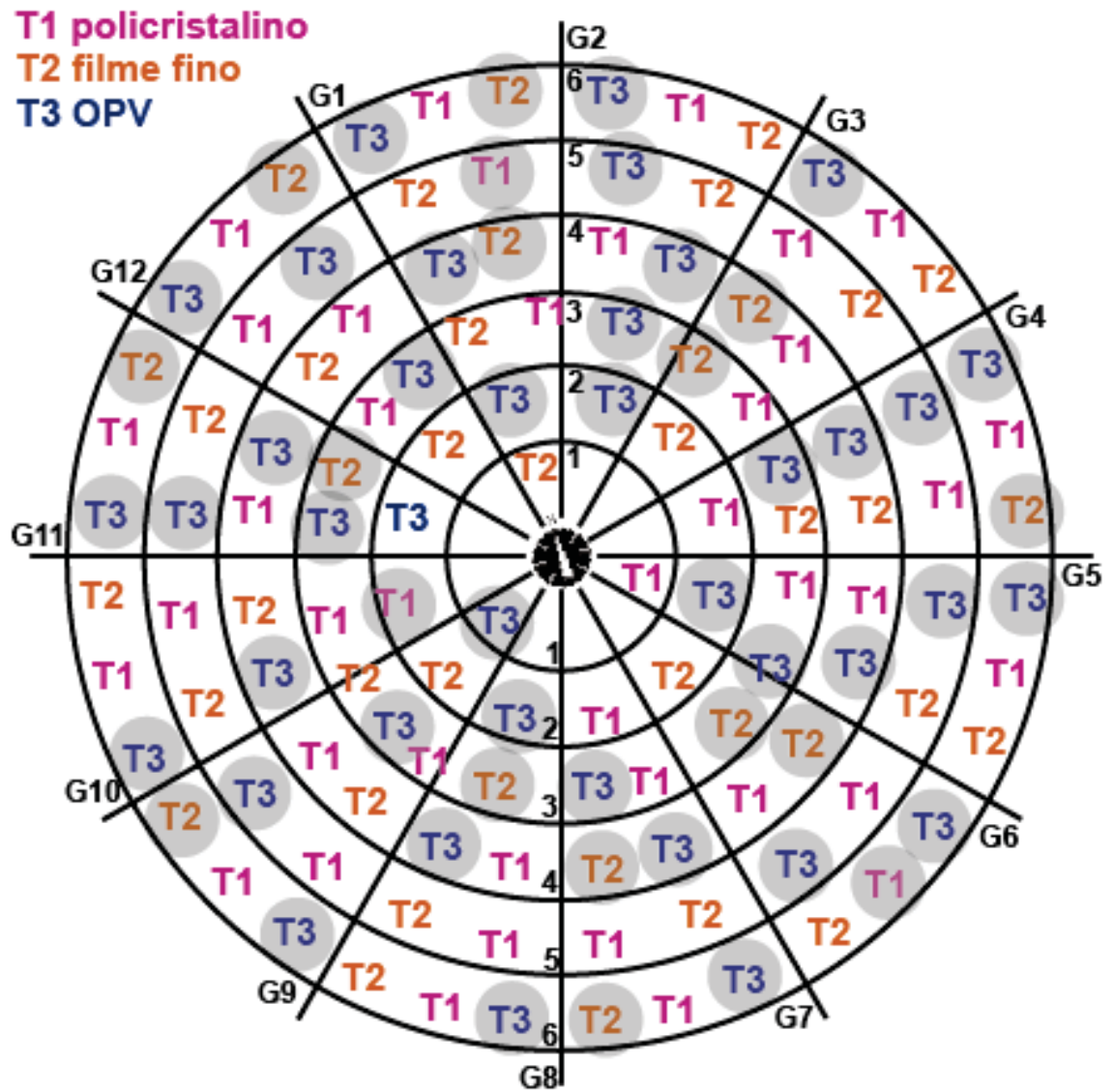
Os dados são obtidos a cada 1 minuto entre as 07 horas e 17 horas, uma vez que existem perdas no período anterior e posterior a esse horário. O relatório gerado contém leituras da potência média e máxima gerada pelos módulos durante o período de tempo citado.

O relatório também disponibiliza a temperatura do momento da medição proveniente da média de 3 sensores de temperatura situados na parte interna da caixa de medição, uma na sombra logo abaixo da caixa e um terceiro quase no topo da estrutura.

3.3 RESULTADOS OBTIDOS

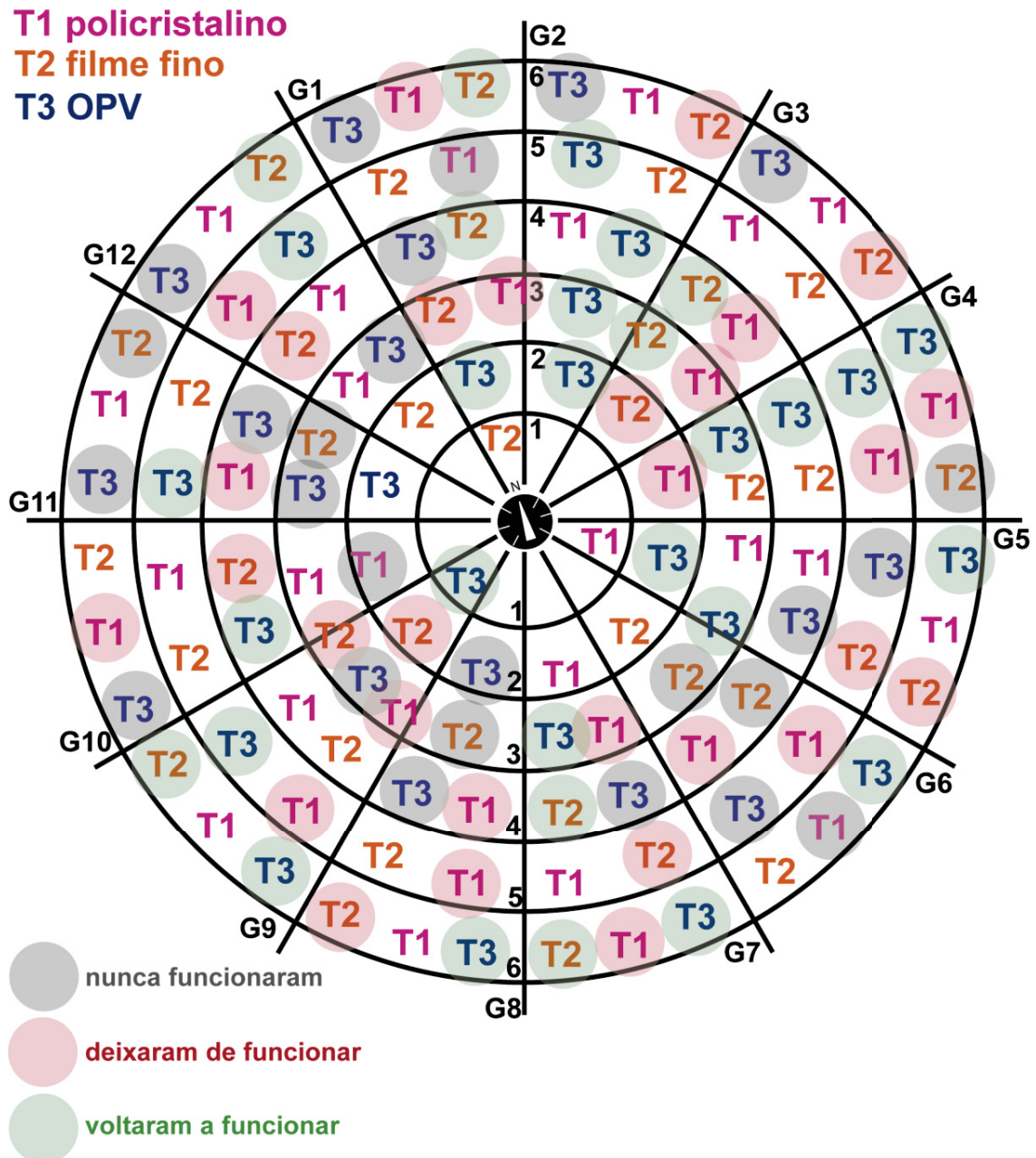
Dentre os 120 módulos instalados, pôde-se constatar que durante os seis primeiros meses de coleta de dados (maio a outubro de 2022) 58 deles estavam instáveis sendo que os módulos orgânicos apresentaram mais problemas com 39 unidades gerando dados perfeitamente, seguidos pelo filme fino com 16 unidades. Somente 2 módulos de silício tiveram instabilidade. No esquema abaixo é possível verificar uma planificação do domo com a denominação de cada uma das células. Os círculos acinzentados na Imagem 11 evidenciam os módulos com problemas de funcionamento.

FIGURA 8 - PLANIFICAÇÃO DO DOMO DE MAIO A OUTUBRO (A AUTORA, 2022)



Nos meses de novembro e dezembro de 2022, 31 módulos voltaram a gerar dados, sendo 9 deles filme fino e o restante orgânicos. Porém, módulos que antes funcionaram pararam de gerar, sendo estes 18 policristalinos e 12 em filme fino.

FIGURA 9 - PLANIFICAÇÃO DO DOMO EM NOVEMBRO E DEZEMBRO (A AUTORA, 2022)



Inicialmente a equipe deduziu que como não houve manutenção do domo nos últimos meses de coleta de dados, presume-se que os módulos estão instáveis. Também se acreditava que a entrada de água nos módulos e degradação das células de OPV podem ser a justificativa para tais resultados. Porém, a melhor explicação para o fato é

de que como as células orgânicas geram muito menos energia que as demais, o medidor utilizado no estudo não possui sensibilidade e/ou escala suficiente para a referida medição.

4 PESQUISA DOCUMENTAL SOBRE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ARQUITETURA

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica são classificados em sistemas conectados à rede e sistemas isolados. As primeiras aplicações foram dos sistemas isolados, como já descrito anteriormente, que iniciaram em usos espaciais. Por outro lado, os sistemas solares interligados à rede pública dispensam o uso de baterias como acumuladores, reduzindo custos, e por estarem próximos ao ponto de consumo, eliminam perdas de energia por transmissão e distribuição (VINAGRE *et al.* 2014).

Rüther defende que os sistemas conectados à rede oferecem vantagens comparados aos isolados (2004, p.10):

[...] por não requerer instalações de infra-estrutura adicionais; os painéis fotovoltaicos podem ser também considerados como um material de revestimento arquitetônico (redução de custos), dando à edificação uma aparência estética inovadora e *high tech* além de trazer uma imagem ecológica associada ao projeto, já que produz energia limpa e de fonte virtualmente inesgotável.

Outra vantagem da utilização de módulos fotovoltaicos de geração de energia é a coincidência temporal do consumo e dos horários de maior pico de geração como no caso da utilização de sistemas condicionadores de ar, aliviando o sistema de distribuição das concessionárias de energia. Um exemplo disso são os prédios comerciais de escritórios (RÜTHER, 2004).

Painéis solares geradores de energia elétrica através da fonte solar de qualidade são produzidos para resistir ao ambiente externo e às intempéries climáticas com um padrão de desempenho de 25 anos funcionando com 80% do seu desempenho original. Essa característica torna o material apropriado para a utilização no envoltório de edificações, pois além de gerar eletricidade pode funcionar como um elemento de arquitetônico substituindo o envelope da fachada ou cobertura.

Os materiais fotovoltaicos de geração de energia são classificados em dois sistemas: os aplicados à edificação, conhecidos como BAPV do inglês *Building Applied Photovoltaics* e os integrados à edificação, ou BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*).

Quando os módulos fotovoltaicos são instalados em sobreposição aos materiais de construção existentes o sistema utilizado é classificado como BAPV. Nele, há a possibilidade de aplicação dos painéis paralelos à pele ou cobertura do edifício e como consequência o desempenho energético é penalizado pela orientação não ideal das superfícies do envelope do edifício, ou são instalados sobre estruturas de fixação que corrigem a angulação e a inclinação para melhor rendimento do sistema (PENG *et al.*, 2011). Essas instalações precisam resistir às cargas de vento e ao mesmo tempo respeitar a capacidade de suporte da estrutura da edificação evitando o sobrecarregamento.

Enquanto o BAPV é classificado como um complemento do edifício e seu objetivo é unicamente a geração de energia elétrica, os sistemas BIPV são considerados uma parte funcional da estrutura do edifício, arquitetonicamente integrados ao seu design. Esta categoria inclui projetos que substituem os materiais de cobertura convencionais e podem ser indistinguíveis dos materiais convencionais. Esteticamente, isso pode ser atraente se houver um desejo manter a continuidade arquitetônica e não atrair atenção para os módulos fotovoltaicos (PENG; HUANG; WU, 2011).

Por outro lado, os módulos BIPV podem ser elementos arquitetônicos utilizados para melhorar a aparência do edifício e criar efeitos visuais. Suas configurações incluem tamanhos de módulos personalizados e formas com espaços opacos ou transparentes entre as células e podem ser utilizados em paredes de cortina, *brises-soleil*, janelas e claraboias (PENG; HUANG; WU, 2011).

Embora sejam multifuncionais, o custo total dos sistemas integrados é muito maior do que os aplicados devido a montagem e manutenção da tecnologia comparado aos materiais de construção comumente utilizado que resolvem vários problemas facilmente, tais como as cargas que submetem a estrutura das edificações, vedação contra a entrada de água e propriedades térmicas.

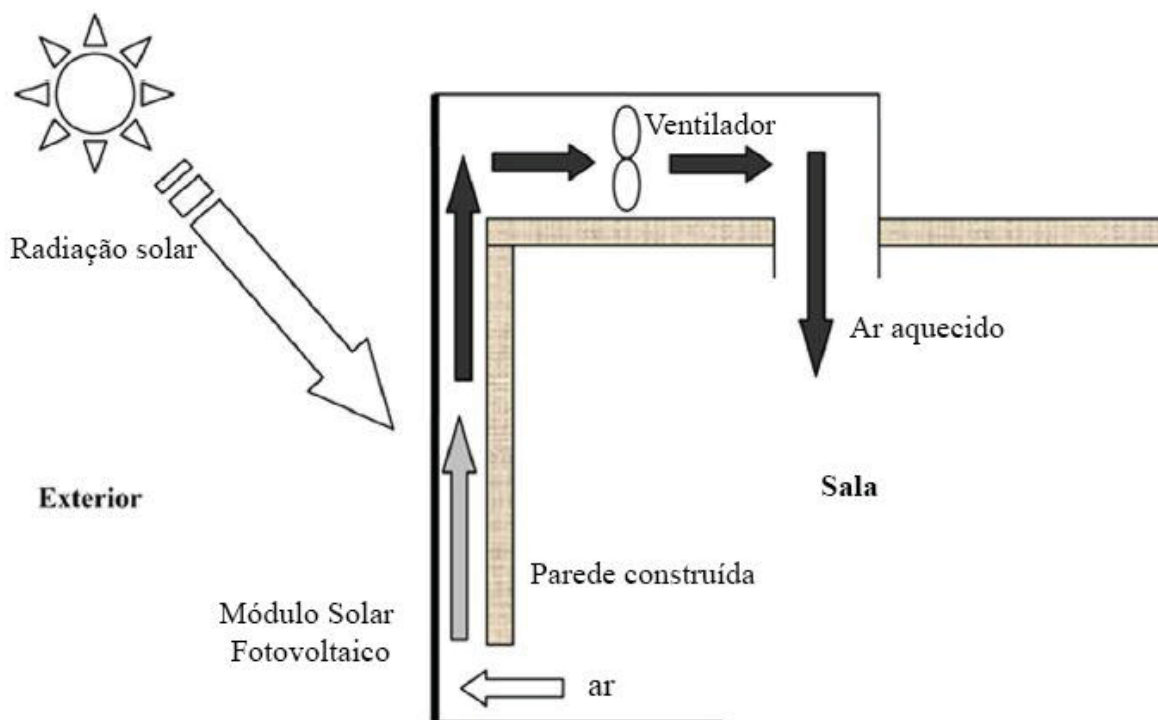
Além disso, os componentes BIPV danificados afetam diretamente a utilização das funções internas dos edifícios, enquanto o BAPV simplesmente faz com que os componentes fotovoltaicos se sobreponham nos envelopes. Suas estruturas são simples de montar e manter e, mesmo sem os módulos fotovoltaicos, esses tipos de edifícios podem funcionar normalmente (PENG; HUANG; WU, 2011).

De acordo com Debbarma, Sudhakar e Baredar integrada em edifícios se tornará um dos segmentos de mais rápido crescimento da indústria solar em todo o mundo, com um crescimento de capacidade presumida de 50% ou mais de nos próximos anos”. Mesmo com ele fotovoltaica integrada dispõe de vantagens em relação aos sistemas comuns não integrados como a redução dos custos de materiais de construção e mão-de-obra em partes do edifício substituído pelos módulos BIPV.

A irradiação e o aquecimento excessivo do módulo fotovoltaico são fatores que afetam a eficiência e o desempenho energético dos edifícios. As perdas de eficiência são resolvidas através de espaçamento entre os módulos e a superfície de instalação, para que ocorra a ventilação do conjunto.

Em alguns casos, especialmente em climas frios, a integração dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia nas edificações pode ser utilizada positivamente para melhorar a rentabilidade e a sensação de bem-estar no interior do edifício associando a coleta de calor devido ao aquecimento dos painéis para auxiliar a calefação no interior do recinto através do deslocamento de um fluido refrigerante como ar ou água ou pela implantação de ventiladores atrás do painel. O sistema descrito é conhecido como BIPVT (Figura 9), o inglês *Building integrated photovoltaic with thermal energy recovery*. Esse sistema híbrido é capaz de converter simultaneamente energia solar radiante em eletricidade e energia térmica (DEBBARMA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2017).

FIGURA 10 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA BIPVT (Adaptado de DEBBARMA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2017)



4.1 CONDIÇÕES ÓTIMAS PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES

Nas palavras de Chivelet e Solla (2010, p.59), “qualquer superfície da pele externa de uma edificação que esteja livre de sombras e bem orientada para o sol pode ser adequada para a instalação de módulos fotovoltaicos”. Para que a geração de energia seja otimizada existem certos critérios de orientação a serem seguidos.

Em projetos de sistemas integrados às edificações é importante que geração fotovoltaica, forma e função do projeto, comportamento térmico, transmissividade lumínica e custo dos módulos tenham uma relação harmônica. A substituição dos materiais tradicionais por fotovoltaicos geradores de energia influencia, além da estética do ambiente, também a iluminação natural.

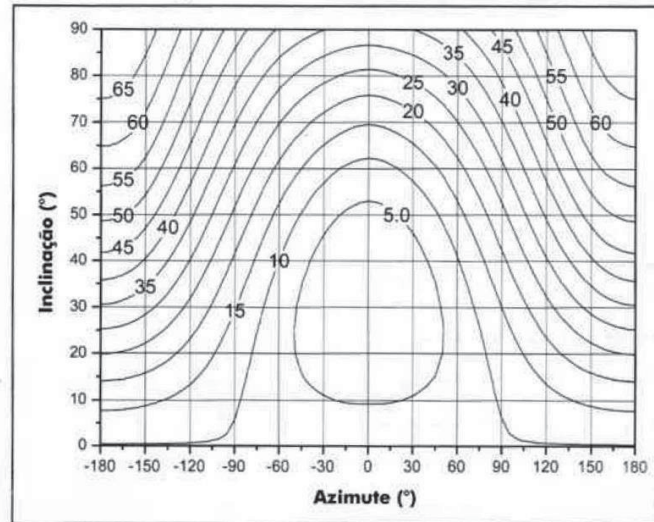
Como a potência gerada por um módulo fotovoltaico é resultante do produto da irradiância pelo seu rendimento nominal, existem alguns elementos que podem ocasionar perdas ao sistema. Quando a implantação do material fotovoltaico é condicionada pela forma do edifício, sua orientação, inclinação e ventilação podem ser prejudicadas, além do risco de sombreamento e da implantação destes em locais que dificultam a sua limpeza e manutenção (CHIVELET E SOLLA, 2010).

No hemisfério sul a posição ideal para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos corresponde à orientação norte e com uma inclinação análoga ao valor da latitude local. Pequenas variações da posição ideal não costumam ser significativas nas perdas anuais de irradiação. O limite aceitável de ângulos varia em relação de cada clima e é determinada pela latitude do lugar. Na Figura 11 são expostos três diferentes gráficos de perdas anuais de irradiação realizados através de dados de radiações de três diferentes localidades: Porto Alegre, Rio de Janeiro e Recife. A leitura é realizada da seguinte forma: no eixo horizontal está o desvio angular em relação ao norte (0°) e ao sul geográfico (180° e -180°), ou seja, a direção que marca o equador geográfico. As curvas significam as perdas de geração. Normalmente, o rendimento é significativamente influenciado fora da faixa de mais ou menos 30° em relação a direção norte (CHIVELET E SOLLA, 2010).

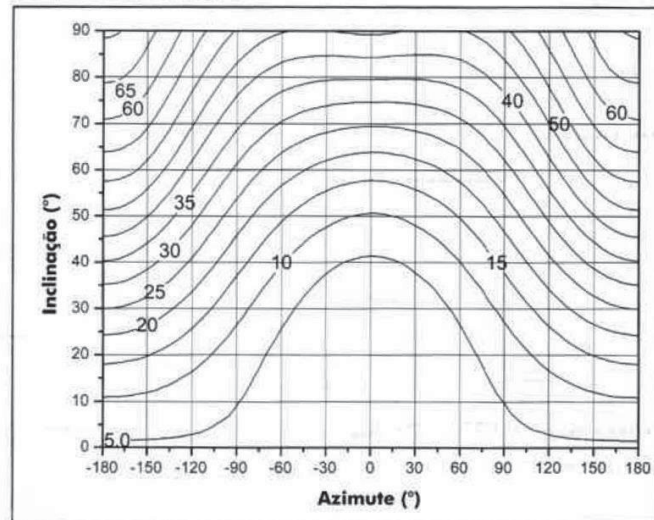
Em fachadas fotovoltaicas os valores mínimos de perdas são da ordem de 33% dentro das faixas de orientação e inclinações de até 15° condicionam a perdas menores que 20% para qualquer orientação dos módulos fotovoltaicos de geração de energia (CHIVELET E SOLLA, 2010).

FIGURA 11 - DIAGRAMAS DE PERDAS ANUAIS DE IRRADIAÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO EM RELAÇÃO AO ÂNGULO AZIMUTAL E INCLINAÇÃO EM PORTO ALEGRE, RIO DE JANEIRO E RECIFE (CHIVELET E SOLLA, 2010)

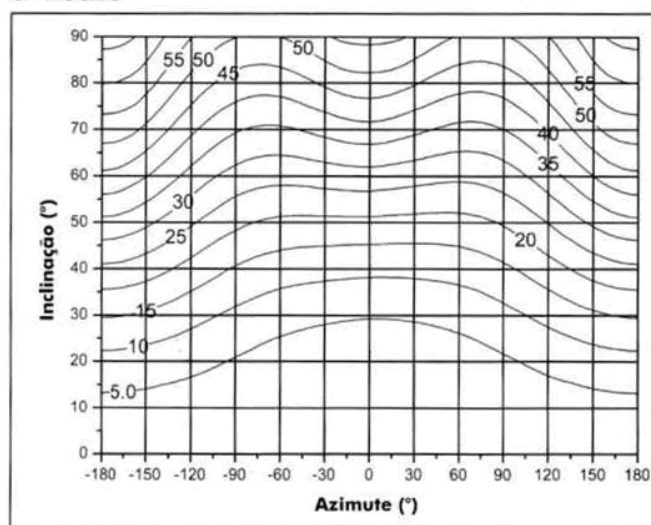
a. **Porto Alegre**



b. **Rio de Janeiro**



c. Recife



A integração de células fotovoltaicas nas fachadas oferece perdas ao sistema devido à verticalidade, devido à diminuição de irradiação e também ao sombreamento do entorno como edifícios e árvores (SANTOS, 2013).

4.1.1 Fatores de perda

O aumento de temperatura em um módulo fotovoltaico de silício cristalino ocasiona perdas de aproximadamente 4% de potência para cada 10 graus Celsius de elevação a partir da temperatura de especificação da potência. Nos módulos de silício amorfo a redução chega a 2% (CHIVELET E SOLLA, 2010). A geração de energia é resultante da redução de tensão devido ao fato de a potência elétrica ser o produto de tensão e corrente.

Para melhor funcionamento do sistema, Chivelet e Solla (2010) aconselham a criação de uma camada de ar de cerca de 10 centímetros, funcionando como uma câmara facilitando a ventilação entre parte posterior do módulo e a cobertura do edifício, quando instalado em telhados, reduzindo a temperatura de trabalho das células e evitando a condensação. Além dos módulos, os inversores também precisam estar

localizados em uma área ventilada e preferencialmente protegida do sol de modo a aumentar sua vida útil.

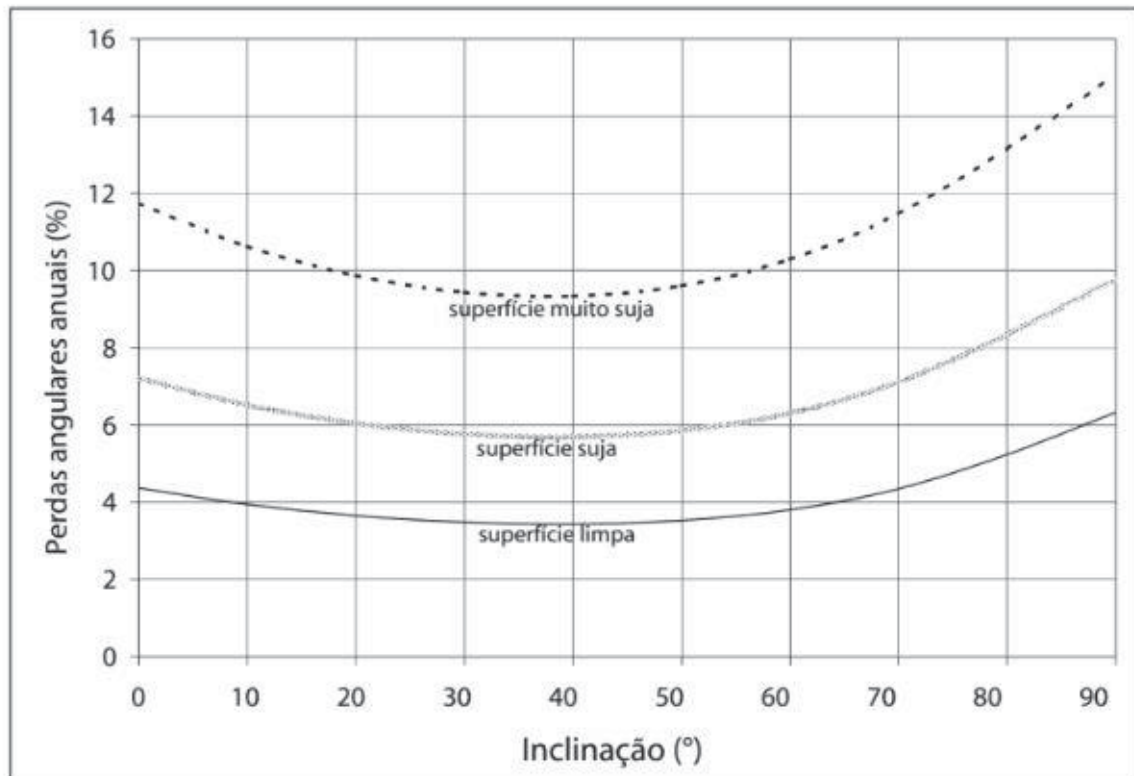
Outro fator de perda é a dispersão pela associação de módulos com diferentes características elétricas. Quando os módulos são conectados em paralelo, a tensão final é a do módulo de menor tensão. Já em série, a corrente final é igual à menor corrente produzida separadamente por cada módulo. Também podem ocorrer perdas por disparidade devido à instalação de fileiras de módulos em orientações diferentes conectados ao mesmo inversor (RUVIARO *et al.*, 2018; CHIVELET E SOLLA, 2010).

Conexões malfeitas, uso de cabos com seção inadequada e grandes distâncias entre o sistema e o inversor também podem ocasionar perdas. Para evitá-las é necessária a utilização de contatos de qualidade e o posicionamento correto das caixas de conexão estanques (na união de *string-box*) para evitar que os terminais sofram corrosão (CHIVELET E SOLLA, 2010).

A limpeza dos módulos também é um dos parâmetros que interferem no rendimento do sistema devido à acumulação de sujeira que impede a incidência solar da irradiação na superfície. Além disso, contaminantes presentes na superfície do módulo fotovoltaico também influenciam na absorção, dispersão e reflexão da irradiação solar. A incidência de chuvas frequentes minimiza os efeitos da sujeira acumulada, porém para que seja feita uma lavagem natural nos módulos, estes precisam estar inclinados ao menos 10° (ARAÚJO, 2019; SINHA, 2014; CHIVELET E SOLLA, 2010).

As perdas angulares por reflexão nos módulos fotovoltaicos ocorrem principalmente pelo fato de o ângulo de incidência solar não ser compatível com o ângulo de posicionamento do sistema (inclinação e orientação se distanciam da inclinação e orientação consideradas ideais). As perdas por reflexão ocasionadas por sujeira citadas anteriormente podem inclusive ser duas vezes maiores do que as ocasionadas em superfícies limpas como pode ser verificado pelo Gráfico 4 (CHIVELET E SOLLA, 2010).

GRÁFICO 4 - PERDAS ANGULARES ANUAIS DE UM MÓDULO DE SILÍCIO CRISTALINO, CALCULADAS PARA PORTO ALEGRE, REPERESENTADAS EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DO MÓDULO (CHIVELET E SOLLA, 2010)



A geometria do entorno pode influenciar nas perdas por rendimento dos módulos fotovoltaicos através do sombreamento. No caso de sombreamento temporário do sistema, é importante utilizar módulos com diodos de passagem que oferecem um caminho alternativo para a corrente. Com o sombreamento, a célula passa a ser um ponto de consumo ao invés de geração de energia, ocasionando sua elevação de temperatura (dissipando a potência gerada pelo resto das células com as quais está conectada em série) e posteriormente se danificando, conhecido como “efeito de ponto inglês *hot spot*” (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Os diodos de *bypass* geralmente são posicionados em *sub-strings* do módulo, sendo um diodo para até 20 células.

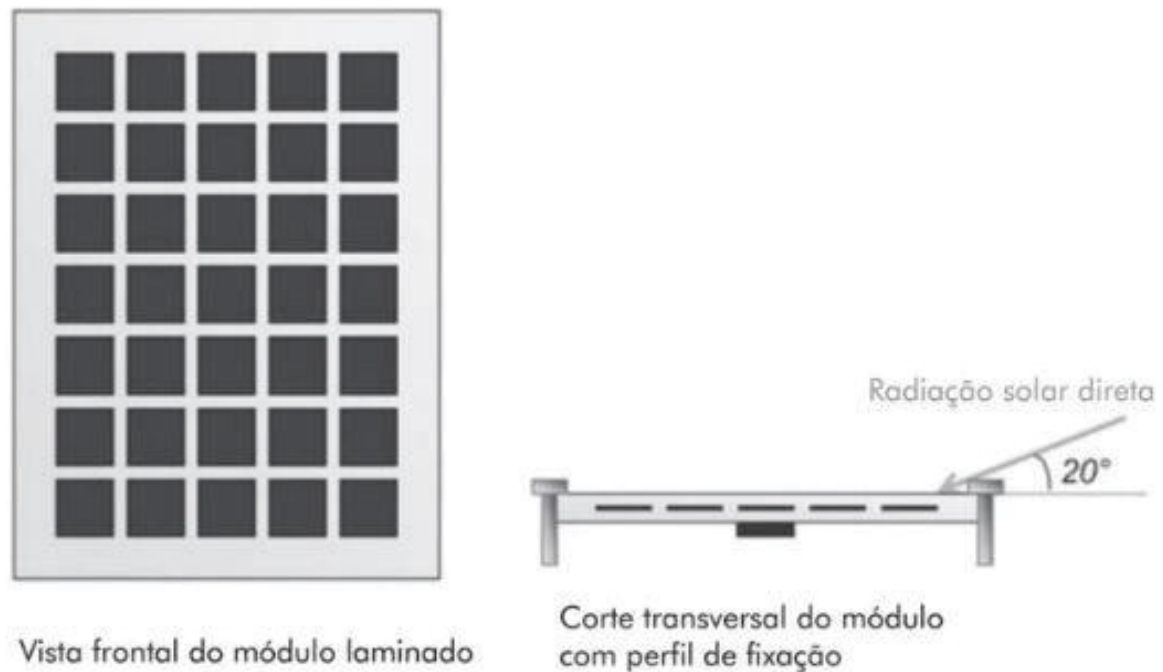
Enquanto a luz que atingir a superfície da célula for uniforme, os diodos de *bypass* terão uma tensão negativa de aproximadamente -10V entre o anodo e o cátodo e não conduzirão.

As células sombreadas não produzem a mesma quantidade de energia que células não sombreadas, e, como todas as células de um módulo estão conectadas em série, diferenças de potência causam diferenças na tensão. Caso tentarmos conduzir alta corrente através de uma célula sombreada, a sua tensão se tornará negativa.

A célula passaria a consumir energia em vez de produzi-la e a energia consumida pela célula faria com que a célula aquecesse e, eventualmente, queimasse. Porém, com o diodo de *bypass*, a corrente passará por ele e não pela célula sombreada devido a tensão negativa da *sub-string*, evitando os *hot-spots* (SOLAR INOVE, 2021).

Em instalações de sistemas integrados às edificações é importante evitar o sombreamento dos módulos devido às suas bordas. Para isso, manter uma borda sem células fotovoltaicas com a largura compatível à altura da estrutura do suporte de fixação dos perfis evita perdas de geração em determinados períodos do dia como indica a Figura 12 (CHIVELET E SOLLA, 2010).

FIGURA 12 - EXEMPLO DE PROJETO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CÉLULAS DENTRO DO MÓDULO, COM MARGEM SUFICIENTE PARA EVITAR SOMBRA IMPORTANTES NAS CÉLULAS DAS BORDAS (CHIVELET E SOLLA, 2010)



4.1.2 Barreiras para a implantação de BIPV no Brasil

Mesmo vantajosos econômica e funcionalmente, os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica incorporados às edificações ainda enfrentam barreiras para instalação em nosso país. Esses obstáculos são tecnológicos, de mercado e de percepção.

As barreiras tecnológica e de mercado se complementam. Integradores e distribuidores de materiais fotovoltaicos para geração de energia disponibilizam para comercialização os itens mais procurados: os módulos de silício monocristalinos e policristalinos, utilizados em sistemas BAPV. Sem a importação de outros materiais, não há conhecimento deles por parte dos profissionais e como consequência não há procura, acarretando em valores de mercado altos e pouco competitivos. Esses preços elevados

desanimam interessados que têm alguma noção sobre BIPV e que voltam a utilizar os materiais de construção comuns e aplicam os módulos fotovoltaicos sobre as coberturas-local apropriado para sua instalação em baixas latitudes.

Outro ponto negativo é a má orientação de empresas de instalação aos clientes sobre as outras possíveis formas de utilização dos módulos, pois é conveniente à elas manter a tipologia de instalação mais comum do mercado que já possui estruturas, materiais e mão de obra disponíveis (HEINSTEIN; BALLIF E PERRET-AEBI, 2013).

As fachadas fotovoltaicas são um exemplo disso. Mesmo não sendo a melhor opção de implantação em nosso país em razão das latitudes serem baixas (variam de 0 a 32 graus dependendo da região) e do grande sombreamento dos edifícios verticais dos centros urbanos, a utilização destas ainda é favorável. Uma geração significativamente pequena ainda é melhor que nenhuma. O cliente pode optar por revestir a fachada estrategicamente de forma mista com materiais fotovoltaicos e não-fotovoltaicos esteticamente idênticos, aproveitando as regiões mais favorecidas pela incidência solar (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Um exemplo de otimização de fachadas com a aplicação de módulos fotovoltaicos é a *Copenhagen International School*. Cerca de 12.000 módulos de coloração azul revestem quatro torres de diferentes alturas, que vão desde os cinco aos sete andares, e tem uma fachada com quase 6.048 m² e geram 300 MWh de eletricidade por ano, atendendo a mais da metade das necessidades de energia da escola. Além de contribuir para o perfil verde da escola, as células solares também fazem parte do currículo escolar, permitindo que os alunos monitorem a produção de energia e usem dados nas aulas de física e matemática (ARCHDAILY, 2017).

FIGURA 13 - COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL (A AUTORA, 2022)



A falta de conhecimento técnico é outro obstáculo. Os profissionais da construção civil precisam entender não apenas os benefícios dos sistemas BIPV, mas também as questões técnicas. Além disso, a utilização de programas de construção unificados auxilia na prevenção de riscos técnicos e programação de atividades de manutenção periódicas na edificação, permitindo maior controle dos sistemas (YANG, 2015).

4.1.3 Ensino de sistemas fotovoltaicos de geração de energia para arquitetos

O processo de formação de arquitetos no Brasil é regulado pelas Diretrizes Curriculares Nacionais e tem como objetivo a formação de profissionais generalistas. Essas instruções exigem que profissionais de Arquitetura detenham conhecimentos sobre aspectos que envolvam a preservação do meio ambiente e os impactos ocasionados pela atividade da construção civil que prejudiquem o equilíbrio ecológico e o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Entende-se, através das diretrizes, que todos os profissionais estarão aptos para conceber edifícios e intervenções urbanísticas que sejam comprometidos com os aspectos ambientais, sociais e econômicos de manutenção do planeta. No entanto, essa não é a realidade da construção civil.

Historicamente, o desempenho do mercado de trabalho acompanha o ritmo da economia brasileira. O setor é cíclico, com períodos de alta demanda e, conseqüentemente, altos salários, e épocas em que os níveis de desemprego prejudicam a empregabilidade em todos os cargos e profissões.

Para Kanters, Horvat e Dubois a necessidade de desenvolver um extenso conhecimento técnico sobre a aplicação de sistemas fotovoltaicos para geração de energia é vista por profissionais como algo desnecessário e caro. Em vez disso, os escritórios de arquitetura preferem a colaboração com empresas de engenharia (2014).

A falta de conhecimentos específicos sobre a energia solar por parte dos arquitetos e a dificuldade de projetar em situações consideradas ideais são alguns dos fatores que impedem a maior utilização de tecnologias fotovoltaicas nas edificações (ZOMER, 2014). Michael *et al.* (2010) argumentam ainda que “os projetos inserir os sistemas para que a estética destes seja condizente com a proposta inicial da edificação” *et al.* (2011) a falta de especialistas é outro obstáculo que impede a ampliação da aplicação de tecnologias de sustentabilidade para arquitetura.

Por esse motivo, é importante que a introdução de materiais para a geração de energia elétrica a partir da energia solar pelo efeito fotovoltaico seja realizada durante a fase de concepção do projeto, para assegurar a harmonia das partes.

O entendimento dos profissionais em relação às consequências das decisões de projeto no que se refere à forma e à função das construções com integração de sistemas fotovoltaicos é essencial para desenvolvimento e crescimento desse setor econômico e tecnológico no país (ZOMER, 2014).

Para que profissionais consigam introduzir esses sistemas aos seus projetos, é necessário que conheçam suas características para esclarecer possíveis dúvidas, vantagens e desvantagens dessas tecnologias aos clientes. Para Kaan e Reijenga os clientes geralmente têm ideias específicas de como querem que seus projetos pareçam e é necessário que profissionais atentem aos seus clientes que a utilização de módulos fotovoltaicos torna as edificações visualmente marcantes e únicas (2004).

A educação de profissionais da área da construção civil tem um papel crucial no desenvolvimento da indústria de energia renovável, influenciando várias funções como promoção de maior conscientização pública sobre as tecnologias, formação inicial de engenheiros, arquitetos, cientistas e pesquisadores que irão desenvolver novos sistemas, dispositivos e tecnologias para a indústria e qualificação de profissionais que irão fornecer conselhos e assistência para futuros clientes interessados nesses sistemas (ANSARI, 2011).

Algumas associações de profissionais apoiam a opinião de que a educação arquitetônica esteja alinhada com princípios de sustentabilidade, como a UIA, do francês *Union Internationale des Architectes* ou União Internacional de Arquitetura. A UIA defende que a educação arquitetônica prepare arquitetos para uma vida profissional que inclua conhecimentos sobre sustentabilidade em edificações,

Embora haja um consenso sobre a importância de práticas em prol da sustentabilidade na arquitetura, Ansari *et al.* (2011) insinuam que “a l a i n d a n ã o f o r a m r e s p o n d i d a s ” . Como por exemplo um estudante de arquitetura e em quais delas os estudantes poderiam adquirir conhecimentos em questões ambientais e aplicação de sistemas sustentáveis em seus projetos?

De acordo com Stasinopoulos (2005), alguns obstáculos no ensino de energias renováveis para estudantes de arquitetura são:

- •A marginalização das disciplinas de sustentabilidade da edificação, já que normalmente essas aulas são ofertadas em aulas eletivas. Isso acaba separando seus princípios das aulas de projeto obrigatórias, tornando-os periferia da aprendizagem arquitetônica;
- •Grande foco na estética e habilidades técnicas dos projetos, longe da realidade da atual arquitetura e sem conexões com o meio ambiente ou sociedade;
- •Falta de aulas técnicas que possam apoiar projetos de design, o que dificulta ao aluno a interação com a paisagem em suas criações;
- •Pouco incentivo do uso de novos sistemas devido à situação da matriz energética nos países.
- •Falta de políticas nacionais que incentivem a inserção mais efetiva de disciplinas relacionadas à sustentabilidade nas grades curriculares dos cursos de arquitetura;
- •Falta de especialistas qualificados neste campo.

Xavier (2011) reuniu uma série de universidades internacionais que reestruturaram seus cursos de modo a evitar uma preparação acadêmica generalizada. Para a autora, o conceito de sustentabilidade nas edificações pode ser alcançado pela formação de profissionais especializados em diferentes áreas da construção civil que se complementam em uma obra.

No Brasil, existem Programas de Pós-graduação em prol da temática da sustentabilidade. Contudo, as experiências de ensino de sustentabilidade nos cursos de graduação ainda são pouco relevantes. Embora presente no plano de ensino e em disciplinas teóricas sobre o tema, a prática acontece em poucos projetos específicos. A integração completa aconteceria se novas técnicas e a exploração de novos materiais fossem comuns e projetos, sendo inclusive um dos critérios de avaliação para as atividades.

Para Benkari (2012), durante a última década, aconteceram mudanças significativas nos conteúdos acadêmicos de arquitetura. Essas modificações foram provocadas principalmente pela introdução do *Computer Assisted Design* ou CAD. O

design assistido por computador alterou a percepção do projeto por parte dos profissionais afetando também os conteúdos educativos acadêmicos. A etapa de criação, assim como defende Stasinopoulos, tornou-se mais técnica e objetiva.

Segundo Tasci (2015), os profissionais precisam abordar um código arquitetônico consciente das intervenções das edificações no ambiente. Além disso, o autor defende que somente ensinar o conceito de sustentabilidade, como é feito no método tradicional, não é suficiente e que os alunos aprendem muito mais vendo exemplos de edifícios executados do que ouvindo sobre eles.

4.2 MATERIAL FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA DISPONÍVEL NO MERCADO BRASILEIRO

O valor das células fotovoltaicas é um dos principais motivos de escolha para a composição dos sistemas e está diretamente relacionado com a sua capacidade de geração. A área disponível para a instalação também influencia na escolha do material (CHIVELET E SOLLA, 2010).

De acordo com pesquisas do Laboratório Nacional de Energia Renovável do departamento de energia dos Estados Unidos, “*The National Renewable Laboratory*” atualmente as células com maior rendimento disponíveis do mercado são as de múltiplas junções. Estas combinam uma célula de silício comum sobre uma face e em outra face uma camada simples, dupla ou tripla junção. Essa última camada é composta pela combinação de camadas semicondutoras de outros materiais como índio-gálio-fosfeto, índio-gálio-arseneto e germânio e captura vários comprimentos de onda da radiação que incide na célula (NREL, 2019).

Em seguida às células de múltiplas junções estão as células de silício cristalino que podem ser divididas em monocristalino, policristalinos, de heterojunção e filme fino. Existe também outros materiais para células de filme fino, como o CIGS, compostas de cobre-índio-gálio-selênio, tealureto de cádmio (CdTe) e silicone amorfo hidrogenado (Si:H) (NREL, 2019).

Ainda, existem outras tecnologias de células emergindo, como a perovskita, que tem alcançado índices de rendimento superiores às de silício cristalino e células orgânicas com rendimento superior ou inferior as células de filme fino (NREL, 2019).

A nova tecnologia alemã presente no mercado brasileiro é o módulo solar Calyxo (Figura 14). Produzido por células solares filme fino de telureto de cádmio, o módulo possibilita a utilização de luz difusa na geração de energia promovendo maior eficiência ao sistema em dias nublados ou com altas temperaturas, se comparado ao silício. Esteticamente, o módulo assemelha-se à pele de vidro e é apropriado para ser aplicado em fachadas de edifícios. Embora o material esteja presente no mercado brasileiro desde 2018, os módulos Calyxo não são populares, devido, principalmente ao seu valor (o metro quadrado do produto incluindo o cabeamento custa em média R\$850,00 reais, ou seja, quatro vezes maior que o silício policristalino) e sua potência nominal que é de 85 Wp - valor máximo na série CX3 (FULL ENERGY, 2017; CALYXO, 2020).

FIGURA 14 - SHOW ROOM CALYXO LIFAN MARIN 4,59KWP (TEK ENERGY, 2020)



4.2.1 Aplicações da tecnologia fotovoltaica na pele dos edifícios

A tecnologia fotovoltaica foi inicialmente utilizada nas edificações totalmente desvinculada do conceito do projeto, a partir da sobreposição dos módulos nas coberturas e fachadas com o único objetivo da geração de eletricidade. A partir da década de 90 surgiram novas aplicações que uniam conceitos de arquitetura com a produção industrial que integrassem os módulos aos sistemas de vedação de fachadas (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Enquanto as janelas são utilizadas em um edifício como fonte de energia solar passiva, as superfícies opacas como fachadas e coberturas, além das proteções solares como *brises-soleil*), podem ser utilizados como geradores de energia ativos através da incorporação de células solares substituindo materiais tradicionais de vedação.

A partir do momento em que os módulos solares assumem a nova função mencionada, é necessário que desempenhem o mesmo papel estético e modular, além das funções básicas para proteção do interior de uma edificação como impermeabilidade, resistência as cargas de vento, estabilidade estrutural, durabilidade e facilidade de manutenção, segurança elétrica para seu uso e também custos (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Há uma série de aplicações de sistemas fotovoltaicos nas superfícies externas das construções e dependem da posição e do tipo do elemento de vedação. Segundo Chivelet e Solla (2010) a integração fotovoltaica em uma edificação pode ser utilizada em de cinco maneiras: fachadas ventiladas, sistemas de parede-cortina, sistema de janelas, *brises-soleil* e coberturas e claraboias.

4.2.2 Fachadas ventiladas e sistemas de paredes cortinas

As fachadas ventiladas fotovoltaicas são formadas por uma pele externa do material sobre uma camada interna opaca (alvenaria ou painéis pré-fabricados) ou envidraçada. Entre as duas peles do edifício há uma câmara de ar que permite a organização do cabeamento e das conexões do sistema, além de facilitar ventilação e

drenagem da água que infiltra pela pele fotovoltaica reduzindo a temperatura interna da edificação como também diminui o aquecimento dos módulos, fator que influencia no rendimento das células. Por proteger o interior do edifício das intempéries climáticas é também conhecida como a “fachada solar de CHIVELET e Solla” (CHIVELET E Solla, 2010).

Ainda, as fachadas ventiladas protegem a camada interna da umidade e da radiação solar, evitando retrações e dilatações térmicas (ATTOYE; AOUL; HASSAN, 2017).

A instalação do sistema consiste em fixar ancoragens ou perfis na camada opaca interna que possibilitem a instalação da camada externa fotovoltaica. Algumas das juntas da camada externa permite a entrada de água no interior das camadas que por gravidade é escoada na parte inferior para fora da fachada. Essa instalação pode ser de duas maneiras distintas: a fachada drenada e com ventilação cruzada e a fachada com equalização de pressões (CHIVELET E Solla, 2010).

Na fachada drenada com ventilação cruzada, a água que adentra a câmara de ar entre os *layers* da fachada ventilada corre até a parte inferior do sistema, no qual é inserido um arremate que auxilia a saída da água. Ainda, ocorre a evaporação da água que adentra a câmara, devido ao grande fluxo de ar das aberturas superiores e inferiores. Essas aberturas podem ser controladas para abrirem-se manualmente ou através de sistemas automatizados (CHIVELET E Solla, 2010).

Por sua vez, na fachada com equalização de pressões, a entrada de água é minimizada pelas juntas da câmara e inserção de pingadeiras, ou seja, a quantidade de água é muito menor que das fachadas drenadas com ventilação cruzada. Ainda, é necessário um arremate inferior para coleta da água infiltrada e o controle mais rigoroso dos sistemas de junção e vedação da fachada (CHIVELET E Solla, 2010).

Caso a camada interna seja envidraçada e não opaca, é importante que a ancoragem ou montantes sejam fixados nos perfis de fixação de alumínio dos vidros de modo a evitar infiltração da água no interior (CHIVELET E Solla, 2010).

Para melhor rendimento do sistema, Chivelet e Solla (2010) aconselham a utilização das fachadas ventiladas drenadas com ventilação cruzada por evitar o aquecimento dos módulos. Entretanto, se a fachada for de grandes dimensões, indica-se

utilizar o segundo sistema, de equalização de pressões, para diminuir a entrada de água na câmara que pode danificar o cabeamento.

Os sistemas de paredes cortina fotovoltaicas funcionam através da substituição do elemento de vedação externo de um edifício pelos módulos. Essa substituição reduz o problema típico das paredes cortinas do verão: os ganhos térmicos. Como o módulo fotovoltaico é constituído de um sanduíche de vidros com um encapsulante e as células fotovoltaicas em seu interior, dificultam parte da absorção da radiação solar (CHIVELET E SOLLA, 2010).

A fixação do painel fotovoltaico é feita com perfis de fixação externos e canaletas na face interna dos perfis para armazenar os cabos de conexão entre os módulos. A transparência das paredes cortinas dependem do material da célula fotovoltaica. As células de silício monocristalinas e policristalinas são opacas e quanto mais espaçadas elas sejam posicionadas no módulo, maior a visibilidade, porém menor a geração de energia. Já as células de silício amorfo são semitransparentes e podem ocupar todo o módulo (CHIVELET E SOLLA, 2010).

As paredes-cortina com módulos fotovoltaicos são divididas em dois grupos: os sistemas convencionais de montantes e travessas e as paredes cortinas moduladas. As primeiras são as mais comuns a serem utilizadas com as quais a montagem é realizada no local com perfis estruturados pré-cortados verticais, chamados de “montantes” e horizontais, as “travessas”. Nas áreas opacas onde é necessária a permeabilidade visual são utilizados vidros duplos. As ancoragens para montagem são fixadas nas bordas das lajes (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Em edificações mais altas é mais comum o uso de paredes cortina moduladas pela necessidade da utilização de andaimes e do aumento do tempo de instalação que acrescentam custos à edificação. Chamado de *unit system*, o sistema modulado é formado por painéis pré-fabricados com elementos de fixação já inseridos. Estes oferecem algumas vantagens como melhora da qualidade da fachada e a incorporação de canaletas de passagem para cabos e conexões dos condutores. Ainda, a fixação normalmente é feita na parte superior da laje através de trilhos inseridos nas suas bordas auxiliando o ajuste lateral (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Nos dois sistemas de paredes-cortina é necessário prever juntas de dilatação que podem ser vedadas com a pressão de juntas elásticas ou com silicones para evitar as tensões térmicas nos vidros por choque térmico. A montagem dos perfis pré-montados ou não podem utilizar a inserção de células fotovoltaicas na face interna de um sanduíche de vidros com uma camada de ar em seu interior. Um exemplo dessa utilização é a fachada da biblioteca espanhola Pompeu Fabra, em Mataró (Figura 15). A parede cortina convencional de vidro duplo possui uma câmara de ventilação de 15 centímetros que permite fechamento no inverno do qual o ar é direcionado aos sistemas de calefação do edifício por ventiladores e no verão a abertura dos alçapões para a saída de ar (CHIVELET E SOLLA, 2010).

FIGURA 15 - INTERIOR DA BIBLIOTECA POMPEU FABRA (CHIVELET E SOLLA, 2010)



Ambos os sistemas de fachada fotovoltaica necessitam da instalação de um dispositivo que possibilite a limpeza e manutenção dos módulos como guias posicionadas na cobertura.

4.2.3 Sistemas de janelas e brise-soleil

Em janelas as células fotovoltaicas semitransparentes de película fina de silício amorfo ou Cis ou opacas mono ou policristalinas espaçadas normalmente são fixadas na face interior do vidro externo de um sanduíche com uma camada de ar em seu interior. Devido ao seu sistema de cabeamento, as células fotovoltaicas são inseridas nas partes fixas das esquadrias como bandeiras superiores e inferiores (MIYAZAKI *et al.*, 2005; CHIVELET E SOLLÀ, 2010).

Os *brises-soleil* atuam positivamente nas edificações pelo controle solar no interior dos ambientes e como consequência diminuição de gasto energético para resfriamento dos edifícios. Os *brises-soleil* fotovoltaicos são considerados ótimas superfícies para a integração fotovoltaica pela sua inclinação voltada ao sol e por todas as suas faces serem ventiladas (CHIVELET E SOLLÀ, 2010).

Os *brises-soleil* podem ser fixados na própria esquadria ou na estrutura do prédio através de uma moldura ou perfis para sustentação protegendo as aberturas de receber irradiação solar. É importante também que sejam incorporadas canaletas para passagem de conexão e cabeamentos. Para limpeza e manutenção, podem ser incorporadas ao projeto passarelas acessíveis. Os *brises-soleil* podem ser móveis ou fixos (CHIVELET E SOLLÀ, 2010).

Diferentemente dos fixos, os *brises-soleil* móveis oferecem maior rendimento e seus dispositivos seguidores solares podem ser manuais ou automatizados e utilizam para isso a própria energia gerada pelo sistema. Um exemplo interessante de utilização dos *brises-soleil* móveis é a fachada da *House of Natural Resources* do Instituto Federal de Tecnologia de Zurique (Figura 16) na qual os módulos se movimentam em dois eixos

em que o ângulo ótimo de incidência de cada módulo é determinado e programado por um modelo controlado de algoritmos alcançados por simulações de todos os ângulos para obter combinações alto rendimento. Essa solução tecnológica é conhecida como fachada solar adaptativa (CHIVELET E SOLLA, 2010; JAYATHISSA *et al.*, 2017).

Parapeitos fotovoltaicos possuem características idênticas aos *brises-soleil* solares, pela ventilação em suas duas faces, e a necessidade de canaletas fixas para passagem do cabeamento. A transparência de ambos segue os critérios das fachadas ventiladas e dos sistemas de paredes cortinas: dependem do material e espaçamento entre as células.

FIGURA 16 - FACHADA SOLAR ADAPTATIVA (ETH ZÜRICH, 2020)



4.2.4 Cobertura e claraboias

Para Chivelet e Solla (2010), coberturas fotovoltaicas são uma boa escolha quando não se tem a intenção de alterar a imagem da edificação pois são integradas ao edifício em lugares com pouca visibilidade. Quanto aos critérios de geração de energia, sua posição na edificação implica em uma boa incidência solar com pequeno ou nenhum sombreamento. Além disso, pode-se orientar os elementos fotovoltaicos em uma

cobertura assim como garantir a ventilação na sua parte posterior e evitar aquecimento das células.

As coberturas fotovoltaicas podem ser opacas ou translúcidas. As opacas, também chamadas de cegas podem ser planas ou inclinadas. As coberturas inclinadas são a aplicação mais comum de BAPV no Brasil, na qual o módulo fotovoltaico é fixado sobre a cobertura metálica ou cerâmica.

Em relação ao BIPV, já existem no mercado internacional telhas fotovoltaicas de silício monocristalino. A americana Tesla comercializa as telhas de vidro solares e garante vida útil infinita ao produto graças à tecnologia da bateria *Powerwall* que facilita o armazenamento e a distribuição da energia gerada pelo sol durante o dia por meio de um sistema de gerenciamento e de resfriamento em seu interior (TESLA,2019).

No Brasil, a Eternit certificou a primeira telha solar do país em 2019. Hoje a empresa comercializa três modelos: A Eternit Solar Ondulada-F140 2.44 e a BIG-F11 e BIG-F10C. A primeira é compatível em dimensões e montagem com o padrão fibrocimento Ondulada de tamanho 2,44 x 1,10 metros com potência: 142,2 Wp.

A BIG-F11 e BIG-F10C da linha Tégula Solar são telhas de concreto e são fornecidas em conjunto com o cabeamento exclusivo para conexão, cada telha incorpora células solar de silício monocristalino e potência de 11 Wp e 10 kWp respectivamente, nas dimensões de 47,5 x 36,5 centímetros (ETERNIT SOLAR; TÉGULA).

Não é necessário que o telhado inteiro da edificação seja coberto com telhas fotovoltaicas, mas somente a quantidade de material necessário para suprir a demanda energética. No caso da Eternit o restante da cobertura pode ser feito com telhas comuns. Já a Tesla dispõe telhas em vidro não solares idênticas às solares geradoras de energia (TESLA,2019; HAUS, 2019).

FIGURA 17 - TELHAS FOTOVOLTAICAS ETERNIT SOLAR ONDULADA F140 2.44 E BIG-F11 TÉGULA (ETERNIT SOLAR, 2022; TÉGULA, 2022)



Coberturas fotovoltaicas translúcidas, claraboias e átrios envidraçados necessitam oferecer, além de geração elétrica e estanqueidade, também transparência. Assim como nos sistemas de paredes-cortina é necessário utilizar sistemas de fixação com montantes e travessas que suportam módulos semitransparentes com células instaladas entre um sanduíche de vidro para evitar perdas térmicas por condução. Caso a cobertura seja constituída por vidro simples, é necessário equalizar sua pressão com o ambiente externo e isolar a face interna deste com uma barreira de vapor de modo a equalizar sua pressão com o ambiente externo e evitar condensações (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Para evitar o rompimento por choque térmico é importante que o vidro laminado também seja temperado. Caso necessário, pode-se aplicar lâminas de baixa emissividade na parte externa para controle solar. Além disso, o material também necessita suportar cargas de vento, sobrecargas de manutenção e o impacto da queda de elementos possivelmente lançados das outras edificações (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Na parte posterior dos módulos é necessário prever caixas de conexões e estruturas para passagem do cabeamento. Além disso, é necessário que o sistema seja impermeável como perfis que permitam a saída da água infiltrada. A manutenção do

sistema também precisa ser prevista, considerando o peso e a dimensão dos módulos a serem verificados ou substituídos, além do acesso ao sistema de cabos (CHIVELET E SOLLA, 2010).

Um exemplo da utilização de módulos solares em coberturas é a Academia Mont-Cenis na Alemanha. Projeto do escritório de arquitetura Jourda & Perraudin, a edificação foi finalizada em 1999. Os módulos fotovoltaicos conferem um aspecto de céu parcialmente nublado além de auxiliarem no controle solar no verão e estão instalados com uma inclinação de 5% com perfis que recolhem a água da chuva (CHIVELET E SOLLA, 2010; SBP; 2020).

FIGURA 18 - ACADEMIA MONT-CENIS (SBP, 2020)



4.3 ESTÉTICA BIPV

O planejamento de edifícios com telhados e fachadas multifuncionais integrados com elementos capazes de cumprir os requisitos técnicos e demanda energética é uma parte essencial do projeto arquitetônico *mainstream* e também contribui para uma valorização estética do edifício. O BIPV é entendido como um componente integral do edifício: a eletricidade produzida pelos módulos os torna componentes multifuncionais, uma vez que são componentes funcionais ao gerarem eletricidade, mas também um elemento de construção da estrutura do edifício, uma vez que substituem os materiais convencionais. Essa abordagem define o material fotovoltaico tanto como uma arquitetura relevante componente, quanto como uma unidade produtora de energia ativa que, além disso, confere um valor estético a toda a construção (HEINSTEIN, BALLIF, PERRET-AEBI; 2003).

Incorporar um gerador fotovoltaico em uma edificação, além de gerar energia de uma fonte sustentável também, agrega beleza à edificação e auxilia como objeto que expõe e divulga a tecnologia (URBANETZ *et al.*, 2010; ZOMER *et al.*, 2011). Uma edificação agradável esteticamente pode ser suficiente para chamar a atenção e incentivar clientes e arquitetos a utilizar as aplicações BIPV em suas edificações. Porém, caso a edificação não tenha sido planejada para receber um sistema fotovoltaico e este seja aplicado após a sua finalização, a estética final pode interferir negativamente no estilo arquitetônico (PRASAD, SNOW; 2002).

A disseminação do uso integrado de módulos nas edificações, além incentivar novos usos e ideias, também auxilia a abertura do mercado fotovoltaico brasileiro para novos produtos que já são utilizados em outros países o que gera a gradual diminuição dos custos dos sistemas e a criação de *softwares* que auxiliem os profissionais da construção a projetar essas edificações.

4.3.1 Casos BIPV internacionais

- FKI Tower

A torre FKI comporta a Federação das Indústrias Coreanas e representa empresas como Samsung, LG e Hyundai Motor em Seul, na Coréia. Concluída em 2013, totaliza 116 mil metros quadrados de área construída ao longo de seus 50 andares (Figura 19) (URBAN NEXT, 2020).

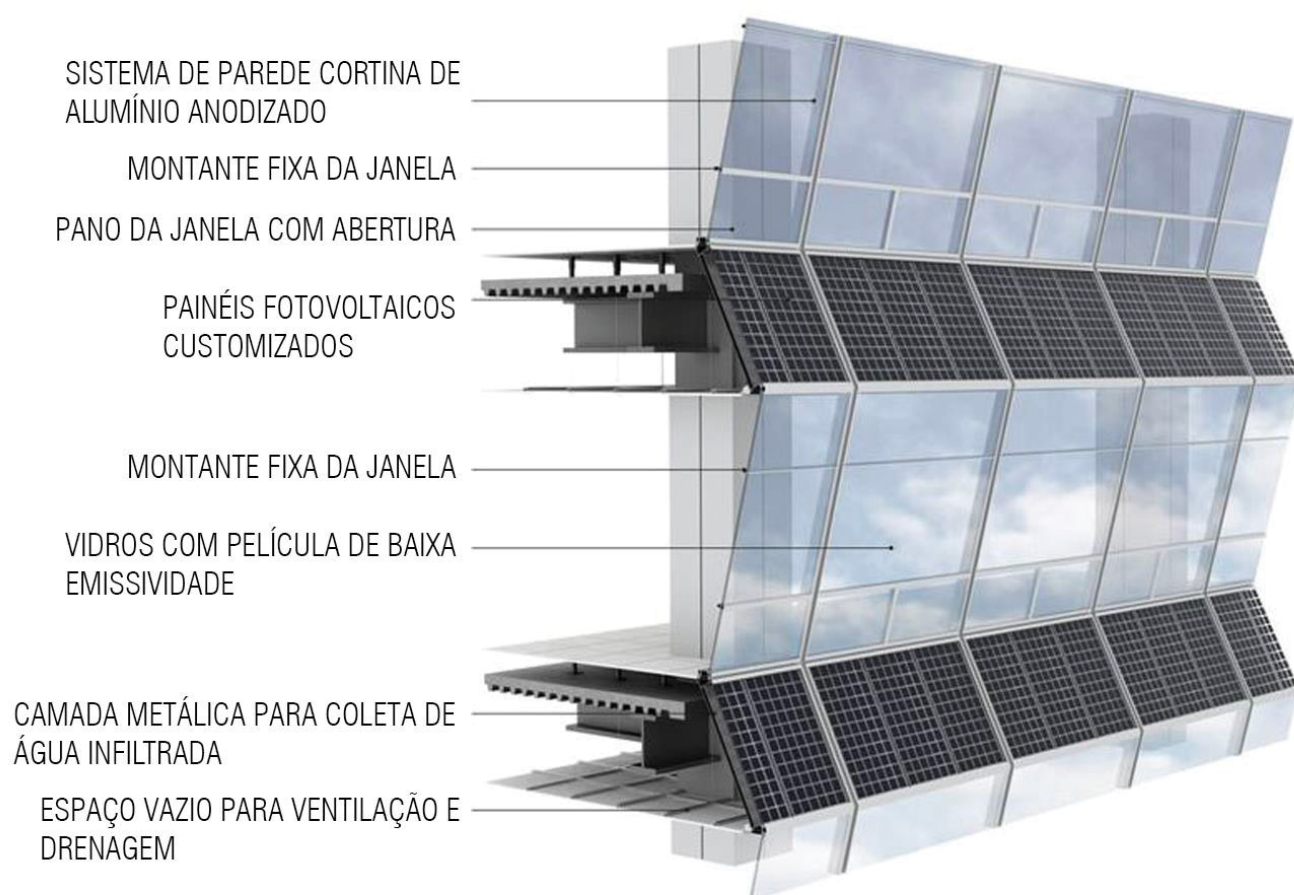
FIGURA 19 - VISTA DA FACHADA FKI TOWER (URBAN NEXT, 2020)



Como a cidade de Seul exige que as novas edificações comerciais gerem no local no mínimo 5% da energia consumida, a equipe dos escritórios de arquitetura Adrian Smith e Gordon Gill Architecture criou uma parede externa inovadora que gera energia elétrica através de módulos fotovoltaicos integrados nas partes fixas das fachadas sudeste e noroeste e auxilia na redução das cargas internas de aquecimento e resfriamento (URBAN NEXT, 2020).

Após uma série de estudos, a equipe de projeto determinou que, ao inclinar os módulos 30 graus em direção ao sol, a quantidade de energia coletada era maximizada. Os painéis de vidro são angulados 15 graus em direção ao solo, minimizando a quantidade de radiação solar direta e brilho incidente no interior do edifício. Com exceção dos períodos da manhã e do final da tarde, o edifício pode usar a geometria da parede externa para sombrear os espaços do perímetro interno do edifício que normalmente seriam inundados pela luz solar direta. Isso dá aos ocupantes do edifício a flexibilidade de abrir as persianas e permitir a luz natural indireta (Figura 20) (URBAN NEXT, 2020).

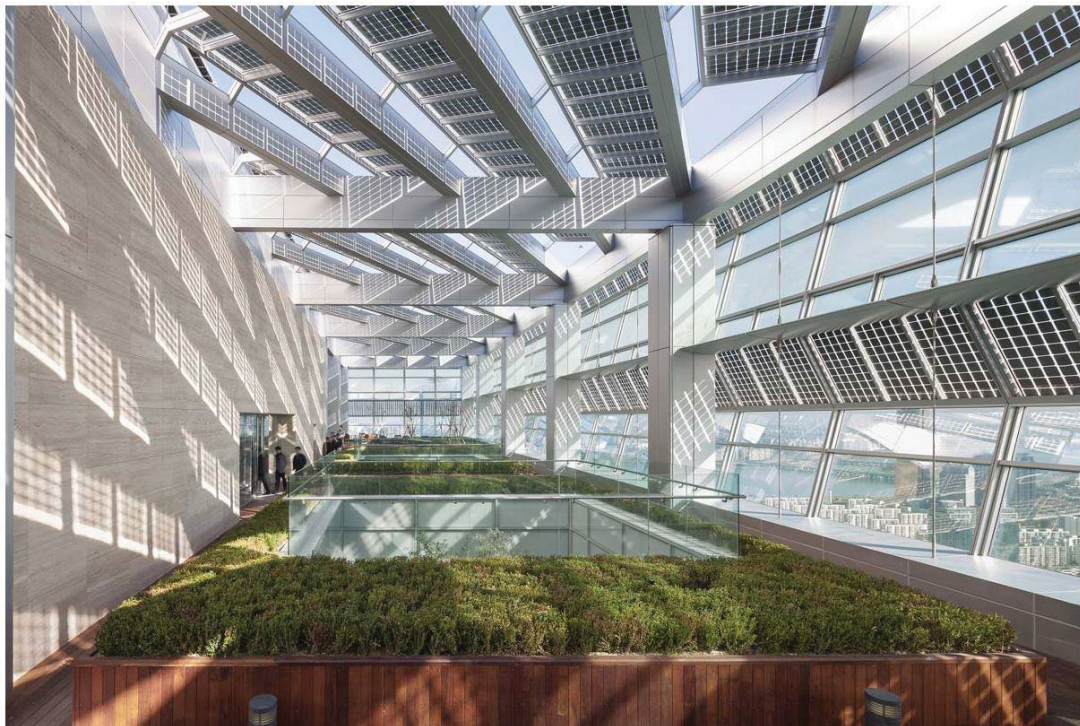
FIGURA 20 - DETALHE DA FACHADA FKI TOWER (URBAN NEXT, 2020)



Há na FKI Tower um amplo jardim no átrio na cobertura, que também dispõe de módulos fotovoltaicos personalizados. Como o material projetado para a parede externa, o ângulo ideal da colocação do painel foi estudado em detalhes: os módulos fotovoltaicos

são inclinados para cima a 30° , mas dentro da área limitada da cobertura, foi determinado que um ângulo de 10° entre as linhas de módulos, minimizando o efeito das sombras dos módulos (URBAN NEXT, 2020).

FIGURA 21 - VISTA DO JARDIM NO ÁTRIO DA COBERTURA (URBAN NEXT, 2020)



- Finolhu Villas

O primeiro resort alimentado somente por energia solar é localizado nas ilhas Maldivas e foi projetado pelo escritório novaiorquino Yuji Yamazaki Architecture PLLC em parceria com a Design 2000 e o escritório de engenharia italiano T&D Water Technologies em 2015 (YYA, 2020).

Os módulos fotovoltaicos bifaciais com células espaçadas compõem a cobertura da passarela que liga as cabanas do resort e também uma área de estar que conformam um sistema de 900 kWp e ocupam 6.200 metros quadrados, sendo suficiente para

atender 100 hóspedes e 100 funcionários que ocupam o resort a qualquer momento. Ainda, há um sistema de armazenamento de energia para que o local seja autossustentável. O investimento inicial no sistema solar (incluindo as baterias e o sistema de monitoramento) será pago em sete a oito anos, eliminando a necessidade de importar diesel pois todos os resorts nas Maldivas são acessados somente por barcos ou hidroaviões (YYA., 2020; ARCHDAILY, 2020).

Os módulos bifaciais foram fixados em um sistema de montantes e travessas que conformam perfis e escondem toda a fiação e conexões que alimentam o sistema. A cobertura possui uma inclinação muito pequena para escoamento das chuvas. A Figura 23 ilustra a passarela que liga as cabanas.

FIGURA 22 - VISTA DA ÁREA DE ESTAR DO RESORT (YYA 2020)



FIGURA 23 - VISTA DA PASSARELA DO RESORT (YYA, 2020)



- CIS Tower

O edifício com 28 andares no centro de Manchester, Reino Unido, foi concluído em 1962, tornando-se na época o maior arranha-céu fora de Londres com 28 andares e cerca de 118 metros de altura. Sede de uma cooperativa de seguros, a torre situa-se sobre um bloco de cinco andares e possui uma estrutura de aço e paredes de cortina de vidro com caixilhos de janelas de metal. Os materiais de construção, vidro, aço esmaltado e alumínio, foram escolhidos para que o edifício pudesse permanecer limpo na atmosfera poluída de Manchester (BINNS, 2005).

A torre central de serviços inicialmente era revestida por 14 milhões de ladrilhos configurando um mosaico. Porém, a má colocação do revestimento devido à falha do cimento e à falta de juntas de expansão no concreto gerou a queda do material e infiltrações que deterioravam a estrutura. Após consultas ao Patrimônio Inglês e a empresas que construíam fachadas solares, em 2005 o trabalho foi concluído. A empresa Solarcentury forneceu conhecimento fotovoltaico especializado para projetar uma solução de revestimento à prova de intempéries, integrando geração de energia

elétrica por tecnologia fotovoltaica em torno da estrutura da torre, compensando o custo do material de construção e substituindo os mosaicos tradicionais. O mosaico em deterioração de cerca de 3.200 metros quadrados foi substituído por 575,5 kW de células fotovoltaicas de silício policristalino (Figura 24), que geram aproximadamente 180.000 kWh de energia elétrica anualmente. O custo total da intervenção foi de 5,5 milhões de libras (BINNS, 2005; DATABASE, 2020).

O revestimento fotovoltaico foi fixado com uma estrutura de aço inoxidável sobre a estrutura existente da superfície a prova de água dos antigos mosaicos, deixando uma camada de ar entre os módulos e a fachada interna como pode ser observado na Figura 25 (YUMPU, 2020).

FIGURA 24 - TORRE DE SERVIÇO MANCHESTER CIS TOWER (GIGAZINE, 2007)



FIGURA 25 - ESPAÇO ENTRE OS MÓDULOS EXTERNOS E O ANTIGO REVESTIMENTO INTERNO DE MOSAICOS (YUMPU 2020)



Os módulos de 1,20 x 0,537 metros são conectados em grupos de sete dispostos na horizontal (Figura 26). Estes são presos a um sistema de trilhos e suporte de montante de alumínio que se estende por toda a estrutura da torre conformando uma fachada fotovoltaica à prova de água. Na parte posterior dos módulos há uma camada de ar para ventilação. Do total de 7.244 módulos somente 4.898 contribuem para a geração de energia (BINNS, 2005).

FIGURA 26 - GRUPOS DE MÓDULOS DISPOSTOS NA HORIZONTAL (GIGAZINE, 2007)



- Fraunhofer ISE

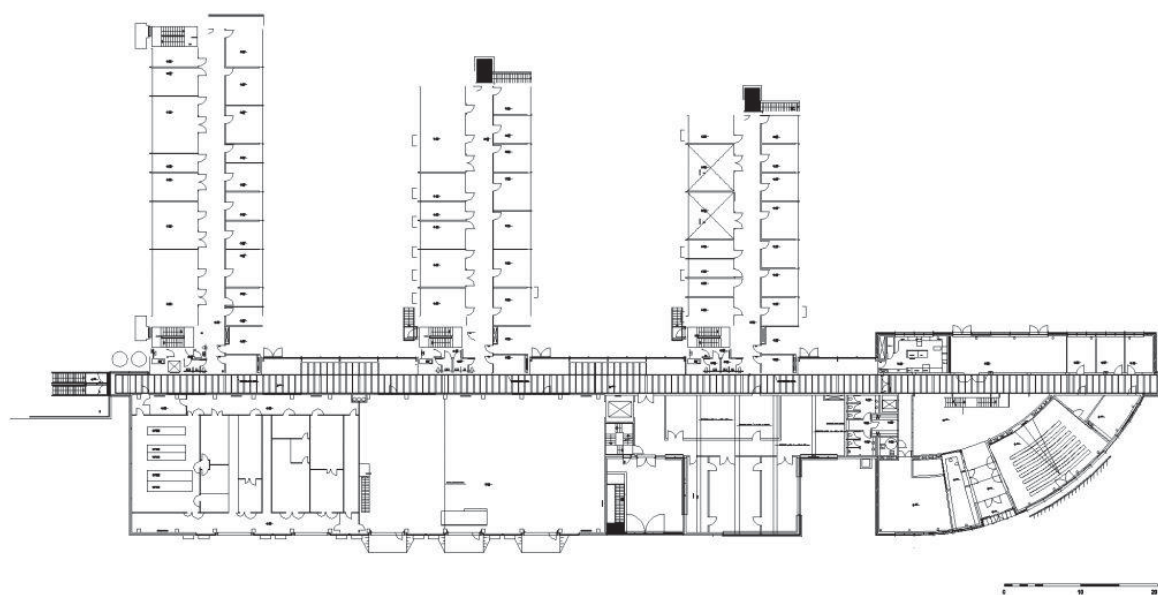
Localizado em Freiburg, Alemanha o edifício do Instituto Fraunhofer custou o equivalente a 11 milhões de euros e foi entregue em julho de 2001. Situado em um lote longilíneo que se estende na direção norte / sul, teve como conceito utilizar vários métodos de integração arquitetônica e fotovoltaica, abrangendo aspectos funcionais, estéticos e energéticos (PVDATABASE, 2020).

O edifício é a união de um ambiente de trabalho com funcionalidade, baixo consumo de energia e um elaborado *design*. A maior parte do complexo de edifícios tem três andares e consiste em três alas paralelas de construção conectadas por um acesso adjacente a um laboratório de protótipos técnicos. A configuração interna do edifício foi

concebida deliberadamente para que os escritórios contem com máxima iluminação natural. As tecnologias de isolamento térmico, controle solar, iluminação e ventilação foram projetadas para uma demanda mínima de energia (PVDATABASE, 2020).

A planta baixa configura o formato de um pente (Figura 27) e a separação entre as laterais do edifício foram planejados com base em sombreamento mínimo, boas condições de luz natural, temperaturas confortáveis nos meses de verão, resfriamento passivo, geração de energia elétrica de origem solar e, a sensação de um ambiente interno agradável, enfatizada pela grande transparência horizontal da fachada. O hall de entrada principal contém um átrio com teto dentado e módulos fotovoltaicos integrados (PVDATABASE, 2020).

FIGURA 27 - PLANTA BAIXA: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)



Venezianas externas com função de redirecionamento de luz fornecem controle de fluxo de energia solar. Também há um trocador de calor subterrâneo que esfria ou pré-aquece o ar de entrada para ventilação do edifício. No verão o edifício é resfriado por ventilação noturna ativa (PVDATABASE, 2020).

Na fachada sul e no teto em formato de *sheds*, são compostos por células solares encapsuladas por vidros duplos. Dessa forma, o material reduz o ganho de calor no

edifício de modo a evitar o uso com ar condicionado. Já na fachada da ala sul, estão integrados módulos fotovoltaicos em uma parede cortina e como elementos de beirais e *brises-soleil*. Nas alas sul e central, os módulos fotovoltaicos funcionam como revestimento para os mecanismos de ventilação localizados na parte posterior dos módulos (Figuras 29 e 30) (PVDATABASE, 2020).

FIGURA 28 - FACHADA SUL: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)



FIGURA 29 - TETO EM SHED: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)



FIGURA 30 - SISTEMA FOTOVOLTAICO E MECANISMOS DE VEDAÇÃO NO TELHADO FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)

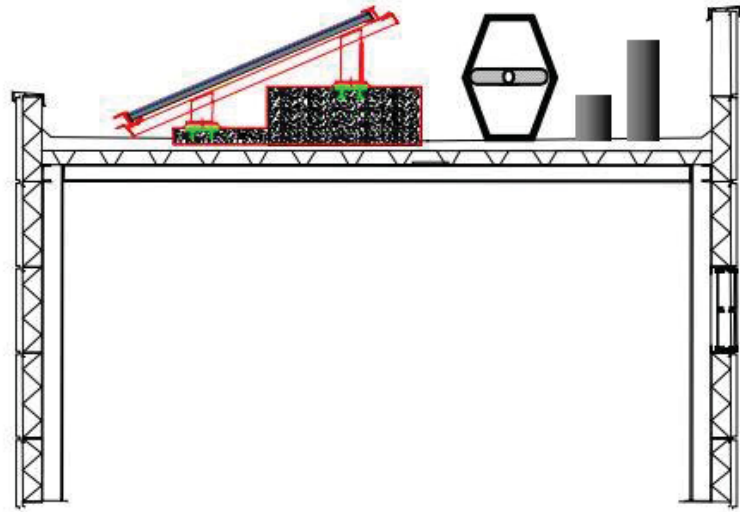


FIGURA 31 - IMAGEM DO SISTEMA FOTOVOLTAICO E MECANISMOS DE VEDAÇÃO NO TELHADO FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)



Um perfil foi criado para os módulos das alas sul e central, de modo a manter cada módulo estável por uma borda saliente. Para a fixação, o módulo precisa deslizar entre uma parte superior e um trilho de montagem inferior (Figura 32) (PVDATABASE, 2020).

O teto em *shed* tem área de cerca de 70 metros quadrados de módulos fotovoltaicos e sua configuração foi otimizada através de simulações de conforto térmico e lumínico que culminaram na escolha da inclinação ideal de 35°. Boas condições de luz natural são essenciais para o uso e o efeito estético de um átrio. Porém, um superaquecimento enorme surgiria no verão caso a transparência fosse elevada e não ocorresse sombreamento (PVDATABASE, 2020).

FIGURA 32 - PERFIL DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS DAS ALAS SUL E CENTRAL
FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)

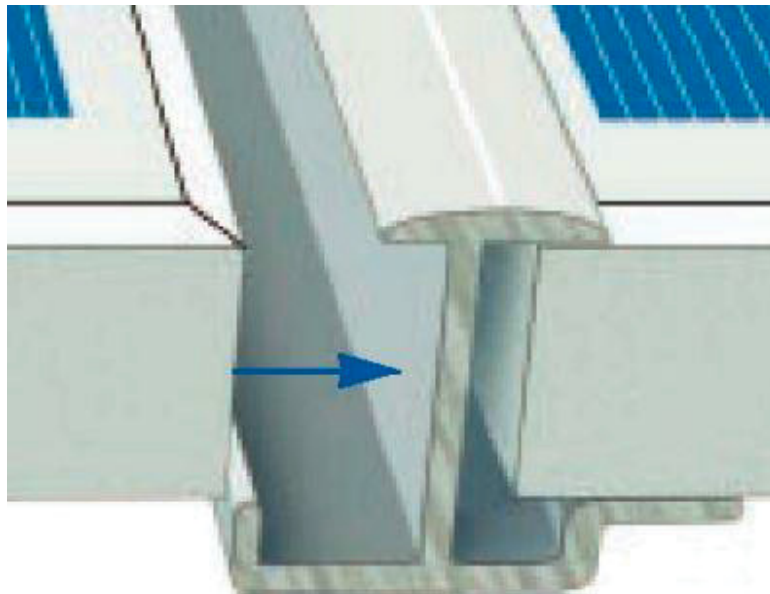
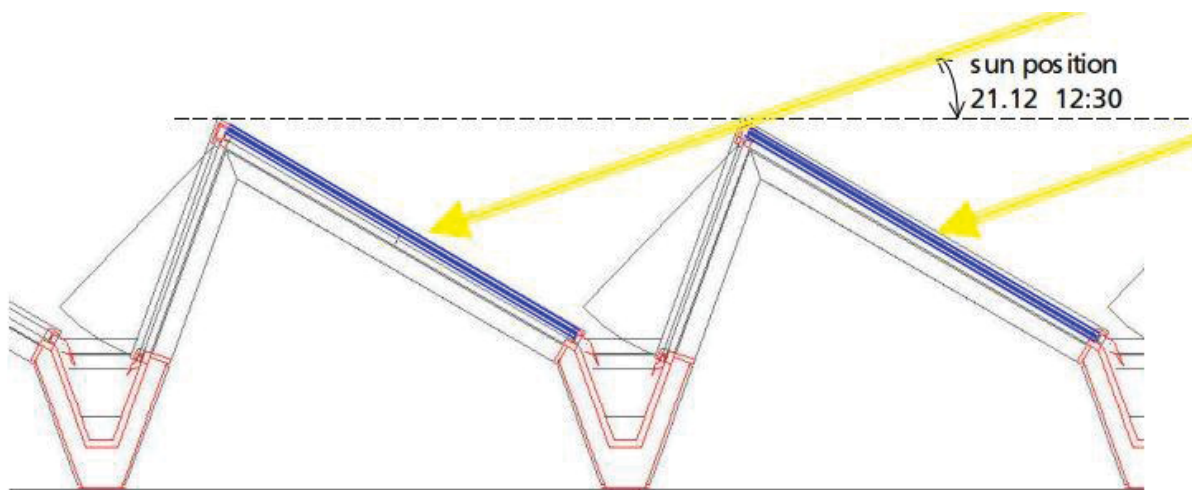


FIGURA 33 - COBERTURA EM SHED: FRAUNHOFER ISE (PVDATABASE, 2020)



Em alguns módulos houve condensação de água no espaço de ar isolante entre os painéis. Presumivelmente, foi uma falha do fabricante de vidros. Os módulos afetados foram retirados, o isolamento refeito e em seguida foram fixados novamente (PVDATABASE, 2020).

2.2.7 Casos de BIPV no Brasil

Embora como uma manifestação tímida, já existem alguns casos de integração fotovoltaica na arquitetura brasileira. A seguir, serão apresentados alguns exemplos.

- Sede da TOTVS (Edifício Sêneca)

Localizada em São Paulo, a sede da TOTVS foi planejada para ser um exemplo inovador de sustentabilidade no país. O conceito do projeto é de um edifício sustentável que prioriza espaços abertos sem barreiras entre as estações de trabalho de modo a compartilhar ideias e conhecimento.

A fachada frontal é composta por um sistema ventilado com uma pele de vidro interna e outra a 60 centímetros externa laminada com aplicação de película orgânica fotovoltaica conhecida como OPV (Figura 34). Segundo a Sunew, empresa que

comercializou os produtos, “ o n o v o e m p r e e n d i m e n t o d a I n o v a l Latina a receber vidros com essa tecnologia.” Ainda, a tecnologia OPV foi utilizada para compor a logo da empresa (Figura 35) (SUNEW, 2018; ARCOWEB, 2020).

FIGURA 34 - FACHADA DO EDIFÍCIO SÊNECA (ARCOWEB, 2020)



A pele externa do edifício de vidros orgânicos de 11 milímetros na cor azul é composta de uma chapa de vidro de 6 milímetros extra *clear* (incolor e com pouco teor de ferro para que a luz alcance a célula fotovoltaica facilmente), filme fotovoltaico orgânico, película de laminação e vidro monolítico de 4 milímetros (STB 136). Uma estrutura de aço cortain ao edifício. As peças vidro com OPV são moduladas e contêm quatro pontos de fixação com gaxetas de silicone para facilitar a retirada e substituição dos vidros. Foram previstas portas de acesso da pele de vidro interna para a externa para realizar a manutenção da fachada externa (ARCOWEB, 2020).

FIGURA 35 - VISTA INTERNA DA LOGO DA TOTVS (ARCOWEB, 2020)



A integração fotovoltaica totaliza 300 metros quadrados de vidros laminados com OPV e o microssistema fotovoltaico tem 2 kWp de potência instalada gerando o total de 3,24 MWh / ano. Ainda, o sistema evita a e retém 95% de radiação UV dentro do edifício. Além disso, o edifício tem outras soluções de sustentabilidade aplicadas como fachadas ventiladas, claraboias e coberturas verdes (SUNEW, 2018; ARCOWEB, 2020).

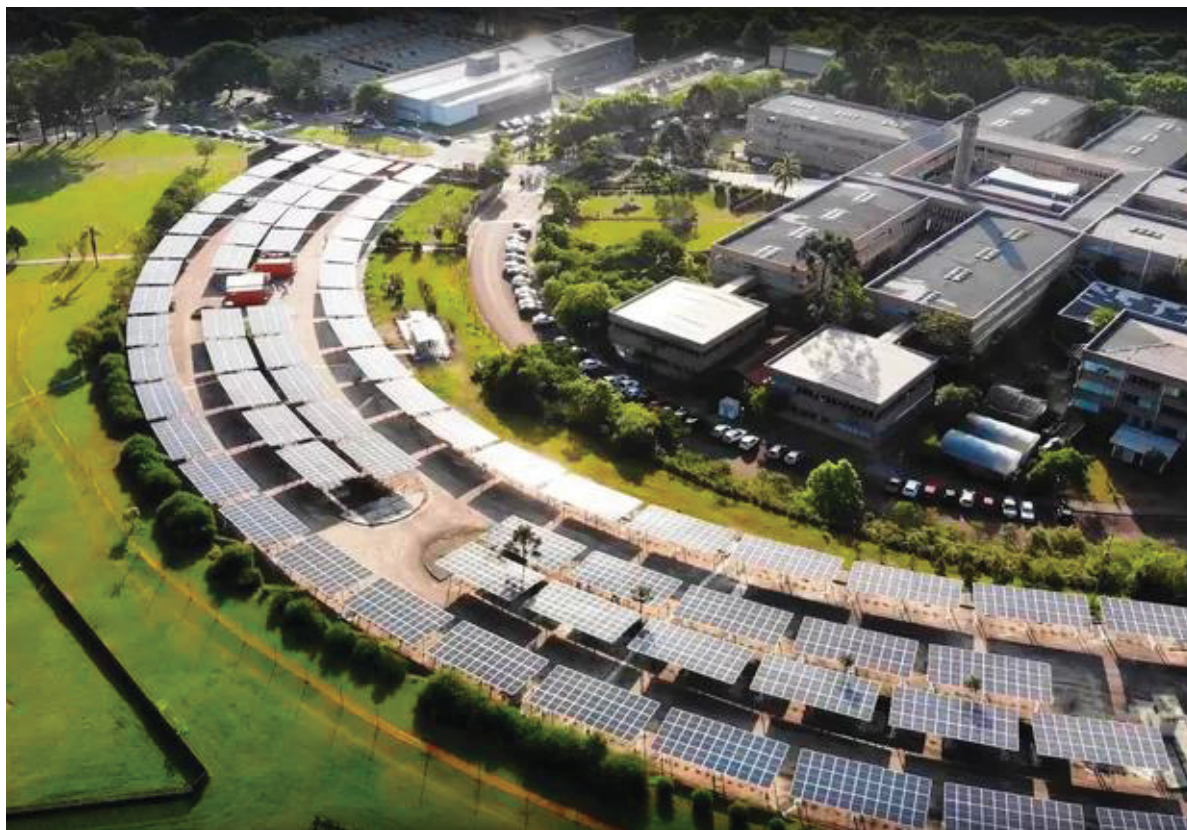
FIGURA 36 - VISTA INTERNA DO EDIFÍCIO SÊNECA (ARCOWEB, 2020)



- *Carport* na Universidade Federal do Paraná

A Universidade Federal do Paraná inaugurou em 2020 a maior usina solar construída com o sistema *carport*, ou seja, sobre um estacionamento no país. Com cerca de 10.000 metros quadrados de área construída o sistema tem capacidade de gerar 1.300 MWh por ano com quase 2.400 módulos fotovoltaicos instalados cobrindo 375 vagas de estacionamento, suprimindo 50% da energia gasta pelo Centro Politécnico (Figura 37) (NEGÓCIOS, 2020).

FIGURA 37 - IMAGEM AÉREA DO CARPORT INSTALADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (NEGÓCIOS, 2020)



Um estacionamento solar é constituído por sistemas fotovoltaicos de geração de energia instalados em estruturas em solo. Além da redução de gastos com energia os custos de manutenção de estacionamentos também diminuem pois os módulos solares são resistentes a impactos como chuvas intensas e granizo.

Além de poupar os veículos de superaquecimento e da necessidade de gasto de combustível para utilização de ar condicionado para refrigerar o interior do veículo, os módulos são capazes de gerar energia para carregamento de bateria de automóveis elétricos.

Presume-se que para proteger os veículos e seus condutores de intempéries climáticas é necessário que as coberturas solares assim como os sistemas já descritos anteriormente proporcionem aos usuários conforto sob elas, ou seja, evitem que os raios solares e a chuva não se infiltrem entre os módulos. Infelizmente, o *carport* instalado na Universidade Federal do Paraná possui grandes frestas entre os módulos e não cumpre

com a função necessária de uma cobertura: proteção. Na Figura 38 abaixo é possível perceber os vãos entre os módulos solares.

Este caso foi escolhido pela proximidade, e não pelo caráter exemplar, já que poderia, com esse porte, ter sido instalado como BIPV, substituindo coberturas de vários dos edifícios que hoje demandam *retrofit* por motivos de falha de estanqueidade (SCHMID, comunicação pessoal, jan. 2023).

FIGURA 38 - IMAGEM DO CARPORT INSTALADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (A AUTORA, 2020)



Os módulos foram montados sobre montantes e travessas metálicas que se apoiam em vigas e pilares metálicos nas extremidades da estrutura. Cada carport é composto por 33 módulos solares dispostos em 3 fileiras. Para a fixação dos módulos solares foram inseridos clips de aterramento parafusados nos montantes nas laterais e entre os módulos. O cabeamento é preso por abraçadeiras de nylon nas travessas e

seguem até a união em uma das extremidades até o solo pelo qual o cabeamento chega até o inversor (Figura 39).

FIGURA 39 - CARPORT INSTALADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (A AUTORA, 2020).



5 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS DO ARTEFATO ZERO

A partir dos dados brutos recebidos das medições entre maio a dezembro de 2022 os dados foram analisados a partir de dois métodos diferentes:

5.1 MÉTODO 1

Primeiramente as informações recebidas foram tratadas. Os dados defeituosos ou claramente errôneos foram desconsiderados nessa análise. Em seguida categorizamos os dados por azimute e inclinação.

A primeira observação pertinente é o fato de que não temos dados suficientes a respeito da geração dos módulos de OPV nos primeiros seis meses de medição (maio a outubro). Somente um dos módulos está gerando dados. Em novembro e dezembro, entretanto, 22 geraram dados. Como já relatado, presume-se que como as células orgânicas geram muito menos energia que as demais, o medidor utilizado no estudo não possui sensibilidade e/ou escala suficiente para a referida medição. Prova disso é que nos meses de maior geração (novembro e dezembro) o medidor conseguiu captar dados. Serão analisados assim, os dados das células dos módulos de filme fino e silício cristalinos.

Em geral os módulos de filme fino foram afetados por aumento no referencial azimutal e seu aproveitamento da reflexão do albedo e da irradiação incidente não perpendicular. Quanto maior A tabela abaixo mostra a geração média em kWh mês em cada azimute e inclinação.

A partir dos dados coletados, conclui-se:

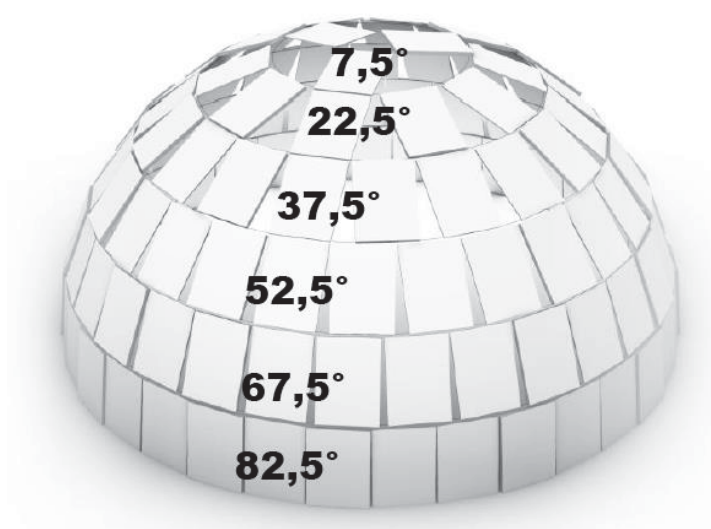
1. Como estimou a fabricante de inversores Solis, a perda relativa de geração de energia muda de forma semelhante nas variações de azimute para leste e oeste como uma parábola.
2. Quanto mais a norte a inclinação dos módulos de filme fino, maior a geração.

3. O módulo teve um bom aproveitamento pois houve um pico de geração para um ângulo de $67,5^\circ$. Provavelmente seja devido à reflexão de albedo. Entretanto um ângulo muito alto como $82,5^\circ$ acabou com essa tendência de aumento de geração global uma vez que a perda por irradiação direta acaba de se tornando maior que os ganhos pela reflexão do albedo

TABELA 2 - VALORES GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE FILME FINO - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023)

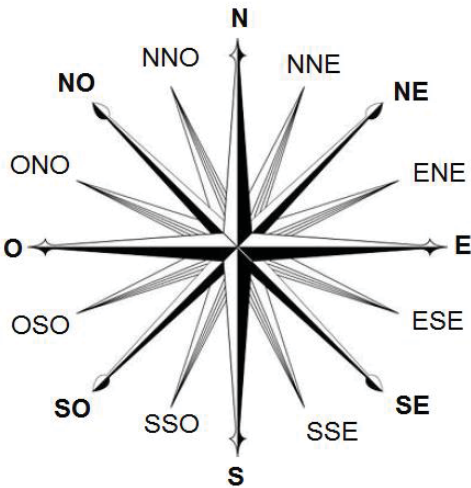
Desvio azimuthal	Inclinação dos módulos						Total Geral (kWh mês)
	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	
-150°					148,94	123,90	90,95
-120°		181,09	176,55	173,09		30,70	140,36
-90°				145,15	183,33	183,33	170,60
-60°					236,70		78,90
-30°		435,15		323,11		77,05	278,44
0°	505,07		399,62	66,16	334,56	22,08	265,50
30°					396,99	305,22	351,11
60°		45,93		51,53	57,82	155,52	62,16
90°			153,39	359,66			171,02
120°					280,03	173,06	226,55
150°				184,06		111,40	73,87
180°				51,36	97,29	47,41	65,36
Total Geral (kWh mês)	505,07	165,54	104,22	169,27	216,96	102,47	155,41

FIGURA 40 - INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS DO DOMO (A AUTORA, 2023)



Considera-se a rosa dos ventos abaixo para os valores dos desvios azimutais ilustrados no eixo x da tabela acima:

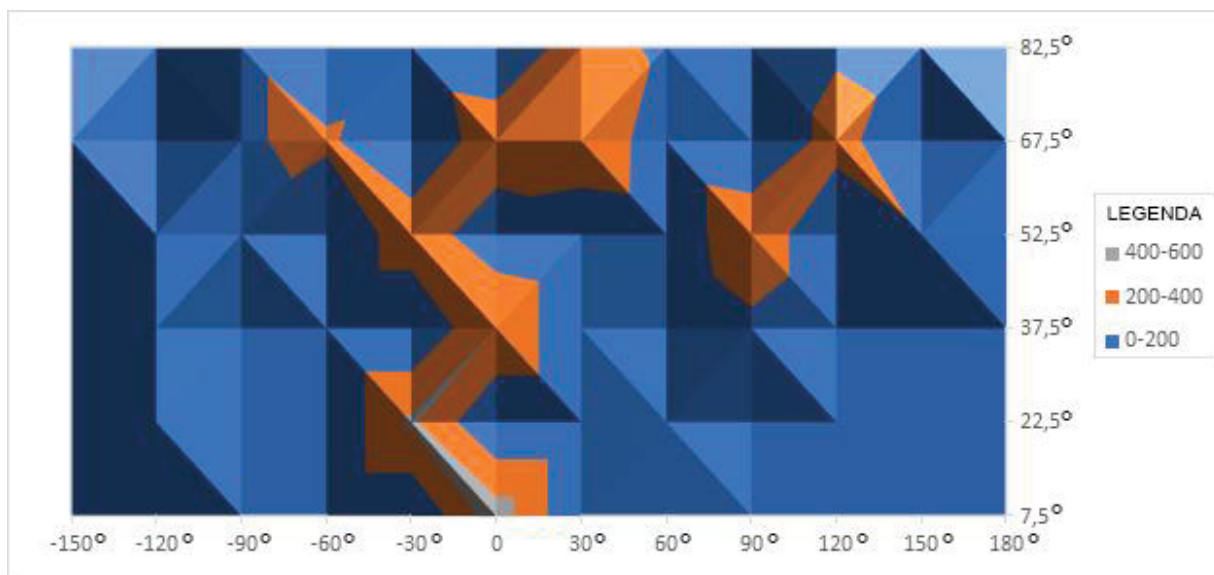
FIGURA 41 - ROSA DOS VENTOS (A AUTORA, 2022)



SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
-150°	-120°	-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°

Em seguida, temos o gráfico de geração dos módulos de filme fino. Percebe-se que as maiores gerações estão localizadas próximas ao azimuth 0. Porém os módulos de filme fino apresentam um bom aproveitamento da reflexão do albedo (no eixo y temos a inclinação dos módulos e no x o desvio azimutal).

GRÁFICO 5 - GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE FILME FINO - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023)



Diferentemente da tecnologia de filme finos, os módulos de silício cristalinos demonstram uma produção muito maior por irradiação direta, inclusive por irradiação perpendicular. Em desvios azimutais baixos e ângulos de inclinação entre 52,5° e 37,5° os módulos apresentaram maior geração. É necessário levar em consideração que tal resultado era esperado uma vez que a maior parte dos dados se concentrou no inverno e o Sol está em uma posição mais baixa nesse período. Devido a isso módulos com ângulos intermediários são melhores pois eles conseguem aproveitar a irradiação direta dos meses de inverno.

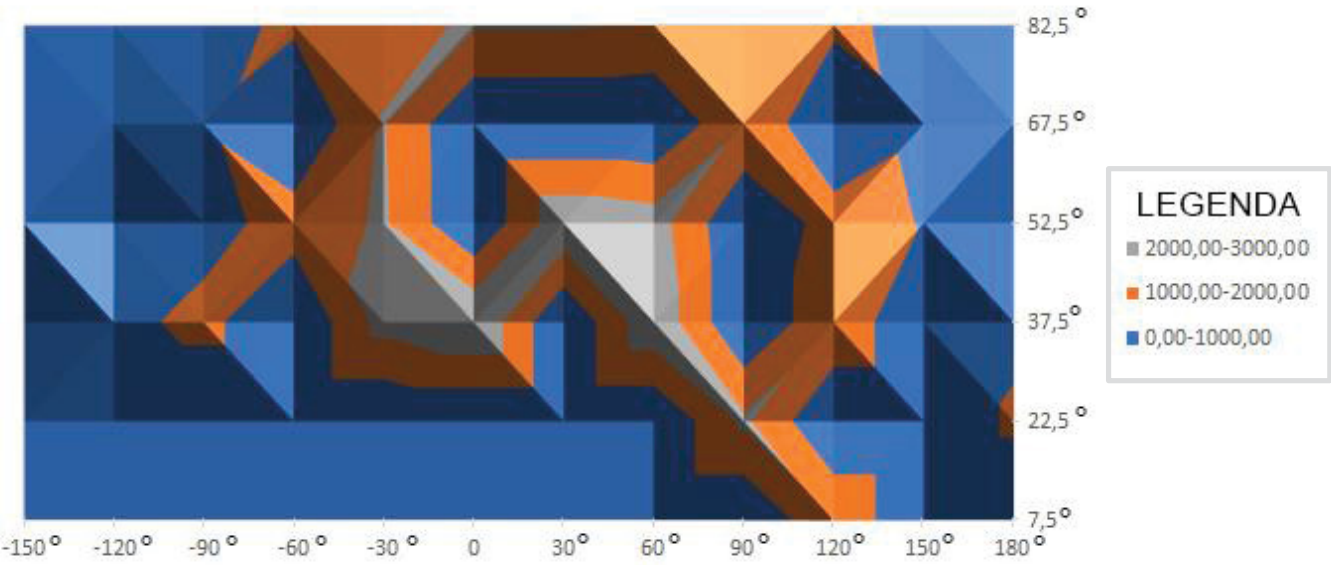
Também apresentam, como esperado, maior experiência com inclinação mais próximas a norte.

TABELA 3 - VALORES GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE SILÍCIO CRISTALINOS - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023)

Desvio azimutal	Inclinação dos módulos						Total Geral (kWh mês)
	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°	
-150°				449,28	401,65	342,19	397,71
-120°			665,73		520,12	415,36	533,74

-90°		0,00	1304,20	588,47	894,12	694,86	696,33
-60°				1443,23		1162,62	1302,92
-30°			2358,97	2130,48	2050,78	1665,85	2051,52
0°			2965,57		0,00	2123,69	1696,42
30°				2781,98		2115,45	2448,71
60°			2784,91	2482,32	0,00	1933,20	1800,11
90°		2182,83			1906,52	1507,32	1865,56
120°	1869,44		1827,86	1461,99		1208,95	1592,06
150°				945,60	810,69	708,56	821,61
180°		1190,52	689,71		553,02	392,39	706,41
Total Geral (kWh mês)	1869,44	1124,45	1799,56	1535,42	792,99	1189,20	1288,26

GRÁFICO 6 - GERAÇÃO DOS MÓDULOS DE SILÍCIO - DADOS EM kWh mês (A AUTORA, 2023)



5.2 MÉTODO 2

Tem como objetivo a análise dos dados coletados dos módulos em todo o domo independentemente do tipo de célula e das gerações a partir do comparativo entre as diferentes inclinações e desvios azimutais. Nos dados da energia gerada por módulo, aplicou-se um fator de conversão para que os dados de todos os módulos tivessem potências de geração equivalentes.

Os dados das potências dos módulos foram extraídos dos *datasheets* dos produtos adquiridos pela equipe de pesquisa.

TABELA 4 - PLANILHA DE CONVERSÃO DE TECNOLOGIAS (A AUTORA, 2023)

Tecnologia	P(W)	fator
1 – Módulo silício cristalino	10	1
2 – Filme fino	5,2	1,92
3 - OPV	0,5	20

Em seguida calculou-se a média de geração de cada um dos desvios azimutais e dos ângulos de inclinação. A partir disto, os dados inexistentes das médias dos meses foram estipulados por simetria e interpolação. A tabela abaixo mostra a interpolação dos meses de junho.

TABELA 5 – INTERPOLAÇÃO E SIMETRIA DA GERAÇÃO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO DO MÊS DE JUNHO (A AUTORA, 2023)

	7,5°	22,5°	37,5°	52,5°	67,5°	82,5°
180°	0,04	0,08	0,08	0,11	0,12	0,08
210°	0,06	0,10	0,10	0,08	0,12	0,12
240°	0,08	0,16	0,12	0,08	0,08	0,08
270°	0,10	0,00	0,08	0,12	0,12	0,12
300°	0,12	0,09	0,08	0,08	0,16	0,08
330°	0,14	0,16	0,08	0,12	0,08	0,08
0°	0,16	0,00	0,12	0,12	0,16	0,08
30°	0,14	0,16	0,08	0,08	0,16	0,12
60°	0,12	0,16	0,08	0,08	0,16	0,12
90°	0,10	0,08	0,08	0,12	0,08	0,08
120°	0,08	0,16	0,08	0,08	0,16	0,12
150°	0,06	0,10	0,10	0,12	0,08	0,12
180°	0,04	0,08	0,08	0,11	0,12	0,08

 simetria
 interpolação

Temos então os dados mensais de geração EM kWh mês:

TABELA 6 – GERAÇÃO DO MÊS DE MAIO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)

MAIO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07
22,5°	0,13	0,16	0,25	0,13	0,25	0,25	0,23	0,25	0,25	0,13	0,25	0,16	0,13
37,5°	0,13	0,15	0,19	0,13	0,13	0,13	0,19	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15	0,13
52,5°	0,17	0,13	0,13	0,19	0,13	0,19	0,19	0,13	0,13	0,19	0,13	0,19	0,17
67,5°	0,19	0,19	0,13	0,19	0,25	0,13	0,25	0,25	0,25	0,13	0,25	0,13	0,19
82,5°	0,13	0,19	0,13	0,19	0,13	0,13	0,13	0,19	0,19	0,13	0,19	0,19	0,13

TABELA 7 - GERAÇÃO DO MÊS DE JUNHO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)

JUNHO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04
22,5°	0,08	0,10	0,16	0,00	0,09	0,16	0,00	0,16	0,16	0,08	0,16	0,10	0,08
37,5°	0,08	0,10	0,12	0,08	0,08	0,08	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,08
52,5°	0,11	0,08	0,08	0,12	0,08	0,12	0,12	0,08	0,08	0,12	0,08	0,12	0,11
67,5°	0,12	0,12	0,08	0,12	0,16	0,08	0,16	0,16	0,16	0,08	0,16	0,08	0,12
82,5°	0,08	0,12	0,08	0,12	0,08	0,08	0,08	0,12	0,12	0,08	0,12	0,12	0,08

TABELA 8 - GERAÇÃO DO MÊS DE JULHO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)

JULHO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,06	0,09	0,12	0,14	0,17	0,20	0,22	0,20	0,17	0,14	0,12	0,09	0,06
22,5°	0,12	0,14	0,22	0,00	0,13	0,22	0,00	0,22	0,22	0,12	0,22	0,14	0,12
37,5°	0,12	0,14	0,17	0,12	0,12	0,12	0,17	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,12
52,5°	0,16	0,12	0,12	0,17	0,12	0,17	0,17	0,12	0,12	0,17	0,12	0,17	0,16
67,5°	0,17	0,17	0,12	0,17	0,22	0,12	0,22	0,22	0,22	0,12	0,22	0,12	0,17
82,5°	0,12	0,17	0,12	0,17	0,12	0,12	0,12	0,17	0,17	0,12	0,17	0,17	0,12

TABELA 9 - GERAÇÃO DO MÊS DE AGOSTO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)

AGOSTO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06
22,5°	0,11	0,13	0,21	0,00	0,12	0,21	0,00	0,21	0,21	0,11	0,21	0,13	0,11
37,5°	0,11	0,13	0,16	0,11	0,11	0,11	0,16	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13	0,11
52,5°	0,15	0,11	0,11	0,16	0,11	0,16	0,16	0,11	0,11	0,16	0,11	0,16	0,15
67,5°	0,16	0,16	0,11	0,16	0,21	0,11	0,21	0,21	0,21	0,11	0,21	0,11	0,16
82,5°	0,11	0,16	0,11	0,16	0,11	0,11	0,11	0,16	0,16	0,11	0,16	0,16	0,11

TABELA 10 - GERAÇÃO DO MÊS DE SETEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh
mês (A AUTORA, 2022)

SETEMBRO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,05	0,08	0,10	0,12	0,15	0,17	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,05
22,5°	0,10	0,12	0,20	0,00	0,11	0,20	0,00	0,20	0,20	0,10	0,20	0,12	0,10
37,5°	0,10	0,12	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10
52,5°	0,14	0,10	0,10	0,15	0,10	0,15	0,15	0,10	0,10	0,15	0,10	0,15	0,14
67,5°	0,15	0,15	0,10	0,15	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,15
82,5°	0,10	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10	0,15	0,15	0,10

TABELA 11 - GERAÇÃO DO MÊS DE OUTUBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês
(A AUTORA, 2022)

OUTUBRO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,36	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34	0,36
22,5°	0,28	0,27	0,19	0,37	0,03	0,23	0,24	0,23	0,03	0,37	0,19	0,27	0,28
37,5°	0,11	0,22	0,20	0,28	0,37	0,40	0,28	0,40	0,37	0,28	0,34	0,22	0,11
52,5°	0,13	0,13	0,13	0,14	0,29	0,25	0,22	0,24	0,25	0,14	0,26	0,16	0,13
67,5°	0,11	0,08	0,14	0,16	0,16	0,28	0,13	0,12	0,16	0,22	0,15	0,17	0,11
82,5°	0,10	0,07	0,11	0,12	0,18	0,19	0,17	0,12	0,11	0,16	0,14	0,11	0,10

TABELA 12 - GERAÇÃO DO MÊS DE NOVEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh
mês (A AUTORA, 2022)

NOVEMBRO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,27	0,35	0,44	0,53	0,61	0,70	0,79	0,70	0,61	0,53	0,44	0,35	0,27
22,5°	0,41	0,51	0,76	0,47	0,11	0,79	0,72	0,79	0,11	0,47	0,76	0,51	0,41
37,5°	0,16	0,41	0,49	0,38	0,40	0,42	0,50	0,42	0,40	0,38	0,50	0,41	0,16
52,5°	0,36	0,24	0,24	0,36	0,33	0,43	0,39	0,22	0,28	0,36	0,41	0,49	0,36
67,5°	0,29	0,27	0,20	0,37	0,55	0,27	0,38	0,35	0,55	0,29	0,70	0,30	0,29
82,5°	0,16	0,19	0,15	0,28	0,21	0,19	0,17	0,22	0,20	0,20	0,39	0,33	0,16

TABELA 13 - GERAÇÃO DO MÊS DE DEZEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh
mês (A AUTORA, 2022)

DEZEMBRO	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	0,36	0,43	0,50	0,58	0,65	0,73	0,80	0,73	0,65	0,58	0,50	0,43	0,36
22,5°	0,46	0,56	0,78	0,42	0,11	0,75	0,69	0,75	0,11	0,42	0,78	0,56	0,46
37,5°	0,18	0,41	0,52	0,40	0,36	0,40	0,47	0,40	0,36	0,40	0,44	0,41	0,18
52,5°	0,36	0,23	0,23	0,38	0,30	0,39	0,35	0,19	0,23	0,38	0,34	0,47	0,36
67,5°	0,31	0,29	0,21	0,37	0,53	0,23	0,36	0,33	0,53	0,23	0,57	0,27	0,31
82,5°	0,15	0,22	0,15	0,29	0,19	0,16	0,14	0,20	0,17	0,16	0,32	0,31	0,15

A partir dos dados mensais elaboramos um gráfico com a geração média dos meses de estudo.

TABELA 14 - MÉDIAS DAS GERAÇÕES DOS MÊS DE MAIO A DEZEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)

MEDIA	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5o	0,16	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,35	0,32	0,29	0,26	0,22	0,19	0,16
22,5o	0,21	0,25	0,35	0,17	0,12	0,35	0,23	0,35	0,16	0,22	0,35	0,25	0,21
37,5o	0,12	0,21	0,25	0,20	0,21	0,22	0,25	0,22	0,21	0,20	0,23	0,21	0,12
52,5o	0,20	0,14	0,14	0,21	0,18	0,23	0,22	0,15	0,16	0,21	0,19	0,24	0,20
67,5o	0,19	0,18	0,14	0,21	0,28	0,16	0,24	0,23	0,28	0,16	0,31	0,16	0,19
82,5o	0,12	0,16	0,12	0,18	0,14	0,13	0,13	0,17	0,16	0,13	0,20	0,19	0,12

Como foi utilizado um fator de conversão para que as potências de cada tipo de célula pudessem ser comparadas entre si no domo como um todo, o gráfico de média dos totais de energia geradas do estudo, é, de fato, a somatória dos gráficos dos módulos de silício cristalinos e de filme fino resultantes do método 1. Há picos de geração, entretanto ao nos afastarmos das inclinações ideais (norte com ângulo de 22,5°) a

redução de geração não é abrupta pois embora os módulos de silício cristalinos tenham uma perda considerável por azimuth e aumento do ângulo de inclinação isso não ocorre com os módulos com células de filme fino que se aproveitam dos ganhos por albedo.

Como já mencionado, devido à época do ano em que a análise foi conduzida, entre maio e dezembro, os melhores totais de geração encontram-se nas maiores inclinações. No verão, módulos com desvios azimutais mais a sul e pouco inclinados (mais a horizontais) teriam melhor desempenho.

As informações das médias de geração dos módulos durante os oito meses de estudo foram organizadas em uma tabela com as porcentagens de perda de desempenho do sistema tomando o Norte e a inclinação de 7,5° como referencial.

GRÁFICO 7 - MÉDIAS DAS GERAÇÕES DO MÊS DE MAIO A DEZEMBRO POR AZIMUTE E INCLINAÇÃO EM kWh mês (A AUTORA, 2022)

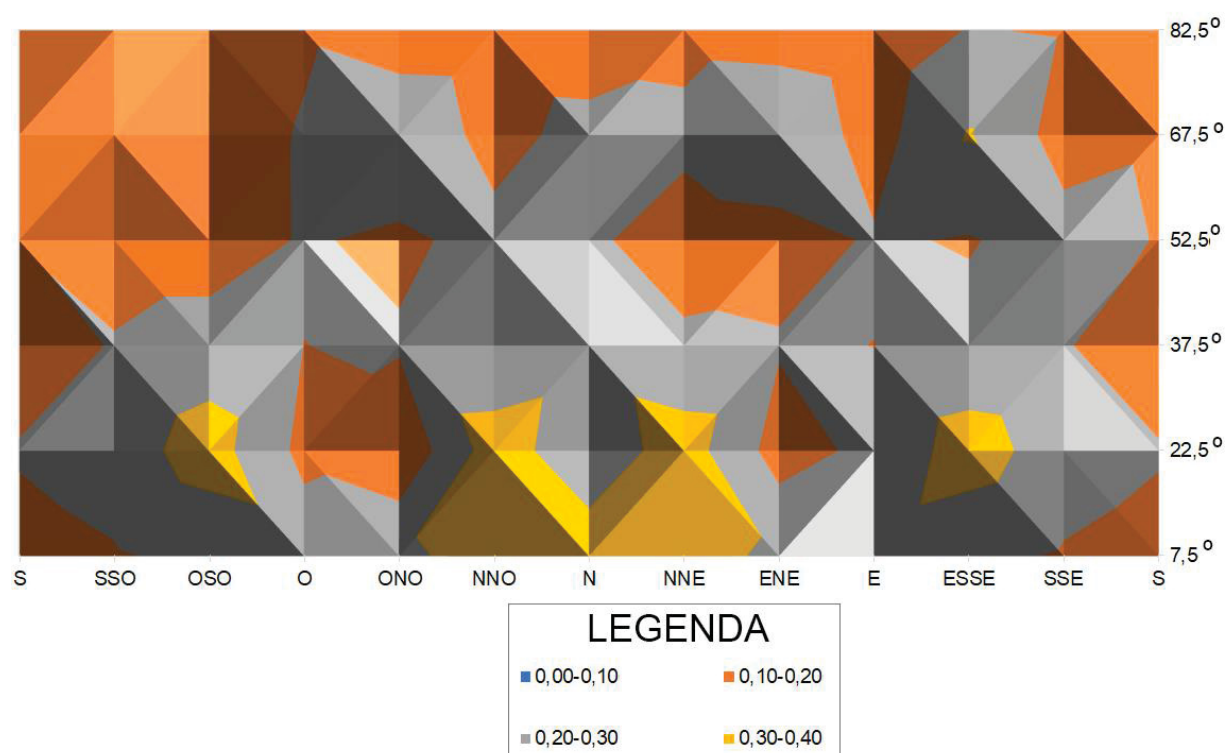


TABELA 15 - PERDA DE DESEMPENHO DOS MÓDULOS DE SILÍCIO CRISTALINOS E FILME FINOS COM A VARIAÇÃO DE INCLINAÇÃO E DESIO AZIMUTAL (A AUTORA, 2023)

MEDIA	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	N	NNE	ENE	E	ESSE	SSE	S
7,5°	55%	46%	37%	28%	18%	9%	0%	9%	18%	28%	37%	46%	55%
22,5°	41%	30%	2%	51%	66%	1%	34%	1%	55%	37%	2%	30%	41%
37,5°	65%	41%	30%	44%	41%	38%	28%	38%	41%	44%	36%	41%	65%
52,5°	45%	60%	60%	41%	49%	35%	39%	58%	54%	41%	45%	33%	45%
67,5°	47%	50%	61%	41%	20%	54%	33%	36%	20%	55%	13%	55%	47%
82,5°	67%	55%	66%	48%	61%	62%	64%	53%	56%	63%	42%	46%	67%

A tabela acima sintetiza uma das principais informações que os profissionais da área da construção civil necessitam para a aplicação de um material fotovoltaico na superfície de um edifício: as porcentagens de perdas de desempenho que sistemas de geração de energia solar fotovoltaica sofrem quando instaladas em inclinações e azimutes diferentes das consideradas ideais.

Através destes dados, engenheiros, arquitetos e projetistas podem conduzir projetos de BIPV de modo a conciliar maior eficiência energética dos módulos fotovoltaicos com as formas do edifício. Também serve como base de estudo para cientistas e pesquisadores da área.

6 APRENDIZAGEM, RESULTADOS E DISCUSSÕES

A integração arquitetônica com materiais e tecnologias fotovoltaicas ainda está surgindo em nosso país, porém certamente no futuro novos materiais e técnicas estarão disponíveis em nosso mercado.

Esta pesquisa explorou de maneira documental as aplicações da tecnologia BIPV de modo que profissionais interessados na área, cientistas e estudantes entendam o potencial de uso da tecnologia e encontrem informações relevantes para seus projetos.

Ainda, através de pesquisa documental e análise preliminar dos dados do artefato zero, apurou-se os fatores de diminuição de geração solar como sombreamento, perdas atmosféricas pela absorção de radiação, sujeira, inclinação dos módulos e azimute.

Também pode auxiliar profissionais que atuam como instaladores e projetistas de sistemas de geração de energia solar fotovoltaicos com informações sobre o mercado no Brasil. Publicações que exploram o conhecimento das empresas instaladoras são escassas. Esta dissertação inova ao ser escrita por alguém atuante da área, uma arquiteta com interesse não só na geração energética como também na forma e estética de um edifício.

Por sua vez, a análise preliminar dos dados gerados pelo artefato zero instalado na Universidade Federal do Paraná dá continuidade à uma pesquisa importante e inédita no campo acadêmico. Não existem aplicações práticas que avaliam a interferência na geração de módulos de diferentes inclinações e desvio azimutal. Os dados publicados atuais contemplam apenas simulações com *softwares* que não levam em consideração dados do local como as reais condições atmosféricas e o albedo.

Futuros trabalhos sobre o tema são bem-vindos principalmente pela necessidade de análise dos próximos dados produzidos pelo sistema no verão, o aprimoramento do sistema devido à instabilidade de alguns dados gerados e a troca do equipamento de leitura de geração dos dados dos módulos de células orgânicas por outro mais sensível.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Disponível em < <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html> >. Acesso em abr. 2019.

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Encomendas para geração solar fotovoltaica chegam a cair 90%**. 2020. Disponível em: < <http://www.absolar.org.br/noticia/entrevistas/encomendas-para-geracao-solar-fotovoltaica-chegam-a-cair-90.html> > Acesso em jul. 2020.

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Marco legal da energia própria: o que muda para o consumidor**. 2022. Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/noticia/marco-legal-da-energia-propria-o-que-muda-para-o-consumidor/> > Acesso em nov. 2022.

ANSARI, H. R.; JENNINGS, P; TALEGHANI, M. **Sustainability in architectural education: A comparison of Iran and Australia**. Renewable Energy, n.36, p.2021-2025, 2011.

ARAÚJO, D.N.; CARVALHO, P.C.M; DUPONT, I.M. **Efeitos da acumulação de sujeira sobre o desempenho de módulos fotovoltaicos**. Revista Tecnologia, v. 40, n. 2, 2019.

ARCHDAILY. **Finolhu Villas / YYA**. 2015. Disponível em:< <https://www.archdaily.com/774888/finolhu-villas-yya> > Acesso em: abril. 2020.

ARCHDAILY. **Copenhagen International School Nordhavn / C.F. Møller**. 2017. Disponível em:< <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller> > Acesso em: jan. 2023.

ARCOWEB. **Fachada gera energia com filmes orgânicos**. Disponível em:< <https://www.arcoweb.com.br/projetodesign/tecnologia/finestra-inovalli-real-state-e-banco-de-ideias-edificio-seneca-sao-paulo> > Acesso em: abril. 2020.

AKEN, JOAN ERNST VAN. **The Research Design for Design Science Research in Management**. Eindhoven, 2011

ATTOYE, D.E.; AOUL, K.A.T.; HASSAN, A. **A Review on Building Integrated Photovoltaic Façade Customization Potential**. Sustainability, v. 2287, n.9, 2017.

BARANDIER, H; ALMEIDA, M.C.T.S.; MORAES, R. **Planejamento e controle ambiental urbano e eficiência energética**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA; ELETROBRAS/PROCEL, 2013.

BARRETO, M. M.; SALGADO, M.S. **O ensino de arquitetura e a metodologia prática na produção de conhecimento na FAU/UFRJ**. IV Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Ambiente Construído, São Pedro, 2001.

BENKARI, N. **The “Sustainability” Paradigm in Architectural Education in UAE**. 6th International Forum on Engineering Education: Procedia - Social and Behavioral Sciences, n.102. p. 601-610, 2013.

BINNS, J. **Manchester Office Tower Reclad with Photovoltaic Panels**. Civil Engineering News, abr. 2005.

BIYIK, E. *et al.* **A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems**. Engineering Science and Technology, an International Journal, n. 20, p. 833-858, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. Portaria nº 1.770, de 21 de dezembro de 1994. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 243, 1994.

BRITTO, M. C.; VALLÊRA, A. M. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta de Física, v. 11.

BYD. POLICRISTALINO HALF-CELL. **PHK-36-SÉRIE-5BB 325-350W**. 2019. Disponível em: http://www.byd.ind.br/wp-content/uploads/2020/03/PHK_36_SERIES_5BB_pnl_solar_byd_01_020320.pdf
Acesso em: maio 2020.

BUNGE. M. **La ciencia. Su método y su filosofía**. Editorial Sudamericana: Buenos Aires, 1995.

CALYXO. **Módulo solar de película fina**. Disponível em: <http://www.ribeirosolar.com.br/wp-content/uploads/2018/05/CX3-portugu%C3%AAs.pdf>
Acesso em: mar. 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Crise hídrica. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/fiquePorDentro/temas/crise-hidrica-mar-2018>
Acesso em: 10 jan. 2023.

CAPELLETTI, C.; NELLI, L. C.; REATTI, A. **Integration and architectural issues of a photovoltaic/thermal linear solar concentrator**. Solar Energy, n.169, p.362-373, 2018.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CLICKCON. Montageanleitung. **Auf Trapezblechdächern und Sandwichdächern mit gerahmten PV-Modulen**. Disponível em: https://www.clickcon.eu/wp-content/uploads/2017/02/Montageanleitung_deutsch_clickrail.pdf
Acesso em: mar. 2020.

DEBBARMA, M.; SUDHAKAR, K.; BARENDAR, P. **Comparison of BIPV and BIPVT: A review**. Resource-Efficient Technologies, v. 3, p. 263- 271, 2017.

EPE. **Balanco Energético Nacional** 2018: Ano Base 2017. Rio de Janeiro, 2018. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Disponível em < <https://ben.epe.gov.br> >. Acesso em mar. 2019.

EUROPEAN UNION. **Energy performance of buildings directive**. Disponível em: < https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en > Acesso em: nov. 2022.

ETH ZÜRICH. **Adaptive Solar Facade (ASF)**. Disponível em: < <https://systems.arch.ethz.ch/research/active-and-adaptive-components/asf-adaptive-solar-facade.html> > Acesso em: mar. 2020.

ETERNIT SOLAR. **Catálogo comercial**. Disponível em: <https://www.etrinit.com.br/wp-content/uploads/2022/08/TEG02422_Eternit_Cat%C3%A1logo_Comercial_Solar_B.pdf> Acesso em: nov.2022.

FULL ENERGY. **Fachadas solares**. 2017. Disponível em: <<http://www.ribeirorepresentacoes.com/paineis-solares-calyxo-sao-destaque-na-revista-full-energy/>> Acesso em: mar. 2020.

GAVIRIA, L. R.; PEREIRA, F.O.R; MIZGIER, M.O. **Influência da configuração urbana na geração fotovoltaica com sistemas integrados às fachadas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 7-23, out./dez. 2013.

GERENTON, F.; EYMARD J.; HARRISON, S.; CLERC, R.; MUNOZ, D. **Analysis of edge losses on silicon heterojunction half solar cells**. Solar Energy Materials and Solar Cells. Volume 204, January 2020, 110213.

GIL, A. C.. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. São Paulo, Atlas, 64 p, 2002.

GIGAZINE. **Wonderful building with full surface covered with solar panel**. 2007. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/18.215/6961>> Acesso em: mai. 2019

GONÇALVES, I. P. *et al.* **Fachadas fotovoltaicas Sonho ou realidade?** In: Vitruvius Tecnologia, v. 2015, n. 03, 2018. Disponível em: <https://gigazine.net/gsc_news/en/20070423_solar_sky_scraper/> Acesso em: abr. 2020.

HAUS. GAZETA DO POVO. **Brasil certifica sua primeira telha solar; mais um passo na geração doméstica de energia**. 2019. Disponível

em: <https://www.gazetadopovo.com.br/haus/tecnologia/brasil-certifica-sua-primeira-telha-solar-mais-um-passo-na-geracao-domestica-de-energia/> Acesso em: mar. 2020.

HEINSTEIN, P.; BALLIF, C. ; PERRET-AEBI, L-E. **Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths.** *Green*, v. 3, n.6, 2, 2p0.1

IDEAL - Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica** – Edição 2019. Disponível em <<http://www.institutoideal.org/biblioteca>>. Acesso em: fev. 2020.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. **Breve história da energia solar.** Disponível em < <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em abr. 2019.

IUCN. **World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development.** 1980

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Renewable Capacity Statistics 2018.** Abu Dhabi, 2018.

IRENA. **The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Post-COVID_Recovery_2020.pdf> Acesso em jul. 2020.

LIMA, A.A. *et al.* **Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física . 2020, Vol. 42, p1-16. 16p.

MATSCHOSS, P. *et al.* **The German incentive regulation and its practical impact on the grid integration of renewable energy systems.** *Renewable Energy*, v. 134, p. 727-738, 2019.

MICHAEL, A.; BOUGIATIOTI, F.; OIKONOMOU, A. **Less could be more: Architectural integration of active solar systems in existing urban centres.** In: 7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, 2010. Anais. Agia Napa, Cyprus, 2010.v.p.

MIYAZAKI, T; AKISAWA, A; KASHIWAGI, T. **Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for Windows.** *Renewable Energy*, v.30, p. 281-304, 2005.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **A ONU e o meio ambiente.** Disponível em < <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/> >. Acesso em abr. 2019.

NREL. PHOTOVOLTAIC RESEARCH. **Best Research-Cell Efficiency Chart.** Disponível em: < <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> > Acesso em: fev.2020.

NEGÓCIOS. **Universidade Federal do Paraná inaugura a maior usina solar do Brasil construída em estacionamento.** 2020. Disponível em: < <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2020/01/universidade-federal-do-parana-inaugura-maior-usina-solar-do-brasil-construida-em-estacionamento.html> > Acesso em: abril. 2020.

NEVES, G. M. **Influência do espectro da radiação solar em módulos fotovoltaicos.** Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, a EPE - Empresa de Pesquisa Energética e a CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Previsões de carga para o Planejamento Anual da Operação Energética 2019 – 2023 1ª Revisão Quadrimestral.** 2019. Disponível em: < http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim%20Tecnico%20ONS-EPE-CCEE%20-%20Planejamento%20Anual%20da%20Opera%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica%202019-2023_1%C2%AARevis%C3%A3o%20Quadrimestral_FINAL.pdf > Acesso em: 24 fev. 2020.

PAGLIARO, M.; CIRIMINNA, R.; PALMISANO, G. **BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry.** Progress in photovoltaics: Research and applications, v. 18, n. 1, p. 61- 72, 2010.

PALZ, W. **Power for the World: The Emergence of Electricity from the Sun.** Bélgica: Pan Stanford Publishing, 2010.

PENG, C; HUANG, Y.; WU, Z. **Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China.** Energy and Buildings, v.43, p. 3592–3598, 2011.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª edição.** São José dos Campos : INPE, 2017.

PRASAD, D.; SNOW, M. **Designing with solar power - A source book for building integration photovoltaics (BiPV):** Australia, Images Publishing, 2002.

PVDATABASE. **BI PV Project Summary.** Fraunhofer ISE – Atrium roof. Disponível em: < http://www.pvdatabase.org/projects_view_details.php?ID=307 >. Acesso em: jul.. 2020.

REVISTA PROJETO. **Baggio & Schiavon Arquitetura: Corporate Jardim Botânico, Curitiba.** 2015. Disponível em:

http://www.pvdatabase.org/projects_view_detailsmore.php?ID=363 >. Acesso em: mai. 2020.

RONÇANI, R. D.; ZANCHETTA, L. P.; RAMPINELLI, G. A. **Avaliação da influência do ângulo azimutal e da inclinação do módulo fotovoltaico na geração de energia elétrica**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar – Recife, 31 a 03 de abril de 2014.

RUVIARO, R. S. *et al.* **Análise da Variação da Eficiência do Módulo Fotovoltaico em Função da Temperatura**. Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018, Gramado. Anais. Santa Maria: UFSM, p. 1 – 8, 2018.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SANTOS, I. P. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica integrada à arquitetura**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SANTOS, I. P.; RÜTHER, R. **Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in Brazil**. Renewable Energy v.63, p.116-124, 2014.

SBP. **Training Academy Mont-Cenis Herne**. Disponível em: <https://www.sbp.de/en/project/training-academy-mont-cenis-herne/> > Acesso em: mar. 2020.

SEDRAOUI, K. *et al.* **Optimum orientation and tilt angle for estimating performance of photovoltaic modules in western region of Saudi Arabia**. Journal of Renewable and Sustainable Energy, v. 9, n. 2, mar. 2017.

SILVEIRA, F. A. **Conversão fotovoltaica fora da orientação ideal: artefato de medição**. Dissertação (Mestrado), 2020.

SILVEIRA, F., DIAS, S., SCHMID, A. **Sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura (BIPV): momento presente e potencial**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SINHA, P. *et al.* **Environmental variables affecting solar photovoltaic energy generation in Morocco**. INTERNATIONAL RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY CONFERENCE. 2014, Ouarzazate. Anais. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7059897>. Acesso em: fev. 2020.

SOLIS SEMINARS. **Influence of Azimuth and Tilt on Yield of PV System**. Episode 49. Disponível em: < https://www.ginlong.com/uploads/file/Solis_Seminar_Episode_49-English.pdf > Acesso em: jan. 2023.

SOLAR INOVE. **Qual a Função do Diodo Bypass.** 2021. Disponível em: <https://blog.solarinove.com.br/qual-a-funcao-do-diodo-bypass/> Acesso em: 29 jan. 2023.

SOUZA, M. B., TONOLO, E. A., YANG, R. L., TIEPOLO, G. M., URBANETZ JR., J., **Modelos para estimativa da radiação difusa a partir da radiação global horizontal para a cidade de Curitiba.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020

SUNEW. **Sede TOTVS.** 2018 Disponível em: <<https://sunew.com.br/cases/sede-totvs/>>. Acesso em: abr. 2020.

STARK, T., LUTZ, H.-P., SCHNEIDER, H.; SCHNEIDER, S. **Architektonische Integration von Photovoltaik-Anlagen,** 2005. Disponível em: http://www.wm.badenwuerttemberg.de/fm/1106/Architektonische%20Integration%20PV_Anlagen.pdf.> Acesso em: jan. 2019.

STASINOPOULOS, T. **Sustainable architecture teaching in non-sustainable societies.** The 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Beirut, Lebanon; 2005.

TASCI, B.G. **“Sustainability” Education by Sustainable School Design.** Procedia - Social and Behavioral Sciences, N.186, P. 868-873, 2015.

Tiepolo, G. M.; Pereira, E. B.; Urbanetz JR, J.; Pereira, S. V.; Gonçalves, A. R.; Lima, F. J. L.; Costa, R. S., Alves, A.R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná.** 1a Edição. Curitiba: UTFPR, 2017

TÉGULA SOLAR. **Catálogo Técnico.** Disponível em: <https://www.tegulasolar.com.br/portal/tegula/arquivos/TEG05122_Atualizacao-Catalogo-Tecnico-Tegula-Solar.pdf?q=1> Acesso em: nov.2022.

TESLA. **Solar Roof.** Disponível em <<https://www.tesla.com/solarroof>>. Acesso em mai. 2020.

TEK ENERGY. **Portfólio.** Disponível em: <<https://tekenergy.ind.br/portfolio>> Acesso em: mar. 2020.

Tonolo, E. A. **Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos da UTFPR Campus Curitiba.** Dissertação (Mestrado), 2019.

UIA - UNION INTERNATIONALE DES ARCHITECTES. **Architectural education reflections and recommendations.** Berlin, Germany: General Assembly; 2008.

URBANETZ, J.; ZOMER, C. D.; RÜTHER, R. **Compromises between form and function in grid-connected, buildingintegrated photovoltaics (BIPV) at low-latitudes sites**. Energy & Buildings, Florianópolis, 2010.

VINAGRE, M. V. A. *et al.* **Bipv e bapv: avaliações a partir de conceitos teóricos, de aspectos positivos e negativos e de estimativas de desempenho energético para regiões de baixa latitude**. In: V Congresso Brasileiro de Energia Solar:Recife, 2014. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/218404347/BIPV-E-BAPV-AVALIACOES-A-PARTIR-DE-CONCEITOS-TEORICOS-DE-ASPECTOS-POSITIVOS-E-NEGATIVOS-E-DE-ESTIMATIVAS-DE-DESEMPENHO-ENERGETICO-PARA-REGIOES-DE-BAI>> Acesso em: jan. 2019.

XAVIER, S. P. **A temática da sustentabilidade no ensinode graduação em arquitetura e urbanismo: estudo de caso das experiências de três instituições públicas**. 2011. 173f. Tese de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

XIONG, Y; YANG, X. **Government subsidies for the Chinese photovoltaic industry**. Energy Policy, v. 99, p. 111-119, 2016.

ZOMER, C. D. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações**. 2014. 258f. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ZOMER, C. D.; URBANETZ, J.; PFITSCHER, A.; MONTENEGRO, A., RÜTHER, R. **Compromissos entre forma e função de sistemas fotovoltaicos integrados a edificações e conectados à rede em baixas latitudes**: XI ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, p. 812-821, 2011.

WOLF, M., **Limitations and possibilities for improvement of photovoltaic solar energy converters**. Proceedings of the IRE, v. 48, p.1246, 1960.

KAAN, H.; REIJENGA, T. **Photovoltaics in na Architectural Context**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, n.12, p. 395-408, 2004.

KAULE, F.; PANDER, M.; TUREK, M.; GRIMM, M.; HOFMULLER, E.; SCHONFELDER, S. **Mechanical damage of half-cell cutting technologies in solar cells and module laminates**. AIP Conference Proceedings 1999, 020013 (2018).

KOLTUN, M. M., **History of solar cell development in the Soviet space program and the terrestrial potential for this technology**. Solar Energy Materials and Solar cells, v. 44, p. 293-317, 1996.

KANTERS, J.; HORVAT, M.; DUBOIS, M. **Tools and methods used by architects for solar design**. Energy and Buildings n.68 p.721-731, 2014

YAO, R. *et al.* **A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems.** Engineering Science and Technology, an International Journal, n.20, p.833–858, 2017.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YUMPU. **Building Integrated Photovoltaics CIS Tower in Manchester.** Disponível em: < <https://www.yumpu.com/en/document/read/1935818/solarcentury-cis-tower-manchester-initiative-arbeit-und-klimaschutz>> Acesso em: marc. 2020.

YYA. Yuji Yamazaki Architecture PLLC. **Finolhu Villas.** Disponível em: < <http://yyany.com/finolhu-villas.html>> Acesso em: marc. 2020.

ANEXO 1. MÓDULO DE SILÍCIO POLICRISTALINO UTILIZADO



Poly

SA10-36P

18,60%

Eficiência da Célula

Alta Eficiência policristalina

10W

Máxima Potência de Saída

Tolerância positiva de potência

5 Anos

Garantia do Material e da Fabricação

Performace excelente em condições de baixa radiação

25 Anos

Garantia de desempenho linear

Bons coeficientes de temperatura que permitem uma potência maior em locais com altas temperaturas

A SinoSola, fundada em janeiro de 2006, é uma corporação de alta tecnologia voltada para pesquisa & desenvolvimento, fabricação e venda de módulos solares e sistemas de silício de alta eficiência.

Como uma empresa de destaque mundial no setor fotovoltaico, a SinoSola possui uma linha de produção totalmente automatizada e fornece painéis solares para fins residenciais, comercial e projetos Off-grid ao redor do mundo.

Através de uma criteriosa seleção das matérias-primas, um rígido controle de qualidade e rigorosos testes em instalações de última geração, a SinoSola sempre se comprometeu com produtos de alta eficiência, maior estabilidade, menor custo e melhor performace.



Toda informação e dados podem ser alterados sem aviso prévio.

www.sinosola.cn

Características Elétricas para Condições Padrão (STC)

Modelo	SA10-36P
Máxima Potência - Pmax (W)	10
Tolerância Positiva da Potência	0-3%
Tensão de Circuito Aberto - Voc (V)	22,5
Corrente de Curto Circuito - Isc (A)	0,60
Tensão em Máxima Potência - Vmp (V)	19,00
Corrente em Máxima Potência - Imp (A)	0,53
Eficiência do Módulo	11,34%

Dados elétricos relacionados com as condições padrão de testes (STC) : radiação 1000 W/m² ; AM 1.5 ; temperatura da célula 25°C medida com uma incerteza de ±3%. Certificado de acordo com IEC61215, IEC61730-1/2

Características Térmicas

Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0.307%/K
Coefficiente de Temperatura (Isc)	+0.039%/K
Coefficiente de Temperatura (Pmpp)	-0.423%/K

Valores Máximos

Tensão Máxima do Sistema (V)	715
Máximo Fusível em Série (A)	10
Sobrecarga de Corrente Reversa (A)	25

Características Mecânicas

Dimensões	350*252*18mm
Peso	1.0kg
Moldura	Perfil de alumínio anodizado
Vidro Frontal	Vidro temperado, 3.2 mm
Encapsulamento da Célula	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Folha traseira	Filme composto
Células	36 (4x9) - células solares policristalinas
Caixa de Junção	Corrente Nominal ≤ 10, IP ≥ 65, TUV
Cabo	Não possui
Conector	Não possui

Embalagem

Container 20'
Container 40'
Container 40' HC

Design do Sistema

Temp. de Operação	-40°C a + 85°C
Granizo	Diâmetro max. de 25mm com 23m/s de velocidade
Capacidade máx.	Neve 5400 Pa, vento 2400 Pa
Classe de aplicação	A
Classe de segurança	II

ANEXO 2. MÓDULO DE FILME FINO UTILIZADO

Proforma Invoice

Xiamen Solar First Energy Technology Co.,Ltd

Tel:86-592-5211388 Fax:86-592-5238788

Add:17th Floor, Building No.3, Xinglinwan Operation Center, Jimei District, Xiamen City, P. R. China

Whatsapp: +86 18720997285 Skype: sales12 soalfirst Email: kate@esolarfirst.com

Web:www.esolarfirst.com

Bank Information

Beneficial Name: Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd

Account Number: 410464206284

SWIFT NO: BKCHCNBJ73A

Bank Name: BANK OF CHINA XIAMEN BRANCH

Bank Address: BANK OF CHINA BUILDING, NO.40 NORTH HUBIN ROAD, XIAMEN, CHINA

Attn:

Email:

Quote#:

Quote Date:

Quote Valid day:

Trade Term:

Phone NO:



Flávia Silveira

flasilveira@gmail.com

SF-TFF-MXIO-2018-0929

20190221

10days

EXW XIAMEN

+55 41 9607 8495

1.Payment Term: 100% T/T Deposit in advance

2.Delivery Time: 35 to 40 days upon receipts of deposit

Small Sample Quote						
Item	Part Name	Spec.(mm)	Qty (Set)	Per price (EXW)	Total Price (EXW)	Picture
1	Sample 40% transparent solar panel Pmax: 5.2W Voc:31.9V Vmpp: 25.3V Isc: 0.23A Imp:0.21A	350*252*6.8MM	45	43	1935	
Total Cost in USD					US\$1,935.00	

Sample Photo



Packing Photo



ANEXO 3. MÓDULO DE OPV UTILIZADO



printed organic photovoltaics | solar testing equipment | speciality materials

infinityPV.com

Organic Solar Cells

infinityPV organic solar cells (OPV) are a 3rd generation printed solar photovoltaic technology for energy production in small-scale niche applications to large-scale installations such as building integrated photovoltaics (BIPV). The advanced OPV modules do not include toxic or scarce elements and offer an sustainable alternative to traditional solar energy harvesting technologies. infinityPV OPV modules offer unique characteristics such as flexibility, semi-transparency, freeform design, and a variety of colors. The solar modules are entirely prepared on plastic foil using ambient roll-to-roll (R2R) printing and coating methods.



Features:

- Award winning technology
- Flexible & bendable PET plastic substrate
- Lightweight and thin (< 0.5 mm)
- Semi-transparent
- Variety of colours (red, green, blue)
- Green technology
- Highly scalable (no length limit)
- Customizable design
- Optimized materials for efficiency & lifetime & fabrication
- Entirely roll-to-roll (R2R) printed and coated
 - Energy efficient production ($T < 140^{\circ}\text{C}$)
 - Vacuum- and evaporation-free processes
 - No clean-room required
 - Additive manufacturing & patterning
- Fast energy payback time
- Low environmental impact
- No toxic or scarce elements (ITO-free)
- High recyclability
- Highest efficiency for all-printed OPV foils

OPV demonstrator:



- Postcard-sized **technology demonstrator**
- See, feel & test OPV for your future application
- **Teaching tool** for 3rd gen photovoltaic technology
 - 30 - 100x school sets
 - **Safe to use - flexible & shatter free**
- 16-cell modules (metal-free, carbon contacts)
- 8-cell modules (silver contacts)
- **Efficiency 1.5 - 7% (active area)**
- Full certification on request (IV-data, LBIC map, area)



OPV solar foil:



- **Award winning technology** (infinite HV serial connection)
- Flexible solar foil for unique applications & integration
- **Length up to 100 m, width 152 - 305 mm**
- **Weight 220 - 450 g/m²**
- Efficiency 2 - 4% (active area)
- **1 - 6 Watts per meter**
- Cut, connect & integrate yourself
- Adhesive backside on request
- HV converter electronics on request
- **Full customization** on request



For further information, application notes or customized solar cell designs don't hesitate to contact us.

info@infinityPV.com
www.infinityPV.com
facebook.com/infinityPV
twitter.com/infinityPV

For latest prices, please visit our website
or ask for a quotation.

infinityPV ApS
 Møllehaven 12A
 4040 Jyllinge, Denmark
 CVR: 30420307

18.10.2015