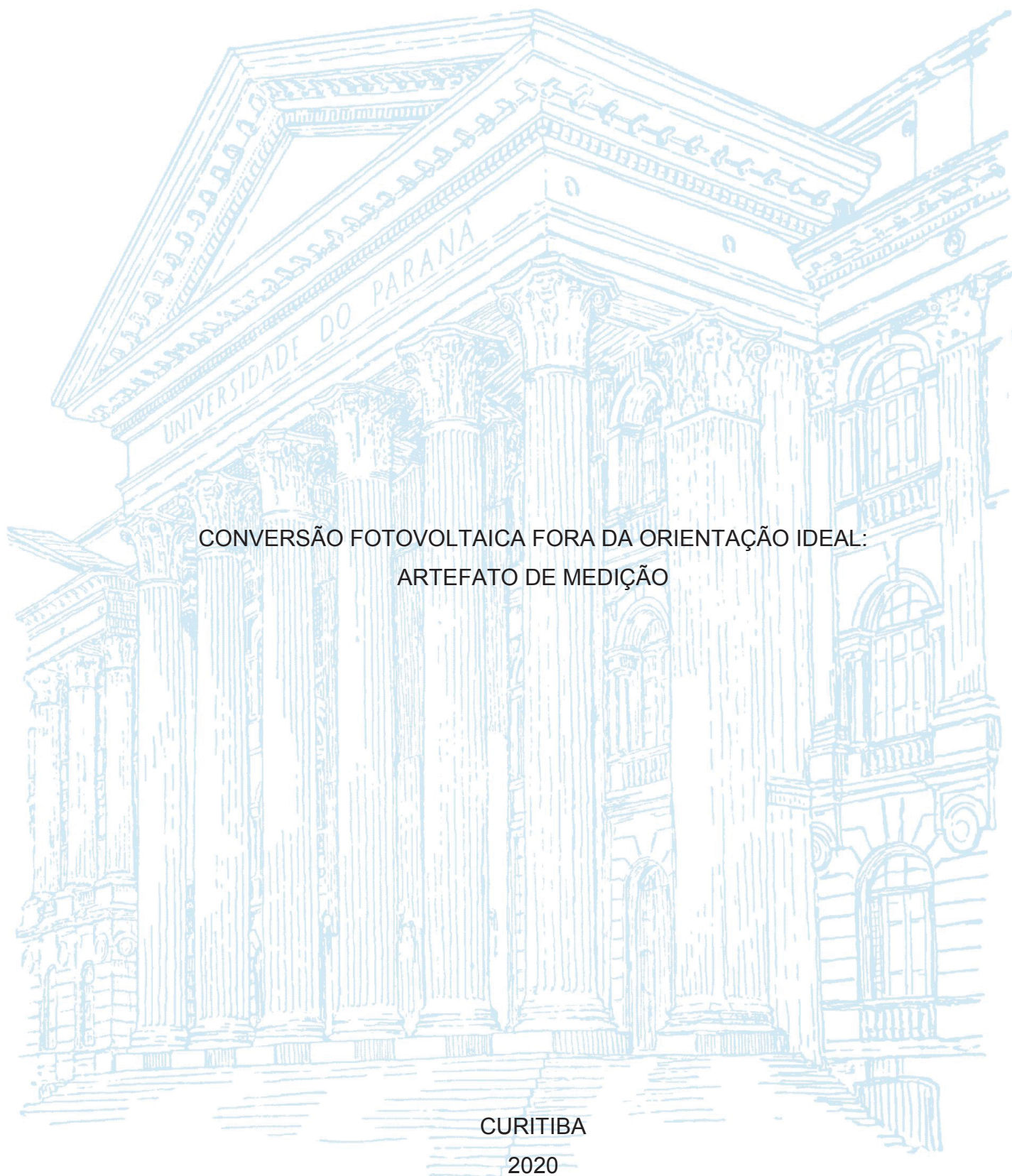


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FLÁVIA APARECIDA SILVEIRA



CONVERSÃO FOTOVOLTAICA FORA DA ORIENTAÇÃO IDEAL:
ARTEFATO DE MEDIÇÃO

CURITIBA

2020

FLÁVIA APARECIDA SILVEIRA

CONVERSÃO FOTOVOLTAICA FORA DA ORIENTAÇÃO IDEAL:
ARTEFATO DE MEDIÇÃO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design ao Programa de Pós-Graduação em Design, Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná.

Linha de Pesquisa: Design de Sistemas de Produção e Utilização

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

CURITIBA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR –
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS HUMANAS COM OS DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Fernanda Emanoéla Nogueira – CRB 9/1607

Silveira, Flávia Aparecida

Conversão fotovoltaica fora da orientação ideal : artefato de medição. /
Flávia Aparecida Silveira. – Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado em Design) – Setor de Artes, Comunicação e
Design da Universidade Federal do Paraná.

Orientador : Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

1. Sistemas fotovoltaicos integrados em edifício. 2. Arquitetura – Energia
solar. 3. Design de produto. I. Schmid, Aloísio Leoni, 1968-. II. Título.

CDD – 745.2



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em DESIGN da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **FLAVIA APARECIDA SILVEIRA** intitulada: **Conversão fotovoltaica fora da orientação ideal: artefato de medição**, 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 mestre 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, 01 de Setembro de 2020.

Assinatura Eletrônica

29/10/2020 17:17:44.0

ALOÍSIO LEONI SCHMID

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

03/11/2020 20:03:57.0

MARCIO FONTANA CATAPAN

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

29/10/2020 15:22:44.0

LUCIMARA STOLZ ROMAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Aos meus pais, Lúcia e Romualdo, cujo apoio e confiança sempre foram fundamentais e ao Rodrigo que a cada dia torna a caminhada mais encantadora.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela providência e cuidado sempre.

A família, em especial aos meus pais e avó pelo suporte.

A UFPR, pela oportunidade e pelo ambiente proporcionado, também às instituições públicas de ensino fundamental, médio e superior, sem as quais eu não teria a capacitação que tenho hoje.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid, sem o qual este trabalho não seria possível. Agradeço também pela amizade criada ao longo destes anos, pelo incentivo na pesquisa e pelo auxílio durante a elaboração deste trabalho.

As pessoas indispensáveis para a elaboração deste estudo, especialmente a Sofia Hicnkel Dias, pelo companheirismo e entrelaçamento entre as pesquisas, a Prof. Msc. Maria Regina Leoni Schmid Sarro e ao Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel que não pouparam esforços para auxiliar no projeto do Artefato.

Aos professores da banca, pelo tempo dedicado na leitura deste trabalho e pelas valiosas observações apresentadas.

Ao PPGDesign e aos colegas do curso pelas conversas, debates e companheirismo em todos os momentos.

Aos colegas de orientação e aos parceiros no projeto Solar Decathlon Design da NREL, Aloísio Leoni Schmid, Alexandre Ruiz, Anna Tempesta, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima, Julia Fernanda dos Santos Blasius, Luiz Gustavo G. Singeski, Márcio Henrique de Sousa Carboni, Maria Regina Leoni Schmid Sarro, Rafael Santos Fischer e Sofia Hinckel Dias, pela amizade, pelo aprendizado no trabalho em conjunto e pelas conquistas alcançadas.

As amigas e aos amigos, pelo incentivo, por entenderem minhas ausências e pelas conversas enriquecedoras durante esse período. Também aos amigos da APG-UFPR 2019-2020, exemplos de força e perseverança.

Aos que me receberam durante a viagem de pesquisa técnica na Alemanha e na Suíça, Heiko Weissbach, Kilian Kada, Nicole Richter, Udo Carmann, Martin Rösler, Tobias Wagner, Stefan Holst, Florian Edler von Hayek, Norbert Pfanner, Helen Rose Wilson, Gunter Grandjean, Alexander Koller, Linus Walker, René Schmid, Fabio Padula, Daniel Ladner, Georgina Schneller e Sascha Bader, Francesco Frontini, Pierluigi Bonomo, Erika Saretta, Paolo Corti e Marco Corda.

A todos os colegas do projeto ANEEL/COPEL PD 2866-0470-2017, em especial ao André Pedretti pelas informações compartilhadas e ao Prof. Dr. Gustavo

Henrique da Costa Oliveira pelo auxílio durante a o desenvolvimento da pesquisa e ao Fabiano Henrique pelo apoio nos processos da Funpar.

Agradeço também ao financiamento desta pesquisa pelo projeto ANEEL/COPEL PD 2866-0470-2017.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

A dúvida é o princípio da sabedoria. (Aristóteles)

RESUMO

No presente estudo, procura-se responder ao problema de melhoria à integração dos sistemas fotovoltaicos na arquitetura. Para isso, questiona-se como entender a variação da irradiação na utilização da energia solar pela conversão fotovoltaica em função da orientação e inclinação da superfície coletora e da tecnologia de conversão, na cidade de Curitiba, Paraná. A pesquisa se justifica ao ponto que a conversão fotovoltaica possui pouca disseminação no Brasil. Este trabalho relaciona-se com os estudos sobre fontes renováveis de energia, e tem valor social e econômico. O usuário dessa tecnologia pode ampliar a rede de energia elétrica proveniente da concessionária com sua instalação, e receber créditos de acordo com a normativa 482/2012 da ANEEL. Na esfera ambiental, a justificativa se dá na possibilidade de utilização dos espaços já construídos para a aplicação dos módulos fotovoltaicos. No âmbito do design, podem ser observados desde projetos que integram a energia fotovoltaica até a criação, em grupos multidisciplinares, de novos módulos para a utilização de forma integrada à arquitetura. O estudo inicia com apontamentos sobre as principais características dos módulos fotovoltaicos, com dados provenientes de revisão bibliográfica. A partir dos conceitos teóricos e utilizando características do *Design Science Research*, é desenvolvido um projeto de artefato para medição da radiação solar em condições não ideais. Para isso, são utilizados módulos de silício policristalino, telureto de cádmio (CdTe) e filme fotovoltaico orgânico (OPV) como tecnologias de conversão fotovoltaica dispostas em diversas orientações e inclinações. O artefato segue pré-requisitos como a disposição alternada das tecnologias de conversão, o posicionamento em azimute e inclinação variados, a utilização de um albedo controlado, o afastamento do solo no intuito de reduzir o sombreamento e a possibilidade de uso do artefato pelos alunos da Universidade Federal do Paraná. Aliado a esses fatores, o artefato tem o intuito de demonstrar possibilidades de aplicação da tecnologia tanto em produtos de design, quanto em projetos arquitetônicos. O projeto do artefato segue os requisitos definidos e acontece de forma multidisciplinar, com a participação do grupo de pesquisa e auxílio de profissionais para a parte estrutural, mecânica e elétrica. O artefato ainda demonstra a possibilidade da geração de energia solar pela conversão fotovoltaica em inclinação e azimute não ideais ao considerar o albedo do entorno e a conversão da energia refletida. Cabe ressaltar que a construção do artefato complementa os resultados apresentados nesse estudo e os resultados obtidos a partir dos dados do artefato serão divulgados em estudos posteriores. É relevante lembrar também que fenômenos climáticos como microclima das cidades, com ilha de calor e poluição atmosférica, podem promover alterações na conversão de energia pelo efeito fotovoltaico, fatores que podem gerar divergências em simulações. Trabalhos futuros poderão focar diferentes valores de albedo e condições climáticas para um resultado mais amplo a respeito do tema.

Palavras-chave: Design. Conversão fotovoltaica. Energia Solar. Arquitetura. Projeto de produto.

ABSTRACT

This study aims to answer problems of improving the integration of photovoltaic systems into architecture. It therefore handles the question on how to understand the variation of irradiation in the use of solar energy by photovoltaic conversion according to the slope and orientation angles of the collecting surface and according to the conversion technology, in the city of Curitiba, Paraná. The research is justified by the point that photovoltaic conversion has little dissemination in Brazil. This work is related to studies on renewable energy sources, and has social and economic value. The users of PV technology can expand the electricity network from the concessionaire with its installation, and receive credits in accordance with ANEEL regulation 482/2012. In the environmental sphere, the reason is given by the possibility of using the spaces already built for the application of photovoltaic modules. In the scope of design, they can be seen from projects that integrate photovoltaic energy to the development, in multidisciplinary groups, of new modules for use in an integrated way with architecture. The study begins with notes on the main characteristics of photovoltaic modules, with data from the bibliographic review. Based on theoretical concepts and using features of Design Science Research, an artifact is conceived to measure solar radiation in non-ideal conditions. For this, modules of polycrystalline silicon, cadmium telluride (CdTe) and organic photovoltaic film (OPV) are used as photovoltaic conversion technologies arranged in different slope and orientation angles. The artifact follows requirements such as the alternate disposition of the conversion technologies, the positioning in varied azimuth and slope, the use of a controlled albedo, a distance above the ground in order to reduce shading issues and the possibility of the artifact being used by the students of the Federal University of Paraná. Allied to these factors, the artifact is intended to demonstrate possibilities of application of technology both in design products and in architectural projects. The artifact project follows the defined requirements and takes place in a multidisciplinary manner, with collaboration of the research group and the assistance of professionals for the structural, mechanical and electrical parts. The artifact also demonstrates the possibility of generating solar energy by converting photovoltaic by non-ideal slope and azimuth angles, by considering the albedo of the surroundings and the conversion of reflected energy. It should be noted that the construction of the artifact complements the results presented in this study and the results obtained from the data of the artifact will be disclosed in later studies. It is also important to remember that climatic phenomena such as microclimate of cities, with an island of heat and atmospheric pollution, can promote changes in energy conversion through the photovoltaic effect, factors that can generate divergences in simulations. Future work may focus on different albedo values and climatic conditions for a broader result on the subject.

Keywords: Design. Photovoltaic conversion. Solar energy. Architecture. Product design.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EFEITO FOTOVOLTAICO	28
FIGURA 2 - APARÊNCIA ILUSTRATIVA DE CÉLULA POLICRISTALINA E MONOCRISTALINA.....	31
FIGURA 3 - MÓDULO DE FILME FINO	32
FIGURA 4 - ILUSTRAÇÃO DE MÓDULO OPV, SENSIBILIZADO POR CORANTE E PEROVSKITA.....	33
FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO DA DECLINAÇÃO MAGNÉTICA.....	37
FIGURA 6 - RADIAÇÃO DIRETA, DIFUSA E ALBEDO	39
FIGURA 7 - POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	44
FIGURA 8 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM FASE DE TESTES NO FRAUNHOFER ISE	53
FIGURA 9 – BIBLIOTECA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DO INSTITUTO FEDERAL DE TECNOLOGIA DE ZURIQUE - ETH.....	54
FIGURA 10 - IDENTIFICAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DA BIBLIOTECA DO ETH	55
FIGURA 11 - UMWELT ARENA.....	56
FIGURA 12 - NEW BLAUHAUS	57
FIGURA 13 - CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E JANELAS DO EDIFÍCIO NEWBLAUHAUS.....	57
FIGURA 14 - COBERTURA SOBRE O REFEITÓRIO DO FRAUNHOFER INSTITUTE ISE.....	61
FIGURA 15 - EXEMPLOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA UTILIZAÇÃO EM PROJETOS BIPV	62
FIGURA 16 - MOBILIÁRIO URBANO ENIWA EM FRENTE A UMWELT ARENA ..	63
FIGURA 17 - MOCHILA PINK BIONIC	64
FIGURA 18 - ETAPAS DO MÉTODO	66
FIGURA 19 - MÓDULO FOTOVOLTAICO DE SILÍCIO POLICRISTALINO	71
FIGURA 20 - MÓDULO FOTOVOLTAICO DE FILME FINO	72
FIGURA 21 - MÓDULO FOTOVOLTAICO ORGÂNICO - OPV	73
FIGURA 22 - DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS NO DOMO.....	77
FIGURA 23 - GRAMADO ENTRE A ADMINISTRAÇÃO E A SUINFRA NO CENTRO POLITÉCNICO.....	79

FIGURA 24 - INÍCIO DA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS.....	80
FIGURA 25 - EXEMPLOS DA SEGUNDA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS	81
FIGURA 26 - EXEMPLOS DA TERCEIRA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS.....	82
FIGURA 27 - EXEMPLOS DA QUARTA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS	83
FIGURA 28 - QUINTA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS	84
FIGURA 29 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO – PRESSÃO NO CONTORNO ...	85
FIGURA 30 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO – PRESSÃO NO VOLUME	85
FIGURA 31 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO – VETOR DE VELOCIDADE.....	86
FIGURA 32 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO - LINHAS DE FLUXO E VELOCIDADE	87
FIGURA 33 - DESENHO FINAL DO ARTEFATO	88
FIGURA 34 - SIMULAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO ARTEFATO	90
FIGURA 35 - LOGOTIPO DO ARTEFATO	91

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA (%).....	47
---	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS 10 PAÍSES COM MAIOR INSTALAÇÃO DE ENERGIA ANUAL E TOTAL, EM 2019.....	43
QUADRO 2 - PROCESSOS DE DESIGN DE PRODUTOS PIPV.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COEFICIENTE DO ALBEDO DE DIVERSOS MATERIAIS	41
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS PARA DESENVOLVIMENTO DO DOMO	76

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	- Silício Amorfo
BAPV	- <i>Building Applied Photovoltaics</i>
BEN	- Balanço Energético Nacional
BIPV	- <i>Building Integrated Photovoltaics</i>
BNDES	- Banco Nacional do Desenvolvimento
CdTe	- Telureto de Cádmio
CEPEL	- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIGS	- Cobre, Índio, Gálio e Selênio
COFINS	- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	- Conselho Nacional de Política Fazendária
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
CRESESB	- Centro de referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
GaAs	- Arseneto de Gálio
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	- <i>International Energy Agency</i>
kW	- Quilowatt
LER	- Leilão de Energia de Reserva
LPT	- Luz Para Todos
MW	- Megawatt
NBR	- Norma Brasileira
OPV	- <i>Organic Photovoltaic</i>
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
PADIS	- Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays
PASEP	- Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PET	- Poli Tereftalato de Etila
PIS	- Programa de Integração Social
PRODEEM	- Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
PROESCO	- Linha de Crédito do BNDES para Projetos De Eficiência Energética
RBS	- Revisão Bibliográfica Sistemática

REIDI	- Regime Especial de Incentivos para Desenvolvimento da Infraestrutura
Si	- Silício
SUDAM	- Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
SUDECO	- Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste
SUDENE	- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TUSD	- Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição
TUST	- Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	JUSTIFICATIVA.....	21
1.2	OBJETIVOS	22
1.2.1	Objetivo geral	22
1.2.2	Objetivos específicos.....	22
1.3	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	23
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	24
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	25
2.1	DEFINIÇÕES.....	25
2.2	EFEITO, CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	27
2.2.1	Módulos monocristalinos e policristalinos.....	30
2.2.2	Módulos de filme fino.....	32
2.2.3	Módulos orgânicos, sensibilizados por corantes e de perovskita	33
2.2.3.1	Módulos orgânicos (OPV).....	34
2.2.3.2	Módulos sensibilizados por corantes (DSSC).....	34
2.2.3.3	Módulos de perovskita (Perovskite Solar Cells - PSCs)	35
2.3	GEOMETRIA DA INSOLAÇÃO	36
2.3.1	Radiação direta, difusa e albedo	39
2.4	APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	42
2.4.1	Energia solar fotovoltaica no mundo.....	42
2.4.2	Energia solar fotovoltaica no Brasil.....	43
2.4.3	Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos	48
2.4.4	Sistemas conectados à rede (<i>on grid</i>) e autônomos (<i>off grid</i>)	50
2.4.5 Integração fotovoltaica à arquitetura (<i>Building Integrated Photovoltaics - BIPV</i>)	51
2.4.6	Energia solar fotovoltaica no design	58
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3.1	<i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	65
4	ARTEFATO	69
4.1	IDENTIFICAÇÃO DO ARTEFATO E CLASSES DE PROBLEMAS.....	69
4.2	PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO	70
4.3	DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.....	75
4.3.1	ALTERNATIVAS E ANÁLISES.....	79

4.3.2	MODO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS DO ARTEFATO.....	91
4.3.3	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.....	92
5	APRENDIZAGEM, RESULTADOS E DISCUSSÕES	95
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICE 1 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 1 .	106
	APÊNDICE 2 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 2 .	106
	APÊNDICE 3 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 3 .	107
	APÊNDICE 4 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 4 .	107
	APÊNDICE 5 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 5 .	108
	APÊNDICE 6 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO VOLUME 1	108
	APÊNDICE 7 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO VOLUME 2	109
	APÊNDICE 8 - SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO VOLUME 3	109
	APÊNDICE 9 - SIMULAÇÃO ANSYS – VELOCIDADE COM RELAÇÃO AO VOLUME.....	110
	APÊNDICE 10 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 1	110
	APÊNDICE 11 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 2	111
	APÊNDICE 12 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 3	111
	APÊNDICE 13 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 4	112
	APÊNDICE 14 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 5	112
	APÊNDICE 15 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 6	113
	APÊNDICE 16 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 7	113
	APÊNDICE 17 - SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 8	114
	APÊNDICE 18 - SIMULAÇÃO ANSYS – LINHAS DE FLUXO 1.....	114
	APÊNDICE 19 - SIMULAÇÃO ANSYS – LINHAS DE FLUXO 2.....	115
	APÊNDICE 20 - DESENHO DO ARTEFATO PARA PRODUÇÃO.....	116
	APÊNDICE 21 - POSICIONAMENTO DO ARTEFATO	117
	APÊNDICE 22 - FUNDAÇÃO DO ARTEFATO.....	118
	ANEXO 1 - MÓDULO DE SILÍCIO POLICRISTALINO UTILIZADO.....	119
	ANEXO 2 - MÓDULO DE FILME FINO UTILIZADO.....	121
	ANEXO 3 - MÓDULOS DE FILME FINO COM TRANSPARÊNCIA MODELO 2020	122
	ANEXO 4 - MÓDULOS DE FILME FINO SEM TRANSPARÊNCIA MODELO 2020.....	123

ANEXO 5 - MÓDULOS DE OPV UTILIZADOS.....	129
ANEXO 6 - MÓDULO MONOCRISTALINO HIDM BLACK – CANADIAN SOLAR.....	130
ANEXO 7 - MÓDULO MONOCRISTALINO KUMAX – CANADIAN SOLAR	132
ANEXO 8 - MÓDULO POLICRISTALINO KUMAX – CANADIAN SOLAR	134
ANEXO 9 - MÓDULO POLICRISTALINO – RISEN SOLAR TECHNOLOGY	136
ANEXO 10 - MÓDULO BIFACIAL MONOCRISTALINO – RISEN SOLAR TECHNOLOGY	138
ANEXO 11 - MÓDULO MONOCRISTALINO – RISEN SOLAR TECHNOLOGY	140
ANEXO 12 - MÓDULO MONOCRISTALINO MONOFACIAL – JINKO SOLAR.....	142
ANEXO 13 - MÓDULO MONOCRISTALINO BIFACIAL – JINKO SOLAR.....	144

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se relaciona com a energia solar por conversão fotovoltaica e seu possível aproveitamento fora das condições ideais de orientação e inclinação, bem como o aproveitamento da parcela do albedo (reflexão pelo entorno) que auxilia na capacidade de conversão dos módulos fotovoltaicos. Tais fatores podem ser aplicados, por exemplo, em telhados na área urbana e no desenvolvimento de produtos que utilizem essa tecnologia.

Um fator que interfere diretamente na conversão fotovoltaica é a irradiação solar (energia incidente por unidade de área de um dado plano). Ela pode ser direta, quando incide sem interferências sobre uma superfície, ou difusa, quando sofre um espalhamento pela atmosfera terrestre antes de incidir sobre uma superfície. A irradiação global compreende a soma das radiações direta, difusa e do albedo.

Outro fator de interferência é a orientação dos módulos fotovoltaicos. A combinação ideal de orientação e inclinação proporciona um maior rendimento da instalação fotovoltaica e permite, conhecendo o valor da irradiação solar incidente, o cálculo da energia elétrica que pode ser convertida por um sistema nessas condições. Tal combinação ideal, como relembram Villalva e Gazoli (2013 p. 49-60) tem a orientação para a linha do equador e o ângulo de inclinação igual à latitude do local em que o sistema é posicionado. Em Curitiba, a orientação ideal é o Norte Verdadeiro e a inclinação ideal corresponde à latitude da cidade, aproximadamente 25°.

No entanto, há um problema sobre como estimar a perda ao se desviar dessa orientação tida como ideal. Nesse sentido, o presente estudo se dá com o desenvolvimento de um artefato de medição que possibilita entender a interferência do albedo e da inclinação em módulos de silício policristalino, Telureto de Cádmio (CdTe) e módulos orgânicos para conversão fotovoltaica.

Para isso, são abordados aspectos da conversão fotovoltaica realizada por meio de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas em módulos. Essas células são compostas por materiais semicondutores. De acordo com Yamamoto (2014 p.22), células fotovoltaicas geram corrente elétrica quando submetidas a iluminação e apresentam ampla sensibilidade ao espectro de emissão solar.

Uma outra demanda é por dados solarimétricos para Curitiba. Hoje, o acesso aos dados horários de irradiação em posse do Simepar depende de autorização especial.

A partir dos aspectos abordados de forma introdutória nessa sessão e considerando a subutilização da energia solar pela conversão fotovoltaica no cenário brasileiro, bem como as possíveis relações entre o design e a arquitetura, surge o questionamento: Como entender a variação da irradiação solar na utilização da energia solar pela conversão fotovoltaica em função da orientação e inclinação da superfície coletora e da tecnologia de conversão, na cidade de Curitiba?

1.1 JUSTIFICATIVA

A conversão fotovoltaica, mesmo apresentando dados promissores, tem pouca disseminação no Brasil e corresponde a 0,5% da oferta interna de energia elétrica, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2019. Nesse sentido, e de acordo com Faria Jr., Trigo e Cavalcanti (2017 p. 469) e Santos (2013 p.195), quando abordam os impasses da energia solar fotovoltaica no Brasil, esta pesquisa justifica-se de forma acadêmico-científica, pois relaciona-se com os estudos sobre fontes renováveis de energia e seus modos de aplicação e utilização. Ao mesmo tempo, o valor social da energia solar fotovoltaica está relacionado ao crescimento populacional em oposição à disponibilidade energética, como abordado por Kannan e Vakeesan (2016 p.1093), sendo que essa disponibilidade pode ser ampliada ao se conectar sistemas fotovoltaicos à rede de energia do sistema interligado nacional.

No âmbito econômico, a resolução normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) possibilitou a conexão das instalações fotovoltaicas de micro (até 100 kW) e minigeração (entre 100 kW e 1 MW) distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica, fator que incentiva a utilização dessa tecnologia pela redução da tarifa de energia. Ainda, a redução dos valores dos módulos fotovoltaicos, a isenção de alguns impostos como o ICMS para partes do sistema fotovoltaico, e possibilidades de financiamentos, tornam a conversão de energia elétrica em energia solar uma possibilidade promissora.

Na esfera ambiental, cumpre citar que existe a possibilidade de utilização dos espaços já construídos (de orientação e inclinação variadas) para a aplicação dos módulos fotovoltaicos. Outra opção está em novas construções nas quais se pode,

mediante integração dos sistemas fotovoltaicos, conseguir maior viabilidade econômica. Com isso, há redução da necessidade de instalação de usinas centralizadas para a geração de energia elétrica e também redução de impactos ambientais da geração, transmissão e distribuição de energia.

No âmbito do design, é possível observar a criação de produtos com a utilização de módulos fotovoltaicos e o potencial tecnológico proveniente da produção nacional de componentes para sistemas de produção de energia elétrica por meio da conversão fotovoltaica. Esse potencial tecnológico tem relação direta à ampliação do valor agregado pela indústria nacional e à adequação do design do produto às necessidades locais.

Partindo dos pontos abordados nessa justificativa, na sequência, apresentam-se os objetivos do trabalho.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho visam atender à demanda por dados relacionados à energia solar pela conversão fotovoltaica para a cidade de Curitiba no Paraná, como pode ser observado na sequência.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um artefato para medição de radiação solar, fora das condições ideais de orientação (a norte) e inclinação (igual ou próxima à latitude), em Curitiba-PR, utilizando três tecnologias de conversão fotovoltaica.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são distribuídos em algumas etapas que englobam desde o levantamento bibliográfico, o projeto, a análise e montagem do artefato de medição, e a análise dos dados obtidos. A partir disso, os objetivos específicos estão segmentados em:

- a) **Levantamento bibliográfico.** Nessa fase é realizado o levantamento bibliográfico a respeito da energia solar fotovoltaica, de projetos *Building*

Integrated Photovoltaics (BIPV) e de projetos *Product Integrated Photovoltaics* (PIPV), entre outros temas relevantes para o desenvolvimento do estudo.

- b) **Projeto do artefato.** Nessa fase é utilizado o método *Design Science Research*, aliado aos modelos tradicionais de projeto em design. Posteriormente são definidos os materiais e métodos utilizados para a produção do artefato e do equipamento de coleta de dados.
- c) **Visitas técnicas.** Nessa etapa são realizadas visitas técnicas em edifícios BIPV, escritórios de arquitetura, fabricantes de módulos fotovoltaicos e sistemas de montagem. Os dados obtidos durante as visitas auxiliam na definição de detalhes do artefato e revisão do projeto, bem como o entendimento do BIPV em regiões da Alemanha e Suíça.
- d) **Disponibilização dos dados obtidos.** Nesse ponto os dados serão disponibilizados por meio de artigos, da dissertação e da composição de parte do manual para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura, que faz parte do projeto PD 2866-0470/2017 - DESENVOLVIMENTO DE MINIRREDES COM FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS NÃO CONVENCIONAIS, financiado pela Copel.

1.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa pode ser classificada como de natureza aplicada, em que se objetiva aplicar o conhecimento de forma prática como solução para um problema específico. O objetivo é majoritariamente explanatório, estando relacionado ao comportamento dos módulos fotovoltaicos em valores de azimute e inclinação diferentes do ideal. Já a abordagem é majoritariamente qualitativa, e se dá por meio do projeto de um artefato para a avaliação do comportamento dos módulos fotovoltaicos em diversas posições.

A elaboração da pesquisa é baseada em argumentos de natureza indutiva, abdutiva e dedutiva, de acordo com as etapas do método *Design Science Research*, que é utilizado como estratégia geral, sendo que algumas etapas da pesquisa podem abranger outros métodos, como a revisão bibliográfica. Em relação ao *Design Science Research*, Dresch et al. (2015) discorrem que a natureza indutiva tem relação com a etapa de generalização da solução para uma classe em que o problema está inserido. A natureza abdutiva está relacionada à proposição de artefatos para a solução do

problema, e a natureza dedutiva é correlata às fases de projeto, desenvolvimento e avaliação do artefato. Mais detalhes sobre o método utilizado podem ser observados na sessão sobre material e métodos.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento inicia com a apresentação da conversão fotovoltaica da energia solar e alguns pontos sobre sua utilização em território nacional, a justificativa de escolha do tema, o objetivo geral e os objetivos específicos que visam atingir os resultados esperados, e a estratégia empregada neste estudo.

Durante o desenvolvimento, são apresentados tópicos teóricos relacionados aos módulos fotovoltaicos, abrangendo módulos de silício monocristalino e policristalino, módulos de filme fino e módulos orgânicos. Posteriormente, são apresentados alguns dados relacionados à geometria solar qual percebida da cidade de Curitiba e aspectos da radiação direta, difusa e a interferência do albedo na conversão fotovoltaica da energia solar. Na sequência, são apresentados alguns dados sobre o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos e a conexão ou não, desses sistemas à rede, e aspectos de integração à arquitetura e ao design.

Há também um desdobramento do método utilizado, abordando o *Design Science Research* voltado ao desenvolvimento do artefato de medição e ao modo de aquisição dos dados de irradiação solar, bem como o modo de avaliação dos resultados. Na sessão de resultados e discussões, estão presentes a análise dos dados do artefato e a relação dos dados obtidos com dados simulados anteriormente, demonstrando possibilidades no uso de módulos fotovoltaicos em Curitiba, voltados para orientações não ideais. Nas considerações finais, estão presentes as recomendações para trabalhos futuros, além de aspectos que influenciaram no desenvolvimento dessa pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão aborda, de forma sintetizada, a tecnologia fotovoltaica, desde o efeito fotovoltaico, células e módulos existentes com ênfase nos que são utilizados no desenvolvimento do artefato, pontos sobre a geometria da insolação em relação a Curitiba – PR, albedo, até a utilização dessa energia no Brasil e no mundo, bem como a aplicação de células e módulos fotovoltaicos na arquitetura e no desenvolvimento de produtos.

2.1 DEFINIÇÕES

Considerando a energia solar pela conversão fotovoltaica como um tema não usual na área do design, algumas definições são relevantes para possibilitar o entendimento do assunto tratado. As definições presentes na sequência deste estudo são baseadas no entendimento da ANEEL (2005 e 2018), da COPEL (2018), da CRESESB (2014) e da ABNT NBR 10899 de 2013 sobre sistemas de energia solar fotovoltaica.

- Energia primária – são as fontes oriundas da natureza, em sua forma direta, como o petróleo, o gás natural, o xisto, o carvão mineral, os resíduos vegetais e animais, a energia solar e a eólica, e os produtos da cana-de-açúcar, como o caldo de cana, o melão e o bagaço.
- Energia final – a energia tal como é recebida pelo usuário.
- Conversão energética – mudança de uma forma de energia para outra. Por exemplo, no efeito fotovoltaico acontece a conversão da energia da luz (espectro visível) em energia elétrica por meio da célula fotovoltaica.
- Oferta de energia – quantidade de energia que se coloca à disposição para ser transformada e/ou para o consumo final.
- Demanda de energia – média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado
- Vetor energético - uma fonte de energia secundária, já processada.

- Matriz energética – conjunto de recursos energéticos que estão disponíveis em um território. Normalmente, a Matriz Energética possui uma tabela combinando as fontes primárias e os setores da economia que as utilizam.
- Energia renovável – energia proveniente de recursos naturais que possuem a capacidade de regeneração. Para esse estudo e em relação à energia renovável, é considerada a escala de tempo humana para a regeneração dos recursos naturais.
- Impacto ambiental – alteração do meio ambiente causada por atividades humanas que afetam a população, a sociedade e a economia, a flora e a fauna; o meio ambiente e a qualidade dos seus recursos ambientais.
- Capacidade instalada – o total de ampères-hora de uma célula ou bateria nova. Para isso, é considerado um conjunto de condições específicas, como temperatura, tensão e taxa de descarga. A capacidade instalada é uma unidade imprecisa, pois para resultar em energia (Wh), é necessário que ela seja sempre referida a uma diferença de potencial e multiplicada. A Capacidade Instalada pode ser também a potência nominal de uma unidade geradora.
- Energia firme – a definição de energia firme possui variações de acordo com o país. No caso brasileiro, energia firme é a produção média ao longo do período crítico do sistema.
- Linha energética – além da solução técnica de transmissão de energia, tem relação com o poder político ou comercial.
- Sistema energético – sistemas de conversão de energia empregados em uma sociedade e/ou modelo de produção.
- Microclima – de acordo com a plataforma Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (Projeteee), é uma área relativamente pequena onde suas condições atmosféricas são diferentes às da zona climática. É formado usualmente com a participação de barreiras geomorfológicas, vegetação ou corpos de água. Os microclimas urbanos são caracterizados por um aumento da temperatura proveniente de construções e emissões de poluentes atmosféricos. Há interferência também da composição natural do ar, da atmosfera, umidade e precipitação, entre outros fatores que compõe clima.

- Ilha de calor – aumento da temperatura em centros urbanos com relação aos seus arredores.
- Poluição atmosférica – acúmulo de substâncias tóxicas e químicas no ambiente. Contribui para o agravamento de fenômenos que desestabilizam o clima.

As definições apresentadas nessa seção auxiliam no entendimento do assunto tratado no estudo, principalmente para os leitores não familiarizados com os termos. A sequência desse trabalho se dá com a abordagem do efeito fotovoltaico, aqui abordado de forma simplificada, aspectos referentes a células com diversas características, e a composição de módulos fotovoltaicos.

2.2 EFEITO, CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O efeito fotovoltaico, como relembram Sudhakar, Selvakumar e Krishna Bhat (2018 p.119), foi reportado pela primeira vez por Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, quando observou que a luz incidente em um eletrodo de platina revestido por prata e submerso em eletrólito produziu corrente elétrica. Posteriormente, foram realizados estudos a respeito do efeito fotovoltaico com diferentes materiais. Esses estudos tornaram a tecnologia mais estável e possibilitaram, a partir dos anos 1950, o desenvolvimento de células fotovoltaicas de silício e estudos sobre junções p-n. Durante os anos 1990, o interesse pela conversão fotovoltaica cresceu, em conjunto com a busca por substitutos para os combustíveis fósseis. Esse crescimento possibilitou uma expansão no setor fotovoltaico e estudos com o intuito de aumentar a eficiência das células ou torná-las mais competitivas para o mercado.

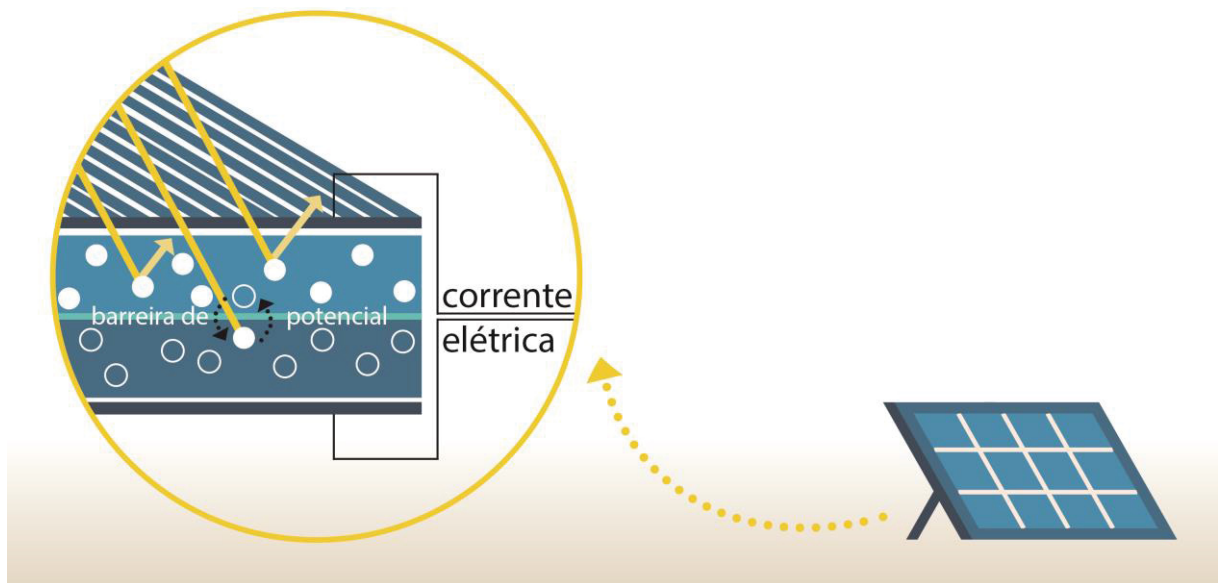
Para entender o efeito fotovoltaico, é importante lembrar a existência de materiais com propriedades elétricas diferentes, que podem ser condutores, semicondutores ou isolantes elétricos. Para Roman (informação verbal)¹ o que diferencia esses materiais são os níveis energéticos que eles possuem devido às propriedades dos átomos que compõem o material e suas ligações químicas. Por

¹ Fala da Professora Dra Lucimara Stolz Roman na qualificação deste estudo, UFPR, em 24 jun. 2019.

exemplo, um material semicondutor como o silício possui um GAP (barreira de potencial ou banda proibida) entre a sua banda de valência e sua banda de condução. Quando um módulo fotovoltaico composto por um material semicondutor recebe energia do comprimento de onda da luz visível, elétrons são excitados da banda de valência para a banda de condução passando por esse GAP e geram corrente elétrica.

Nesse sentido, e considerando os materiais denominados como P e N como semicondutores, sendo um caracterizado como positivo e outro como negativo, Villalva e Gazoli (2013 p. 67) descrevem que “quando duas camadas de materiais P e N são colocadas em contato, formando o que se chama junção semicondutora, os elétrons da camada N migram para a camada P e ocupam os espaços vazios das lacunas” e ainda, os autores afirmam que a mudança dos elétrons e das lacunas entre as camadas origina campo elétrico, como exemplificado na FIGURA 1.

FIGURA 1 - EFEITO FOTOVOLTAICO



FONTE: Adaptado de Villalva e Gazoli (2013)

O efeito fotovoltaico como descrito anteriormente é utilizado nas células fotovoltaicas para gerar energia elétrica. Essas células podem ser compostas por diversos materiais, tamanhos, cores e formas, de acordo com a tecnologia empregada e o desenvolvimento de pesquisas nesse campo. Dados a respeito dos módulos e das células fotovoltaicas serão apresentados mais adiante nesse estudo.

As células fotovoltaicas segundo Villalva e Gazoli (2013, p. 66) usualmente são compostas por duas camadas de material semicondutor. Os autores comentam

que cerca de 95% das células fabricadas e comercializadas mundialmente são de silício, pois é um material abundante na natureza e de custo reduzido. O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, em sua nota técnica sobre a produção de silício grau solar no Brasil (2009), aponta que o silício comercial é obtido a partir de sílica de alta pureza com a adição de um redutor carbonoso, por exemplo, carvão vegetal ou mineral. Nesse processo, o grau de pureza é superior a 99%. Contudo, para desenvolver dispositivos semicondutores, é necessário grau de pureza ainda maior.

Nesse sentido, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2009) relembra que o silício grau eletrônico (com pureza 99,999999%) foi inicialmente utilizado para a produção de células fotovoltaicas. Com o intuito de reduzir o custo relacionado à pureza do silício grau eletrônico (esse custo tem relação direta com o processo de purificação que exige alta temperatura) e, em consequência, reduzir o custo da sua produção, foi desenvolvido o silício grau solar de pureza 99,9999% que se apresenta como um substituto na produção de células fotovoltaicas baseadas em silício.

As células fotovoltaicas estão em constante estudo e desenvolvimento. Machado e Miranda (2015, p. 129-136) e Slaoui (2017) apontam que atualmente são encontradas células de primeira, segunda e terceira geração, classificadas de acordo com o modo de produção e os materiais utilizados. Os autores relembam que as células tradicionalmente denominadas como de primeira geração são compostas por silício monocristalino (mc-Si) ou policristalino (p-Si). Já as de segunda geração são células de filme fino, constituídas por silício amorfo (a-Si) ou materiais como arseneto de gálio (GaAs) ou Telureto de Cádmiio (CdTe), que podem enfrentar redução na eficiência, mas podem assumir uma gama de formas maior, possibilitando alguma liberdade de aplicação, caso comparado aos módulos de silício mono e policristalinos. Entre as de terceira estão aquelas células sensibilizadas por corantes, as de perovskita que passam por estudos para melhorar sua estabilidade, e as que utilizam materiais orgânicos, como OPV (*organic photovoltaic*)² cujas pesquisas, seja em materiais diversificados ou em modos de melhorar a eficiência de conversão, seguem em desenvolvimento.

² Nesse estudo, os materiais orgânicos são representados por moléculas e polímeros semicondutores.

Usualmente, as células são agrupadas em módulos fotovoltaicos de acordo com suas características, como dimensões, formatos e composição química, que podem variar com relação à geração em que estão classificadas, bem como ao respectivo tipo de fabricação, fatores que são abordados no decorrer desse estudo.

Considerando a produção industrial da tecnologia fotovoltaica, o design modular pode ser utilizado no intuito de apresentar novas soluções tanto em instalações para geração de energia por conversão fotovoltaica quanto na criação dos próprios módulos que compõem os sistemas. Martins (2002, p. 37) apresenta o design modular como uma estratégia que visa construir sistemas e/ou produtos complexos por meio de subsistemas. Tais subsistemas podem ser desenvolvidos individualmente e funcionar de forma integrada a outros módulos.

A ABNT NBR 10899/2013 define que o módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica. Cabe ao design, aliado a outros campos do conhecimento, aprimorar os módulos utilizados para a conversão da energia solar fotovoltaica, tanto na criação de novos modelos com formatos e estética diferenciados que visam aderência comercial, quanto no desenvolvimento de fatores técnicos, como encaixes que garantam estanqueidade, ou mesmo a possibilidade de uso de outros materiais para melhorar seu desempenho.

Na sequência desse estudo são abordadas as três gerações de células fotovoltaicas, apontando materiais utilizados em sua produção e algumas características particulares de cada geração. Na seção dos anexos desse estudo, é possível observar especificações de fabricantes em relação aos módulos apresentados.

2.2.1 Módulos monocristalinos e policristalinos

Os módulos monocristalinos e policristalinos são aqueles conhecidos como de primeira geração que, segundo Slaoui (2017 p.2) incluem células feitas a partir de *wafers* de silício cristalino e dominam o mercado desde o início da década de 1960. Segundo Villalva e Gazoli (2013 p.70), as células fotovoltaicas monocristalinas são provenientes de um lingote de silício de estrutura cristalina única e homogênea, enquanto o lingote de silício policristalino, que origina as células policristalinas, é formado por um aglomerado de pequenos cristais.

2.2.2 Módulos de filme fino

A segunda geração de módulos fotovoltaicos consiste na tecnologia de filme fino, como ilustrado na FIGURA 3. Slaoui (2017 p.2) afirma que eles são compostos por materiais semicondutores simples, como silício amorfo (a-Si), silício micro ou nano-cristalino, cuja produção ocorre desde a década de 1980. Além desses, desde os anos 2000, os módulos de filme fino também são produzidos por compostos como cobre, índio, gálio e selênio (CIGS) e Telureto de cádmio (CdTe).

FIGURA 3 - MÓDULO DE FILME FINO



Filme fino

FONTE: Adaptado de First Solar (2020).

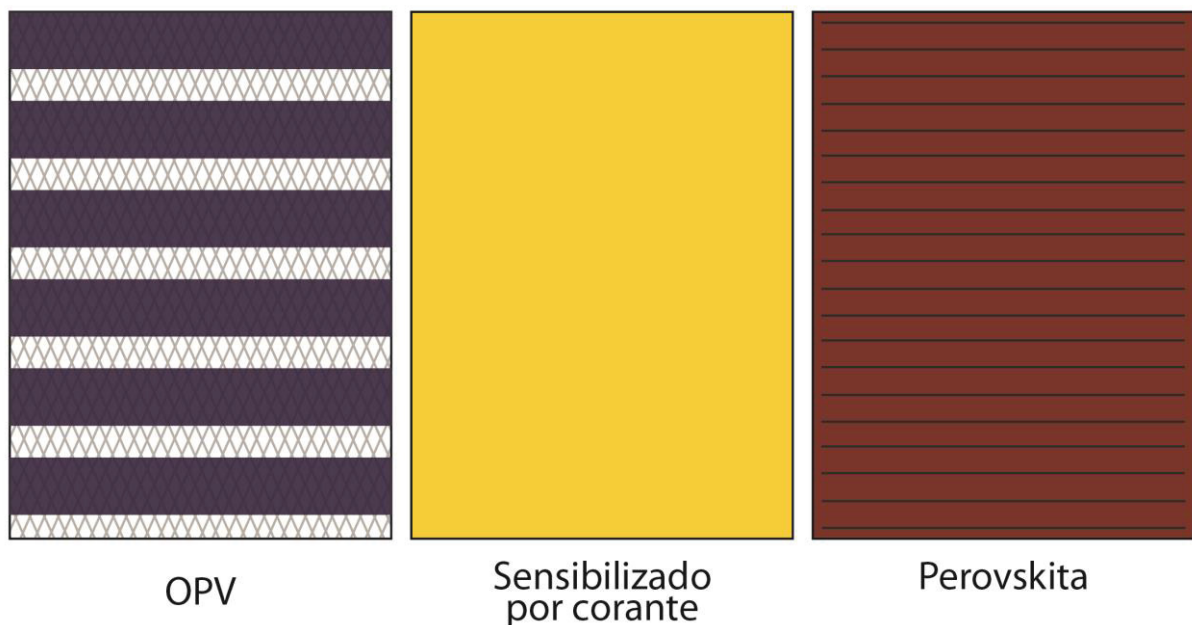
Seu processo de produção basicamente consiste no depósito de finas camadas de material semicondutor em um substrato de baixo custo, como vidro, polímero ou metal. Villalva e Gazoli (2013 p. 71) complementam que o substrato pode ser flexível ou rígido, e que o modo de produção ocorre em temperatura mais baixa (entre 200 e 500°C, quando para as células cristalinas, chega a 1500°C) e evita desperdícios, fatores que diminuem o custo da tecnologia. Os autores ainda apontam que o filme fino pode ser produzido em qualquer dimensão, restrita pelo tamanho do substrato; que o aproveitamento em radiação difusa ou em baixos níveis é melhor; que o filme fino sofre menos interferência com pequenas áreas de sombra sobre os módulos, e que a relação entre a produção de energia e as perdas ocasionadas pelo calor é menor, sendo que esses módulos são indicados para locais de temperatura

elevada. Contudo, mesmo ampliando as possibilidades de aplicação da tecnologia fotovoltaica, Slaoui (2017 p.2) afirma que esses módulos ainda são de baixa eficiência e alto custo de produção, fatores que prejudicam sua comercialização. Alguns exemplos e suas características também podem ser encontrados na seção de anexos desse estudo.

2.2.3 Módulos orgânicos, sensibilizados por corantes e de perovskita

A terceira geração inclui os módulos compostos por materiais orgânicos (OPV), sensibilizados por corantes (DSSC) e compostos por perovskita. Ilustrações desses módulos para referência visual podem ser observadas na FIGURA 4.

FIGURA 4 - ILUSTRAÇÃO DE MÓDULO OPV, SENSIBILIZADO POR CORANTE E PEROVSKITA



FONTE: Adaptado de InfinityPV, GCell e Panasonic (2020).

A figura apresentada nessa seção busca apresentar os módulos de forma simplificada. Na seção de anexos desse estudo é possível observar mais características e produtos que utilizam esses módulos. Slaoui (2017 p.2) lembra que essas tecnologias estão em desenvolvimento, e que há a necessidade de redução de custos, aumento da eficiência e ampliação da sua durabilidade, pois os elementos orgânicos degradam com a ação de raios ultravioleta e agentes atmosféricos, como oxigênio e vapor d'água.

2.2.3.1 Módulos orgânicos (OPV)

Os módulos orgânicos atualmente são comercializados por poucas empresas em escala mundial e continuam em desenvolvimento, pois sua capacidade de geração de energia e sua vida útil são menores que as dos módulos de primeira e segunda geração. Apesar disso, módulos orgânicos apresentam uma grande possibilidade de usos, dado que são flexíveis, adaptáveis à curvatura da superfície, podem ser projetados em diversas dimensões, formas e cores, fatores que podem sofrer variação de acordo com a empresa produtora e a tecnologia empregada.

O escritório de eficiência energética e energias renováveis dos Estados Unidos (2019) aponta que os OPVs podem ser caracterizados em *Small-molecule OPV cells* nas quais ocorre uma ampla absorção na porção visível e infravermelha do espectro eletromagnético, e *Polymer-based OPV cells* nas quais sistemas moleculares de cadeia longa são utilizados para o material doador de elétrons e fulerenos derivados, como o sistema de aceitação de elétrons. Existem ainda as *Dye-sensitized solar cells*, que são produzidas com tecnologia híbrida (orgânica e inorgânica). O escritório aponta ainda o baixo custo para a produção de OPV, a abundância de matéria prima para sua produção e a possibilidade de aplicação do material em um substrato flexível.

Para o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), o mercado BIPV pode ser atraído pelos OPVs porque esses podem ser apresentados de diversas cores e níveis de transparência diferentes. O laboratório aponta ainda a leveza e a flexibilidade que pode ser apresentada pelo material, demonstrando esses fatores como tópicos de pesquisa para o OPV.

2.2.3.2 Módulos sensibilizados por corantes (DSSC)

As células ou módulos sensibilizados por corantes (*Dye Sensitized Solar Cells* – *DSSC*), também conhecidos como células de Grätzel, são constituídos, como relembram Raphael et al. (2018 p.62), por vidro condutor transparente, uma camada de dióxido de titânio nanocristalino sensibilizado por corante, um eletrólito e um contra eletrodo, montados em um arranjo tipo sanduíche. Essas células apresentam a possibilidade de uso interno e externo, processo de fabricação com uso de energia

reduzido em relação a células de primeira e segunda geração, e podem ser produzidas em diversos substratos, como plástico rígido ou flexível.

A respeito das células DSSC, Sharma, K., Sharma, V. e Sharma, S. (2018 p. 2-8) apontam que essas apresentam melhor performance em temperaturas elevadas, diferente do que ocorre com células baseadas em silício. Contudo, os autores delineiam algumas limitações relacionadas à instabilidade, ao coeficiente de perda na conversão de energia, e à necessidade de aumento na performance, para possibilitar sua expansão em termos de mercado.

Estudos a respeito das células DSSC continuam ocorrendo em ordem de reduzir custos, aumentar a sua flexibilidade e estabilidade, e testar novos materiais mais leves, finos e outros fatores que facilitem o processo de produção.

2.2.3.3 Módulos de perovskita (Perovskite Solar Cells - PSCs)

Módulos de perovskita (estrutura cristalina promissora para geração de energia solar fotovoltaica) estão em processo de estudo. Autores como Szostak (2016) apontam a tecnologia como promissora, pois une o baixo custo e menor quantidade de energia para produção, a abundância do material na natureza e o potencial de geração elétrica.

Como exemplo dos estudos sobre módulos de perovskita, é possível citar o desenvolvimento de módulos que utilizam um método de revestimento baseado em impressão a jato de tinta em um substrato como o vidro. Esses apresentam, de acordo com Mori et al. (2020), uma eficiência de conversão que aproxima essa tecnologia aos módulos de silício existentes. Os autores apontam também que o substrato utilizado pode ser substituído por substratos flexíveis, fator que possibilita o modo de fabricação *roll-to-roll*.

Para uma fabricação em escala comercial Mori et al. (2020) lembram da importância de estabelecer processos de fabricação que possam produzir módulos de perovskita que unam dimensões maiores (em relação às dimensões de teste) e sejam altamente eficientes. Nesse sentido, Negami et al. (2020) comentam sobre a importância de filmes de perovskita altamente uniformes e uma velocidade de impressão rápida, fatores que levaram à escolha do método de impressão jato de tinta para a produção do protótipo destes autores.

Na sequência, são abordados alguns conceitos de geometria da insolação que afetam a geração de energia pelo sistema fotovoltaico. Nesse ponto vale lembrar que insolação é a incidência da radiação solar, compreendendo as parcelas ultravioleta, luminosa e infravermelha.

2.3 GEOMETRIA DA INSOLAÇÃO

A geometria da insolação é tratada de forma bastante simplificada nesse estudo, com foco apenas nos pontos que têm relação direta com a energia solar fotovoltaica. Conhecer alguns pontos da geometria da insolação é importante para a definição de um projeto que utiliza a conversão fotovoltaica. Ela auxilia no posicionamento mais adequado dos módulos, seja tornando a captação da energia mais eficiente ou demonstrando a possível diferença em seu desempenho de conversão, de acordo com parâmetros do projeto.

Frota (2001 p. 54) aponta que a radiação solar “é uma energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera”. Nesse contexto, os fluxos de irradiação solar são determinados a partir de fatores meteorológicos, astronômicos e geográficos. Como mencionado por Frota (2001 p. 54), as quantidades de radiação variam em função da época do ano e da latitude.

Em relação à possibilidade de posicionamento de módulos fotovoltaicos e nos casos em que as fachadas não são obstruídas, são particularidades abordadas por Frota (2004):

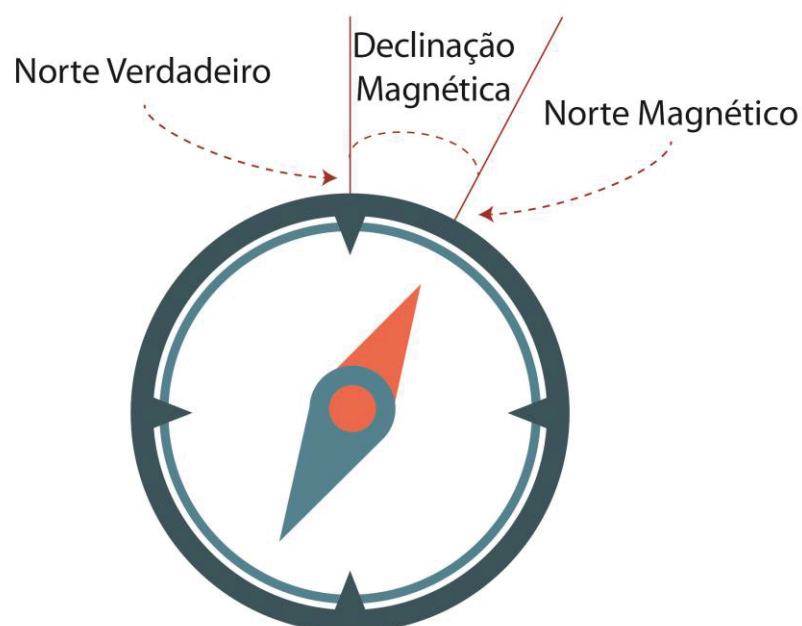
- Fachada Leste (com direção normal apontando para Leste) com azimute 90° , formando um plano vertical sobre uma linha norte-sul, que condiciona o recebimento do sol durante o ano todo pela manhã;
- A fachada Oeste (cuja direção normal aponta para Oeste) corresponde ao azimute 270° . Seu plano também está em uma linha norte-sul, mas ao contrário da fachada Leste, recebe sol durante o ano todo no período da tarde;
- A fachada Norte (com direção normal apontando para o Norte) corresponde ao azimute 0° . Seu plano está em uma linha Leste-Oeste;
- A fachada Sul (com direção normal apontando para o Sul) corresponde a azimute 180° . Seu plano também está em uma linha Leste-Oeste;

- A fachada Nordeste (NE) e a fachada Sudoeste (SW) são opostas. A primeira está posicionada a 45° , e a segunda a 225° . No exato momento em que incide sol na fachada nordeste, não incide na fachada sudoeste e, na ausência da incidência solar, tem-se apenas a radiação difusa.

Segundo Frota (2004), o norte verdadeiro é proveniente de cartas solares, compostas por um modelo de representação gráfica que demonstra, para cada localidade, percursos do sol na abóbada celeste de acordo com dia, horário e época do ano. Sendo assim, para o projeto de artefatos que utilizam a conversão fotovoltaica, é importante observar os pontos apresentados nessas cartas, que segundo Frota (2004), são feitas a partir de plantas e cortes, podendo ser aplicadas sobre uma planta, desde que direcionadas conforme o norte verdadeiro. As cartas são específicas para latitudes definidas, e nelas é desenhada a projeção das trajetórias solares em datas específicas, como solstícios e equinócios. Para realizar a leitura, são utilizados transferidores de coordenadas solares e gráficos auxiliares para traçados de máscaras (sombras e afins).

Frota (2004) afirma ainda que, quando se tem apenas o norte magnético, é relevante calcular o ângulo de declinação magnética. Dito isso, uma ilustração sobre a relação entre eles pode ser observada na FIGURA 5.

FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO DA DECLINAÇÃO MAGNÉTICA



FONTE: Baseada em Frota (2001 e 2004).

Considerando esses pontos, a equação 1 pode ser utilizada para calcular o ângulo de declinação magnética:

$$D = D0 + V \cdot \Delta t \quad (1)$$

em que:

$D0$ = equivale a declinação magnética no tempo zero;

V = é a variação anual da declinação para o local;

Δt = o tempo a partir da data zero.

Em seu livro, Frota (2004) aborda alguns modos de estudar a geometria da insolação. Esses podem abranger:

- Observação da realidade de forma direta;
- Utilização de tabelas de coordenadas horizontais do sol (maior facilidade no entendimento, mas dificultam a leitura de dados externos a elas, como diferentes orientações, datas e horários);
- Panorâmicas solares, que se aplicam a localidades com a mesma latitude apresentada na panorâmica (elas proporcionam uma ideia da geometria das diversas trajetórias solares, mas não tão direta como as cartas solares);
- Simuladores solares, que permitem estudos feitos com maquetes em laboratórios (podem ser de prancheta fixa e projetor móvel, projetor fixo e prancheta móvel e os dois componentes móveis);
- Quadrante solar, ou relógio de sol, que podem ser universais. Com regulagem prévia podem ser usados em qualquer latitude. São compostos basicamente por uma base de projeção de sombras e uma haste que projeta as sombras em posições demarcadas na base.

Na Universidade Federal do Paraná, no laboratório do ambiente construído, existe um simulador que funciona como um *heliodome*. Nesse simulador, a prancheta é móvel, e o arco contendo as posições solares de um dado dia se encontra num plano vertical também móvel e de acordo com dias e horários específicos do ano. Para realizar uma simulação, posiciona-se a maquete de acordo com a orientação e a inclinação do terreno, e utiliza-se o arco com as posições solares de forma a iluminar a maquete e entender a incidência solar no projeto. Esse simulador difere da maioria

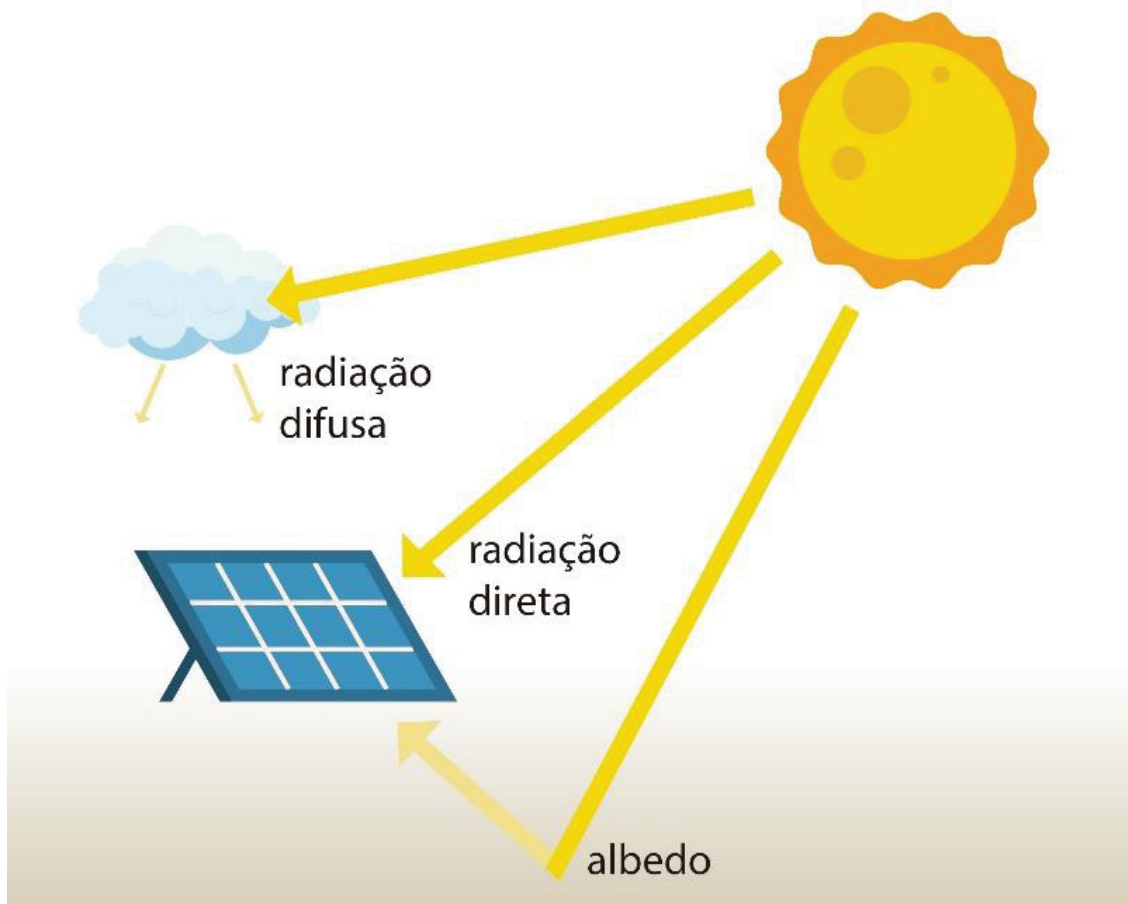
dos *heliódomes*, nos quais se posicionam as maquetes sobre um pano horizontal (fixo) enquanto se sustenta um arco inclinado, de construção complexa e custo elevado.

Os pontos abordados nessa seção auxiliam no entendimento de questões básicas sobre o comportamento de módulos fotovoltaicos de forma geral. A sequência desse estudo aborda alguns outros pontos da geometria da insolação que interferem diretamente no funcionamento e na eficiência dos módulos fotovoltaicos, como pode ser observado nos tópicos a seguir.

2.3.1 Radiação direta, difusa e albedo

A radiação solar pode chegar à terra utilizando três caminhos distintos, que são caracterizados pela radiação direta, difusa e pela radiação refletida, também conhecida como albedo. Nesse sentido, uma ilustração representando esses pontos pode ser observada na FIGURA 6.

FIGURA 6 - RADIAÇÃO DIRETA, DIFUSA E ALBEDO



FONTE: Baseada em Frota (2001 e 2004) e Schmid (2020).

Como pode ser observado na FIGURA 6, a radiação direta é aquela proveniente do sol que atinge diretamente o módulo fotovoltaico. Querino et al (2006) salienta que ela chega à superfície sem sofrer alteração significativa, sendo afetada apenas pela refração proveniente da atmosfera. Há ainda a reflexão e a absorção, cada qual referida a uma dada fração.

Já a radiação difusa é a que chega ao módulo fotovoltaico após passar por outra superfície, como gases, nuvens e afins. Como aponta Querino et al (2006), a radiação difusa é proveniente de todas as direções, pois é espalhada por gases, gotas d'água e material particulado presentes na atmosfera. Schmid (2020) complementa que ela é o somatório da radiação solar que sofre refração e espalhamento no céu e que há uma enorme variação, de acordo com a combinação da altura solar com a composição da atmosfera. A radiação difusa depende do estado da atmosfera visível. Um céu claro contém a parcela de radiação difusa menor que um céu levemente encoberto, e um céu mais encoberto apresenta parcela de radiação difusa baixa e não apresenta radiação direta.

Há ainda uma parcela refletida, depois de atingir a superfície da Terra. O albedo pode ser entendido como a fração radiação incidente numa superfície que é refletida, usualmente de modo difuso, ou, segundo o dicionário Oxford, a proporção de luz ou radiação incidente que é refletida pela superfície. Nesse ponto, Schmid (2020) complementa que a parcela recebida do entorno pode incluir o solo, a vegetação, edifícios e outros objetos.

A partir destas definições, no contexto da conversão fotovoltaica, Brennan et al. (2014) apontam que a irradiação do albedo modifica a distribuição da irradiação incidente na superfície dos dispositivos fotovoltaicos, fator que altera a conversão de energia de todo o sistema. Com base nessa informação, é possível inferir que os projetos que consideram o albedo como parte do sistema podem apresentar resultados melhores. Nesse sentido, Brennan et al. (2014) falam sobre a significativa contribuição do albedo em diferentes topologias para projetos BIPV. Os autores estudaram sistemas com uma grande inclinação (com ângulo próximo a 90°) em relação ao solo para exemplificar a influência do albedo. Assim, Andrews e Pearce (2013) afirmam que sistemas verticais (como fachadas por exemplo) sofrem influência decisiva do albedo.

Alguns autores como Andrews e Pearce (2013), Mghouchi, Chham, Krikiz, Ajzoul e Bouardi (2016), por exemplo, calculam o fator do albedo presente em diversos

materiais, como pode ser observado na TABELA 1 em que 0 é a ausência de reflexão e 1, a reflexão total. Ainda nesse contexto, Andrews e Pearce (2013) comparam o albedo proveniente da grama (0,25) com o albedo da neve, e ainda compreendem o albedo da neve como algo em transição, pois a espessura da neve altera o índice de reflexão da superfície (neve nova 0,80 – 0,90, neve derretida 0,40 e neve suja 0,20). Considerando esse estudo, é possível inferir que o conhecimento das superfícies no entorno é um importante fator de qualidade do projeto, pois quando a irradiação global é alta, o albedo afeta em grande escala a performance dos sistemas fotovoltaicos.

TABELA 1 - COEFICIENTE DO ALBEDO DE DIVERSOS MATERIAIS

Superfície do chão	Coefficiente do albedo
Bétula clara e cinza	0.60 – 0.75
Concreto (antigo) ou pedra	0.05 – 0.15
Concreto (novo)	0.35 – 0.45
Cortinas amarelas	0.30 – 0.45
Cortinas azuis	0.10 – 0.20
Cortinas vermelhas	0.10 – 0.20
Fibra de madeira creme (antiga)	0.30 – 0.40
Fibra de madeira creme (nova)	0.50 – 0.60
Gesso branco (antigo)	0.30 – 0.60
Gesso branco (novo)	0.70 – 0.80
Linóleo cinza claro	0.30 – 0.40
Linóleo marrom	0.05 – 0.10
Madeira de pinho (antiga)	0.15 – 0.25
Madeira de pinho (nova)	0.40 – 0.50
Mogno e nogueira	0.15 – 0.40
Pintura com tinta a óleo branca	0.75 – 0.85
Pintura em alumínio	0.60 – 0.75
Revestimento branco (antigo)	0.50 – 0.65
Revestimento branco (novo)	0.70 – 0.80
Tijolo vermelho (antigo)	0.05 – 0.15
Tijolo vermelho (novo)	0.10 – 0.30
Veludo preto	0.02 – 0.04

FONTE: Adaptado de Mghouchi et al, (2016).

A irradiação nos módulos fotovoltaicos tem relação direta com a produção de energia da instalação. Devido a isso, é importante pensar a relação do albedo com o projeto em desenvolvimento, visto que ele pode ampliar ou reduzir a reflexão incidente nos módulos fotovoltaicos. Muitas vezes o albedo da superfície vizinha a um sistema fotovoltaico é uma escolha de projeto que não apresenta custos. Por exemplo, em telhados, a preferência por um coeficiente do albedo mais alto em cores claras não altera o custo e ainda apresenta a vantagem de reduzir o calor absorvido por tais telhados. Podem ser considerados também aspectos do paisagismo, em que

materiais claros podem ser utilizados no chão e interferir na geração de energia solar pela conversão fotovoltaica. Esse fato traz um interesse adicional a este trabalho.

2.4 APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A conversão fotovoltaica pode ser utilizada de diversas formas, em sistemas integrados ou não à arquitetura, e também no desenvolvimento de produtos. Para isso, é oportuno entender o dimensionamento necessário; se o sistema será ou não conectado à rede de distribuição de energia; e outros aspectos que podem ser observados neste tópico.

2.4.1 Energia solar fotovoltaica no mundo

A utilização da conversão fotovoltaica, tanto de forma integrada quanto de forma não integrada, em escala global, é mensurada pela IEA - *International Energy Agency* (2020), onde afirma-se que o mercado da conversão fotovoltaica voltou a crescer significativamente em 2019, após um ano de estabilização. Esse crescimento é proveniente de diversas regiões do mundo, mesmo sendo um pouco ofuscado por uma desaceleração no crescimento da tecnologia na China (líder do mercado mundial fotovoltaico). A quantidade de instalações fotovoltaicas no ano de 2019 foi de aproximadamente 30,1 GW na China (em 2018 foi cerca de 43,4 GW), na União Europeia 16 GW, nos Estados Unidos 13,3 GW, na Índia 9,9 GW e no Japão 7 GW.

Ainda para a agência, o crescimento da energia por conversão fotovoltaica nas Américas foi modesto e ocorreu principalmente pelos investimentos dos Estados Unidos no setor. O Brasil apresentou segundo lugar em relação ao crescimento anual da energia solar fotovoltaica nas Américas com a instalação de aproximadamente 2 GW. A agência também aborda o crescimento do Oriente Médio e na África, que juntos representam cerca de 8% das instalações fotovoltaicas realizadas em 2019.

Em 2019, a energia proveniente da conversão fotovoltaica representou, segundo IEA (2020), cerca de 3% da demanda de energia elétrica mundial e 5% na Europa. Com isso, é apresentado o QUADRO 1, com a capacidade instalada e acumulada de alguns dos países com maior potencial.

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS 10 PAÍSES COM MAIOR INSTALAÇÃO DE ENERGIA ANUAL E TOTAL, EM 2019.

Países com maior capacidade anual instalada em 2019	Capacidade em gigawatt (GW)	Países com maior capacidade acumulada em 2019	Capacidade em gigawatt (GW)
China	30,1	China	204,7
Estados Unidos	13,3	Estados Unidos	75,9
Índia	9,9	Japão	63
Japão	7	Alemanha	49,2
Vietnã	4,8	Índia	42,8
Espanha	4,4	Itália	20,8
Alemanha	3,9	Austrália	14,6
Austrália	3,7	Inglaterra	13,3
Ucrânia	3,5	Coreia do Sul	11,2
Coreia do Sul	3,1	França	9,9

FONTE: Adaptado de IEA (2020, p.10)

Muitos países que ocupam as primeiras posições na instalação de sistemas fotovoltaicos tiveram programas governamentais de incentivo, financiando e apoiando as instalações e a indústria de forma indireta. Nesse contexto, Santos (2013, p.29) afirma que ocorrem, em diversos países, programas específicos de incentivo à geração de energia solar fotovoltaica de forma particular, nos quais a energia elétrica gerada pela edificação é vendida à rede pública por uma tarifa mais alta que o valor da tarifa convencional. Diante do exposto, Santos (2013, p.54) afirma também que esses programas proporcionam a criação de um conhecimento nacional sobre o funcionamento e possibilidades da tecnologia, além de um desenvolvimento tecnológico e profissional.

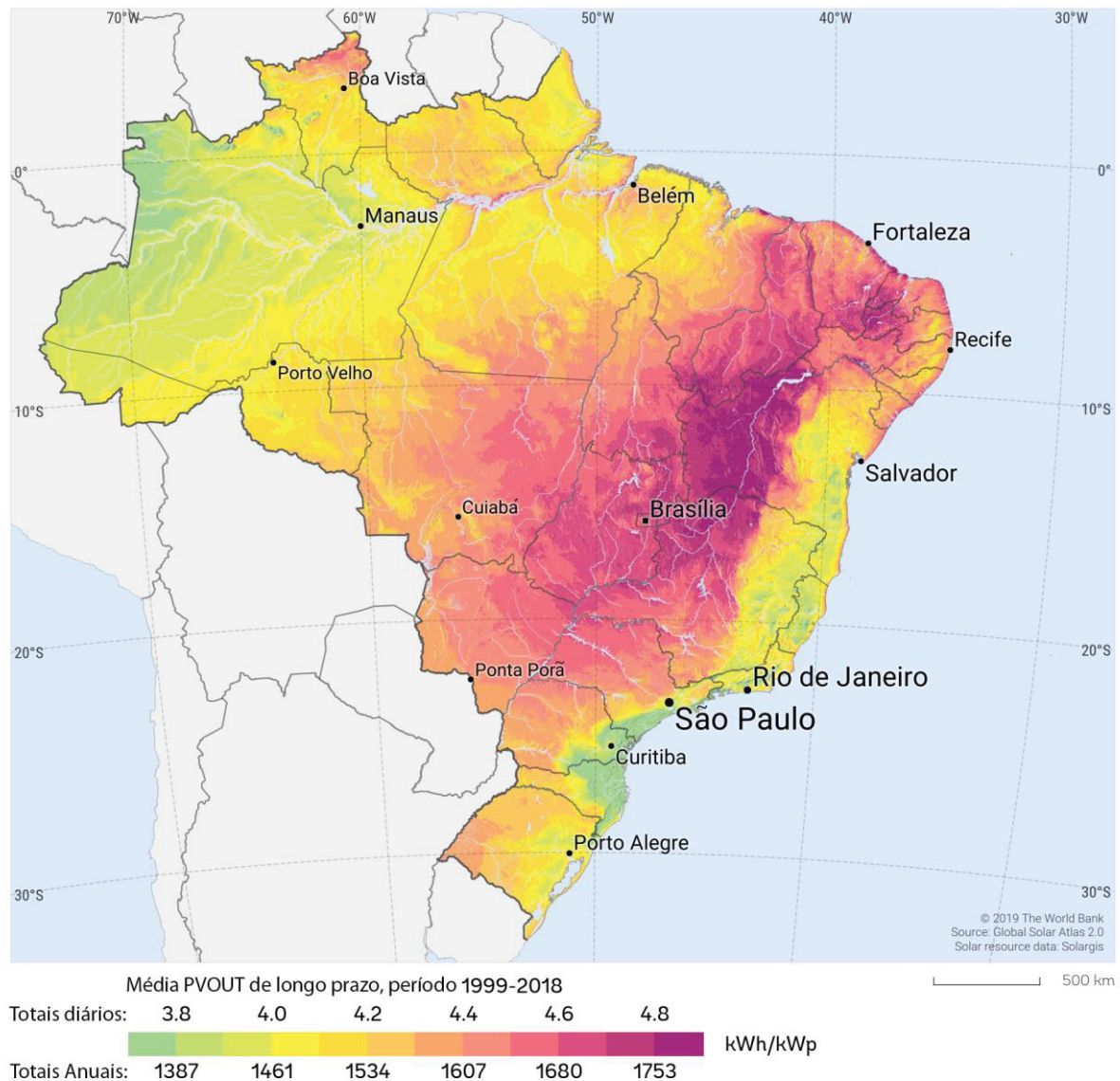
2.4.2 Energia solar fotovoltaica no Brasil

O Brasil possui um vasto território e, segundo Silva (2015 p. 3), alto potencial para a geração de energia pela conversão fotovoltaica. Esse potencial pode ser observado na FIGURA 7, que apresenta um mapa com uma média de longo prazo da possível produção de energia solar fotovoltaica, calculada a partir da radiação solar e da temperatura do ar (PVOOUT).

FIGURA 7 - POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

MAPA DE RECURSOS SOLARES

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA BRASIL



FONTE: Adaptada de Global Solar Atlas (2020)

O mapa da FIGURA 7 foi publicado pelo *World Bank Group*, financiado pelo *ESMAP* (*Energy Sector Management Assistance Program* – Banco Mundial) e preparado por Solargis. A tradução dos termos foi realizada pelos autores desse estudo, e o arquivo original encontra-se na seção de anexos.

No mapa é possível observar, por exemplo, que a cidade de Curitiba possui potencial de gerar entre 3,8 e 4,0 kW/h por kWp instalado. De acordo com *Global Solar Atlas* (2020), para a realização do cálculo, são considerados a irradiação solar

(incluindo modelos meteorológicos e dados de satélites geoestacionários), a temperatura (a partir de modelos meteorológicos e considerando vento e umidade relativa, entre outros), e simulações de sistemas fotovoltaicos considerando a irradiação global, sombreamento pelo terreno e outros objetos em relação aos módulos, performance dos módulos e perdas na conversão de corrente contínua para corrente alternada.

Observando o potencial brasileiro para a utilização da energia solar fotovoltaica, torna-se relevante entender que existem alguns incentivos para a produção dessa energia em território nacional. Eles são, de acordo com Silva (2015 p. 8-14):

- O programa Luz para Todos (LPT), o qual possibilita a instalação de sistemas, desde que se enquadrem nas resoluções normativas 488 e 493 da ANEEL;
- Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), que refletem em descontos nas tarifas, e a venda realizada por geradores de energia para consumidores especiais (cuja carga está entre 500 kW e 3.000 kW);
- O sistema de compensação para microgeração e minigeração, regido pela normativa 482 da ANEEL e reconhecido como *net metering*. Com a Resolução 482 da ANEEL (2012), a geração fotovoltaica integrada às edificações terá seu retorno financeiro na forma de compensação do consumo de energia elétrica, o que contribuiu para um recente avanço dessa tecnologia.
- A Lei da Informática de 1991, que abrange produtos utilizados na montagem do sistema de captação de energia;
- O PRODEEM de 1994 (Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios), criado para atender regiões isoladas cuja rede convencional de energia elétrica não está disponível. Mais tarde o PRODEEM foi incorporado ao programa Luz para Todos.
- O convênio 101 de 1997 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), que provê isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre alguns equipamentos fotovoltaicos;

- O Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) de 2007, que suspende as contribuições de empresas ao PIS/PASEP e COFINS por 5 anos; créditos especiais como debêntures incentivadas;
- O Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays (PADIS) de 2007, que abrange semicondutores e filmes finos utilizados na geração de energia solar pela conversão fotovoltaica;
- A redução do imposto de renda de superintendências que inseriram a geração fotovoltaica, como a SUDENE no Nordeste, a SUDAM na Amazônia e a SUDECO no Centro-oeste.

Existem ainda mecanismos de financiamento como:

- PROESCO (mais recentemente com o nome BNDES eficiência energética) relacionado a projetos de eficiência energética e financiado pelo BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento);
- Projetos e estudos podem ser financiados pelo Fundo Clima;
- Iniciativas de inovação e soluções tecnológicas podem ser financiadas pelo Inova Energia;
- Financiamento para instalações privadas podem ser realizados pela Caixa Econômica Federal, com pagamento em até 240 vezes;
- Em relação a estudos na área, podem ser encontrados alguns incentivos como chamadas de projetos P&D da parte das concessionárias de energia, projetos para laboratório de energia e Fundo Solar.

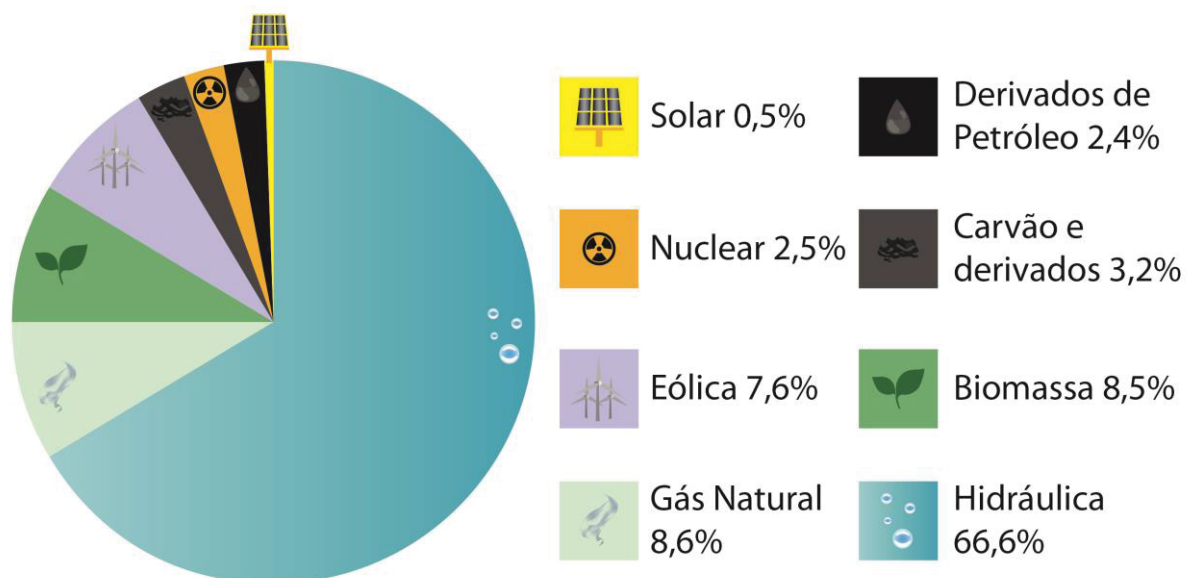
Ainda no contexto dos incentivos para a geração de energia pela conversão fotovoltaica, Silva (2015 p.15-16) demonstra a existência de leilões como o LER (leilão de energia de reserva) que, em 2014, teve um produto específico para a geração fotovoltaica. O autor aborda também a existência de selos de energia e campanhas para esclarecimento ao consumidor.

No entanto, é notado que, embora o país venha tentando incentivar a produção fotovoltaica como fonte renovável, esse incentivo ainda é modesto para aumentar sua participação na matriz energética nacional. Esse fato é corroborado pelo BEN (2019) com a apresentação da matriz energética do ano base 2018 e por Ferreira

et al. (2018, p.189), os quais afirmam que os projetos instalados por meio de ações governamentais brasileiras usam sistemas autônomos e se concentram em casas isoladas, longe das redes de distribuição. Além disso, os exemplares de sistemas fotovoltaicos integrados a edifícios (*building integrated photovoltaics* - BIPV) no Brasil são em quantidade ínfima, sendo apresentado quase sempre na categoria de sistemas fotovoltaicos aplicados a edifícios (*building applied photovoltaics* - BAPV), como módulos anexados ao edifício já construído. A população não tem contato com a tecnologia, que não está inserida culturalmente nas práticas nacionais.

A matriz energética brasileira de 2019, com base no ano de 2020, está representada no GRÁFICO 1. Nele, é possível observar que a energia solar corresponde a 0,5% da energia primária transformada, enquanto a energia hidráulica corresponde a 66,6%.

GRÁFICO 1 - MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA (%)



FONTE: Adaptado de BEN (2019).

A matriz energética brasileira é, em sua maior parte, proveniente de energias renováveis como representado no GRÁFICO 1. Mesmo com esse panorama, o Brasil apresenta pouco uso da energia solar fotovoltaica, e um crescimento tênue nos últimos anos, como apresentado anteriormente com referência na *International Energy Agency* (IEA-2020).

Para Faria Jr, Trigoso e Cavalcanti (2017, p. 1364-1366), o Brasil possui recursos naturais para a utilização da energia solar em abundância (esse ponto pode ser novamente observado na FIGURA 7), e seu fomento proveniente de iniciativas governamentais seria de grande valia. Dessa forma, os autores apontam outras possibilidades de incentivo como tarifa prêmio, certificados verdes, incentivos fiscais e leilões de energia, que abrem oportunidades para a difusão da tecnologia e para que os sistemas fotovoltaicos sejam efetivamente integrados à arquitetura brasileira. Como apontado por Silva (2015), alguns desses incentivos são realizados em baixa escala com relação ao que poderia ser proporcionado.

Como meio de aquisição, Silva (2015 p.27-29) pressupõe que a expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil, em uma primeira etapa, será baseada em importações para, posteriormente, a produção de componentes em território nacional. Nesse ponto é notável que o Brasil tenha possuído empresas de montagem dos módulos fotovoltaicos, mas o mercado não se manteve. Atualmente, é possível encontrar produção de produtos fotovoltaicos orgânicos - OPV - em território nacional. Para o autor, o Brasil tem uma perspectiva favorável à utilização de energia solar pela conversão fotovoltaica, mas com empecilhos, como o preço e o tempo que as políticas de incentivo levarão para produzir efeitos. Nesse contexto, Silva (2015 p.30) afirma que a incerteza dos investidores devida a alterações regulatórias, o custo de aquisição de equipamentos e a conexão à rede de distribuição (ponto abordado na próxima seção desse estudo), bem como o ICMS sobre a energia injetada na rede, a COSIP (taxa de iluminação pública) e aspectos tributários são alguns dos obstáculos.

Ainda como ponto desfavorável, Silva (2015 p. 39) cita os aspectos visuais negativos das instalações fotovoltaicas. Essa questão pode ser solucionada utilizando a integração arquitetônica dos módulos (BIPV), a aplicação fotovoltaica no desenvolvimento de produtos e as novas tecnologias de módulos e filmes fotovoltaicos com variações na aparência. No mercado internacional existem diversas alternativas com diferentes estéticas para os módulos fotovoltaicos. Algumas dessas alternativas serão abordadas no tópico relacionado a integração fotovoltaica na arquitetura.

2.4.3 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos

Para iniciar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, é necessário conhecer o perfil de consumo e o tipo de instalação para o qual é realizado o projeto.

Esse dimensionamento pode ser calculado a partir de uma fatura de energia elétrica convencional, por meio de um levantamento de consumo ou determinando a quantidade de energia que deseja-se produzir.

De acordo com Villalva e Gazoli (2013), o levantamento do consumo é realizado a partir do conhecimento de quais aparelhos são utilizados e por quanto tempo permanecem ativos, durante um dia ou durante um mês. Para calcular a energia elétrica consumida por um aparelho, tem-se a fórmula da equação 2:

$$E_c = P \times T \quad (2)$$

em que:

E_c = Energia consumida em Wh (Watts/hora)

P = Potência em W (Watts)

T = Tempo de uso em horas, considerando tempo de uso médio do aparelho.

Existem tabelas que demonstram as potências (W) e a média de horas de uso de alguns eletrodomésticos comuns. Alguns dados a respeito podem ser encontrados também no manual dos produtos, em contato com os fabricantes e, no caso do desenvolvimento de novos produtos, de acordo com cálculos que preveem a necessidade energética.

Para quantificar o número de módulos fotovoltaicos necessário para a instalação, é interessante conhecer a fórmula da equação 3:

$$E = \frac{PG}{1000(1 + Cp)} \quad (3)$$

em que:

E = energia elétrica disponível (Wh/ano)

P = potência nominal do módulo (W, a 1000 W/m² e 20°C, ou seja, STC)

G = irradiância solar sobre o plano horizontal no ano

Cp = coeficiente (0 a 1) que expressa todas as perdas esperadas (reflexão, sujeira, sombras, temperatura fora de 20°C, ângulo de montagem diferente do ideal).

O dado de energia elétrica da fórmula para quantificar o número necessário de módulos fotovoltaicos abrange o contexto brasileiro e o mecanismo de ressarcimento. Para permitir o cálculo, considera-se a base anual, pois a variabilidade dos dados diários é excessiva. Caso sejam utilizadas baterias no sistema, é

importante conhecer o tempo de uso da energia proveniente do armazenamento, a tecnologia e os materiais da bateria empregada, bem como suas especificidades de carga, descarga e tempo de vida útil. Nesse caso, faz sentido utilizar a energia elétrica disponível em dias ($E=Wh/dia$).

Outro fator relevante para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é a conexão ou não deste sistema à rede de energia proveniente da concessionária, visto que um utiliza baterias, e o outro não. Esse ponto é abordado no tópico a seguir.

2.4.4 Sistemas conectados à rede (*on grid*) e autônomos (*off grid*)

Os sistemas conectados à rede no Brasil podem ser, segundo Silva (2015 p.21) centralizados (de maior escala, como usinas fotovoltaicas a partir de 1MW) e distribuídos, ou seja, ligados diretamente à rede distribuidora e de forma próxima à unidade consumidora. Esse último caso, e quando considerado microgeração (até 100 kW) ou minigeração (entre 100 kW e 1MW), é abordado pelo sistema de compensação regido pela normativa 482 (2012) da ANEEL, que contempla energia solar fotovoltaica, pequenas centrais hidrelétricas, energia eólica e biomassa. Nessa resolução, a energia gerada e não consumida é enviada para a rede de distribuição convencional, gerando créditos de energia, que podem ser utilizados no período noturno, ou quando há redução na geração fotovoltaica. Esses créditos podem ser utilizados em uma ou mais propriedades, de acordo com o previsto na resolução.

Em relação à instalação e medição da energia solar pela conversão fotovoltaica *on grid*, Villalva e Gazoli (2013 p.152-210) apontam que os sistemas são modulares, compostos por conjuntos de módulos e inversores adequados às necessidades do projeto. Algumas dessas necessidades são:

- A tensão de operação na conexão com a rede;
- A frequência da rede;
- A distorção da corrente injetada na rede;
- O grau de proteção do equipamento;
- A faixa de temperatura na qual o inversor pode trabalhar;
- A umidade relativa do ambiente;
- O consumo de energia;

- A potência de entrada e saída do inversor e seu rendimento;
- A proteção contra a fuga de corrente;
- O rastreamento do ponto de máxima potência;
- A detecção de ilhamento e reconexão automática;
- A isolação com o transformador;
- A tensão e frequência de operação.

Os sistemas *on grid* podem contar também com medidores que registram tanto o consumo quanto a geração elétrica, inversores, caixas de *string* (caixas de conexões), quadro de proteção (corrente contínua e alternada) e dispositivos para proteção de surtos.

Os sistemas *off grid* podem ser utilizados, segundo Villalva e Gazoli (2013 p.99-125), em uma infinidade de aplicações, desde aparelhos eletrônicos até sistemas aeroespaciais, passando por veículos e entrega de eletricidade em locais remotos. Nesse ponto, pode-se considerar o desenvolvimento de produtos e inovações no campo do design, que serão tratados mais adiante nesse estudo. Para isso, alguns pontos abordados pelos autores requerem atenção, como a utilização de baterias no sistema, bem como o tipo e a vida útil dessas, controladores de carga que promovem a proteção de sobrecarga, descarga excessiva e gerenciamento de carga, e a utilização ou não de conversores (que convertem a energia de corrente contínua para corrente alternada, como por exemplo entrada de 24V e saída de 127V ou 220V).

A instalação de sistemas fotovoltaicos de forma planejada e com boa execução pode auxiliar na disseminação dessa tecnologia. Sendo assim, é relevante observar os aspectos relacionados à integração fotovoltaica à arquitetura e ao design.

2.4.5 Integração fotovoltaica à arquitetura (*Building Integrated Photovoltaics - BIPV*)

O uso da energia solar pela conversão fotovoltaica no Brasil enfrenta algumas barreiras a serem transpostas como questões econômicas, culturais da inserção dessa fonte de energia, a falta de conhecimento sobre as diversas possibilidades de aplicação e a associação com instalações desvinculadas a projetos de produto e a projetos arquitetônicos. Faria Jr, Trigoso e Cavalcanti (2017 p. 469) apontam a subutilização da energia solar pela conversão fotovoltaica, que pode ser devida a

barreiras tecnológicas, legislativas (políticas) e financeiras. Santos (2013 p.195) complementa que um fator que dificulta a ampliação da utilização da energia solar pela conversão fotovoltaica é o desconhecimento dos arquitetos brasileiros em relação às formas de utilização dos módulos fotovoltaicos, como, por exemplo, a integração ou aplicação na arquitetura.

Abordando os meios de utilização dos módulos fotovoltaicos na arquitetura, é possível observar duas características principais das instalações, que são o BIPV e o BAPV. A esse respeito, Santos (2013 p.31) aponta que os BIPV são a integração fotovoltaica elaborada durante o projeto da construção, considerando os módulos como parte do envelope da edificação. Nesse ponto, Cerón, Martin e Neila (2013 p.127) complementam que em projetos BIPV os módulos fotovoltaicos são peças construtivas que substituem materiais de construção convencionais e podem converter a energia solar fotovoltaica em energia elétrica. Já os BAPV são, para Santos (2013 p.31), aqueles que adicionam e adaptam elementos fotovoltaicos a algo já construído, fora do envelope. Cerón, Martin e Neila (2013 p.127) completam falando que os módulos sobrepõem a construção realizada de modo convencional.

Para realização de projetos BIPV, Cerón, Martin e Neila (2013 p.127) relembram sobre a necessidade da evolução da tecnologia fotovoltaica e do desenvolvimento de materiais e componentes que possam ser utilizados como peças construtivas. Para isso, os autores comentam que tanto o setor de construção, quanto o setor fotovoltaico (nesse ponto incluindo pesquisadores, designers e responsáveis pelas questões de manufatura dos produtos) tem a necessidade de trabalhar em conjunto para compartilhar informações, experiências e desenvolver elementos inovadores de forma correta, e que possam atender aos padrões de qualidade, segurança e regulamentações existentes.

Com o objetivo de compreender melhor os projetos BIPV, bem como os processos de fabricação e montagem dos módulos, foi realizada uma viagem de visita técnica para algumas regiões da Alemanha e Suíça, países com uma vasta gama de produtos e projetos nessa área. A viagem contemplou visitas em diversos fabricantes, institutos de pesquisa, escritórios de arquitetura e edifícios BIPV, dentre eles os escritórios de arquitetura *Cfmoller*, *Kadawittfeldarchitektur*, *Behnisch Office*, *Deppisch Architekten*, *Rene Schmid Architekten* e *Bearth Deplazes Architekten*. Os edifícios *New-Blauhaus*, *Oscar von Muller*, *Solaris 416* e *Umwelt Arena*. Os fabricantes

Clickcon e Megasol e os centros de pesquisa TUM faculty, Fraunhofer Institute e Swiss BIPV Competence Centre.

Com a realização dessas visitas, foi possível perceber alguns fatores comuns, por exemplo a realização dos projetos incluindo os elementos fotovoltaicos e sua modularidade como peças construtivas do edifício, a preocupação com a conversão da energia e o posicionamento dos módulos, além de considerar suas cores, formas e possibilidades. Outro ponto observado foi a diversificação na produção de módulos fotovoltaicos, tanto em relação a cor quanto ao formato. Ponto que pode ser exemplificado pela inclusão de camadas de cores entre o vidro e as células fotovoltaicas, caso de algumas pesquisas do *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems – ISE* e alguns produtos da empresa Megasol.

Nesse cenário, é possível observar que algumas empresas e institutos de pesquisa, principalmente internacionais, têm produzido e estudado diversas células e módulos fotovoltaicos para a utilização em projetos BIPV e BAPV. Caso do *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems – ISE*, que é o maior instituto de pesquisa solar da Europa, e está localizado na Alemanha. O Instituto tem o intuito de criar bases tecnológicas para o fornecimento eficiente de energia e de maneira ambientalmente correta, e possui diversas frentes de atuação, tanto em cooperação com universidades, empresas e instituições governamentais, quanto em projetos próprios. Uma das pesquisas realizadas no Fraunhofer ISE tem relação com alguns módulos em fase de testes, que podem ser observados na FIGURA 8.

FIGURA 8 - MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM FASE DE TESTES NO FRAUNHOFER ISE



FONTE: Fotografado pela autora durante visita técnica ao Franhofer ISE (2019) Mais sobre a pesquisa em https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/annual_reports/fraunhofer-ise-annual-report-2019-2020.pdf Acesso em 23 out. 2020.

A FIGURA 8 apresenta testes realizados no Fraunhofer ISE em novembro de 2019. O dispositivo representado busca demonstrar o impacto de diferentes cores (verde, dois tons de cinza e preto) quando posicionadas como uma película (MorphoColor™) sobre módulos fotovoltaicos de silício monocristalino. Como apontado no dispositivo (parte direita da imagem), a película permite uma diversificação dos módulos para aplicação em projetos BIPV e possui estrutura fotônica 3D inspirada em borboletas Morpho (gênero de borboletas predominantemente azuis). Ainda de acordo com o dispositivo, os módulos com aplicação da película apresentam 90-93% de sua eficiência original, boa estabilidade angular da cor e brilho reduzido.

Outro local que realiza pesquisas sobre BIPV tanto em nível de graduação como pós-graduação é o Instituto Federal de Tecnologia de Zurique – ETH ou ETHZ, localizado na Suíça. Nessa universidade os alunos têm acesso a exemplos de módulos e montagens que podem ser utilizados em sistemas construtivos, como pode ser visualizado na FIGURA 9, que demonstra parte da biblioteca de materiais do ETH.

FIGURA 9 – BIBLIOTECA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DO INSTITUTO FEDERAL DE TECNOLOGIA DE ZURIQUE - ETH



FONTE: Fotografado pela autora durante visita técnica (2019). Mais sobre a biblioteca de materiais em <https://ethz.ch/en/campus/getting-to-know/learning-and-working/collections-and-archives/eth-materials-hub.html> Acesso em 23 out. 2020.

A biblioteca da ETH apresenta diversos materiais e os descreve de acordo com suas possíveis aplicações. A descrição também apresenta o fabricante do material para que os alunos possam buscar mais informações. Essa biblioteca é

organizada de acordo com o tipo e o uso do material, bem como as etapas de projetos em que podem ser utilizados.

A seção representada na FIGURA 9 contém revestimentos variados e, dentre eles, módulos fotovoltaicos. Esses módulos são disponibilizados em tamanho reduzido para manuseio dos alunos e também em tamanho comercial demonstrando conexões e possíveis sistemas de montagens para aplicações BIPV.

Cada módulo disponibilizado na biblioteca de materiais da ETH possui uma identificação a respeito da tecnologia das células, da empresa fabricante e local de produção, das medidas máximas, e um link que leva a mais informações a respeito do módulo, ou ao site do fabricante. Um exemplo de módulo fotovoltaico com dimensões reduzidas e com a identificação está na FIGURA 10.

FIGURA 10 - IDENTIFICAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DA BIBLIOTECA DO ETH



FONTE: Fotografado pela autora durante visita técnica (2019) – Módulo DSSC produzido por Dongjin Semichem Co Ltd. Material do QR code disponível em <https://de.m.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A4tzel-Zelle> Acesso em 23 out. 2020.

Na FIGURA 10 é possível observar um módulo fotovoltaico sensibilizado por corante (*dye-sensitized solar cell* – DSSC), que tem como substrato o vidro temperado e dimensões máximas de 600 mm x 1000 mm. Na etiqueta de identificação disponibilizada pela ETH, além dos dados já mencionados, é possível acessar um *link* por meio de um código QR com diversas informações a respeito dessa tecnologia fotovoltaica e observar qual foi o fabricante desse produto, bem como a região em que foi fabricado.

A utilização desses módulos em edifícios BIPV pode ser realizada de acordo com parâmetros do projeto, considerando incidência solar, orientações e inclinações, necessidade de energia do edifício, eficiência dos módulos escolhidos, entre outros. Um exemplo de edifício BIPV é a Umwelt Arena, localizada em Spreitenbach na Suíça, e projetada pelo escritório de arquitetura *Rene Schmid Architekten*, que pode ser observada na FIGURA 11.

FIGURA 11 - UMWELT ARENA



FONTE: Fotografado pela autora (2019) – Projeto de Rene Schmid Architekten.

A Umwelt Arena é um projeto BIPV com foco na realização de exposições a respeito da vida moderna e de tecnologias que reduzem a utilização de energia, seminários, feiras, convenções, eventos e banquetes. De acordo com seu *site*, o espaço possui também salas de usos múltiplos, vestiários e outras instalações disponíveis, reuniões e eventos. A cobertura da Umwelt Arena é composta por módulos fotovoltaicos dispostos em diversas orientações, fator que pode ser observado na FIGURA 11.

Outro exemplo BIPV é o edifício NEW-Blauhaus, da Universidade Hochschule Niederrhein (universidade de Ciências Aplicadas com foco em tecnologia e sociedade. Seus campus estão localizados em Krefeld e Mönchengladbach, na Alemanha). Esse projeto está localizado em Mönchengladbach e foi realizado pelo escritório Kadawittfeldarchitektur, da cidade de Aachen, também na Alemanha. Nesse exemplo de BIPV, é possível observar a utilização de módulos fotovoltaicos em conjunto com janelas de vidro para compor a pele do edifício, o que pode ser observado na FIGURA 12 que abrange a visão da rua em relação ao edifício e na FIGURA 13 que apresenta,

de forma mais aproximada, os módulos fotovoltaicos utilizados em duas das faces presentes no projeto FIGURA 11.

FIGURA 12 - NEW BLAUHAUS



FONTE: Fotografado pela autora durante visita técnica (2019) – Projeto de Kadawittfeldarchitektur

O edifício New Blauhaus possui a fachada composta por módulos fotovoltaicos e janelas, elementos que são posicionados de forma intercalada. Na FIGURA 12, é possível observar o projeto de forma geral, visto a partir da rua. Na entrada do edifício existe um totem que apresenta as diversas tecnologias que permitem ao edifício gerar energia excedente ao seu consumo.

FIGURA 13 - CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E JANELAS DO EDIFÍCIO NEWBLAUHAUS



FONTE: Fotografado pela autora durante visita técnica (2019) – Projeto de Kadawittfeldarchitektur

Observando a FIGURA 13, é possível perceber uma característica do projeto que consta em alterar a angulação dos módulos fotovoltaicos de acordo com a orientação em que estão instalados. O lado esquerdo da imagem corresponde à parte frontal, e o lado direito à parte posterior do edifício. A instalação realizada desse modo permite que a conversão da energia solar fotovoltaica incidente seja realizada com o maior aproveitamento possível.

De modo geral, é perceptível que, ao incluir a energia solar por conversão fotovoltaica desde a concepção dos projetos, é possível ter resultados inovadores e atrativos. Esse ponto auxilia na aceitação da tecnologia, tanto nas questões estéticas como culturais, pois os módulos fotovoltaicos não prejudicam a imagem do projeto arquitetônico. Cerón, Martin e Neila (2013 p.133) lembram ainda da necessidade de desenvolvimento de módulos fotovoltaicos fáceis de instalar, confiáveis, de baixo impacto ambiental e com bom custo-benefício. Os autores apontam também a necessidade de esses módulos serem passíveis de integração com materiais de construção convencionais para a sua instalação nos edifícios.

Considerando esses aspectos, é possível relacionar o design e a energia solar fotovoltaica, tanto para o auxílio na criação de novos módulos que atendam a esses requisitos quanto para o desenvolvimento de produtos que utilizam essa tecnologia. Esses pontos são abordados na sequência do presente estudo.

2.4.6 Energia solar fotovoltaica no design

Ao observar as barreiras para a integração fotovoltaica, como descrito nas seções anteriores, é possível inferir que o design pode auxiliar tanto na criação de produtos que utilizam a tecnologia fotovoltaica quanto no desenvolvimento da própria tecnologia, aprimorando-a nos aspectos que tangem o design.

Para uma melhor apropriação dos pontos que relacionam o design e a energia solar fotovoltaica, é conveniente lembrar que a conversão fotovoltaica pode ser utilizada de diversas formas, tanto em sistemas integrados à rede de transmissão de energia (on grid), sistemas não integrados (off grid) quanto no desenvolvimento de mobiliário urbano e design de produtos.

Atualmente, existem produtos de diversos segmentos que utilizam, de alguma forma, a energia solar fotovoltaica. Alguns exemplos vão desde calculadoras e carregadores para celular até automóveis e outros produtos de grande porte. Produtos

que utilizam a energia solar fotovoltaica de forma integrada podem ser considerados produtos PIPV (*Product Integrated Photovoltaics*).

Ao utilizar a energia solar por meio da conversão fotovoltaica para suprir a necessidade energética de diversos produtos, é possível pensar nos benefícios gerados por essa forma de energia. Esses benefícios podem incluir a utilização fora da rede convencional de energia, a recarga de baterias e a ampliação da autonomia dos produtos. Esse fato é reafirmado por Alsema et al. (2005), que sinalizam como vantagens a operação de produtos portáteis de forma prolongada ou totalmente independentes da rede de energia, a redução do consumo e do desgaste de baterias, e a conscientização da sociedade de que a energia solar fotovoltaica pode ser considerada uma opção viável de energia. Contudo, Alsema et al. (2005) e Reinders e Akkerman (2005) relembram que essas vantagens existem apenas se o design do produto integrar, de forma adequada e com o dimensionamento correto, a tecnologia fotovoltaica.

Alsema et al. (2005) e Reinders e Akkerman (2005) salientam que um bom design combina diversos fatores, dentre eles uma alta confiabilidade da fonte de alimentação, uma interface *user-friendly*, uma estética atraente e um baixo impacto ambiental. Os autores ainda apontam a necessidade de conhecer a performance dos módulos fotovoltaicos em ambientes internos, de acordo com o tipo de produto a ser projetado. Nesse ponto, é possível lembrar a importância de analisar a usabilidade dos produtos em fase de projeto e entender as possíveis relações emocionais do público alvo em relação ao produto.

Reinders e Akkerman (2005) citam que, se um sistema fotovoltaico está atrelado a um produto, ele será utilizado em situações dinâmicas. Nesse sentido, a irradiação disponível será determinada pelo usuário e pela geometria do produto. Nessas condições, os autores recordam que, para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, é relevante considerar a movimentação do produto e a irradiação não uniforme, incluindo sombreamento de objetos do entorno, fontes de luz externas e internas, as diversas conexões de células fotovoltaicas, os diferentes padrões de carga devido a diferentes usuários, a integração eletrônica e a utilização de baterias. Os autores apontam ainda a necessidade de um sistema fotovoltaico integrado ser projetado como um todo, ponto que se assemelha à realização de projetos BIPV.

Reinders et al. (2009, p. 3183) apontam que aspectos do design que podem melhorar o apelo de um produto são a usabilidade, a interatividade, a segurança e a

personalização. Além disso, os autores comentam que um fornecimento autônomo de energia pode levar a uma maior interação entre o usuário e o produto, e também a uma maior liberdade do uso espacial.

O QUADRO 2 - PROCESSOS DE DESIGN DE PRODUTOS PIPV QUADRO 2 compara etapas de processos de design de produtos PIPV descritos por Alsema et al. (2005) e Reinders et al. (2009). É notável que os processos de desenvolvimento de produtos de design são bastante similares aos apresentados para a criação de produtos PIPV. Para exemplificação e comparação, o quadro também apresenta, de forma simplificada, etapas de projetos de produtos propostas por Baxter (2000 p.13).

QUADRO 2 - PROCESSOS DE DESIGN DE PRODUTOS PIPV

Alsema et al. (2005)	Reinders et al. (2009)	Baxter (2000)
Geração de alternativas	Identificação da tarefa	Ideias para novos produtos, especificações da oportunidade e do projeto
Avaliação de alternativas	Especificação da tarefa	Projeto conceitual com escolha do melhor conceito
Seleção da alternativa a ser produzida	Geração do conceito	Teste de mercado
Projeto detalhado do protótipo	Criação de <i>layout</i> preliminar	Alternativas ao projeto, aos materiais e à fabricação
Desenvolvimento do protótipo	Criação de <i>layout</i> definitivo	Revisão da oportunidade e da especificação do projeto
Teste do protótipo	Documentação do processo e do projeto	Escolha do melhor projeto em sua melhor configuração
Desenvolvimento do projeto final	Apresentação da solução	Projeto detalhado, protótipo experimental e teste de desempenho
Desenvolvimento do produto final		Projeto para fabricação e protótipo de produção

FONTE: Adaptado de Alsema et al. (2005), Reinders et al. (2009) e Baxter (2000).

Como é possível observar no QUADRO 2, o projeto de produtos PIPV segue muitos aspectos dos projetos tradicionais de design de produto. A tecnologia fotovoltaica inserida nesses produtos pode ser abordada em etapas de projeto que visam entender materiais e processos de fabricação, fases de prototipagem e testes

de desempenho. Durante as etapas de projeto, é relevante atentar-se ao dimensionamento fotovoltaico a ser utilizado no produto e aos casos de uso que possivelmente afetem a eficiência dos módulos.

No que tange o design de módulos fotovoltaicos, é possível seguir os passos mencionados no QUADRO 2, e também considerar alguns aspectos do design modular, incluindo a facilidade de produção e montagem, a flexibilidade, e a redução no custo de produção proveniente da padronização. Adamovic et al. (2017, p.2) recordam que os módulos fotovoltaicos convencionais, de produção em massa, em muitos casos não são adequados para a aplicação em projetos BIPV, em fachadas e superfícies, por exemplo. Esse ponto demonstra oportunidades no campo do design ao destacar a escassez de módulos adequados ao uso em projetos BIPV.

Algumas empresas apresentam estruturas para a fixação dos módulos tradicionais de silício de forma integrada à arquitetura. Contudo, a estética apresentada por esses módulos é bastante específica, com a repetição das células utilizadas em sua composição. Seu uso em um projeto BIPV pode ser observado na FIGURA 14.

FIGURA 14 - COBERTURA SOBRE O REFEITÓRIO DO FRAUNHOFER INSTITUTE ISE



FONTE: Fotografado pela autora durante visita técnica ao Fraunhofer ISE (2019). Mais informações sobre o Fraunhofer ISE podem ser encontradas em <https://www.ise.fraunhofer.de/> Acesso em 23 out. 2020.

Na imagem apresentada pela FIGURA 14, é possível observar parte da cobertura do refeitório do Fraunhofer Institute ISE. A cobertura é composta por

módulos de silício com as partes superior e inferior em vidro, fixados em uma estrutura metálica que garante segurança e estanqueidade aos módulos.

Quanto à adequação da tecnologia fotovoltaica a projetos BIPV e PIPV, Adamovic et al. (2017 p. 3-4) comentam que o ideal é que os módulos fotovoltaicos sejam passíveis de mudanças em suas formas, tamanhos, cores, transparências e especificidades elétricas. Tal fator pode ser atingido com alterações no design e a possibilidade de personalização dos módulos, já concedidas, por exemplo, por empresas que trabalham com módulos de filme fino. Algumas empresas internacionais buscam adaptar seus módulos fotovoltaicos para atender a personalizações e ao mercado BIPV. Na FIGURA 15, é possível ver alguns exemplos de módulos fotovoltaicos produzidos com esse intuito.

FIGURA 15 - EXEMPLOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA UTILIZAÇÃO EM PROJETOS BIPV



FONTE: Fotografado pela autora durante visita técnica a empresa MegaSol (2019). Mais informações sobre a empresa podem ser encontradas em <https://megasol.ch/> Acesso em 23 out. 2020.

Ao observar a FIGURA 15, é possível ver módulos desenvolvidos para a utilização em projetos BIPV. Ao lado esquerdo, estão exemplos de aplicações em fachada de um módulo preto texturizado e um módulo cinza. Na parte central da imagem, aparecem algumas das opções que podem compor os módulos do modelo apresentado do lado esquerdo. Esses módulos podem ter alterações na cor, na textura e nas dimensões. Ao lado direito, está uma telha fotovoltaica. Sua cor se

assemelha a telhas de barro, e ela possui conexão facilitada tanto com dispositivos do mesmo modelo quanto telhas convencionais.

Em relação ao design de produtos que utilizam a tecnologia fotovoltaica, algumas possibilidades de aplicação estão na criação de mobiliários urbanos. Nesse sentido, dois exemplos que estão localizados em frente à Umwelt Arena podem ser observados na FIGURA 16.

FIGURA 16 - MOBILIÁRIO URBANO ENIWA EM FRENTE A UMWELT ARENA



FONTE: Fotografado pela autora (2019) – Produto de Eniwa AG.

Os itens de mobiliário urbano apresentados são da empresa Eniwa, que presta serviços de energia na região em que está localizada a Umwelt Arena. Esses itens funcionam como uma estação para abastecimento de carros elétricos, ponto de *Wi-fi* e recarga de dispositivos eletrônicos via USB.

Na FIGURA 16, é possível observar também um painel com informações a respeito da geração de energia do mobiliário urbano. Esse painel apresenta o desempenho atual do mobiliário, a produção diária e a energia produzida pelos dispositivos até o momento.

Ainda pensando no design de produtos com a tecnologia fotovoltaica e suas diversas possibilidades de aplicação, é possível visualizar o exemplo da FIGURA 17, que é uma proposta de mochila com aplicação de módulos OPV. Esse projeto demonstra a facilidade da aplicação dos módulos OPV e um meio de integração em produtos da área do design de moda.

FIGURA 17 - MOCHILA PINK BIONIC



FONTE: Opvious/Armor solar power film (2020).

Essa mochila (FIGURA 17) é um projeto *wearable*, resultado de um aluno participante do projeto Change, do curso de mestrado *Textile Products Design* da *Faculty of Textile and Clothing Technology* da Hochschule Niederrhein, universidade já mencionada nesse estudo quando trata-se do edifício BIPV - NEW BLAUHAUS, em Mönchengladbach na Alemanha. A mochila possui módulos OPV aplicados em seu exterior e tem o intuito de possibilitar a recarga de dispositivos eletrônicos, como telefones celulares.

Observando os exemplos mencionados nesse texto, têm-se uma ideia da diversidade de possibilidades tanto no uso quanto na produção de módulos fotovoltaicos. Projetos BIPV e PIPV podem englobar o desenvolvimento de novos módulos fotovoltaicos ou a utilização daqueles já existentes. Para o desenvolvimento desses projetos, podem ser utilizados processos de design de produtos, como os apresentados no QUADRO 2 desse estudo.

A revisão da literatura apresentada nesse estudo tem o intuito de sistematizar o conhecimento existente a respeito do tema tanto com tópicos relacionados especificamente à energia solar fotovoltaica quanto aos pontos em que ela pode ser relacionada ao design. Também apresenta-se algumas possibilidades de auxílio, por parte do design, ao desenvolvimento e aceitação da tecnologia fotovoltaica, principalmente em território nacional. Na sequência desse texto, são abordados pontos relacionados aos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa segue o método *Design Science Research* como orientação metodológica principal, visto que há a criação de um artefato que tem por objetivo promover melhorias na utilização de módulos fotovoltaicos em projetos BIPV e PIPV. Nesse sentido, o estudo possui argumentos de natureza indutiva, abdução e dedutiva. Algumas etapas da pesquisa abrangem outros métodos, como a revisão bibliográfica e procedimentos de projeto, os quais são descritos no decorrer do texto.

3.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH

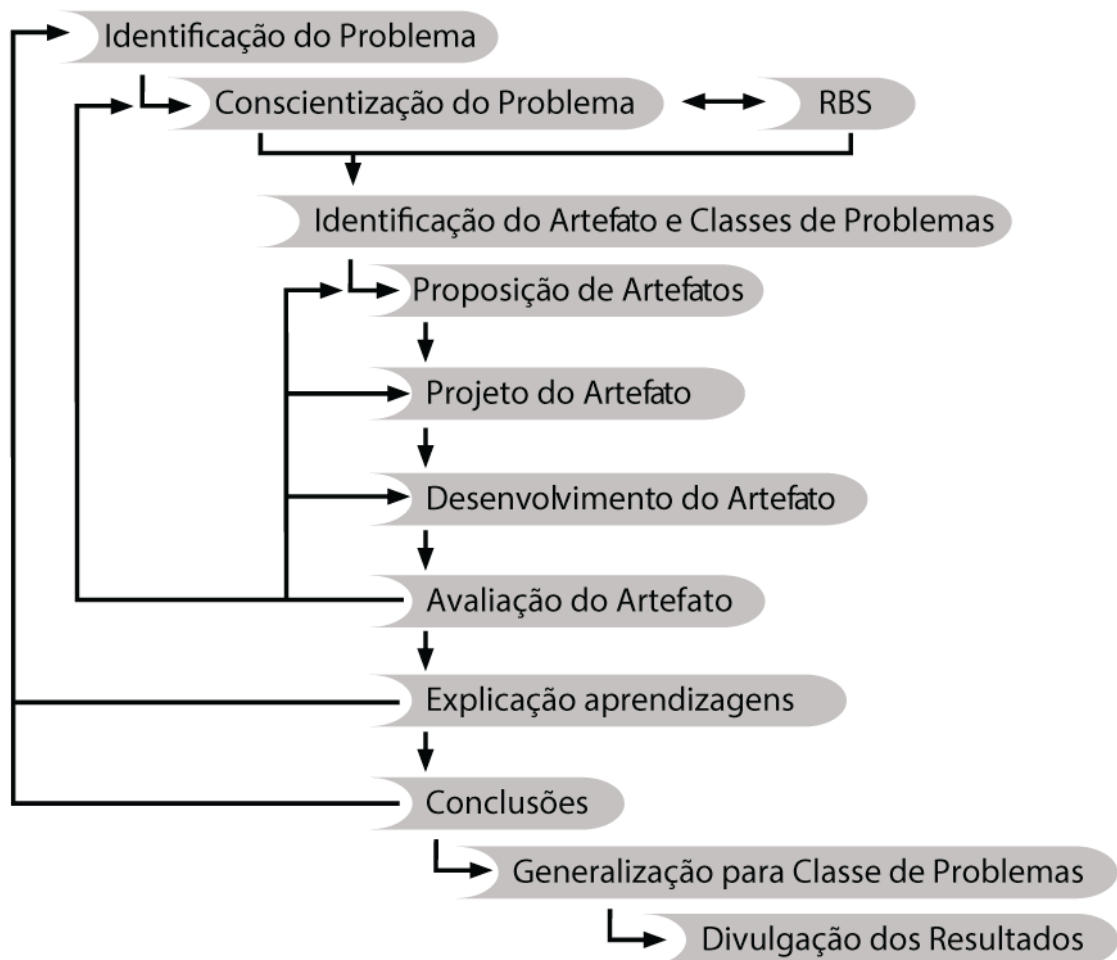
A escolha do *Design Science Research* se deu tanto pela proximidade do método ao campo do Design quanto por compreender a criação de um artefato para entender e solucionar um problema. Nesse caso, a interferência da orientação e da inclinação de módulos fotovoltaicos na região de Curitiba no Paraná.

A respeito do método, Myers e Venable (2014 p.801) apontam que diferentemente dos métodos de pesquisa tradicionais, nos quais existe a busca por entender e explicar um fenômeno, o *Design Science Research* se apropria da tradição do próprio Design, na qual desenvolve-se artefatos e tecnologias que podem ser utilizadas para mudar o mundo. Nesse sentido, Santos (2018 p. 72-73) observa que é possível compreender que as pesquisas que utilizam o *Design Science Research* ocorrem por meio do Design, ou seja, um artefato é projetado e desenvolvido como um mecanismo que tem o intuito de encontrar soluções para um problema e também entender a natureza desse problema. Santos aponta ainda que o propósito desse método é criar artefatos que possam construir novas realidades, não limitando-se às realidades que afetam diretamente o ser humano.

Nesse estudo, o *Design Science Research* é aplicado seguindo o modelo de Dresch et al. (2015), como demonstra a FIGURA 18, na qual inicialmente o problema é identificado e, posteriormente, há a conscientização desse problema, faz-se a revisão bibliográfica sistemática (RBS). Na sequência, o artefato para a solução do problema e as classes de problemas são identificados. Em seguida, o artefato é proposto, desenvolvido e avaliado, as aprendizagens são explicadas, e a conclusão é realizada de modo a garantir a validade da pesquisa, e demonstrar as decisões e

limitações encontradas. Na sequência, a solução encontrada por meio do artefato é generalizada para a classe de problemas, e os resultados são divulgados.

FIGURA 18 - ETAPAS DO MÉTODO



FONTE: Adaptado de Dresch et al. (2015).

Esse estudo busca seguir as etapas do *Design Science Research* de acordo com o que é abordado na FIGURA 18. A identificação e a conscientização do problema são abordadas no tópico de INTRODUÇÃO desse texto, e a revisão bibliográfica, bem como outros pontos da conscientização do problema, acontecem no tópico de REVISÃO DE LITERATURA.

Observando as etapas do método, é possível notar suas similaridades aos processos de design, visto que as etapas são interligadas e o projeto do artefato funciona de forma cíclica. Esse ciclo inicia-se com a compreensão do problema, e segue para a geração de alternativas e proposição do artefato para solucionar esse problema. Posteriormente, acontece o desenvolvimento ou refinamento do artefato, a

avaliação da solução encontrada e, caso necessário, o retorno ao problema seguindo novamente as etapas descritas.

Quanto à compreensão do problema, é notável que essa possa ser integral ou parcial. Santos (2018 p.81) lembra que a compreensão parcial a respeito do problema é possível no *Design Science Research*, visto que o processo de desenvolvimento do artefato pode auxiliar no entendimento do problema e possibilitar um novo ciclo com geração de alternativas, desenvolvimento do artefato e nova avaliação. Ainda sobre a compreensão do problema, Santos (2018 p.82) menciona a importância de uma ênfase sistêmica, que pode incluir diversas atividades orientadas ao aprofundamento e ao entendimento do problema, para que sua solução possa ser generalizável. Nesse estudo, a compreensão do problema se deu com uma revisão da literatura, seguida por visitas e conversas com arquitetos e integrantes do setor fotovoltaico em Curitiba, participação em projetos multidisciplinares a respeito do tema, e visitas técnicas em empresas internacionais em locais em que o assunto tratado está mais desenvolvido. A etapa da compreensão do problema é concluída, de acordo com Santos (2018 p.84) com a definição de um *briefing*.

A partir do *briefing*, é possível realizar a geração de alternativas do artefato. Essa etapa é majoritariamente criativa, o que pode torná-la bastante subjetiva. A respeito dessa subjetividade, Santos (2018 p. 85) relembra que não é possível estabelecer um roteiro universal para a geração de alternativas. Nesse sentido, Lacerda et al. (2013 p.749) comentam que mesmo de forma subjetiva, é importante que o pesquisador garanta a validade dessa geração de alternativas. Para isso, é possível utilizar protocolos voltados ao projeto e explicitar as decisões tomadas e, assim, seguir para o desenvolvimento do artefato.

O desenvolvimento do artefato no *Design Science Research* pode ser realizado a partir de diversas abordagens, de acordo com as características do respectivo artefato. Lacerda et al. (2013 p.749) apontam que as abordagens podem compreender infográficos, *mock-ups*, modelos, constructos e protótipos, entre outros. Nesse estudo, o desenvolvimento se dá a partir da produção de um protótipo funcional, incluindo instalação e testes de elementos fotovoltaicos. Nesse ponto, é importante lembrar que, além da geração de um protótipo, o objetivo do *Design Science Research* é o conhecimento obtido a partir desse para a solução do problema, bem como a generalização dessa solução para a classe de problemas.

Com o objetivo de atingir a esses objetivos e buscando a validade científica e pragmática, Santos (2018 p. 86) aponta que a meta principal da etapa de avaliação é confrontar a proposição teórico-prática do artefato a partir da sua eficácia e eficiência no mundo real. No processo de avaliação desse método, é importante criar um protocolo de coleta e análise dos dados do artefato. Lacerda et al. (2013 p.751) apontam que nesse protocolo estão explícitos o ambiente interno, externo e os objetivos, além dos testes e dos mecanismos que medem os resultados. Esses mecanismos podem ser estudo de caso, análise estatística, de performance, observacionais, entre outros. Os autores mencionam que a utilização desses fatores é importante para validar tanto o artefato quanto a pesquisa de forma científica e pragmática.

Ao concluir a etapa de avaliação, é possível inferir sobre a necessidade da realização de mais um ciclo de desenvolvimento ou concluir o estudo de acordo com o método. Para realizar a conclusão, Santos (2018 p. 89) aponta que são descritas as considerações finais e conclusões do estudo, atentando-se ao problema central e aos objetivos da pesquisa. Santos aponta ainda que é importante sintetizar as lições aprendidas, seja de forma visual ou de forma escrita. Nessa etapa são feitas as generalizações dos resultados para as classes encontradas durante a compreensão do problema, e são apresentadas as dificuldades encontradas durante a pesquisa e o desenvolvimento do artefato. Santos (2018 p.88) relembra também a respeito das sugestões para trabalhos futuros a partir do mesmo tema, momento em que novas soluções, novos problemas e aperfeiçoamentos para o artefato desenvolvido podem ser citados.

Ainda em relação ao método utilizado, é importante citar que o desenvolvimento e a avaliação do artefato desse estudo têm relação com algumas simulações realizadas por Bonetto (2019) em que a importância da superfície de albedo, não somente para padronizar medições, mas também para efetivamente aumentar a irradiação sobre os módulos, foi confirmada. Ainda, é plausível notar que a generalização da solução encontrada nesse estudo considera aspectos de insolação de uma região específica. Nesse sentido, para utilizar a generalização dessa solução em outras localidades, é importante avaliar as diferenças entre as regiões e calcular as possíveis diferenças. Nos tópicos seguintes nesse estudo é possível observar as etapas do método a partir da IDENTIFICAÇÃO DO ARTEFATO E CLASSES DE PROBLEMAS, e nomeadas de acordo com o apresentado na FIGURA 18.

4 ARTEFATO

Seguindo o método *Design Science Research*, contando com a revisão bibliográfica apresentada anteriormente e a conscientização do problema que tem relação com os modos de implantação da energia solar pela conversão fotovoltaica, é possível partir para os aspectos referentes ao artefato, como pode ser visualizado no decorrer dos itens seguintes.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO ARTEFATO E CLASSES DE PROBLEMAS

A partir da revisão bibliográfica, observação do mercado brasileiro, do mercado alemão e do mercado suíço, foi possível perceber que esse estudo tem relação com algumas classes de problemas, como a integração fotovoltaica na arquitetura, em que há lacunas no modo com que os projetos são realizados, as competências necessárias para arquitetos, designers e funcionários de montagem e manutenção, e a transmissão do conhecimento para a realização desses projetos.

Outros pontos são a diversificação da matriz energética brasileira e a utilização de energias renováveis, nas quais a energia solar fotovoltaica apresenta uma ínfima participação. Nesse caso, a lacuna se relaciona com a subutilização da tecnologia, com limitações nas instalações dada a falta de conhecimento de como ocorre a conversão fotovoltaica em ângulos e direções não ideais.

Além desses, há o conhecimento da tecnologia de conversão solar fotovoltaica, tanto por parte do mercado quanto pela sociedade. No Brasil, são encontrados principalmente módulos de primeira geração, ou seja, de silício poli ou monocristalino. Os módulos de segunda e terceira geração, que possibilitam aplicações alternativas, são mais difíceis de encontrar, ou a fabricação e comercialização acontece apenas em grande quantidade, caso dos módulos OPVs fabricados em território nacional. Aliada a esse ponto, está a questão da aceitação pela sociedade, pois é clara a associação que se faz da energia solar fotovoltaica a instalações sobre o telhado ou de forma independente, muitas vezes em ângulos diferentes ao da cobertura, prejudicando a estética da construção.

Com base nas informações relacionadas às classes de problemas, observou-se a necessidade da construção de um artefato capaz de demonstrar a variação da irradiação solar incidente em módulos fotovoltaicos em diversas inclinações e

orientações, sendo esses pertencentes às três gerações de células fotovoltaicas abordadas nesse estudo. Foi observada também a importância de se obter um registro horário de dados de insolação cujos dados são apresentados, de forma aberta, ao público. Para isso, foram definidas algumas condições para o projeto do artefato, que são: a utilização de ao menos um modelo de módulo de cada geração, e o posicionamento desses módulos em um domo, abrangendo diversas orientações e inclinações. Tais condições visam possibilitar a solução dos problemas, mesmo que de forma parcial, e a generalização dessa solução para as classes encontradas.

4.2 PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO

O artefato proposto realiza a medição de radiação solar em condições não ideais. Para isso, houve a escolha de utilizar três tecnologias de conversão fotovoltaica, sendo ao menos um modelo de cada geração, e de acordo com os pontos abordados na revisão da literatura desse estudo, dispostas intercaladas em um domo e apresentando diversas orientações e inclinações.

A escolha dos módulos fotovoltaicos do projeto considerou inicialmente as menores dimensões de módulos fotovoltaicos comerciais no mercado brasileiro, limitando a escolha aos comerciantes que realizam entregas na cidade de Curitiba, e que realizam vendas em pequena quantidade. Com esses requisitos, foram encontrados os módulos de silício policristalino.

Após a definição do primeiro modelo, buscas por módulos de segunda geração com dimensões similares foram iniciadas. Não foi encontrada uma empresa brasileira que comercializasse módulos de filme fino de dimensões e quantidade reduzidas. Com isso, uma empresa fabricante de módulos de filme fino sediada na China, que envia o produto para o Brasil e que tem produção sob medida utilizando Telureto de Cádmio, foi contatada para a importação desses módulos.

Para o terceiro modelo, conseqüentemente da terceira geração de módulos fotovoltaicos, foram iniciadas conversas com fabricantes nacionais de OPV. Contudo, as dimensões e quantidades de venda dos OPVs desses fabricantes não foi compatível com os outros módulos do projeto, fator que levou à escolha pela importação de módulos de tamanho reduzido de uma fabricante sediada na Dinamarca, que realiza o envio para o Brasil.

Considerando os aspectos descritos acima e os módulos fotovoltaicos escolhidos para esse estudo, dados básicos a respeito de cada módulo são abordados na sequência desse texto, e as especificações dos fabricantes a respeito deles encontram-se nos anexos. A escolha da primeira geração de módulos fotovoltaicos, composta por células de silício policristalino, está representada na FIGURA 19.

FIGURA 19 - MÓDULO FOTOVOLTAICO DE SILÍCIO POLICRISTALINO



FONTE: Fotografado pela autora (2019) – Produto de Sinosola, modelo SA10 – 36P

Os módulos de silício policristalinos da FIGURA 19 são compostos por 36 pequenas células, que são interligadas eletricamente e encapsuladas utilizando EVA (*Ethylene-Vinyl-Acetate*). De acordo com o fabricante, esse módulo possui eficiência de 11,34% sob condições de teste com radiação a 1000 W/m² e temperatura a 25°C (com uma incerteza de cerca de 3%), potência máxima de 10W, corrente de máxima potência 0,53A e tensão de máxima potência de 19V.

A escolha da segunda geração é representada por módulos de filme fino compostos por Telureto de Cádmio. Esses foram produzidos de acordo com as dimensões do módulo de silício policristalino cuja escolha foi realizada anteriormente. O aspecto visual e alguns detalhes a respeito do módulo podem ser observados na FIGURA 20.

FIGURA 20 - MÓDULO FOTOVOLTAICO DE FILME FINO



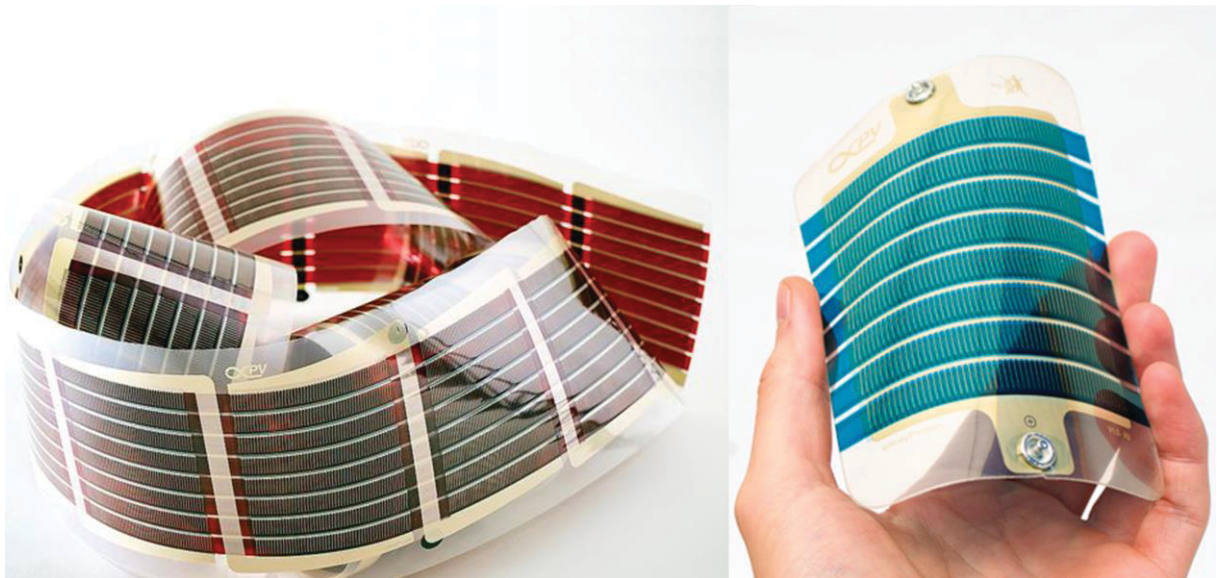
FONTE: Fotografado pela autora (2019) – Produto de FirstSolar, modelo personalizado

Os módulos de segunda geração da FIGURA 20 são compostos por Telureto de Cádmio (CdTe), o qual é posicionado em um sanduíche de vidro temperado. Segundo o fabricante, esse módulo é 40% transparente e possui eficiência aproximada de 13%, potência máxima de 5,2 W, corrente de máxima potência 0,21A e tensão de máxima potência de 25,3 V. Esse módulo foi dimensionado de acordo com as especificações do projeto. Para possibilitar uma maior quantidade de informações, foram anexadas a esse estudo as especificações de módulos

atualizados em 2020, que seguem um padrão comercial e contemplam desenhos técnicos dos módulos.

A escolha da terceira geração se deu a partir da existência de produtores nacionais de OPV e da possibilidade de produção adequada às dimensões preexistentes. A aquisição desses módulos com os produtores nacionais foi inviabilizada dado que a quantidade, em metros, de módulos utilizados nesse estudo é baixa. A partir dessa questão, os módulos que podem ser observados na FIGURA 21 foram importados para possibilitar a sequência desse estudo.

FIGURA 21 - MÓDULO FOTOVOLTAICO ORGÂNICO - OPV



FONTE: *Infinity PV* (2020).

Os módulos fotovoltaicos orgânicos (OPV) presentes na FIGURA 21 são compostos por um filme fino encapsulado em um substrato polimérico PET (politereftalato de etila). De acordo com o fabricante, esse módulo possui eficiência de 1,5 a 7% na área ativa. A potência é de 1 W a 6 W por metro linear, e a corrente de máxima potência de 0,25 A até 0,6 A. Esses fatores variam, por exemplo, com a cor, dimensões e material do OPV.

Com a escolha dos módulos, foi possível iniciar a geração de requisitos para a construção do artefato. Nesse ponto, foram considerados diversos aspectos relacionados ao orçamento disponível para o desenvolvimento, as dimensões ao utilizar os módulos escolhidos, o espaço disponível para a instalação do artefato, o albedo do entorno, outras possibilidades de utilização para o espaço ocupado pelo artefato e possíveis questões de furto do equipamento.

Seguindo o raciocínio levado por esses pontos, foram estabelecidos alguns requisitos para a geração de alternativas. Esses requisitos, bem como sua descrição e motivo, estão listados nos pontos que seguem.

- Construção de um único artefato incluindo as três gerações de módulos fotovoltaicos – esse pré-requisito foi estabelecido como forma de redução no espaço utilizado pelo artefato, e possibilitou redução de custos no processo de montagem, visto que ao construir apenas um artefato, há economia em estrutura, cabeamento e sistema de levantamento de dados.
- Disposição alternada dos módulos em azimute e inclinação variados – pré-requisito com foco no propósito do artefato, que é obter dados de irradiação solar em ângulos diferentes do ideal. Ao alternar os módulos, é possível compreender como cada geração se comporta em diferentes posicionamentos e sua relação com o albedo.
- Posicionamento de forma próxima à comunidade acadêmica – ao aproximar a tecnologia à comunidade acadêmica é possível difundir sua utilização, auxiliar na inserção dos componentes a cultura local e reduzir alguns pontos relacionados ao vandalismo para com o artefato.
- A utilização de um albedo controlado – observando os possíveis espaços para a instalação do artefato. No centro politécnico da UFPR, foi possível perceber diversos fatores de influência no albedo, como a alteração na cor do gramado de acordo com a época do ano, os edifícios administrativos e de salas de aula, a existência ou não de árvores nas proximidades, e a circulação de alunos no entorno. Esses fatores podem interferir na qualidade dos dados obtidos com os módulos fotovoltaicos. Para minimizar essa interferência, optou-se pela adoção de um albedo controlado. Sua dimensão foi definida com o auxílio de um cálculo considerando o ângulo dos módulos e a distância necessária para controlar a reflexão do entorno. A escolha de um valor de albedo elevado também permite que se tenha um limite superior (*upper bound*) para a componente refletida da irradiação solar.
- O afastamento do solo no intuito de reduzir o sombreamento – como existem diversas árvores, construções e alta circulação de pessoas no centro politécnico da UFPR, foi observada a necessidade de afastar o artefato do

solo, para evitar sombreamento parcial dos módulos e, assim, evitar o comprometimento dos dados a serem obtidos.

- A possibilidade de uso do artefato como espaço de vivência pelos alunos – com a necessidade de afastamento do solo, surgiu a possibilidade de reutilizar o espaço abaixo do domo e do albedo como um possível espaço de vivência para os alunos da UFPR. Esse fator possibilita a familiarização e a educação a respeito da tecnologia fotovoltaica no ambiente acadêmico.
- A redução da possibilidade de furto do equipamento – o artefato reúne diversos equipamentos para a realização da medição da energia solar por conversão fotovoltaica fora das condições ideais. Alguns desses equipamentos podem ser visados para furto. Considerando esse aspecto, os equipamentos precisam ser instalados em local seguro, para garantir a possibilidade da obtenção dos dados necessários.

Após a etapa de levantamento de requisitos, foi possível iniciar o desenvolvimento do artefato, considerando os modelos de módulos fotovoltaicos escolhidos, os requisitos e os possíveis custos, meios de produção e fornecedores, bem como a necessidade de autorização de implantação do artefato no campus.

4.3 DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

No início do processo do desenvolvimento, foi necessário realizar contato com os fornecedores de módulos fotovoltaicos policristalinos, de filme fino e OPV e entender os procedimentos de compra dos módulos. Essa etapa causou diversos contratempos, devido à quantidade de módulos do estudo, às dimensões de cada módulo e ao objetivo de utilização desses.

Após a definição, especificação e encaminhamento dos três modelos de módulos, são observados para o desenvolvimento do artefato a maior quantidade de módulos fotovoltaicos no espaço disponível para a inserção do dispositivo, considerando a necessidade do controle do albedo e a disposição dos módulos em relação ao azimute e à inclinação. Para isso, foi desenvolvida a TABELA 2, com as dimensões dos módulos fotovoltaicos, considerando a maior quantidade de inclinações possíveis em um domo com raio de 1,45 m.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS PARA DESENVOLVIMENTO DO DOMO

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				

FONTE: A autora (2018)

Como é possível observar na TABELA 2, o domo com os módulos fotovoltaicos foi composto por 6 inclinações diferentes, que partem de um posicionamento quase horizontal (a definição do ângulo se deu com as dimensões de 3 módulos e é diferente de 0 para reduzir o acúmulo de água e sujeira), até um posicionamento quase vertical (em relação ao solo e definindo o posicionamento e dimensões do albedo).

Seguindo as colunas da tabela, é possível ver as dimensões dos módulos e o número de unidades presentes de acordo com cada ângulo definido, formando, assim, linhas horizontais na composição do domo. As colunas seguintes demonstram as medidas dos raios de cada linha em relação ao ângulo presente na primeira coluna.

Utilizando as definições apresentadas na TABELA 2, foi desenvolvido um modelo visual do domo utilizando o software *Rhino*, na versão 6. Esse modelo pode ser observado na FIGURA 22. Tal modelo foi desenvolvido para auxiliar na geração de alternativas para o artefato, visto que ele é composto pelos módulos fotovoltaicos que fazem parte do ponto principal do projeto e definem muitas das decisões tomadas na sequência do desenvolvimento.

FIGURA 22 - DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS NO DOMO



FONTE: Desenvolvida a partir da TABELA 2 (2018).

Na FIGURA 22, é possível observar a disposição dos módulos no domo, de acordo com o que está descrito na TABELA 2. Cada cor da imagem representa um modelo de módulo, mas não reflete necessariamente a cor do módulo utilizado na construção do artefato. A FIGURA 22 funciona de forma ilustrativa para auxiliar no entendimento e desenvolvimento de alternativas para o artefato, bem como entender o comportamento entre os módulos fotovoltaicos, e possibilitar o desenvolvimento da estrutura para o domo e para o artefato como um todo, incluindo a instalação do equipamento de coleta de dados.

Com a definição das dimensões, do peso e da disposição dos módulos do domo, bem como o auxílio da FIGURA 22, foi possível iniciar o planejamento da base do artefato. Para isso, foi necessário realizar a definição de alguns novos requisitos, focados na segurança do artefato e no público do entorno. Tais requisitos são:

- Estrutura segura, com uso reduzido de materiais e capacidade de suportar tanto o domo quanto o albedo – a estrutura representa um dos itens com maior custo do projeto, dado sua especificidade e seu dimensionamento. O uso reduzido de materiais que, se realizado de forma segura e com o devido planejamento, apresenta um custo acessível e mantém a segurança e a qualidade da construção;
- Superfície rebatedora inclinada e com formato definido a partir do domo, para igualar sua interferência nos módulos do entorno – a utilização de uma superfície inclinada para o albedo, quando projetada considerando os horários de incidência solar e seu possível sombreamento, pode reduzir as dimensões do albedo sem afetar a obtenção de dados. No caso desse artefato, a medição ocorrerá entre 07h e 17h, pois a incidência solar antes e depois desses horários pode ser considerada desprezível em termos de geração de energia por conversão fotovoltaica;
- Proteção do equipamento – a realização da instalação de componentes eletrônicos, dos módulos fotovoltaicos e do cabeamento tem o objetivo secundário de evitar furtos e garantir a segurança na obtenção de dados do equipamento;
- Resistência ao vento – o artefato, por possuir altura elevada, sofre interferência com o vento, fator que pode prejudicar a aquisição de dados e comprometer a segurança dos que estão em seu entorno. Para evitar possíveis problemas, a resistência ao vento foi considerada como um importante requisito para o projeto.

Após a definição dos requisitos, iniciou-se a busca pelo local apropriado para a instalação do artefato. A escolha e definição da região do Centro Politécnico da UFPR em que seria instalado o artefato precisava estar alinhada com todos os requisitos estipulados anteriormente. Um fator importante para a escolha do local de instalação foi a não existência de outras pesquisas ou atividades didáticas no ambiente escolhido, evitando assim o comprometimento de outros estudos. Além desse ponto, foi considerada a incidência de sombras por árvores e edifícios próximos, bem como de luzes, placas e instalações elétricas. A região escolhida após observação da insolação em diversos pontos do campus foi o gramado entre o edifício

da Administração e a Superintendência de Infraestrutura da UFPR, que pode ser observado na FIGURA 23.

FIGURA 23 - GRAMADO ENTRE A ADMINISTRAÇÃO E A SUINFRA NO CENTRO POLITÉCNICO



FONTE: Fotografado pela autora (2019) – Centro Politécnico da UFPR. Mapa disponível em: <https://www.google.com/maps/@-25.449938,-49.2327482,20z> Acesso em: Acesso em 23 out. 2020.

O local apresentado na FIGURA 23 apresenta árvores com estatura mais baixa, possibilitando o uso do espaço sem a necessidade de cortes e podas, fator decisivo para a implantação do artefato. Outro fator relevante dessa localização é o grande fluxo de alunos, que auxilia na segurança e na disseminação e utilização do artefato por parte dos estudantes. Alguns estudos de topografia são realizados nesse local. A partir desse dado, a definição do ponto exato da instalação do artefato ocorreu de forma a não interferir nesses estudos, e será abordada mais adiante nesse texto.

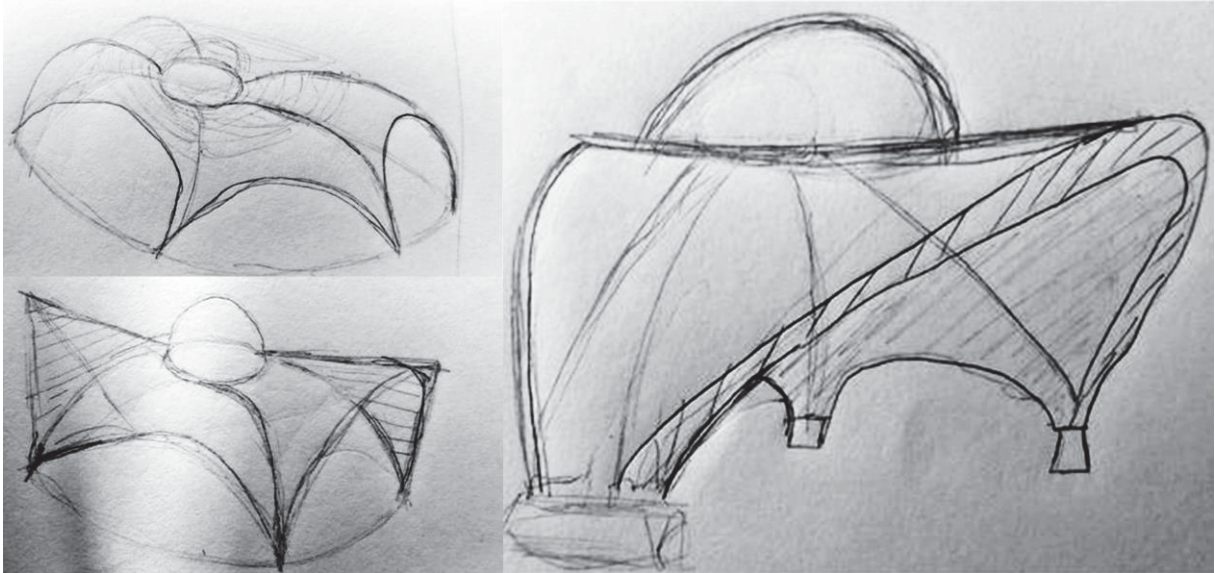
4.3.1 ALTERNATIVAS E ANÁLISES

Com a escolha da provável localização, foi possível estabelecer a altura do artefato, para reduzir a interferência do entorno. A partir desse ponto, foi definido que o artefato teria uma altura de ao menos cinco metros em relação ao solo.

A partir dos requisitos, da localização e da definição da altura, foi iniciada a primeira geração de alternativas, incluindo ideias para a base e o albedo, utilizando como ponto principal o domo. Essa geração de alternativas foi realizada em conjunto com o grupo de pesquisa, em uma equipe interdisciplinar contando com designers,

arquitetos e engenheiros. A geração de alternativas foi iniciada de maneira livre e sem abranger todos os requisitos. Um exemplo do início do processo pode ser observado na FIGURA 24.

FIGURA 24 - INÍCIO DA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS



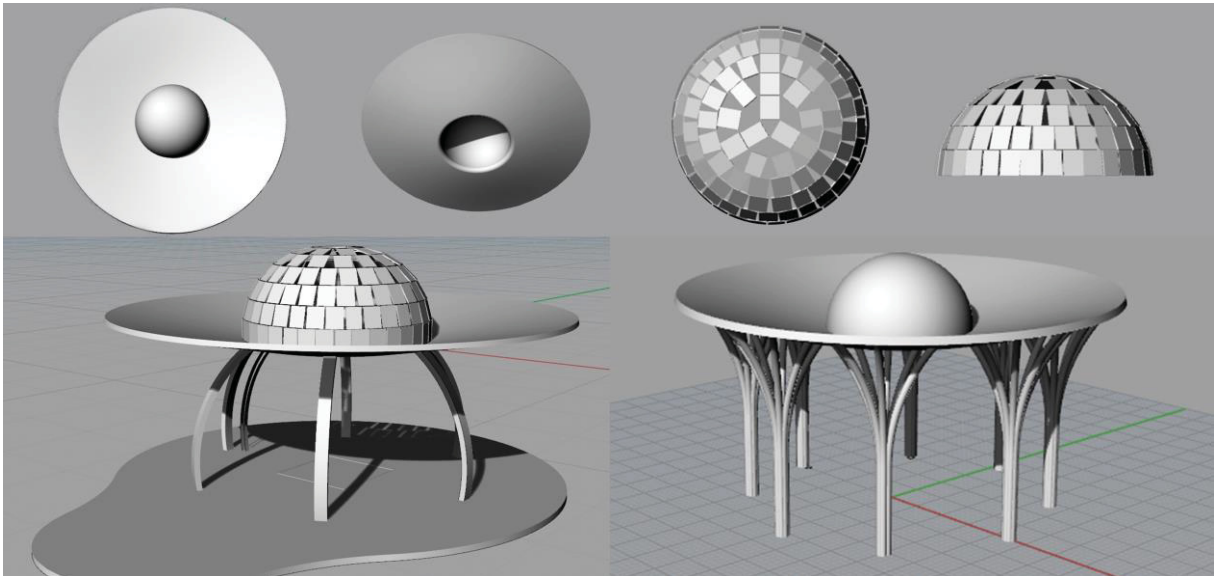
FONTE: Produzida no grupo de pesquisa, Silveira e Dias (2018)

A geração de alternativas exemplificada na FIGURA 24 teve como base a utilização de arcos metálicos e lonas tensionadas para suportar o domo, e prover as dimensões mínimas do albedo, extrapolando essas medidas para criar um ambiente coberto na parte inferior. Essas alternativas demonstraram alguns problemas quando se iniciou o processo de análise, pois os arcos e a lona apresentaram dimensões exageradas para conseguir cumprir a área mínima do albedo. Esses itens também dificultaram o posicionamento do domo.

Observando os problemas dessa primeira etapa, a geração de alternativas seguinte incluiu outros pontos dos requisitos, e buscou inspiração em construções conhecidas como coretos, que são coberturas situadas ao ar livre, com o intuito de abrigar bandas musicais em concertos, festas e romarias, por exemplo.

A segunda geração de alternativas foi baseada em meios digitais, possibilitando um melhor entendimento entre as proporções do projeto. O início dessa geração contou com o modelo já existente do domo e o estabelecimento do perímetro do albedo, que podem ser observados na parte superior da FIGURA 25. O foco nessa etapa de criação foi a estrutura de sustentação, cujos exemplos podem ser observados também na FIGURA 25, em sua parte inferior.

FIGURA 25 – EXEMPLOS DA SEGUNDA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS



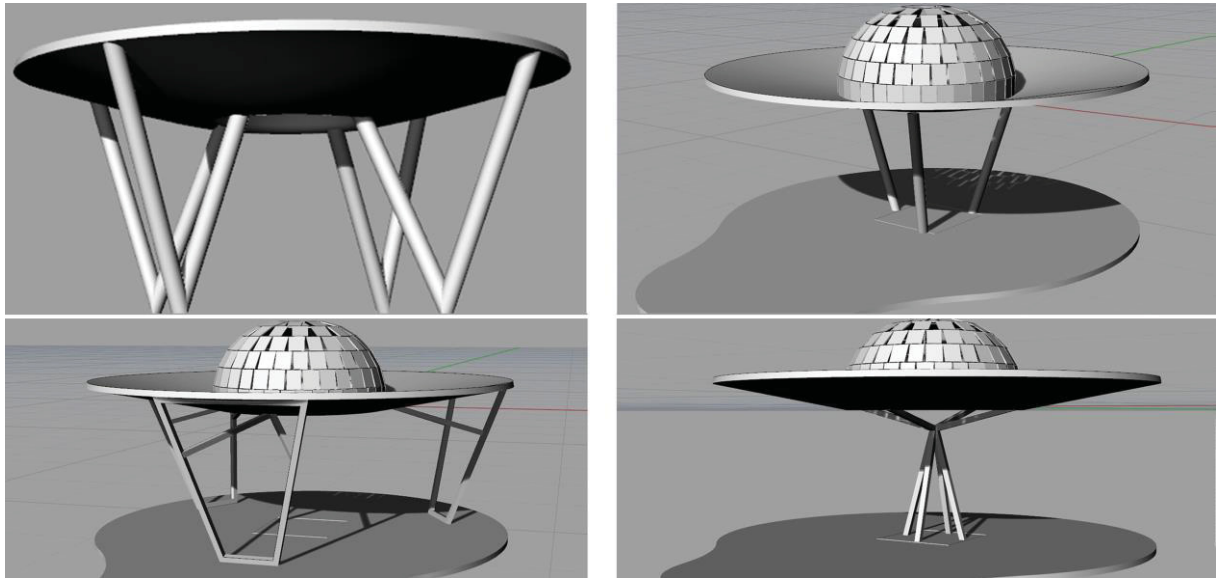
FONTE: Alternativas produzidas para o artefato em 2018

De acordo com o que pode ser observado na FIGURA 25, a linha superior, em seu lado esquerdo, demonstra as dimensões mínimas do albedo em relação ao domo e, em seu lado direito, o domo com a inserção dos módulos fotovoltaicos. Na parte inferior da figura, estão representadas duas opções de estrutura: a primeira ainda utilizando arcos como na geração de alternativas anterior, e a segunda utilizando diversos pilares.

Durante o processo de análise dessas alternativas, notou-se que o albedo e o domo apresentaram proporções viáveis tanto em relação ao espaço utilizado quanto financeiramente. Nesse caso, o próximo passo foi o desenvolvimento em relação a sua estrutura e materiais para a produção, que ocorreu apenas em etapas posteriores do desenvolvimento. Na avaliação da estrutura presente nessas alternativas, foi observado o uso de arcos e pilares acima do necessário, fator que polui visualmente o artefato e eleva o custo de produção. Além desses pontos, essas alternativas previam uma caixa fechada no chão para o equipamento de coleta de dados, o que tornaria necessária uma grande quantidade de cabos, e a produção de um ambiente fechado e estanque na parte inferior do artefato para garantir a segurança do equipamento.

Observando os problemas da segunda etapa, a geração de alternativas seguinte continuou buscando inspiração em coretos e utilizou as dimensões oferecidas pelo albedo estipulado. A sequência das alternativas se deu com a redução da quantidade de elementos, como pode ser observado na FIGURA 26.

FIGURA 26 - EXEMPLOS DA TERCEIRA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS



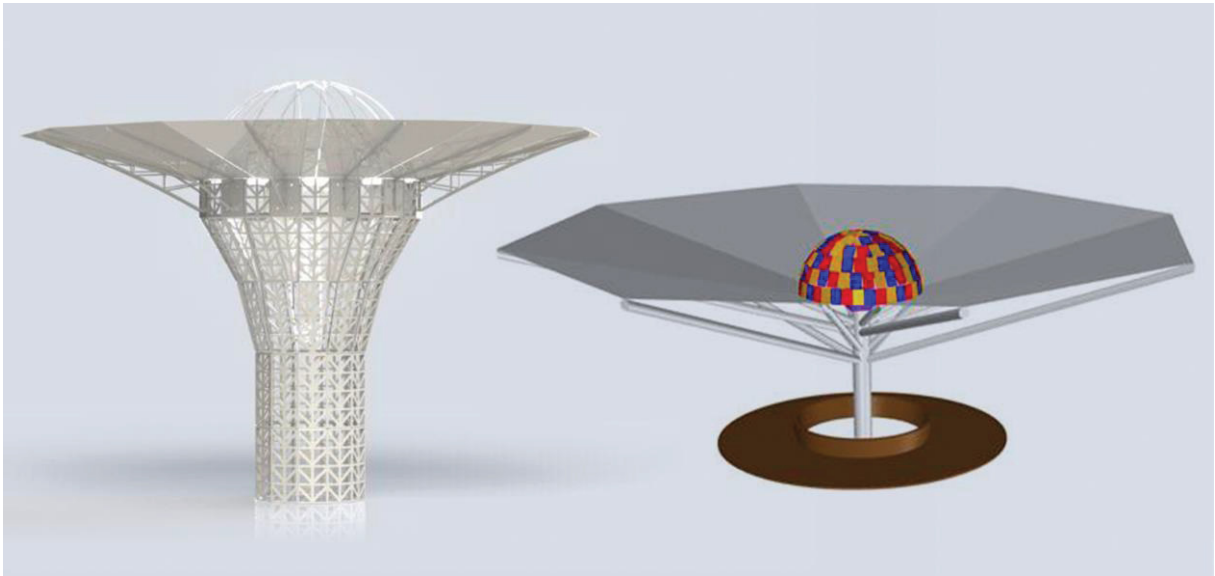
FONTE: Alternativas produzidas para o artefato em 2019

A geração de alternativas da FIGURA 26 focou na alteração da estrutura com a redução da quantidade de elementos, buscando um visual mais limpo e uma utilização de materiais consciente. Como pode ser observado tanto na parte superior quanto na parte inferior da imagem, essas alternativas abrangeram diversos modelos de estrutura, para deixar o albedo e o domo elevados do chão.

Analisando as alternativas geradas nessa fase, observou-se uma melhora na utilização dos elementos, que poderia ser explorada em novos caminhos, principalmente em relação à opção presente na parte inferior do lado direito da FIGURA 26. Foi observada também a necessidade de reduzir problemas de produção em relação à caixa posicionada no chão, ainda presente nessas alternativas.

A quarta geração de alternativas levou em consideração todas as análises realizadas nas etapas anteriores, e optou pela utilização de um pilar central como forma de sustentação do domo e do albedo. As alternativas dessa etapa mantiveram a inspiração nos coretos e buscaram uma solução mais apropriada para o armazenamento do equipamento de coleta de dados. Nessa etapa também foram pensados alguns pontos em relação ao processo de produção do albedo. A geração de uma lona ou cobertura metálica, de forma contínua e com o formato necessário, compreendia alto custo e desperdício de material, fator que guiou a decisão por particionar o material em formatos similares a pétalas. Duas opções desta geração de alternativas podem ser observadas na FIGURA 27.

FIGURA 27 - EXEMPLOS DA QUARTA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS



FONTE: Produzida no grupo de pesquisa, Silveira e Dias (2019)

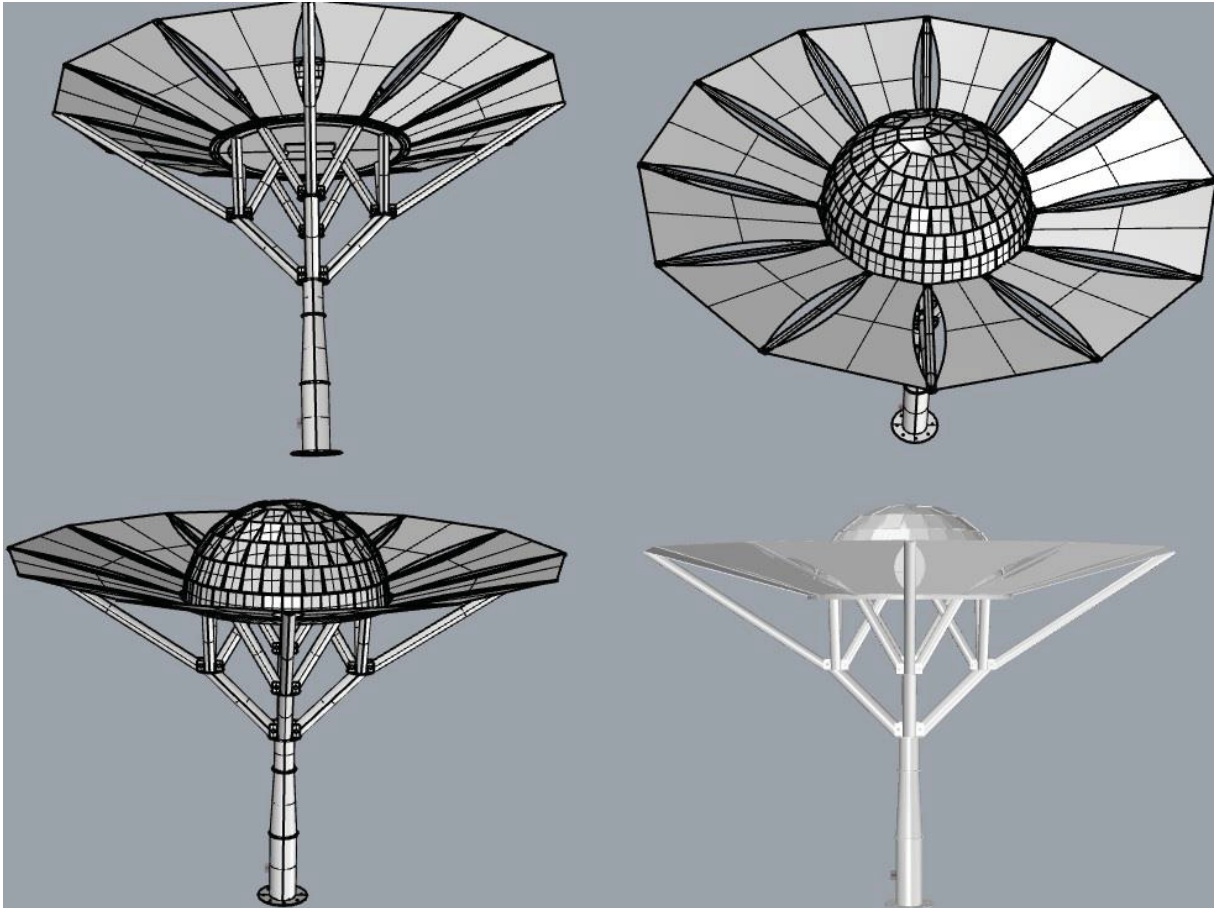
A geração de alternativas representada na FIGURA 27 contou com a união de fatores das três gerações anteriores, resultando em uma estrutura central abaixo do domo, com segmentos dessa estrutura para fixação do albedo. Nas opções geradas nessa etapa, o equipamento de coleta de dados foi posicionado acima da estrutura, na parte interna do domo. O novo posicionamento do equipamento permite a redução no uso de fiação elétrica e amplia sua segurança.

Analisando as alternativas geradas, foi possível observar um avanço significativo em relação à solução da estrutura e das seções do albedo, esses fatores permitiram a escolha de lonas na cor branca, como material para compor o albedo e controlar a reflexão. Nesse ponto, foi perceptível a necessidade de auxílio técnico para o aperfeiçoamento do artefato, no intuito de garantir a segurança e dimensionar a estrutura de forma adequada.

Partindo dessa análise, houve a escolha de produzir mais uma alternativa, incluindo diversos aspectos técnicos que contaram com o auxílio do grupo de pesquisa que estuda a integração fotovoltaica, engenheiros civis, arquitetos, engenheiros elétricos e engenheiros mecânicos. Tais interações multidisciplinares foram essenciais para garantir a qualidade de diversos aspectos descritos como requisitos do projeto. Após diversas reuniões com profissionais e docentes dessas áreas, foi gerada uma nova alternativa, a qual considera o peso dos módulos fotovoltaicos, o provável peso do albedo, a localização e os meios de fabricação

encontrados que utilizam metal como material. A opção gerada pode ser observada na FIGURA 28.

FIGURA 28 - QUINTA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS



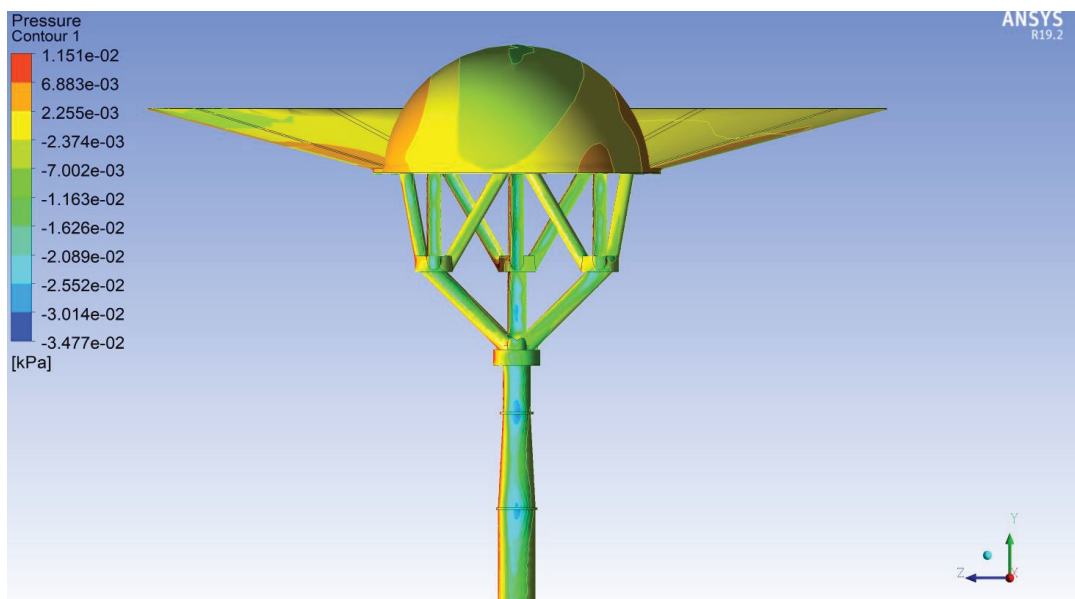
FONTE: Silveira, Dias e Strobel (2019).

A alternativa presente na FIGURA 28 foi escolhida para o desenvolvimento do artefato por apresentar uma estrutura resistente e de fácil manufatura, bem como possibilitar a utilização de lonas no albedo e ser composta por peças menores, auxiliando na logística e montagem.

Para estabelecer alguns detalhes da segurança do artefato e da sua fundação, foi importante conhecer a força exercida pelo vento na estrutura. Esse passo contou com o auxílio do Laboratório de Máquinas Térmicas do departamento de Mecânica da UFPR. Para conhecer a força do vento, o modelo escolhido (FIGURA 28) passou por simulação no software ANSYS com o padrão médio de vento para a cidade de Curitiba (o valor utilizado foi de 13 km/h, levemente acima da média para o período entre 2004 e 2015 presente no estudo de Castelhana e Roseghini 2018). O valor de vento utilizado não considera rajadas de vento. É relevante observar que as

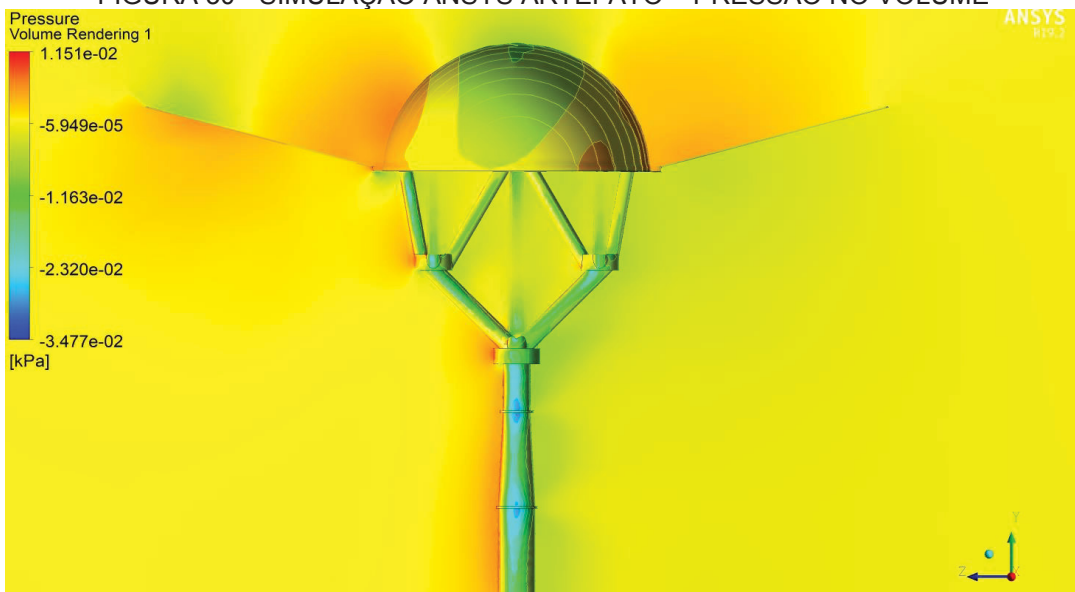
simulações feitas no software consideram o artefato como um sólido único para extrair o domínio de ar. Essa simulação auxiliou no cálculo da fundação e na confirmação do diâmetro e da espessura dos materiais destinados à estrutura do artefato. Algumas das imagens geradas pela simulação no ANSYS podem ser observadas nas FIGURAS FIGURA 29, FIGURA 30, FIGURA 31 e FIGURA 32. Essas imagens representam um dos ângulos em que a simulação foi realizada e as demais imagens da análise estão na seção de apêndices desse estudo.

FIGURA 29 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO – PRESSÃO NO CONTORNO



FONTE: Silveira e Strobel (2019).

FIGURA 30 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO – PRESSÃO NO VOLUME



FONTE: Silveira e Strobel (2019).

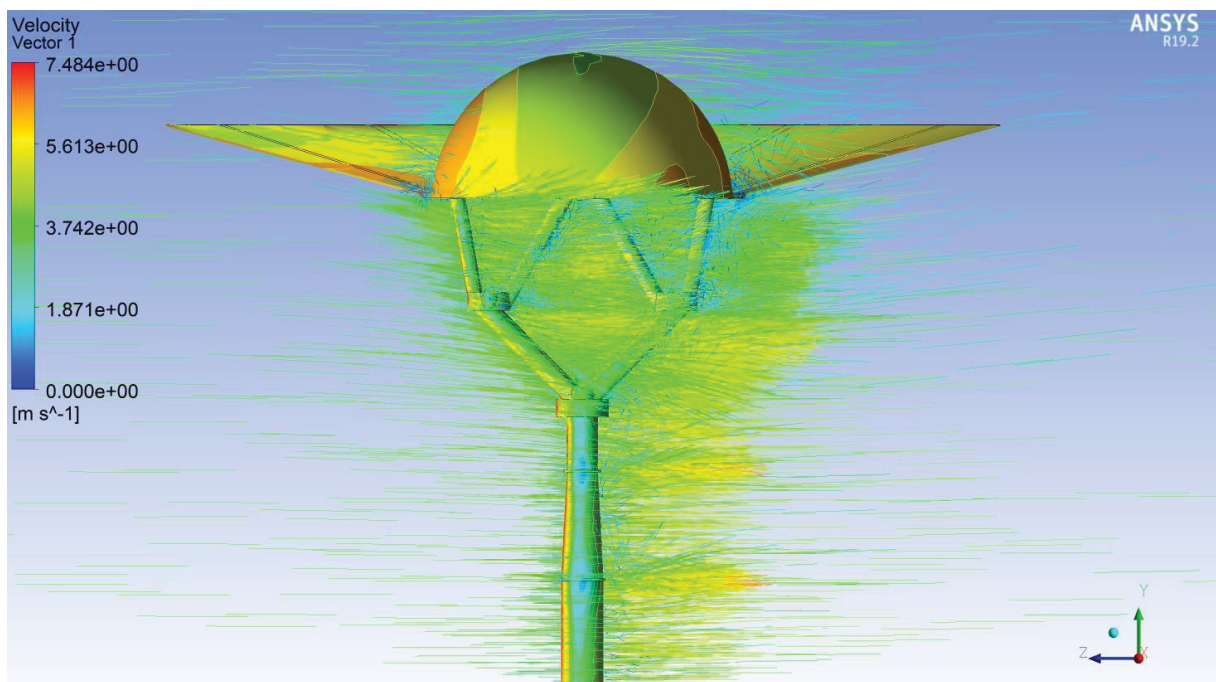
De acordo com as FIGURA 29 e FIGURA 30, é possível perceber, por exemplo, que a região de fixação do domo e do albedo na estrutura sofre maior pressão, tanto em seu contorno quanto em seu volume, pois essas estão representadas em laranja e vermelho. Também é possível observar que a região central da estrutura recebe menos pressão, visto que ela está representada em verde e azul nas duas imagens.

Para termos de conhecimento, os valores apresentados nas legendas das imagens estão no formato de notações científicas. Outro modo de escrever essa notação, possivelmente mais conhecido e de acordo com os valores da primeira linha da legenda, segue o formato:

$$1,151 \cdot 10^{-2} \text{ Kpa} \quad (4)$$

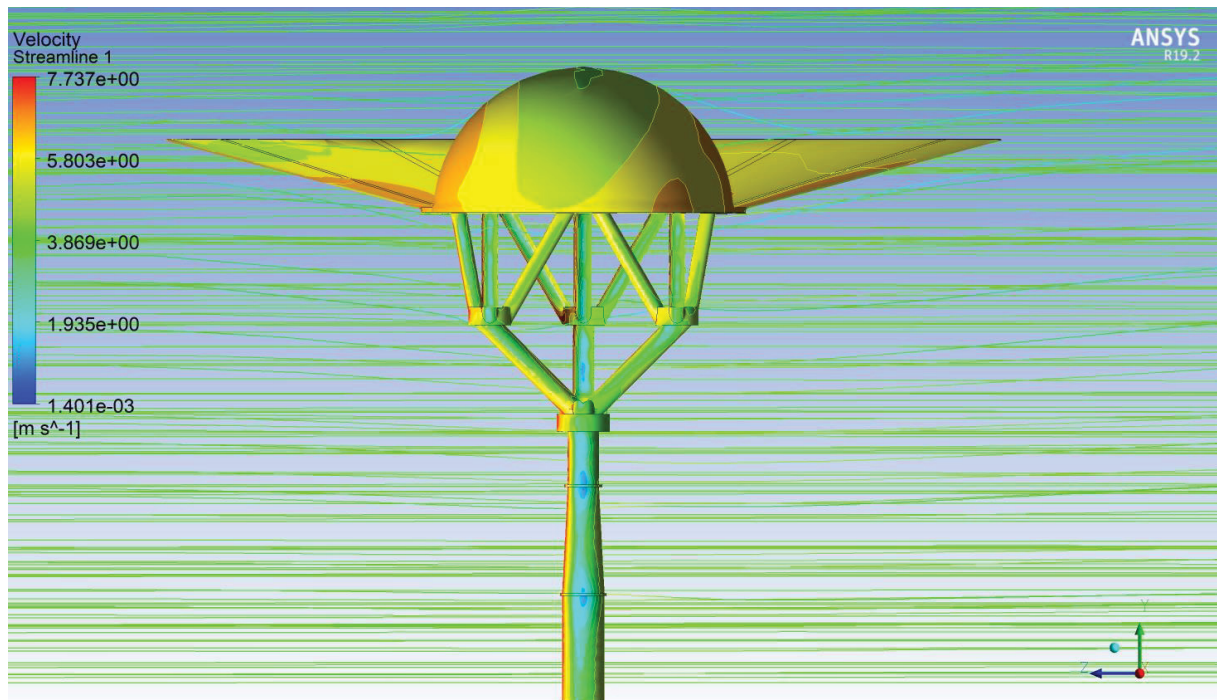
O valor apresentado tem relação com as áreas de maior pressão nas FIGURA 29 e FIGURA 30. Os valores presentes nas legendas dessas imagens estão em quilopascal (KPa), sendo que Pascal é a unidade para representação de pressão ou estresse, de acordo com o sistema internacional de unidades (2008). As próximas imagens representam pontos relacionados à direção e ao fluxo do vento da simulação.

FIGURA 31 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO – VETOR DE VELOCIDADE



FONTE: Silveira e Strobel (2019).

FIGURA 32 - SIMULAÇÃO ANSYS ARTEFATO - LINHAS DE FLUXO E VELOCIDADE



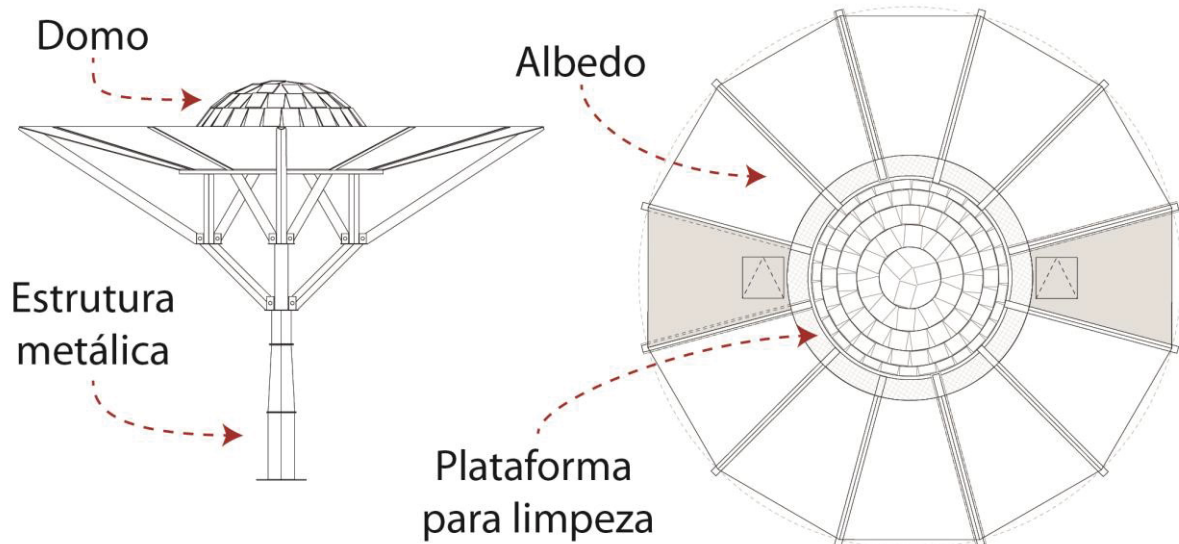
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

A partir das FIGURA 31 e FIGURA 32, é possível observar que a velocidade do vento (em metros por segundo - m/s) tem um impacto maior também na região do domo e do albedo, dada a coloração alaranjada dessas regiões, e uma interferência menor na região central do domo e da estrutura, onde podem ser observados pontos azuis. Na FIGURA 31, é possível notar, a partir da orientação e da cor dos vetores, a velocidade e a direção do fluxo do vento ao atingir o artefato, bem como o redirecionamento desses fluxos após o encontro com o objeto. Na FIGURA 32, é possível observar os fluxos de vento no entorno do artefato. Os valores presentes na legenda dessas imagens também estão em notação científica, como demonstrado na descrição das FIGURA 29 e FIGURA 30. Como já citado nesse texto, as demais imagens da simulação estão presentes na seção de anexos.

Utilizando a análise da interferência do vento no artefato, foi possível planejar, com o auxílio de profissionais de engenharia civil e engenharia mecânica, algumas melhorias para a estrutura, o material para o albedo, as dimensões e o modelo da fundação necessária. Nessa etapa, iniciou-se também a busca por empresas com disponibilidade para a produção do artefato de acordo com os parâmetros estipulados

para o projeto. O desenho do artefato com as melhorias na estrutura pode ser observado na sequência com a FIGURA 33.

FIGURA 33 - DESENHO FINAL DO ARTEFATO



FONTE: Dias e Silveira (2020).

As modificações que ocorreram no projeto do artefato após a análise do ANSYS e com o auxílio de diversas áreas do conhecimento resultaram nas especificações do projeto a ser executado, que pode ser observado de forma simplificada na FIGURA 33. O desenho com detalhes para a produção do artefato e o projeto da fundação podem ser encontrados na seção de anexos desse estudo.

As diversas opções e análises geradas culminaram em um artefato com 8 metros de diâmetro (incluindo o albedo) e 5,8 metros de altura (incluindo o domo). O projeto final do albedo é composto por vigas metálicas para sustentação e tracionamento de uma lona na cor branca. Esse material auxilia no controle das variáveis para a coleta de dados, possui a resistência necessária para o tempo destinado à coleta de dados, e diminui o peso total da estrutura (quando comparado ao uso de chapas metálicas para o albedo).

Atrelada ao albedo, foi incluída uma pequena plataforma em grade metálica para possibilitar a limpeza dos módulos quando necessário. O material escolhido para a plataforma permite o escoamento da água da chuva, e sua dimensão não interfere no albedo planejado com inclinação de 15° . Para realizar o acesso a essa plataforma, foi incluída uma porta de acesso, estruturada por uma chapa metálica. Aliado a essa plataforma, foi inserido um anel tubular para ancoragem de segurança do usuário responsável pela limpeza.

Para realizar o acesso à parte superior do artefato, é recomendado que o usuário utilize equipamento de proteção individual (EPI), como cinto de segurança tipo cadeirinha, conectores, cordas, talabarte de segurança e trava quedas. O acesso à plataforma é realizado por meio de escadas, fator que reduz o acesso de pessoas não autorizadas ou não equipadas à parte superior do artefato.

A sequência da parte superior do artefato se dá pelo domo, que proporciona a coleta de dados com os 124 módulos fotovoltaicos que o compõem. Esse domo é sustentado por uma estrutura metálica com tubos de 6 polegadas e espessura 5 milímetros. Como já demonstrado na TABELA 2, o posicionamento dos módulos foi calculado de forma a evitar o sombreamento, possibilitar a limpeza e oferecer diversas posições para a coleta de dados. Na parte inferior do domo, é posicionado o equipamento responsável pela coleta de dados e conexão dos 248 cabos provenientes dos módulos fotovoltaicos.

A sustentação do domo acontece por meio de braços metálicos posicionados na estrutura do artefato. Esses braços facilitam o transporte e a montagem da estrutura no local. Para a montagem da estrutura, são utilizados conectores e parafusos para a fixação. A estrutura do artefato é baseada em um pilar central estrutural, produzido em tubo de 8" e 5 mm. Com similaridade aos componentes que estruturam o albedo e o domo, a estrutura também é particionada, fator que auxilia no transporte e montagem do artefato no local destinado.

Para a fundação, foi solicitado auxílio a uma engenheira civil, professora no departamento de arquitetura da UFPR. O projeto da fundação também pode ser encontrado nos anexos. O projeto da fundação considerou o peso total da estrutura em torno de 850 kg, o torque decorrente do vento a 497 N, a força do vento (15 km/h) a 113 N, a força de tração no lado do artefato onde atinge o vento a 2113 N, e a força de compressão do lado oposto ao atingido pelo vento a 2113 N.

Com essas definições a respeito do artefato, foi possível realizar a busca e a contratação de empresas para a montagem da estrutura, para a fundação e para o fornecimento das lonas. Nesse momento foi realizada uma busca por empresas aptas a construir o equipamento de coleta de dados para as especificações do projeto. Optou-se por realizar a contratação da construção do equipamento de coleta de dados dada a necessidade de conhecimento técnico específico e a busca por maior confiabilidade nos dados obtidos.

Nessa etapa também foi definida a posição exata do artefato e realizada a solicitação de implantação no campus. O local selecionado está próximo à rua de acesso ao setor Biológicas e ao estacionamento do edifício da Administração, no Centro Politécnico da UFPR. Uma simulação da implantação do artefato está na FIGURA 34, que apresenta o local da construção e demonstra o resultado esperado após a montagem.

FIGURA 34 - SIMULAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO ARTEFATO



FONTE: Desenvolvido a partir do projeto do artefato por Silveira (2020).

Na simulação da FIGURA 34 é possível perceber visualmente o impacto no local escolhido e a relação do artefato com o entorno. Como a imagem apresenta uma simulação, algumas mudanças são esperadas para o produto final, como diferenças em relação a cores e texturas por exemplo. O desenho com o posicionamento específico pode ser observado nos anexos desse estudo.

Além dos pontos mencionados anteriormente, nesse estágio, foi realizada a escolha do nome e produzido um logotipo, que pode ser observado na FIGURA 35. O objetivo dessa produção é a utilização nos materiais de divulgação da pesquisa e no local de instalação do próprio artefato, em conjunto com uma explicação resumida dos módulos utilizados e dos objetivos do projeto. A apresentação dos resultados da pesquisa, bem como a demonstração do artefato fazem parte da divulgação das aprendizagens do projeto, e apresentam-se como um meio de ampliar o conhecimento a respeito da tecnologia no entorno da Universidade. O nome escolhido foi Zero, a

partir do conceito de edifícios com a energia líquida Zero, ou seja, o edifício produz toda a energia que utiliza.

FIGURA 35 - LOGOTIPO DO ARTEFATO

The image shows the logo for 'Artefato Zero'. The word 'ZERO' is written in a bold, black, sans-serif font. The letters are interconnected: the 'Z' and 'E' share a vertical stroke, the 'E' and 'R' share a vertical stroke, and the 'R' and 'O' share a vertical stroke. The 'O' is a simple circle with a small gap at the bottom. The overall design is clean and modern.

FONTE: Produzido pela autora (2020).

O logotipo é baseado no número zero, e sua apresentação é feita de forma direta, com elementos interligados e destacando a letra, ou número, no fim do nome. A marca pode ser aplicada de forma integral ou apenas com o símbolo “0” em preto, branco ou outras cores, de acordo com o tom do fundo utilizado. Esses pontos apresentam flexibilidade de usos e criam uma identidade para o projeto.

A sequência desse estudo apresenta os pontos relacionados à aquisição de dados do artefato e à avaliação geral do artefato até o presente momento, e segue para as aprendizagens, os resultados, discussões e as conclusões obtidas.

4.3.2 MODO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS DO ARTEFATO

A coleta dos dados do artefato visa abranger as quatro estações e as possíveis variações climáticas pelo período inicial de um ano, prazo esse que pode ser prolongado de acordo com a necessidade de pesquisas futuras. A prolongação do tempo de obtenção de dados tem relação direta com a manutenção realizada no artefato e a vida útil da lona e do equipamento de medição, inicialmente com duração mínima prevista para dois anos.

Dito isso, para a realização da coleta de dados foi contratada uma empresa capaz de desenvolver o equipamento necessário. Esse equipamento visa obter, por um período específico, os dados de cada um dos módulos fotovoltaicos instalados no

domo. Para isso, o equipamento de telemetria precisa estar conectado aos 248 cabos que são ligados aos 124 módulos. Esses dados são disponibilizados de forma remota, apresentando relatórios com a potência gerada pelos módulos fotovoltaicos.

Para a construção do equipamento, são montados, em um quadro de controle, três módulos *Load Switch*, que são responsáveis pela realização das leituras da potência proporcional a irradiação solar incidente nos módulos fotovoltaicos. No quadro de controle, também é inserido um módulo TRACER, disponibilizado pela empresa durante o período de aquisição de dados. Esse, opera como canal de comunicação do artefato com a internet. A empresa disponibiliza também um servidor TCP/IP para receber os dados coletados enviados pelo equipamento. Esses dados são fornecidos pela empresa, para o grupo de pesquisa, em forma de relatórios durante o período estabelecido para a aquisição de dados.

A obtenção de dados acontece com uma medição por hora e por módulo fotovoltaico no período entre 07 horas e 17 horas, visto que existem perdas no período anterior e posterior a esse horário. Nesse sentido, diariamente, são realizadas 1240 leituras da potência proporcional à irradiação solar. Essas leituras têm relação direta com a condição climática do local, a geração do módulo fotovoltaico e a reflexão gerada pelo albedo.

Os dados obtidos podem gerar gráficos de irradiação e de geração por refletância e podem ser comparados com simulações realizadas para a região em que o estudo é realizado. A comparação dos dados obtidos com as simulações realizadas pode auxiliar na realização de projetos BIPV e PIPV, ao auxiliar na conferência de dados provenientes de simulações.

4.3.3 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

A respeito da avaliação do artefato, Lacerda et al. (2013 p. 751) apontam que o seu principal resultado são as decisões que acontecem durante o processo e o desempenho alcançado que comprovam ou não a adequação do artefato para a solução do problema. Lacerda et al. (2013 p.752-755) lembram ainda que a avaliação do constructo (onde o artefato desse estudo está incluso) diz respeito ao seu valor e utilidade para os usuários, bem como sua facilidade de uso e integridade, entre outros fatores. Os autores comentam também que a avaliação final do artefato não dispensa

as avaliações realizadas em cada etapa do método, visto que essas avaliações auxiliam no processo de desenvolvimento.

No caso desse estudo, no desenvolvimento do artefato se encontrou diversas adversidades, que comprometeram sua finalização durante o período de tempo disponível. Essas adversidades demonstram diversos pontos abordados na revisão teórica, e as dificuldades do mercado brasileiro em absorver a tecnologia fotovoltaica. A partir desse fator, a avaliação do artefato se dá por meio de um método descritivo, apontando os problemas e soluções encontrados no processo de desenvolvimento.

O primeiro problema encontrado para o desenvolvimento do artefato foi a limitação de módulos fotovoltaicos no mercado nacional, tanto em relação ao tamanho e modelo quanto à geração da tecnologia comercializada. Houve comprometimento do processo também em negociações falhas com empresas nacionais para o desenvolvimento de módulos personalizados. Para solucionar esse problema, os módulos de segunda e terceira geração foram importados, fator que levou ao segundo problema de desenvolvimento.

Em segundo lugar, está a questão relacionada ao tempo demandado em diversas etapas do processo. Inicialmente, o comprometimento de prazos se deu em relação aos processos de importação de materiais, que são mais longos e passam por diversas burocracias, incluindo especificações dos materiais e a busca pelo encaixe em programas de redução de impostos para a importação de módulos fotovoltaicos. A solução encontrada foi a busca por auxílio de setores da universidade responsáveis pela importação de materiais, que auxiliaram na documentação necessária e na contratação de transporte.

Em terceiro lugar, está a contratação das empresas para a construção da fundação, estrutura, lonas e equipamento de coleta de dados do artefato. Como o projeto é incomum no cenário brasileiro, houve um aumento no tempo necessário para encontrar empresas dispostas a produzir as diversas partes da construção do artefato. A solução nessa etapa foi o desenho de peças de lona individuais e de formatos geométricos, para facilitar o corte e instalação, bem como uma busca exaustiva por empresas de estruturas metálicas e de telemetria na região de Curitiba-PR que se dispusessem a entender as especificidades do projeto e o seu contexto, bem como a realização de diversas reuniões que incluíram debates e auxílio na escolha dos processos para a criação do artefato. A dificuldade na contratação da fundação se deu por ela ser muito pequena em relação a obras da construção civil convencionais. A

solução dessa dificuldade também aconteceu a partir do contato com diversas empresas e detalhamento do projeto.

A última questão que comprometeu a finalização do artefato no prazo do presente estudo é a pandemia ocasionada pelo COVID-19. O problema relacionado à pandemia se deu na interrupção do transporte de um dos módulos fotovoltaicos em processo de importação, e no prolongamento do tempo de análise e contratação de algumas empresas necessárias para a finalização do artefato. A solução para esse problema foi o adiamento na finalização do artefato e posterior publicação de novos estudos com a avaliação final do artefato e os dados coletados.

Considerando os problemas e soluções descritos anteriormente, é possível perceber que o artefato, mesmo antes de sua finalização, é útil na solução de problemas relacionados ao uso da energia solar fotovoltaica em produtos BIPV e PIPV. O processo de desenvolvimento do artefato demonstra a fragilidade do mercado em relação à disponibilidade de módulos alternativos aos de primeira geração, ou até mesmo a ausência de módulos de primeira geração adaptados para a utilização como peças construtivas, a ausência de sistemas de montagem que promovam estanqueidade para a realização da substituição de peças construtivas convencionais por módulos fotovoltaicos, e a falta de equipes multidisciplinares para o avanço da tecnologia tanto em edificações quanto em produtos de design.

No que tange o *Design Science Research*, é possível apontar que o artefato proporcionou, até o momento, diversas aprendizagens que podem ser generalizadas para as classes de problemas encontradas. O artefato também proporciona bases para discussões a respeito do mercado fotovoltaico brasileiro, e possíveis avanços, ao considerar as diversas possibilidades apresentadas pela integração dos módulos em produtos e edifícios. Esses pontos são abordados no tópico a respeito da aprendizagem, resultados e discussões.

5 APRENDIZAGEM, RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o que foi mencionado no tópico sobre a AVALIAÇÃO DO ARTEFATO, diversos contratempos foram encontrados durante o processo de desenvolvimento do projeto. Essas questões representaram, de forma bastante próxima, a realidade do mercado fotovoltaico brasileiro e demonstraram a necessidade do desenvolvimento deste mercado para tornar possível a aplicação de conceitos BIPV e PIPV em um cenário local e de forma mais acessível, evitando a necessidade de importações.

Durante as fases do projeto do artefato, foi possível entender a proximidade de um estudo que utiliza *Design Science Research* com a rotina de projetos de design, nos quais, ao entender o problema, acontece uma busca pela possível solução, incluindo diversas gerações de alternativas e avaliações para encontrar a opção mais adequada como solução do problema. Nesse ponto, foi perceptível a necessidade de uma documentação cautelosa de todo o processo com o objetivo de permitir o entendimento do projeto e viabilizar a pesquisa.

Como aprendizado promovido por esse estudo, podem ser citados o entendimento, mesmo que de forma básica, das três gerações de módulos fotovoltaicos e suas implicações para o uso de forma integrada à arquitetura e ao design, o conhecimento das possibilidades de uso da energia solar fotovoltaica no Brasil, não restringindo-o a instalações em telhados e estruturas separadas dos edifícios, a necessidade de equipes multidisciplinares para o entendimento e desenvolvimento da tecnologia com foco no modo de construção nacional, a possibilidade da utilização, em um primeiro momento, de exemplos internacionais para o desenvolvimento do mercado e dos modos de utilização de módulos fotovoltaicos, e a necessidade da criação de várias alternativas para atingir um resultado satisfatório como solução de um problema, lembrando que essa solução pode não ser única, e que o seu desenvolvimento pode ser aperfeiçoado ao utilizar o conhecimento de outras áreas e realizar as modificações necessárias para atender melhor ao objetivo.

O projeto do artefato concluído nesse estudo apronta os meios necessários para sua construção e espera-se que, com a finalização do artefato e a realização da coleta de dados, bem como sua análise em estudos futuros, possa ser realizada uma comparação desses dados com simulações realizadas para a área do campus em que

o projeto do artefato está inserido. Tal comparação tem o intuito de entender as particularidades encontradas na medição em condições reais de uso com aquelas estabelecidas para a geração de dados de simulação. Com isso, é possível realizar algumas generalizações sobre as diferenças e similaridades encontradas nos dois métodos de obtenção de dados.

A contribuição dos resultados do estudo para a solução das classes de problemas encontradas no início deste texto se dá nos seguintes pontos:

- Na integração fotovoltaica com a arquitetura – demonstra possibilidades de uso dos materiais e apresenta particularidades de módulos que podem ser utilizados, mesmo que dependendo de importação, gerando alternativas para pesquisas e desenvolvimento desse tema.
- Na diversificação da matriz energética brasileira – esse estudo traz informações a respeito da energia solar fotovoltaica e demonstra pontos a serem considerados no projeto e instalação dos módulos. Esses pontos podem auxiliar na transmissão do conhecimento a respeito da tecnologia e trazem indícios de como melhorar a aplicação de módulos fotovoltaicos em ângulos e direções não ideais.
- No conhecimento da tecnologia, tanto por parte do mercado quanto pela sociedade – no decorrer desse texto são apresentadas diversas opções de módulos fotovoltaicos e uma descrição dos principais pontos de cada modelo. Essas informações podem ser utilizadas como ponto de partida para pesquisas mais aprofundadas em relação aos módulos. Em relação à aceitação por parte da sociedade, os exemplos de instalações realizadas de forma integrada auxiliam, ao demonstrar que é possível melhorar a estética da construção, ou apenas não comprometê-la, ao utilizar esses módulos.

Outras contribuições desse estudo para as classes de problemas encontradas têm relação direta com a construção do artefato, coleta e análise dos dados obtidos. Tais contribuições serão divulgadas por meio de estudos futuros de acordo com os próximos passos realizados no projeto ANEEL/COPEL PD 2866-0470-2017.

A partir desse estudo e das aprendizagens demonstradas nesse tópico, propõe-se a discussão sobre os possíveis modos de inserção da tecnologia fotovoltaica na sociedade brasileira, seus problemas, benefícios e barreiras a serem

enfrentadas. Questiona-se ainda o papel do design em relação à energia solar fotovoltaica, tanto no sentido de projeto quanto no âmbito da gestão do design, bem como as possíveis contribuições e desafios ao realizar pesquisas incluindo designers em grupos multidisciplinares a respeito desse tema.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando todas as etapas desse estudo, é possível afirmar que o problema inicialmente proposto foi resolvido ao finalizar o projeto do artefato, solucionando todos os problemas que ocorreram durante o processo, e que foram mencionados no tópico da AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.

Os diversos problemas encontrados durante as etapas de desenvolvimento do artefato demonstraram algumas das lacunas da utilização da tecnologia fotovoltaica no Brasil, e deixam possibilidades de estudo e desenvolvimento da área em aberto. Esses são abordados nas recomendações para trabalhos futuros.

Em relação ao objetivo geral desse estudo, ele foi cumprido no que tange as etapas do projeto do artefato. Os objetivos específicos alcançados na realização do objetivo geral.

A construção e a avaliação dos dados gerados pelos módulos fotovoltaicos encontram-se em andamento para possibilitar estudos futuros e proporcionar maior profundidade ao tema. A construção segue, de forma resumida, os seguintes passos: construção e secagem da fundação, montagem da estrutura, fixação dos módulos na estrutura do domo, instalação das lonas que formam o albedo, e a instalação do equipamento de telemetria responsável pela aquisição dos dados.

Até o presente momento, os produtos para a construção do artefato foram adquiridos e armazenados. O local de implantação foi autorizado, as empresas foram selecionadas e a construção foi iniciada. A finalização do artefato conta com os cuidados necessários em relação ao COVID-19, seguindo as normas estabelecidas pelo governo e pela universidade.

A utilização do *Design Science Research* como método de pesquisa proporcionou um entendimento geral do tema e encaminhou o estudo para os resultados apresentados. A revisão da bibliografia demonstrou diversos pontos que foram encontrados na prática durante o desenvolvimento desse estudo. Contudo, grande parte dos materiais bibliográficos encontrados a respeito dos assuntos

tratados está em língua estrangeira, reduzindo o acesso àqueles que não dominam ao menos um idioma além do português.

Esse trabalho, ao reunir diversos pontos relacionados à energia solar por conversão fotovoltaica, busca apresentar material teórico de fácil entendimento para auxiliar na generalização das soluções encontradas para as classes de problemas. Alguns termos, recorrentes ao design ou aos aspectos da conversão da energia solar fotovoltaica são explicados, mesmo que de forma resumida, com o intuito de possibilitar a leitura e o entendimento de todos os pontos, independente da área de domínio do leitor.

Como forma de divulgação dos resultados obtidos em estudos futuros, após a divulgação dessa dissertação, são utilizados relatórios, artigos em revistas e congressos, cursos e palestras a respeito do tema, bem como a disponibilização de dados no local do artefato e de forma *on-line*.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do desenvolvimento do projeto do Artefato Zero, surgem diversas possibilidades de trabalhos futuros com objetivo de entender melhor o comportamento da energia solar fotovoltaica em direções não ideais. Esses trabalhos podem englobar a realização da coleta de dados por períodos que incluem solstícios e equinócios, bem como sua respectiva análise e comparação com simulações realizadas para a mesma localização e período do ano.

Outra opção é a realização de estudos com ampliação do tempo de coleta de dados. Com essa opção, seria possível acompanhar fenômenos climáticos que acontecem em espaços de tempos maiores. Nesse caso, também é possível alterar o índice de refletância do albedo e entender sua interferência nos diversos tipos de módulos fotovoltaicos.

Ainda como opção de um trabalho futuro, está a construção de outro artefato para efeito de comparação da solução alcançada. Outro artefato também pode incluir diferentes módulos fotovoltaicos ou diferentes medidas, que não foram utilizados nesse estudo, bem como soluções alternativas à parte estrutural e a fixação dos módulos na estrutura.

Como recomendação para trabalhos que envolvem a energia solar por conversão fotovoltaica no Brasil, até mesmo para as opções citadas nessa seção,

podem ser mencionadas a busca por trabalhos internacionais no mesmo tema, bem como a observação de lançamentos da indústria de módulos BIPV, de sistemas de montagem e o contato com empresas do ramo. Também é importante o contato com empresas brasileiras que comercializam e instalam módulos fotovoltaicos, para entender as necessidades e limitações existentes.

De modo geral, a interação entre Design e Arquitetura como áreas acadêmicas e o conceito de PIPV se mostram um campo fértil para aprofundamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ADAMOVIC, N. ZIMMERMANN, A. CAVIASCA, A. HARBOE, R. IBANEZ, F. Custom designed photovoltaic modules for PIPV and BIPV applications. **Renewable and Sustainable Energy** V.9, (021202), 2017. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1063/1.4979820> Acesso em 16 jul. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Normativa 482/2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf> Acesso em 23 abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cadernos temáticos ANEEL: Energia assegurada**. Brasília. ANEEL 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Glossário**. ANEEL 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. Brasília. ANEEL, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10899**: Energia solar fotovoltaica — Terminologia. Rio de Janeiro 2013.

ALSEMA, E.A.; ELZEN, B.; REICH, N.H.; VAN SARK, W.G.J.H.M.; KAN, S.Y.; SILVESTER, S.; VEEFKIND, M.; JELSMA, J. Towards an optimized design method for pv-powered consumer and professional applications – the syn-energy project. **Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition**. (3-936338-19-1) p. 1981-1984, Barcelona, 2005.

ANDREWS, R.W.; PEARCE, J.M (2013). The effect of spectral albedo on amorphous silicon and crystalline silicon solar photovoltaic device performance. **Solar energy**, 91, 233-241.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). **Relatório síntese do balanço energético nacional - BEN 2019**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben> Acesso em: 27 mar. 2020.

BAXTER, M. R. **Projeto de produto**: guia prático para o design de novos produtos. Tradução Ilda, I. 2 ed. São Paulo. Blucher, 2000.

BONETTO, M. Simulação numérica da radiação total em um artefato de coleta de dados na UFPR (campus politécnico). Trabalho de conclusão de curso (engenharia ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

BRENNAN, M.P.; ABRAMASE A.L.; ANDREWS, R.W.; PEARCE, J.M. Effects of spectral albedo on solar photovoltaic devices. **Solar energy materials & Solar cells**,

V. 124, p. 111-116, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.01.046>
Acesso em 16 jul. 2018.

CASTELHANO, F. J.; ROSEGHINI, W. F. F. Caracterização da dinâmica dos ventos em Curitiba-PR. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), V. 22, n. 1, p. 227-240, mês. 2018. ISSN 2179-0892. Disponível em:
<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/123088> Acesso em 16 jul 2020.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Nota Técnica Produção De Silício Grau Solar No Brasil, Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica**, 2008. Brasília, 2009. Disponível em:
<https://www.cggee.org.br/documents/10195/734063/Produ%C3%A7%C3%A3o+de+sil%C3%ADcio+grau+solar+no+Brasil+Nota+T%C3%A9cnica+CGEE+13+5304.pdf/838757da-f731-4520-8f0d-5016fad66f19?version=1.0> Acesso em: 21 mai. 2019.

CERÓN, I. MARTIN, E. C. E NEILA, F. J. 'State-of-the-art' of building integrated photovoltaic products. **Renewable Energy** V. 58, p. 127-133 (0960-1481), 2013. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148113001225?via%3DiHub> Acesso em 17 jun. 2020.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO - CRESESB (2014) **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual+de+Engenharia+FV+2014.pdf> Acesso em: 17 abr 2018.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESESB, 2008. Disponível em:
http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321
Acesso em: 23 mai. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA N° 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre impacto ambiental. Brasília 1986. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF> Acesso em: 21 mai. 2019.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA – COPEL. **Demanda**, 2018. Disponível em:
<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Faltatensao%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FF5EAD992942579F903257EBB0042F764#> Acesso em: 21 mai. 2019.

DRESCH, A; LACERDA, D. P; ANTUNES JR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. (ISBN: 978-85-8260-298-0) Bookman, 2015

EL MGHOUCHI, Y; CHHAM, E; KRIKIZ, M. S; AJZOUL, T; EL BOUARDI, A. On the prediction of the daily global solar radiation intensity on south-facing plane surfaces

inclined at varying angles. **Energy Conversion and Management**. V.120 (0196-8904), p. 397-411. 2016.

ENIWA AG. Disponível em: <https://www.eniwa.ch/de/ueber-uns.html> Acesso em 17 dez 2019

ESCRITÓRIO de eficiência energética e energias renováveis dos Estados Unidos (2019) Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/solar/organic-photovoltaics-research> Acesso em: 23 mai. 2020

FACULTY OF TEXTILE AND CLOTHING TECHNOLOGY. Disponível em: <https://www.hs-niederrhein.de/faculties/textile-and-clothing-technology/> Acesso em 19 dez 2019

FARIA JR, H; TRIGOSO, F. B. M; CAVALCANTI, J. A. M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: challenges and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 75 (1364-0321) p. 469-475. 2017.

FERREIRA, A.; KUNH, S. S.; FAGNANI, K. C.; DE SOUZA, T. A.; TONEZER, C.; DOS SANTOS, G. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. **Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, V. 81, p. 181–191, 2018.

FIRST SOLAR. Disponível em: <http://www.firstsolar.com/en-EMEA/> Acesso em 18 jun 2020.

FRANHOFER ISE. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/> Acesso em 16 jul. 2019.

FROTA, A. B. **Manual de Conforto Térmico**: Arquitetura, urbanismo. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GCELL. Disponível em: https://gcell.com/wp-content/uploads/GCell_Brochure_G0201a_Web_2014.pdf.pdf Acesso em 18 jun 2020

GLOBAL SOLAR ATLAS. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/download/brazil> Acesso em 16 jul. 2020.

HOCHSCHULE NIEDERRHEIN. Disponível em: <https://www.hs-niederrhein.de/startseite/> Acesso em 17 dez 2019

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, **Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2020**, Disponível em: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA_PVPS_Snapshot_2020.pdf Acesso em 16 jul. 2020.

INFINITYPV. Disponível em: <https://infinitypv.com/> Acesso em 18 jun 2020

ETH - INSTITUTO FEDERAL DE TECNOLOGIA DE ZURIQUE. Disponível em: <https://ethz.ch/en/the-eth-zurich/organisation.html> Acesso em 16 jul. 2019.

KADAWITTFELDARCHITEKTUR. Disponível em: <https://www.kadawittfeldarchitektur.de/> Acesso em 17 dez 2019

KANNAN, N; VAKEESAN, D. Solar energy for future world: - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 62 (1364-0321) p. 1092-1105. 2016.

LACERDA, D. P; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JR. J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**. V. 20, n. 4, p. 741-761. São Carlos, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000400001&lng=pt&nrm=iso Acesso em 26 jun. 2020.

MACHADO, C.T.; MIRANDA, F.S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**. V. 7, (1984-6835), p. 126-143. 2014.

MARTINS, J. C. M. **Introdução ao design do produto modular: considerações funcionais, estéticas e de produção**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de engenharia da Universidade do Porto em parceria com a Escola Superior de Artes e Design de Matosinhos. 115 p. 2002. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12110/2/Texto%20integral.pdf> > Acesso em 22 mai 2019.

MEGASOL. Disponível em: <https://megasol.ch/en/> Acesso em 17 dez 2019

MGHOUCI, Y EI. CHHAM, E. KRIKIZ, M. S. AJZOUL, T. BOUARDI, A EL. On the prediction of the daily global solar radiation intensity on south-facing plane surfaces inclined at varying angles. **Energy conversion and management**. V.120, p. 397- 411, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes** – Projeteee. <http://projeteee.mma.gov.br/> Acesso em 10 jun. 2019.

MOHAJERI N; UPADHYAY, G; GUDMUNDSSON, A; ASSOULINE, D; KÄMPF, J; SCARTEZZINI, J. L. Effects of urban compactness on solar energy potential. **Renewable Energy**. V. 93 (0960-1481) p. 469-482. 2016.

MORI, S; OHKA, H; NAKAO, H; AMANO, A; TODORI, K; TOSHIBA; NEDO. Film-Based Large-area Perovskite Photovoltaic Module Development. **Asia-Pacific International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics: IPEROP20**, Tsukuba-shi, Japão, 2020 Disponível em: <https://www.nanoge.org/proceedings/IPEROP20/5d68e1bc09f27c0f7bf24948> Acesso em 16 jul 2020.

MYERS, M; VENABLE, J. A set of ethical principles for design science research in information systems. **Information & Management**. V. 51 (6) p. 801-809. 2014.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378720614000081?via%3Dihub> Acesso em 16 jul 2020.

NEW BLAUHAUS. Disponível em: <https://www.kadawittfeldarchitektur.de/en/projekt/new-blauhaus/> Acesso em 17 dez 2019

NEGAMI, T; HIGUCHI, H; NISHIHARA, T; UCHIDA, R; YAMAMOTO, T; MATSUI, T; KANEKO, Y; PANASONIC. Perovskite Photovoltaic Modules Fabricated by Ink Jet Printing. **Asia-Pacific International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics: IPEROP20**, Tsukuba-shi, Japão, 2020. Disponível em: <https://www.nanoge.org/proceedings/IPEROP20/5d8c4139960ab41fd528d73c> Acesso em 16 jul 2020.

NREL *National Renewable Energy Laboratory*. **Organic Photovoltaic Solar Cells** Disponível em: < <https://www.nrel.gov/pv/organic-photovoltaic-solar-cells.html>> Acesso em 23 mai 2019.

PANASONIC. Disponível em: <https://news.panasonic.com/global/press/data/2020/02/en200207-2/en200207-2.html#:~:text=Kawasaki%2FOsaka%2C%20Japan%20%2D%20Panasonic,coating%20method%20based%20on%20inkjet> Acesso em 18 jun 2020

QUERINO, C.A.S., MOURA, M.A.L., R.F.F. LYRA, MARIANO, G.L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. **Rev. Bras. de Meteorologia**. V. 21(3a), p. 42 - 49, 2006.

RAPHAEL, E; SILVA, M. N; SZOSTAK, R; SCHIAVON, M. A; NOGUEIRA, A. F. Células Solares de Perovskitas: Uma Nova Tecnologia Emergente. **Química Nova** V. 41, N. 1, p. 61-74, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v41n1/0100-4042-qn-41-01-0061.pdf> Acesso em 24 mai 2019.

REINDERS a; AKKERMAN R. Design, production and materials of PV powered consumer products - the case of mass production. **Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition**. (3-936338-19-1) p. 1981-1984, Barcelona, 2005.

REINDERS A. BOER A. WINTER A. HAVERLAG M. Designing PV powered led products – integration of PV technology in innovative products. **Proceedings of 24th EU Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition**. (3-936338-25-6) p. 3179-3183, Munich, 2009.

RENE SCHMID ARCHITEKTEN. Disponível em: <https://reneschmid.ch/> Acesso em 17 dez 2019

SANTOS, A.D. **Seleção do Método de Pesquisa**: guia para pós-graduandos em Design e áreas afins. Curitiba: Insight, 2018.

SANTOS, I. P. **Desenvolvimento De Ferramenta De Apoio À Decisão Em Projetos De Integração Solar Fotovoltaica à Arquitetura**. Tese (doutorado) -

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2013. Disponível em <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/106916> Acesso em 23 abr 2018.

SCHMID A. L. **Insolação e iluminação natural na Arquitetura**. Material de aula do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR – Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2020.

SHARMA, K., SHARMA, V. & SHARMA, S.S. Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status. **Nanoscale Res Lett** V. 13, n. 381. 2018. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2760-6>. Disponível em: <https://nanoscalereslett.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s11671-018-2760-6> Acesso em 26 Jun. 2020

SILVA R. M. Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Brasília: **Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado**. 166 (1983-0645) 2015.

SINOSOLA, MODELO SA10 – 36P. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom/upload/File-1534450601.pdf> Acesso em 15 mai 2018

SLAOUI, A. Inorganic materials for photovoltaics: Status and futures challenges. **EPJ Web of Conferences, 5th course of the MRS-EMRS Materials for Energy and Sustainability and 3rd course of the EPS-SIF International School on Energy**. V. 148 n.7. 2017. Disponível em: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2017/17/epjconf_eps-sif2017_00007/epjconf_eps-sif2017_00007.html Acesso em 20 nov 2018.

SUDHAKAR, Y. N., SELVAKUMAR, M., & BHAT, D. K. (2018). Biopolymer Electrolytes for Solar Cells and Electrochemical Cells. **Biopolymer Electrolytes**, 117–149. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813447-4.00004-2> Acesso em 13 ago. 2019.

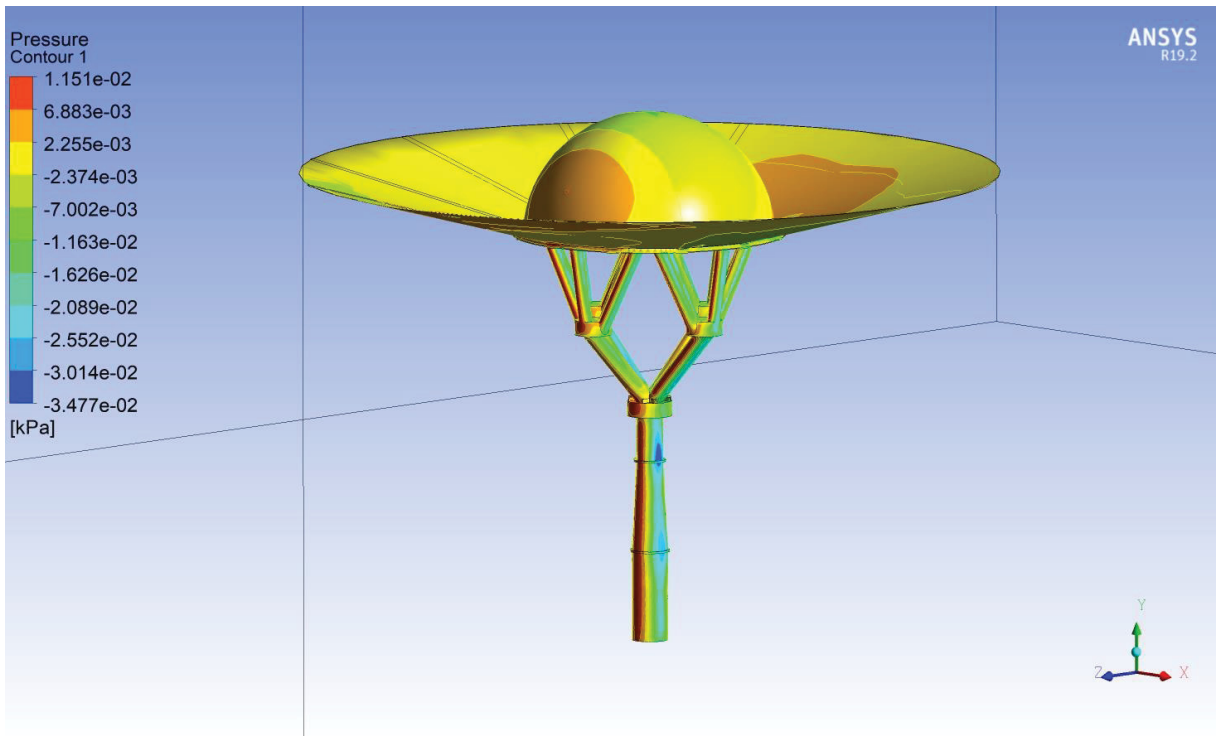
SZOSTAK, R. **Células solares híbridas baseadas em perovskitas**. 2016. 67 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/325496> Acesso em: 31 ago. 2018.

UMWELT ARENA. Disponível em: <https://www.umweltarena.ch/> Acesso em 17 dez 2019

VILLALVA, M. G; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Ética Ltda. 2013. Vol 1. 224p.

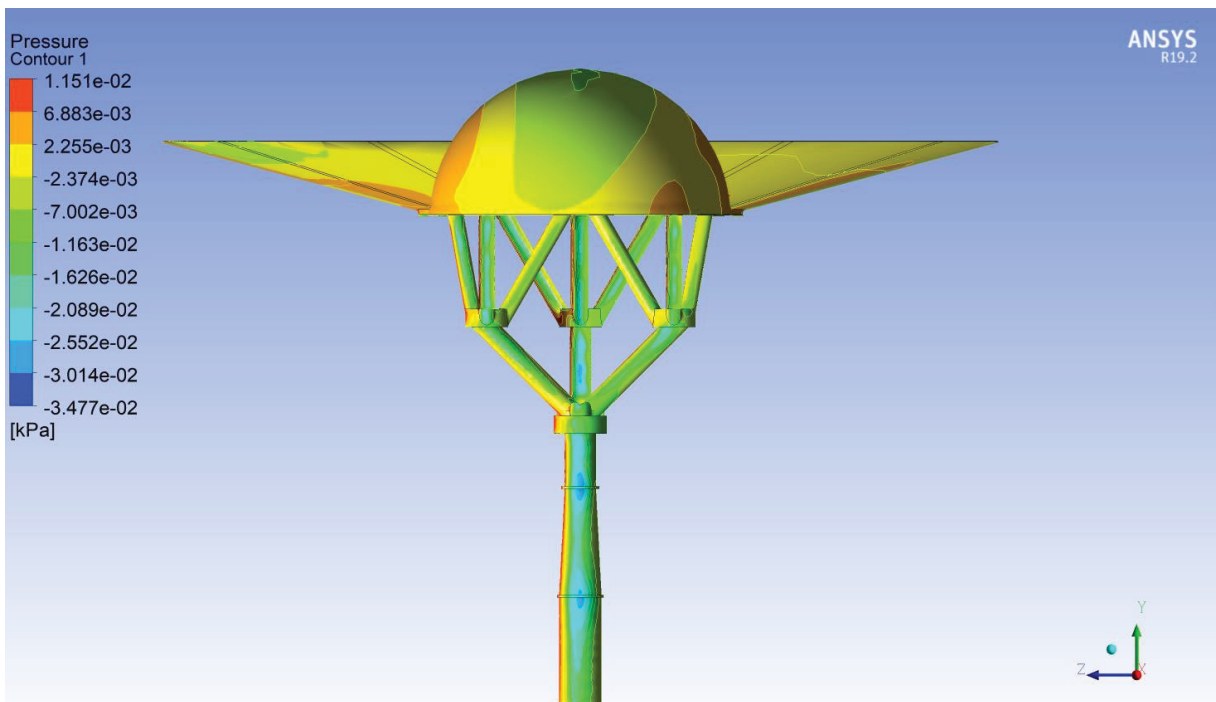
YAMAMOTO, N. A. D. **Células Solares Orgânicas Baseadas nas Estruturas Heterojunção em Bicamada e Heterojunção de Volume** Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 133 f. 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/36465> Acesso em 18 fev. 2020.

APÊNDICE 1. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 1



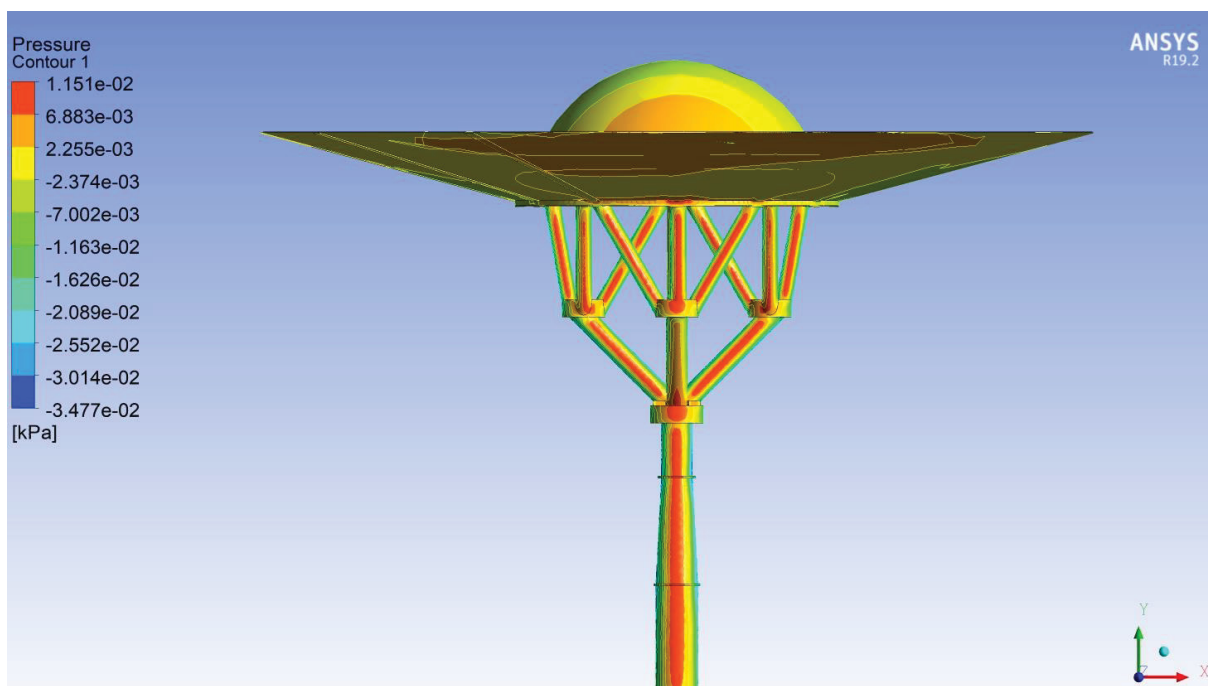
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 2. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 2



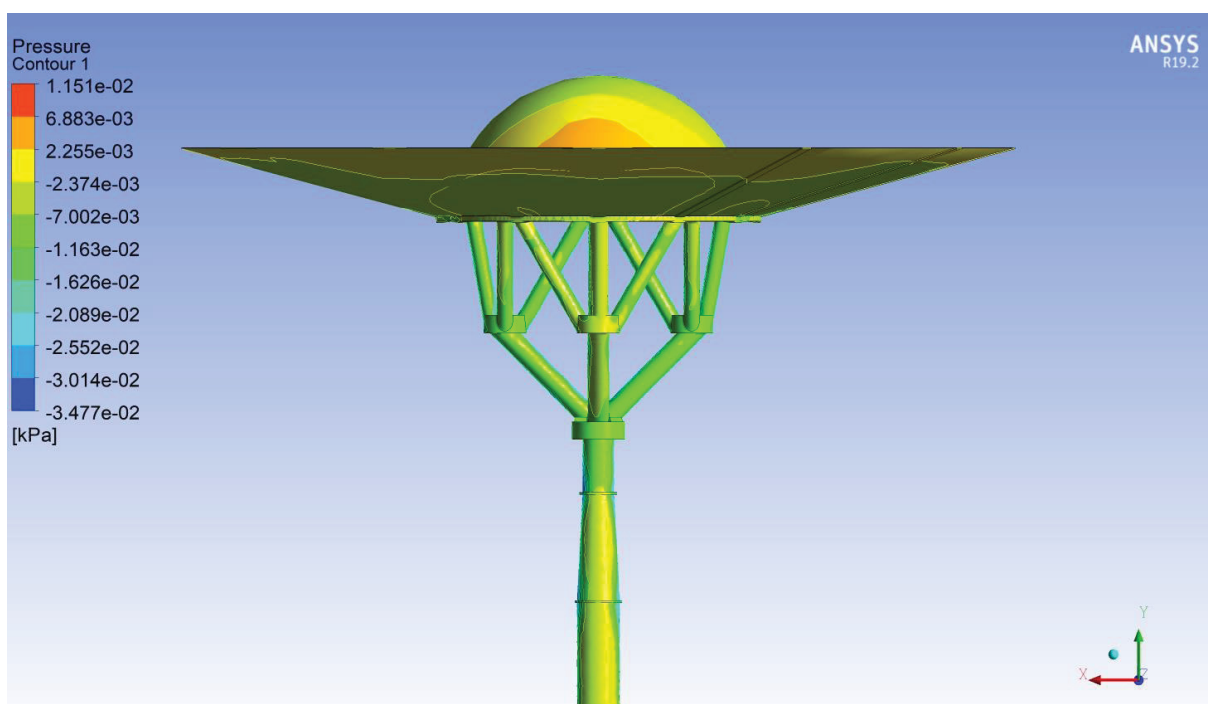
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 3. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 3



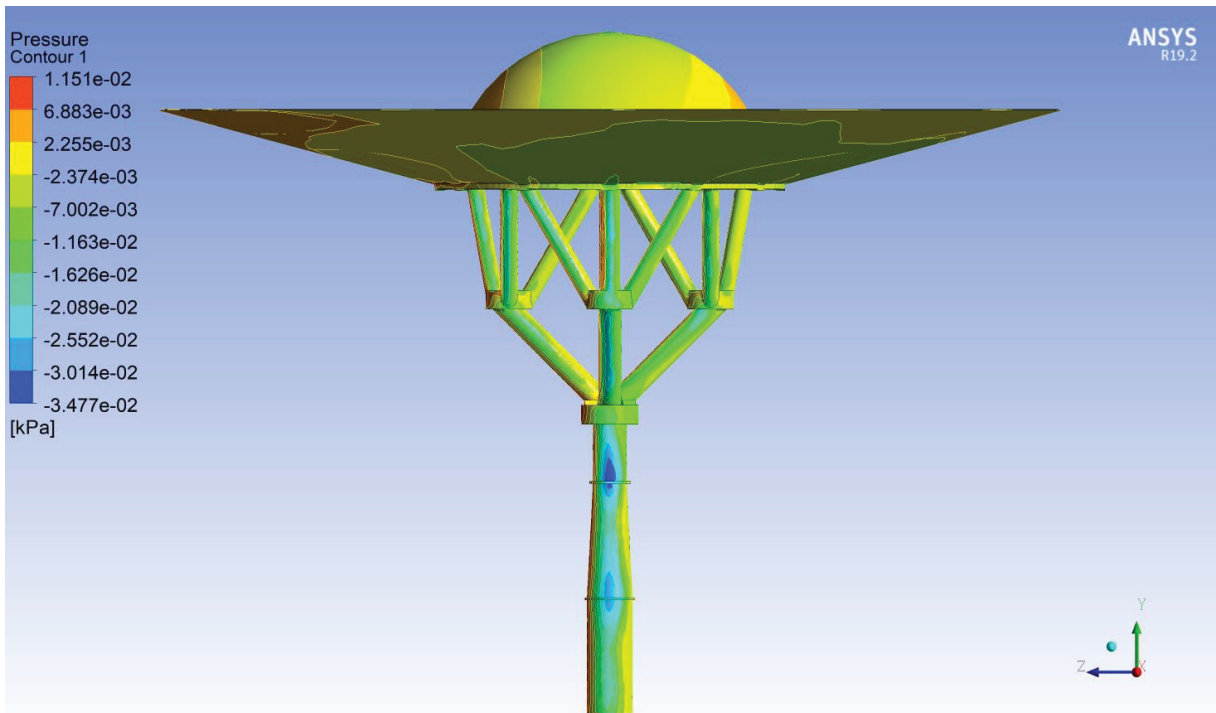
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 4. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 4



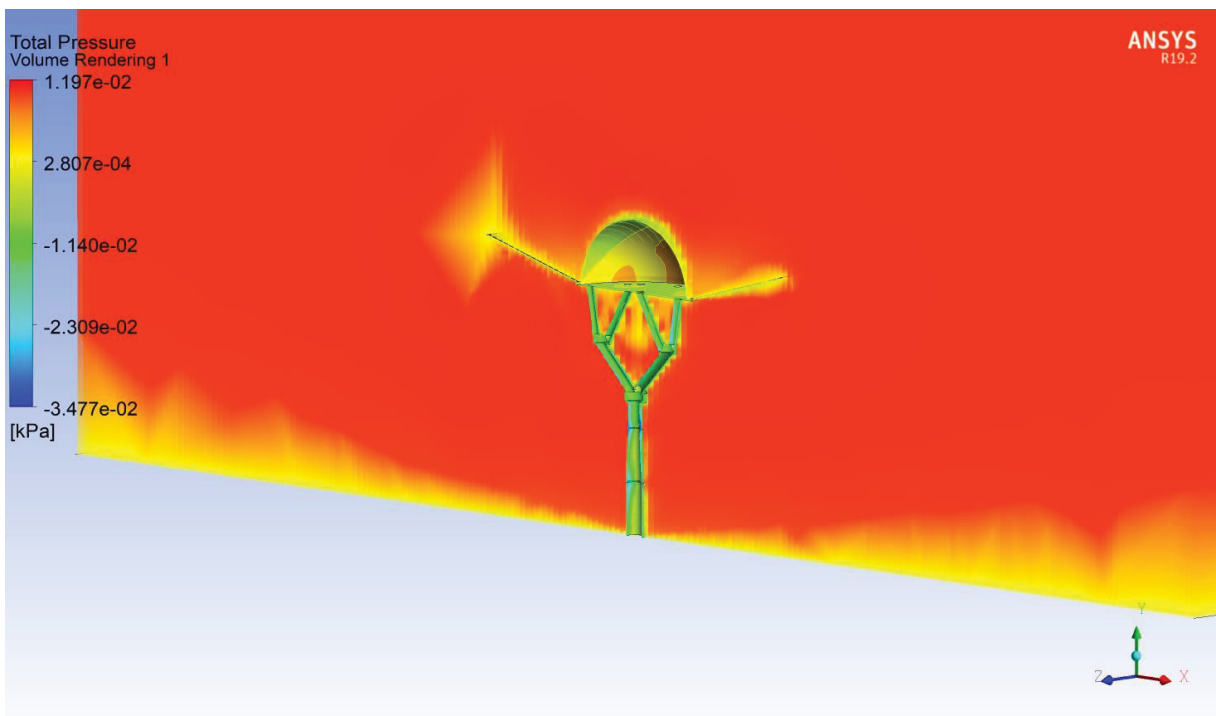
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 5. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO CONTORNO 5



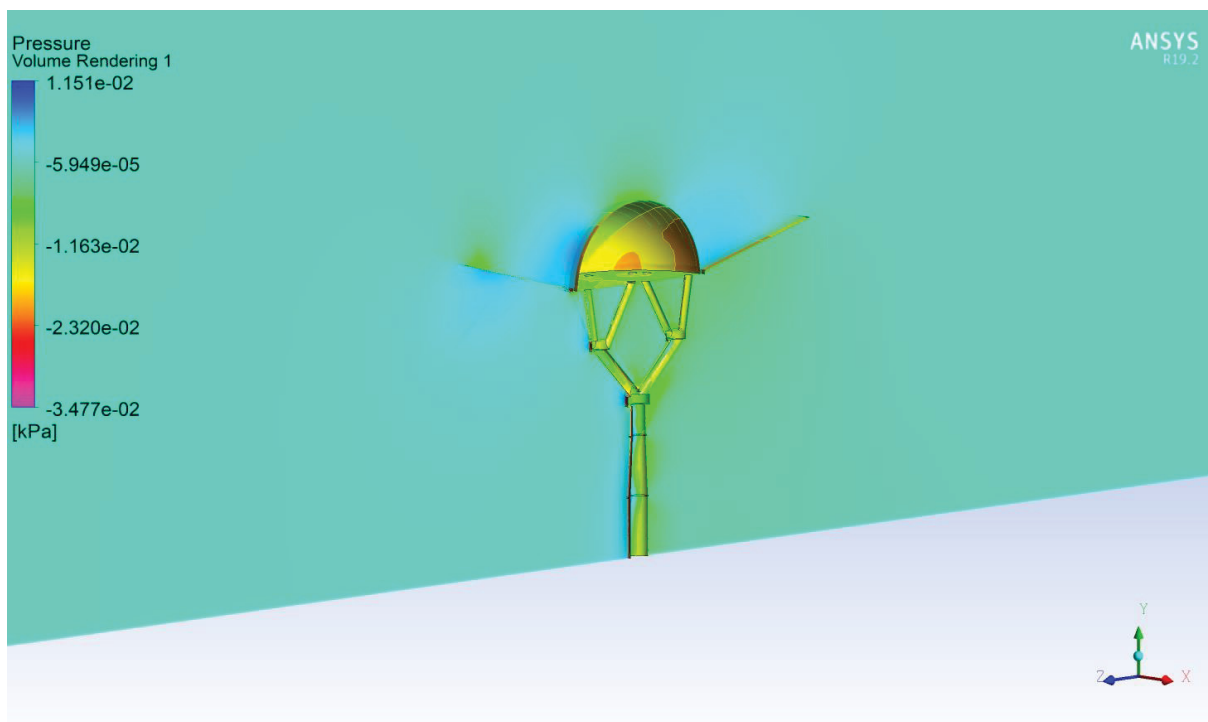
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 6. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO VOLUME 1



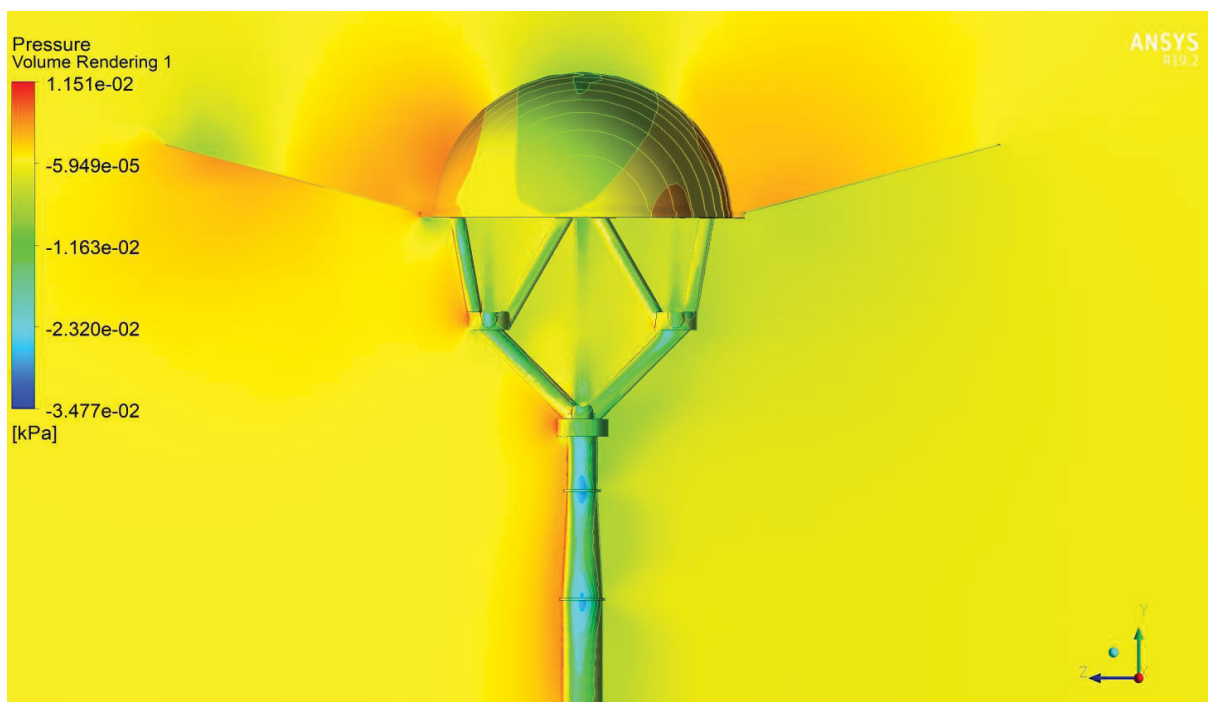
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 7. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO VOLUME 2



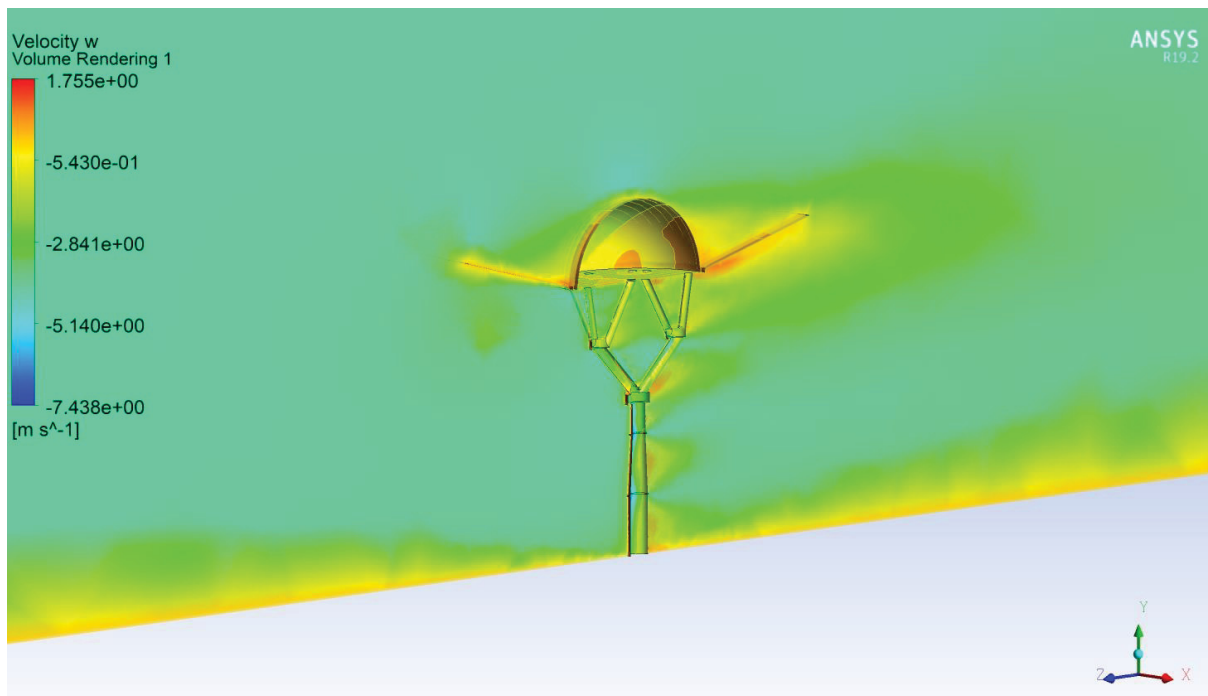
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 8. SIMULAÇÃO ANSYS – PRESSÃO NO VOLUME 3



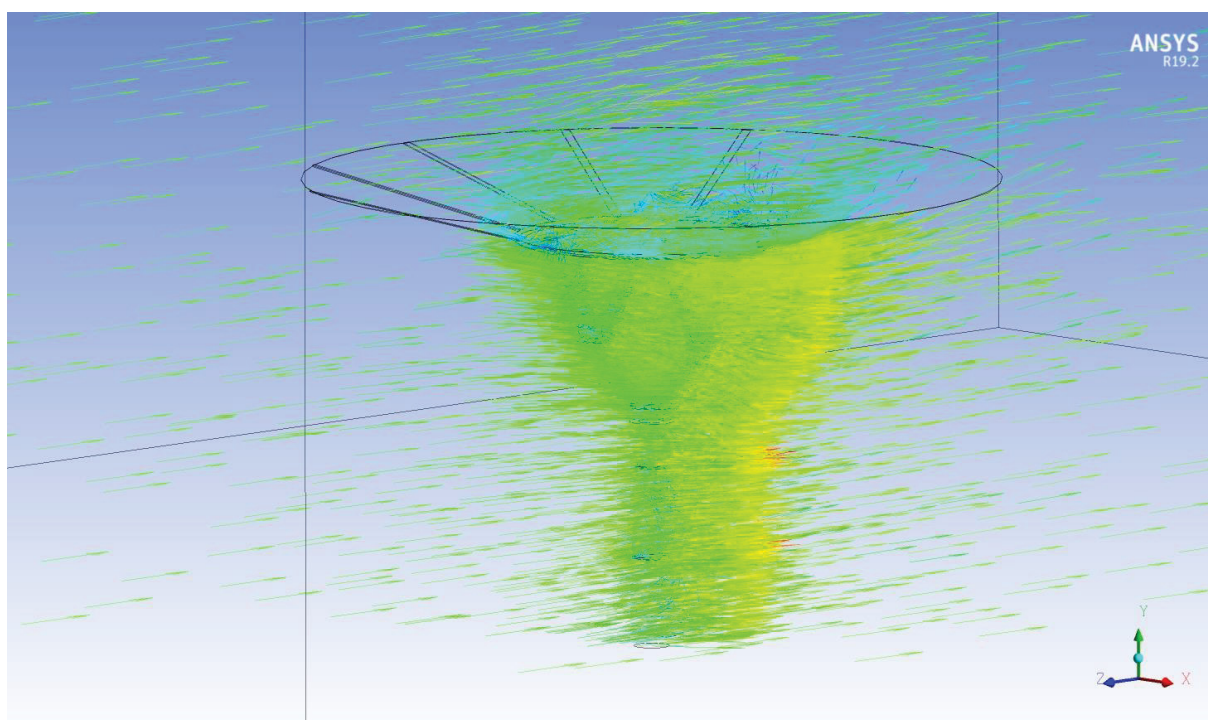
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 9. SIMULAÇÃO ANSYS – VELOCIDADE COM RELAÇÃO AO VOLUME



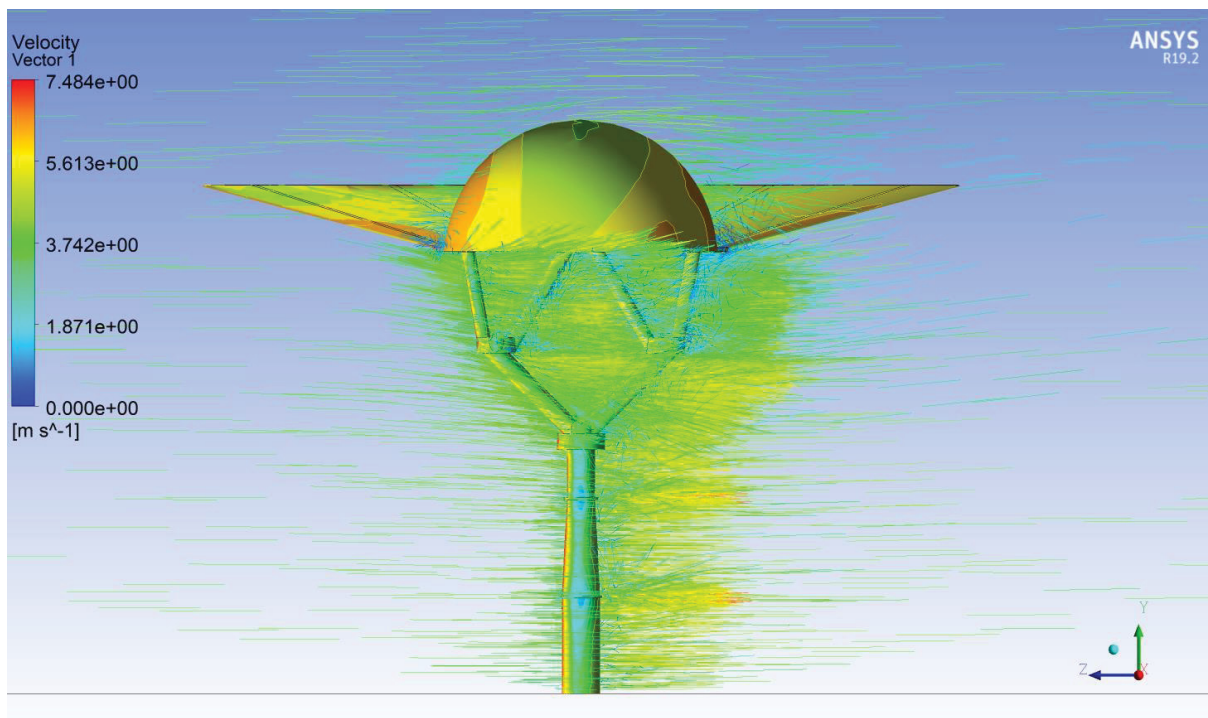
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 10. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 1



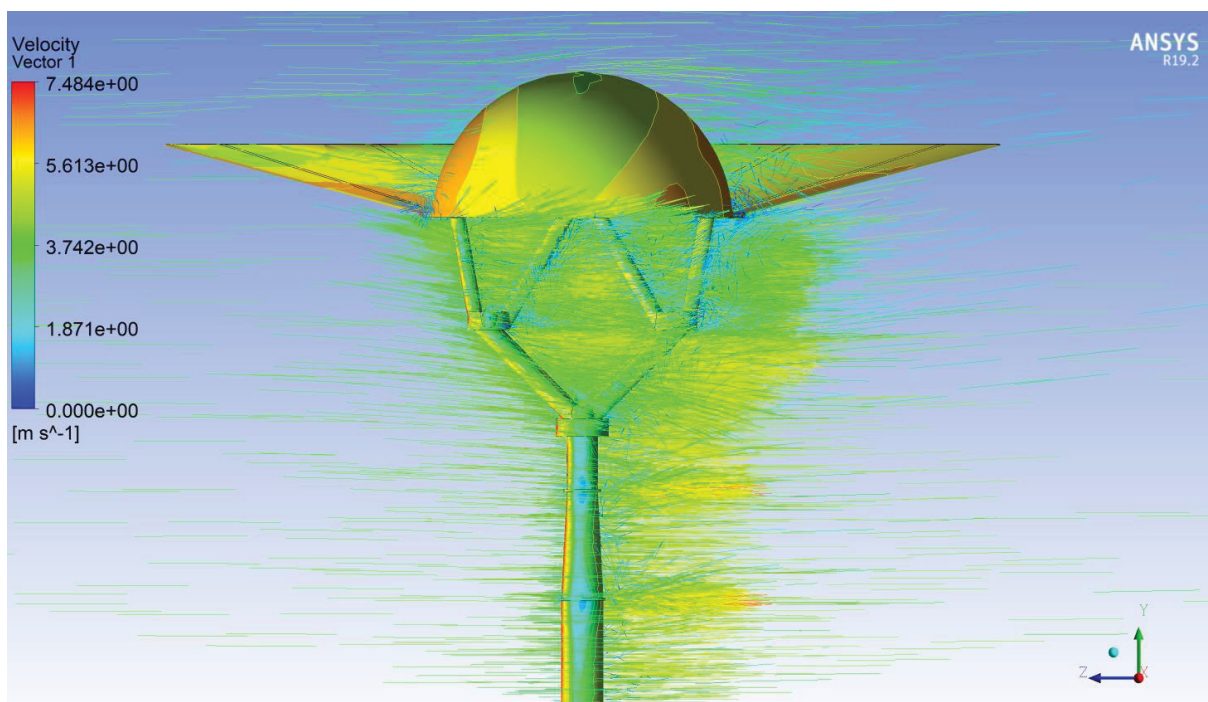
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 11. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 2



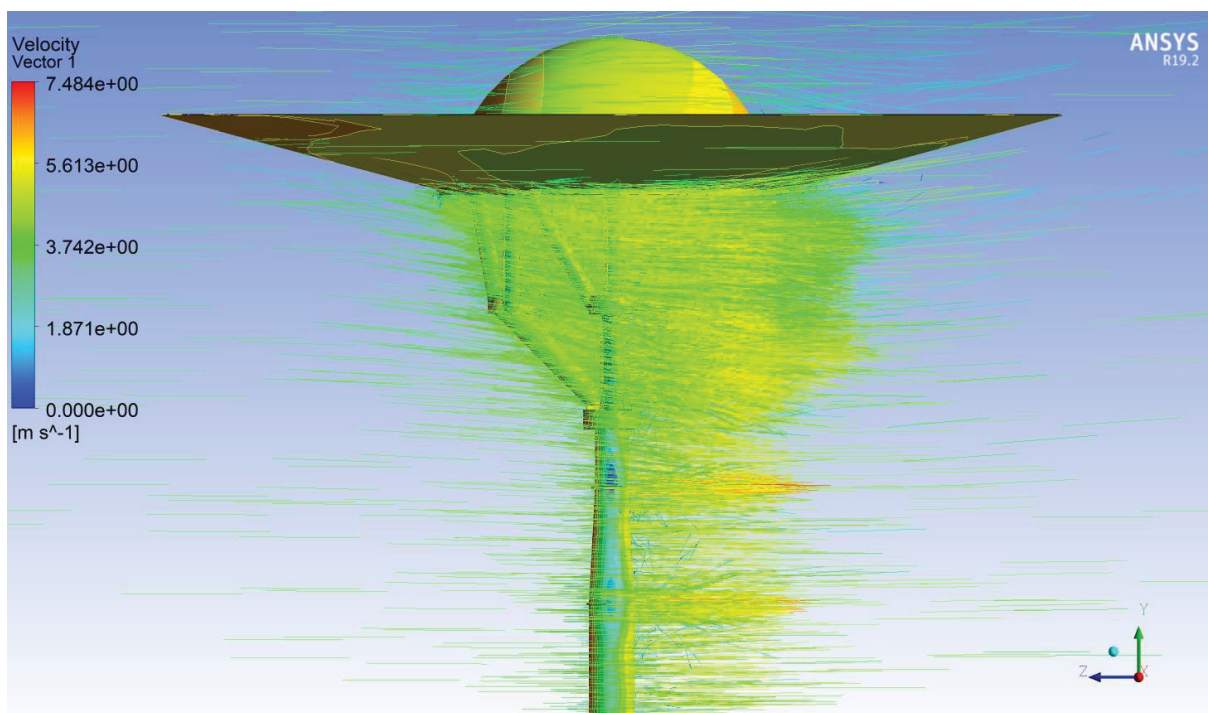
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 12. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 3



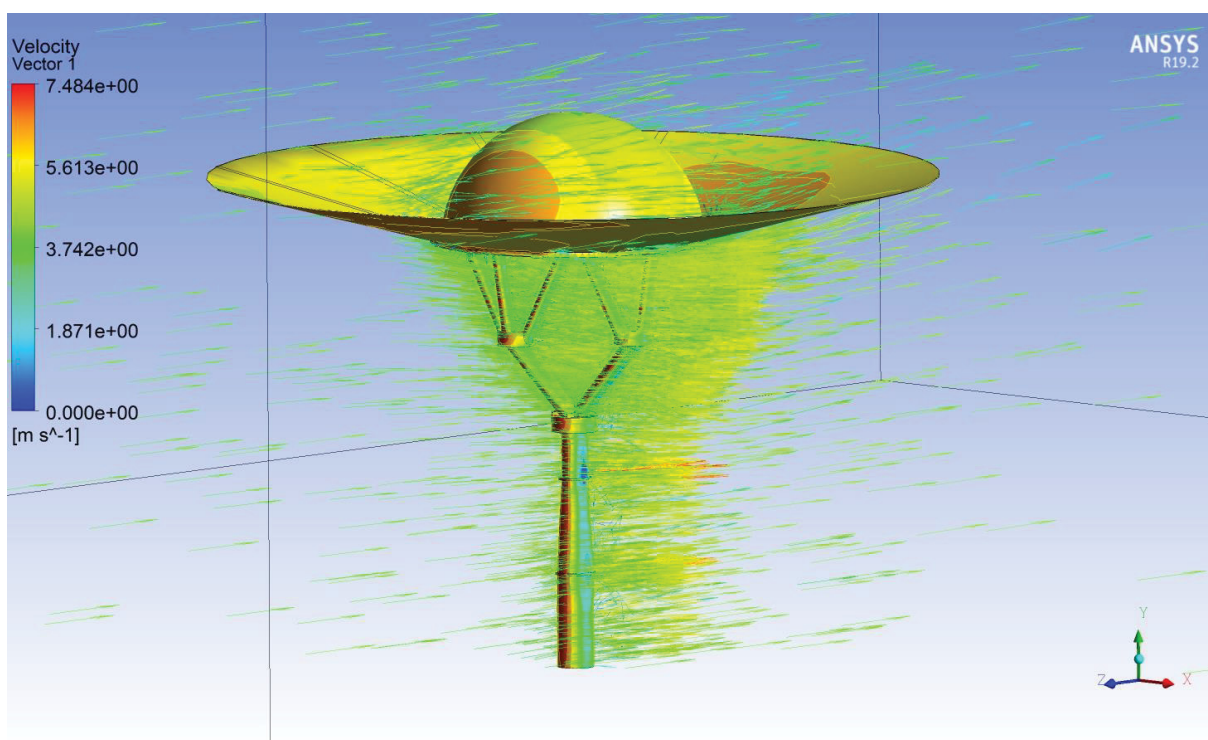
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 13. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 4



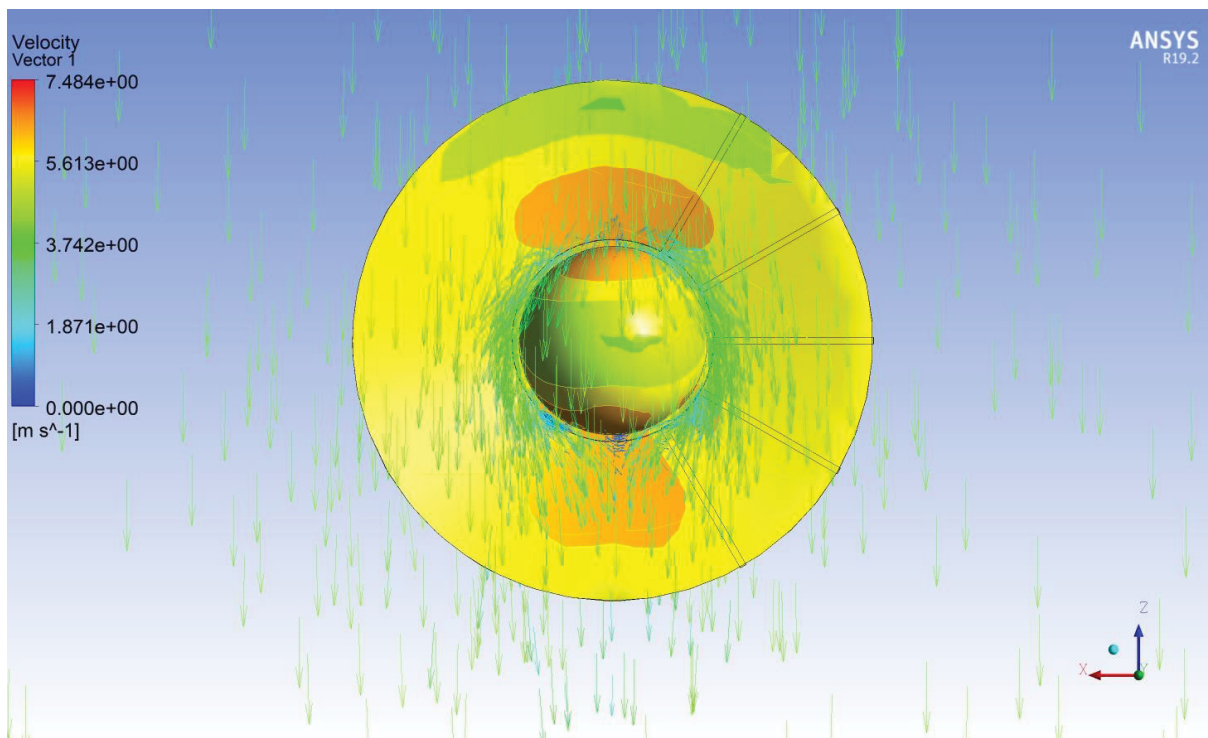
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 14. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 5



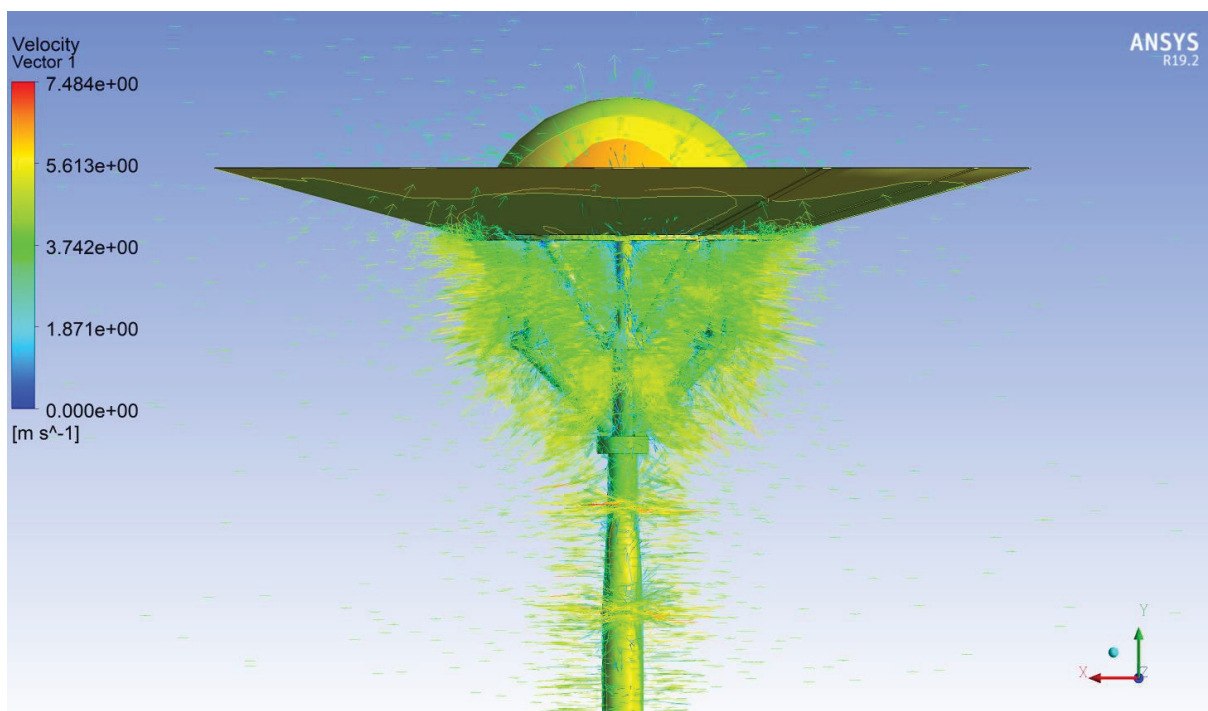
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 15. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 6



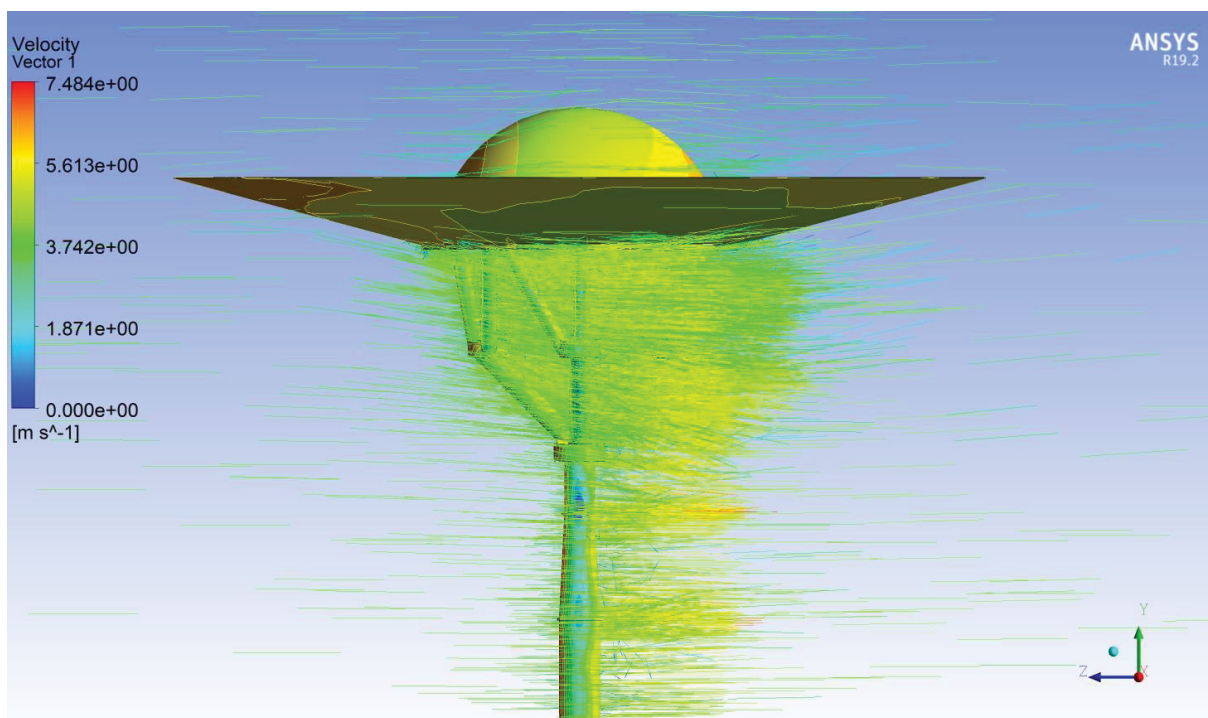
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 16. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 7



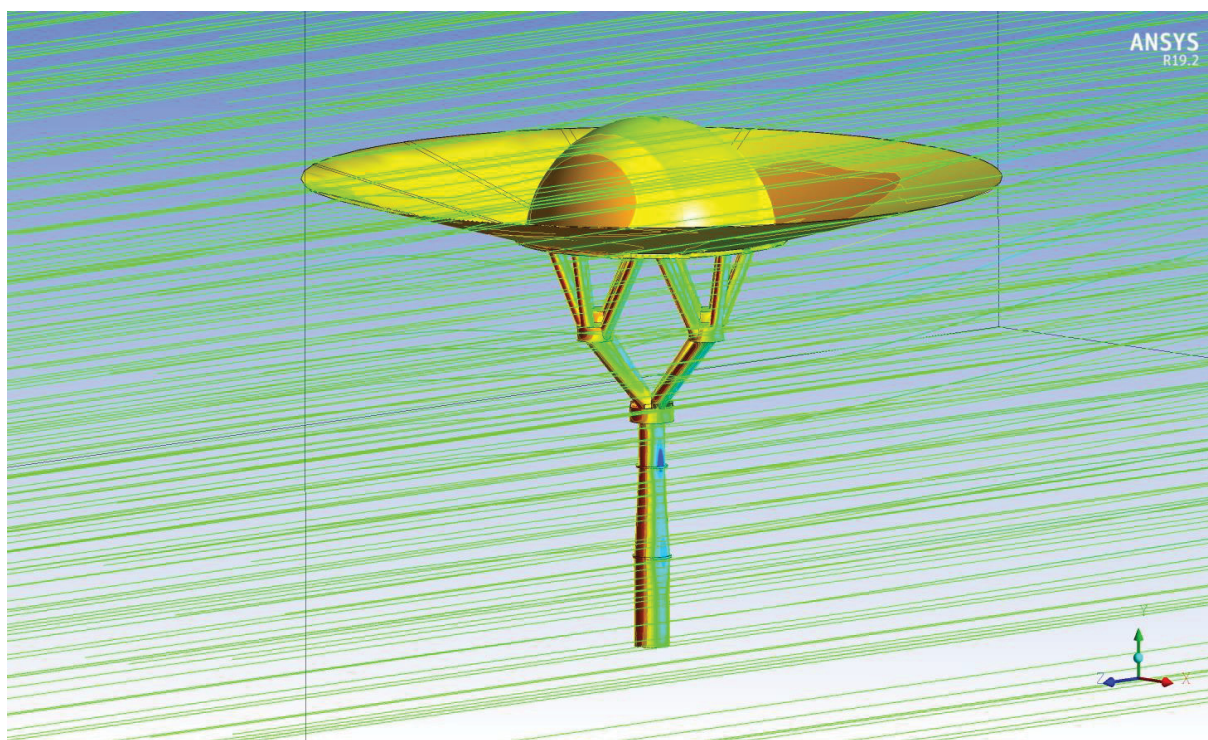
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 17. SIMULAÇÃO ANSYS – VETOR DE VELOCIDADE 8



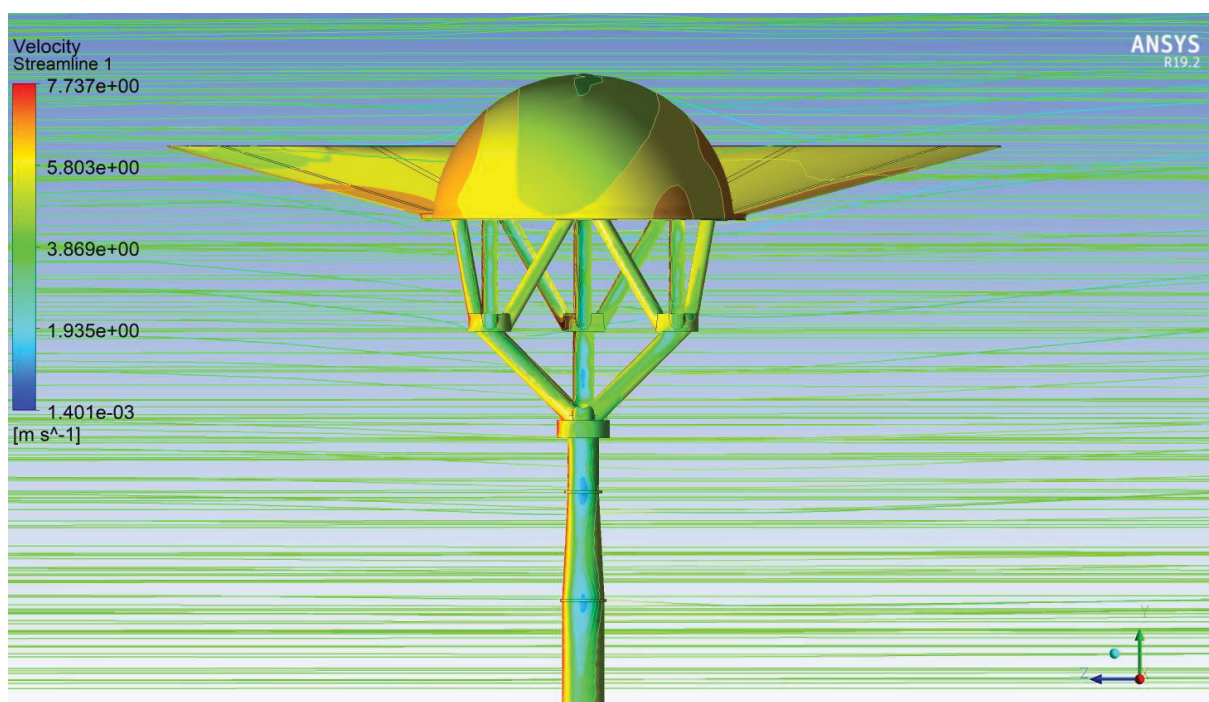
FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 18. SIMULAÇÃO ANSYS – LINHAS DE FLUXO 1



FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 19. SIMULAÇÃO ANSYS – LINHAS DE FLUXO 2



FONTE: Silveira e Strobel (2019).

APÊNDICE 22. FUNDAÇÃO DO ARTEFATO

Desenhos de fôrmas para o bloco de fundação

Planta de fôrmas - 1:25

Corte A-A - 1:25

Corte B-B - 1:25

Observações

- Os cálculos foram desenvolvidos com os seguintes valores (fornecidos pelo cliente):
 - Velocidade do vento: 15 km/h
 - Torque devido ao vento: 496,6 Nm
 - Força do vento: 113,12 N
 - Força de tração / compressão devido ao vento: 2113,19 N
 - Peso aproximado do artefato: 850 kgf
- As estacas indicadas são do tipo broca manual e devem ser executadas com trado manual, sem revestimento. A escavação deve alcançar pelo menos 2,0m e prosseguir até a profundidade possível com o trado manual. Quando for atingida a profundidade, faz-se uma limpeza do fundo das estacas, com a remoção do material desagregado eventualmente acumulado durante a escavação.
- Não é admitida a presença de água nas estacas, antes de serem concretadas. O concreto deve ser lançado do topo da perfuração, com $t_{ck} \geq 20$ MPa, consumo de cimento superior a 300 kg/m³ e consistência plástica. Para o bloco de fundação, deverá ser usado concreto de mesma resistência das estacas.
- Os chumbadores para fixação da torre metálica devem ser posicionados dentro da fôrma do bloco e amarrados na própria armadura da peça, para que não saiam do lugar durante a sua concretagem.
- A placa de base da torre metálica deve ser compatível com a fixação aqui indicada, pelos chumbadores.
- Medidas em cm, exceto onde indicado outra unidade.
- No caso de necessidade de ajustes neste projeto, a proposta deve ser consultada.

Detalhamento da armadura para bloco de fundação e estacas

Armadura em planta - 1:25

Corte C-C - 1:25

Corte D-D - 1:25

Corte E-E - 1:25

Armações em detalhe

Resumo Aço CA-50

Nº da barra	Diâmetro (mm)	Quant.	C (m)	Volume (m³)	Massa (kg)
1	10,0	16	594	63,04	40,00
2	10,0	16	112	17,92	12,00
3	10,0	16	240	38,40	24,00
TOTAL: 76,0 kg. aço CA50, diâm.: 10mm					

Detalhamento de chumbadores para ligação da fundação com a torre metálica

Posição dos chumbadores em planta - 1:25

Corte F-F - 1:25

Detalhe G - 1:5

Chumbadores (4 un.) - 1:5

Barra rosca diâmetro 25 mm, aço SAE 1020 ou ASTM A36, comprimento = 52 cm

Projeto de fundação para Artefato Zero

Equipe UFRP para Artefato Zero (Aloísio Leoni Schmid, Sofia Hinckel Dias, Flávia Aparecida Silveira)

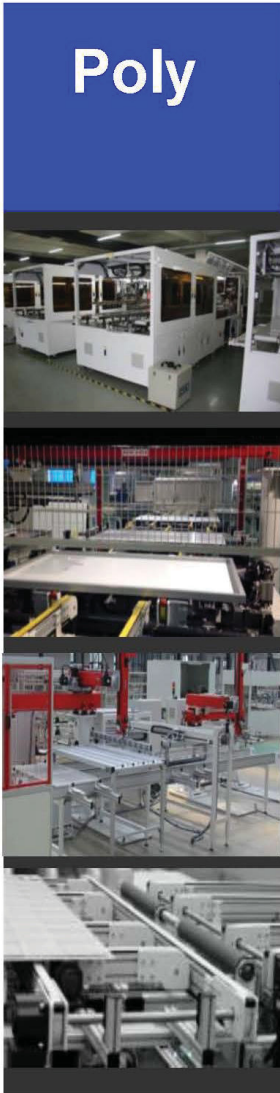
Maria Regina Sarro - CREA-PR: 27897-D

Data: 19/12/2019

Escala: Indicada

Verão: 02, desenho 1/1

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

Coeficiente de Temperatura (Voc)	-0.307%/K
Coeficiente de Temperatura (Isc)	+0.039%/K
Coeficiente 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:86-592-5235788
 Add:17th Floor, Building No.3, Xinglinwan Operation Center,Jimei District, Xiamen City, P. R. China
 Whatsapp: +86 18720987295 Skype: sales12.solarfirst Email: kate@esolarfirst.com
 Web:www.esolarfirst.com

Attn: Flávia Silveira
 Email: flasilveira@gmail.com
 Quote#: SF-TFF-MXIO-2018-0920
 Quote Date: 20190221
 Quote Valid day: 10days
 Trade Term: EXW XIAMEN
 Phone NO: +55 41 9607 8495

Bank Information
 Beneficial Name: Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd
 Account Number: 410464205284
 SWIFT NO: BKCHCNBJ73A
 Bank Name: BANK OF CHINA XIAMEN BRANCH
 Bank Address: BANK OF CHINA BUILDING, NO.40 NORTH HUBIN ROAD, XIAMEN, CHINA

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 Impp:0.21A	350*252*6.8MM	45	43	1935	
Total Cost in USD					US\$1,935.00	

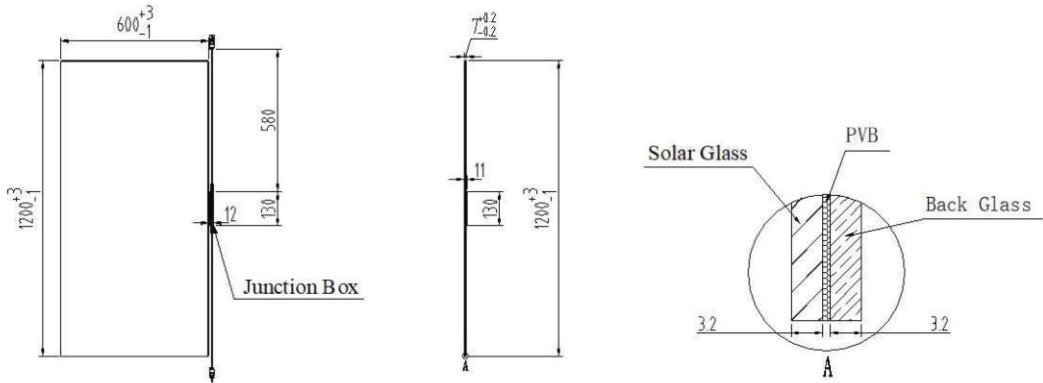
Sample Photo



Packing Photo



ANEXO 3. MÓDULOS DE FILME FINO COM TRANSPARÊNCIA MODELO 2020



Electrical Specifications (performance at STC: 1000W/m², 25°C, AM1.5)

Specification	SF-LAM2-T80-15	SF-LAM2-T70-23	SF-LAM2-T60-30	SF-LAM2-T55-34	SF-LAM2-T50-38	SF-LAM2-T45-42	SF-LAM2-T40-46	SF-LAM2-T30-52	SF-LAM2-T20-61	SF-LAM2-T10-69
Transparency	80%	70%	60%	55%	50%	45%	40%	30%	20%	10%
Nominal Power(Pm)/W	15	23	30	34	38	42	46	52	61	69
Open Circuit Voltage(Voc)/V	111.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0	114.0
Shot Circuit Current (Isc)/A	0.23	0.31	0.41	0.46	0.51	0.56	0.61	0.72	0.82	0.92
Voltage at max. Power(Vm)/V	85.5	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8
Current at max. Power(I _m)/A	0.18	0.26	0.34	0.39	0.43	0.48	0.52	0.59	0.70	0.79

System Properties (at STC)

Maximum Series Fuse Rating(I _{CF}) /	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5
Maximum System Voltage(V _{sys})/V	1000									

Mechanical Specifications

Length	1200mm (-1~+3mm)
Width	600mm (-1~+3mm)
Thickness	7mm (±0.2mm)
Area	0.72m ²
Weight	12kg
Frame	None
Lead Cable	2.5mm ² 580mm
Connectors	MC4
Bypass Diode	6A
Cell Type	Cadmium Telluride (CdTe)
Solar Glass	3.2 mm Annealed glass
Back Glass	3.2 mm Annealed glass
Encapsulation	PVB

Temperature Characteristics(at STC)

Temperature Coefficients of I _{sc}	α=0.060%/°C
Temperature Coefficients of V _{oc}	β=-0.321%/°C
Temperature Coefficients of P _m	γ=-0.214%/°C
Operating Temperature Range	-40°C To +85°C

Warranty:

- 10 years materials and workmanship.
- 25 years power output guarantee for 90% of nominal output during first 10 years and 80% over 25 years.
- Modules are life cycle managed with a collection and recycling program, providing module owners with no cost, end-of-life take back, and recycling of the modules.

Packaging Configuration

Modules Per Pallet	54PCS
Pallet Weight	680kg
Pallet Dimensions	1260x1080x790mm
Modules Per 40' Container	1944PCS

Add:17th, Floor, Building No. 3 Xinglinwan Operation Center,
Jimei District,xiamen,China
Email:info@esolarfirst.com

Tel: +86 592-5211388
Fax:+86 592-5275788
Web: www.pvsolarfirst.com

ANEXO 4. MÓDULOS DE FILME FINO SEM TRANSPARÊNCIA MODELO 2020



厦门晶晟能源科技有限公司
Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd

Product Data Sheet

Product Model: SF-S1-85W

Nominal Power: 85W

performance at STC: 1000W/m², 25° C, AM1.5

Nominal Power(P _m)	85.0 W
Open Circuit Voltage(V _{oc})	120.5 V
Short Circuit Current (I _{sc})	0.98 A
Voltage at max. Power(V _m)	96.6 V
Current at max. Power(I _m)	0.88 A
Power Output	25 years power output guarantee, for 90% of nominal output during first 10 years and 80% over 25 years.
materials and workmanship	10 years

System Properties (at STC)

Maximum System Voltage	V _{sys} (V)	1000 (600UL)
Maximum Series Fuse	I _{cf} (A)	2.0

Temperature Coefficients (at STC)

Temperature Coefficients of I _{sc}	α = 0.060%/°C
Temperature Coefficients of V _{oc}	β = -0.321%/°C
Temperature Coefficients of P _m	γ = -0.214%/°C

Mechanical Specifications

Length	1200(-1~+5) mm
Width	600(-1~+5) mm
Thickness	6.8(±0.2) mm
Area	0.72m ²
Weight	11.8kg

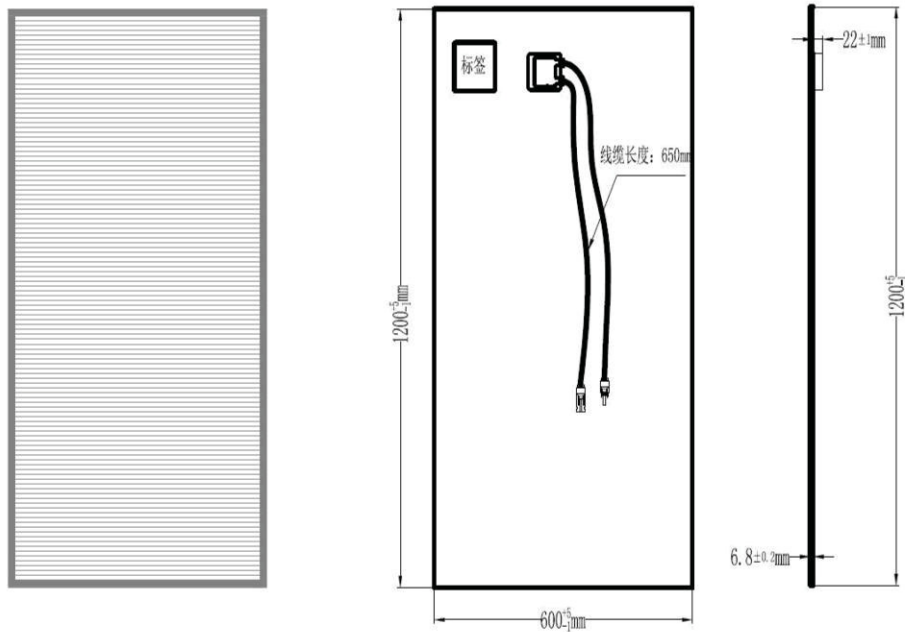
厦门市集美区杏林湾营运中心3#楼17层
17th, Floor, Building No. 3 Xinglinwan Operation Center,
Jimei District, Xiamen, China
Tel: +86 592-5211388 Fax: +86 592-5275788



厦门晶晟能源科技有限公司
Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd

Frame	N/A
Junction Box※	back
Lead Cable	2.5mm ² , 650mm
Connectors	MC4
Bypass Diode	10A
Cell Type	CdTe
Structure	3.2mm+PVB+3.2mm Cell/Float
Encapsulation	EVA+EdgeTape
Transparency※	0%

Product schematic drawings:



Product packaging: Wooden cases 50 pcs/case Gross weight:645 kgs
Dimension: L1200mm*W600mm*D6.8mm

厦门市集美区杏林湾营运中心3#楼17层
17th, Floor, Building No. 3 Xinglinwan Operation Center,
Jimei District, xiamen, China
Tel: +86 592-5211388 Fax:+86 592-5275788



厦门晶晟能源科技有限公司
Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd

Product Data Sheet

Product Model: SF-S1-90W

Nominal Power: 90W

performance at STC: 1000W/m², 25° C, AM1.5

Nominal Power (P _m)	90.0 W
Open Circuit Voltage (V _{oc})	122.0 V
Short Circuit Current (I _{sc})	1.06 A
Voltage at max. Power (V _m)	96.0 V
Current at max. Power (I _m)	0.94 A
Power Output	25 years power output guarantee, for 90% of nominal output during first 10 years and 80% over 25 years.
materials and workmanship	10 years

System Properties (at STC)

Maximum System Voltage	V _{sys} (V)	1000 (600UL)
Maximum Series Fuse	I _{cf} (A)	2.0

Temperature Coefficients (at STC)

Temperature Coefficients of I _{sc}	α = 0.060%/°C
Temperature Coefficients of V _{oc}	β = -0.321%/°C
Temperature Coefficients of P _m	γ = -0.214%/°C

Mechanical Specifications

Length	1200 (-1~+5) mm
Width	600 (-1~+5) mm
Thickness	6.8 (±0.2) mm
Area	0.72m ²
Weight	11.8kg

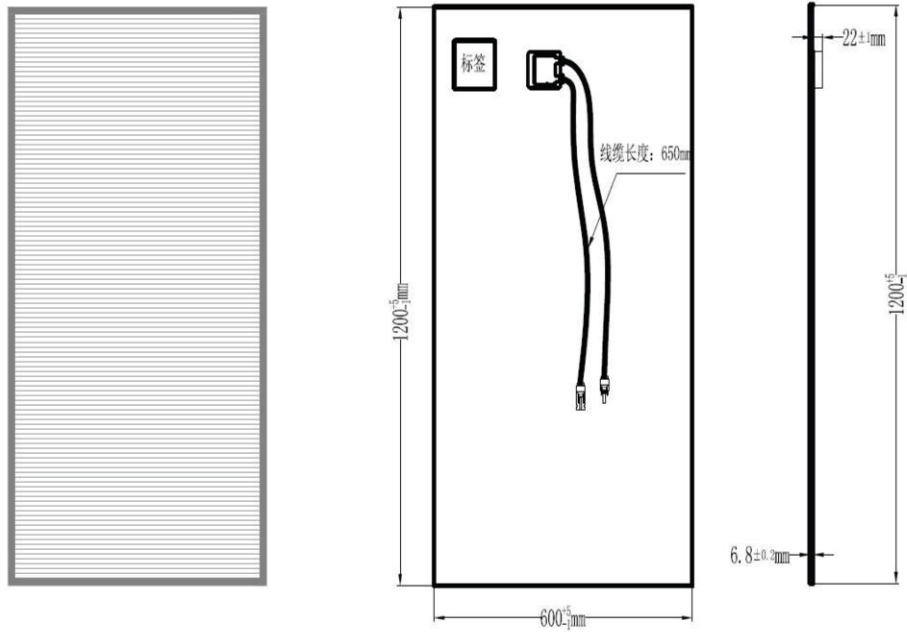
厦门市集美区杏林湾营运中心3#楼17层
17th, Floor, Building No. 3 Xinglinwan Operation Center,
Jimei District, Xiamen, China
Tel: +86 592-5211388 Fax: +86 592-5275788



厦门晶晟能源科技有限公司
Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd

Frame	N/A
Junction Box※	backside
Lead Cable	2.5mm ² , 650mm
Connectors	MC4
Bypass Diode	10A
Cell Type	CdTe
Structure	3.2mm+PVB+3.2mm Cell/Float
Encapsulation	EVA+Edge tape
Transparency※	0%

Product schematic drawings:



Product packaging: Wooden cases 54pcs/case Gross weight:670 kg
Dimension: L1300mm*W1080mm*H800mm

厦门市集美区杏林湾营运中心3#楼17层
17th, Floor, Building No. 3 Xinglinwan Operation Center,
Jimei District, xiamen, China
Tel: +86 592-5211388 Fax: +86 592-5275788



厦门晶晟能源科技有限公司
Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd

Product Data Sheet

Product Model: SF-S1-94W

Nominal Power: 94±9W

performance at STC: 1000W/m², 25° C, AM1.5

Nominal Power (P _m)	94.0 W
Open Circuit Voltage (V _{oc})	122.5 V
Short Circuit Current (I _{sc})	1.08 A
Voltage at max. Power (V _m)	98.0 V
Current at max. Power (I _m)	0.96 A
Power Output	25 years power output guarantee, for 90% of nominal output during first 10 years and 80% over 25 years.
materials and workmanship	10 years

System Properties (at STC)

Maximum System Voltage	V _{sys} (V)	1000 (600UL)
Maximum Series Fuse	I _{cf} (A)	2.0

Temperature Coefficients (at STC)

Temperature Coefficients of I _{sc}	α = 0.060%/°C
Temperature Coefficients of V _{oc}	β = -0.321%/°C
Temperature Coefficients of P _m	γ = -0.214%/°C

Mechanical Specifications

Length	1200 (-1~+3) mm
Width	600 (-1~+3) mm
Thickness	6.8 (±0.2) mm
Area	0.72m ²
Weight	11.8kg
Frame	N/A

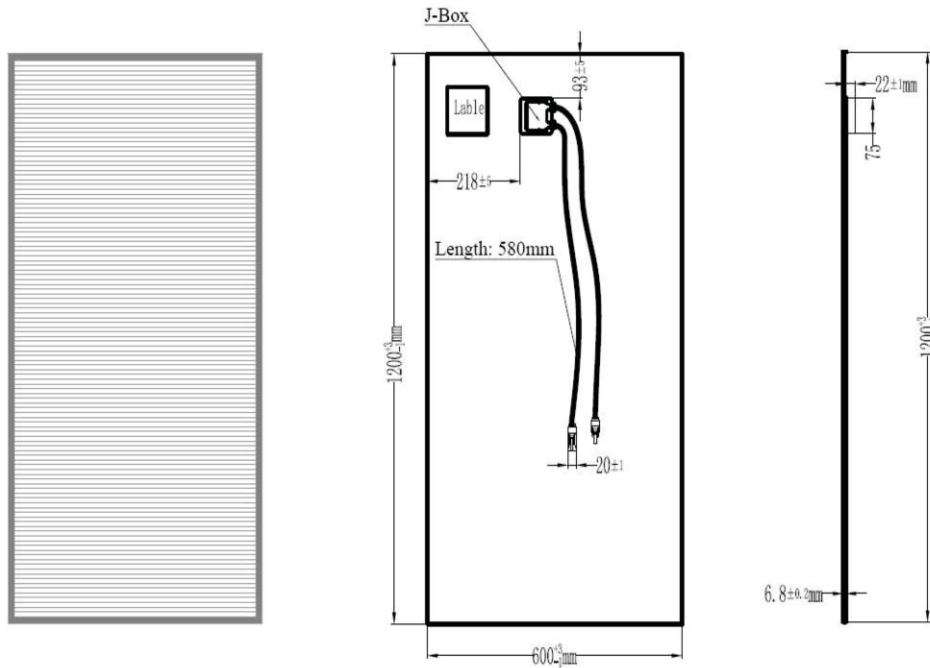
厦门市集美区杏林湾营运中心3#楼17层
17th, Floor, Building No. 3 Xinglinwan Operation Center,
Jimei District, Xiamen, China
Tel: +86 592-5211388 Fax: +86 592-5275788



厦门晶晟能源科技有限公司
Xiamen Solar First Energy Technology Co., Ltd

Junction Box※	backside
Lead Cable	2.5mm ² , 580mm
Connectors	MC4
Bypass Diode	10A
Cell Type	CdTe
Structure	3.2mm float glass+3.2mm float glass
Encapsulation	EVA+Edge tape
Transparency※	0%

Product schematic drawings:



Product packaging: Wooden cases 54pcs/case Gross weight:670 kg
Dimension: L1300mm*W1080mm*H800mm

厦门市集美区杏林湾营运中心3#楼17层
17th, Floor, Building No. 3 Xinglinwan Operation Center,
Jimei District, Xiamen, China
Tel: +86 592-5211388 Fax: +86 592-5275788

ANEXO 5. MÓDULOS DE OPV UTILIZADOS



printed organic photovoltaics | solar testing equipment | specialty 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 a 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



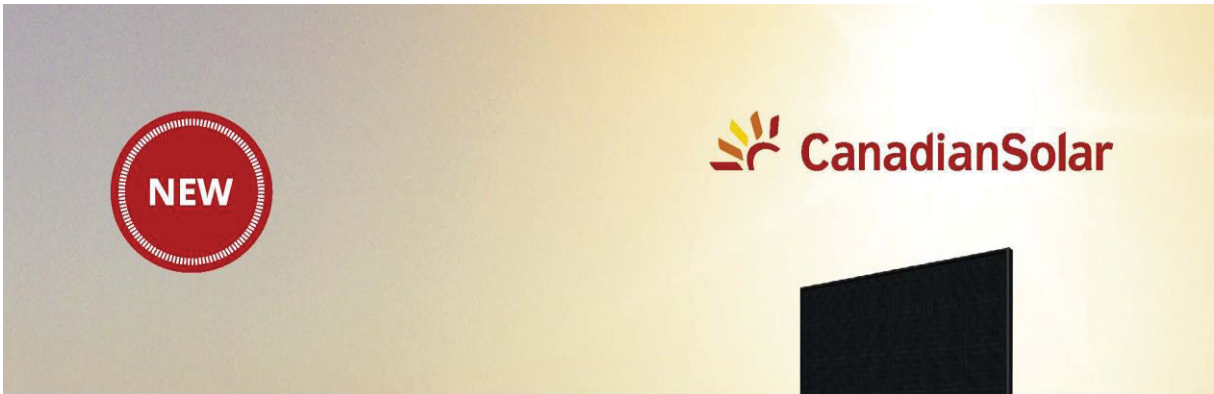
For further information, application notes or customized solar cell designs don't hesitate to contact us.

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: 36420367




ANEXO 6. MÓDULO MONOCRISTALINO HiDM BLACK – CANADIAN SOLAR






HiDM-Black



ALL-BLACK High density MONO PERC module
320 W ~ 340 W
CS1H-320 | 325 | 330 | 335 | 340MS

MORE POWER

-  **UP TO 20.2%** Maximize the light absorption area, module efficiency up to 20.2 %
-  Low temperature coefficient (Pmax): -0.37 % / °C
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa*

-  **15 years** enhanced product warranty on materials and workmanship*
-  **25 years** linear power output warranty*

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
 ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
 Take-e-way



As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

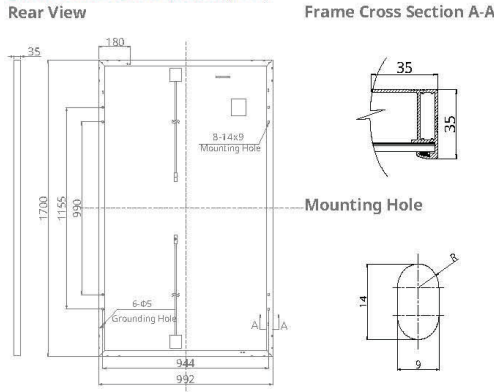
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

* For detail information, please refer to Installation Manual.

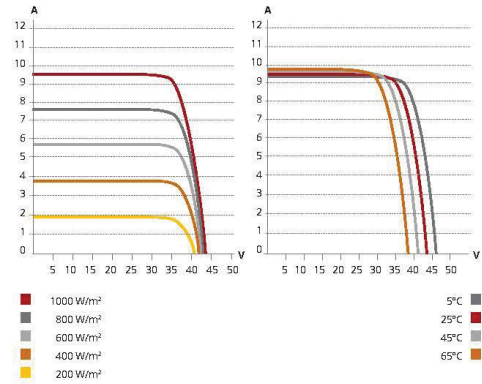
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS1H-330MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS1H	320MS	325MS	330MS	335MS	340MS
Nominal Max. Power (Pmax)	320 W	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.2 V	36.6 V	37.0 V	37.4 V	37.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.85 A	8.88 A	8.92 A	8.96 A	9.00 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.0 V	44.1 V	44.2 V	44.3 V	44.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.60 A	9.64 A	9.68 A	9.72 A	9.76 A
Module Efficiency	19.0%	19.3%	19.6%	19.9%	20.2%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	16 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Dimensions	1700 x 992 x 35 mm (66.9 x 39.1 x 1.38 in)
Weight	19.2 kg (42.3 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	1350 mm (53.1 in)
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	780 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS1H	320MS	325MS	330MS	335MS	340MS
Nominal Max. Power (Pmax)	236 W	240 W	243 W	247 W	251 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.4 V	33.7 V	34.1 V	34.5 V	34.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.07 A	7.11 A	7.14 A	7.17 A	7.20 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.0 V	41.1 V	41.2 V	41.3 V	41.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.75 A	7.78 A	7.82 A	7.85 A	7.88 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	44±3 °C

PARTNER SECTION



The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ANEXO 7. MÓDULO MONOCRISTALINO KUMAX – CANADIAN SOLAR



KuMax HIGH EFFICIENCY MONO PERC MODULE CS3U-380|385|390|395|400MS (1000 V / 1500 V)

MORE POWER



Low power loss in cell connection



Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.36% / °C



Better shading tolerance



High PTC rating of up to: 93.24 %

MORE RELIABLE



Lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa*



linear power output warranty*



enhanced product warranty on materials
and workmanship*

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / KS / INMETRO
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way



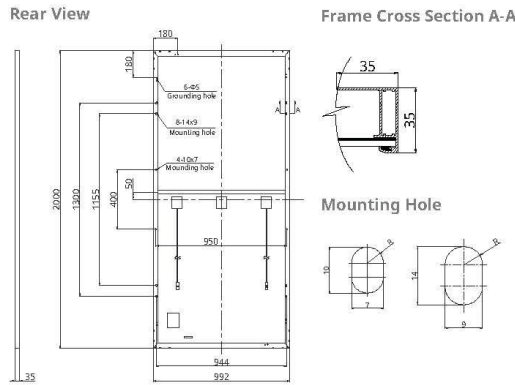
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance / price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

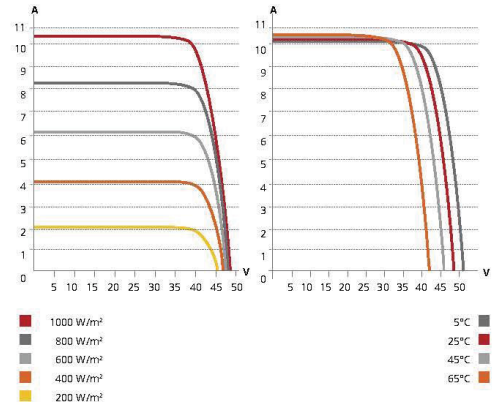
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3U-400MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3U	380MS	385MS	390MS	395MS	400MS
Nominal Max. Power (Pmax)	380 W	385 W	390 W	395 W	400 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.0 V	40.2 V	40.4 V	40.6 V	40.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.50 A	9.58 A	9.66 A	9.73 A	9.81 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.8 V	48.0 V	48.2 V	48.4 V	48.6 V
Short Circuit Current (Isc)	10.01 A	10.09 A	10.17 A	10.25 A	10.33 A
Module Efficiency	19.2%	19.4%	19.7%	19.9%	20.2%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or Class C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	30 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3U	380MS	385MS	390MS	395MS	400MS
Nominal Max. Power (Pmax)	283 W	287 W	290 W	294 W	298 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.2 V	37.4 V	37.6 V	37.8 V	38.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.60 A	7.66 A	7.72 A	7.78 A	7.84 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	8.08 A	8.14 A	8.20 A	8.27 A	8.33 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2000 X 992 X 35 mm (78.7 X 39.1 X 1.38 in)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-); landscape: 1250 mm (49.2 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.36 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustments to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ANEXO 8. MÓDULO POLICRISTALINO KUMAX – CANADIAN SOLAR



KuMax HIGH EFFICIENCY POLY MODULE CS3U-355 | 360 | 365 | 370 | 375P (1000 V / 1500 V)

MORE POWER



Low power loss in cell connection



Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.36 % / °C



Better shading tolerance



High PTC rating of up to: 93.12 %

MORE RELIABLE



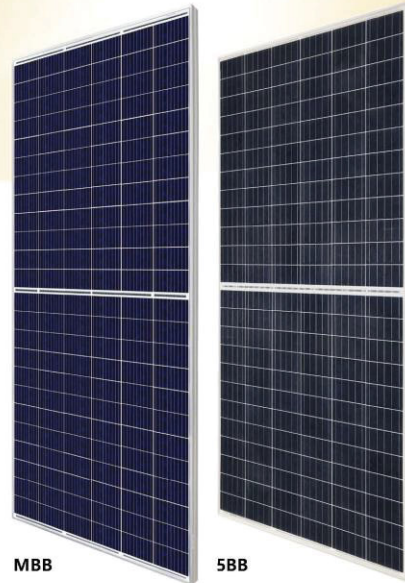
Lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa*



linear power output warranty*



enhanced product warranty on materials
and workmanship*

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way



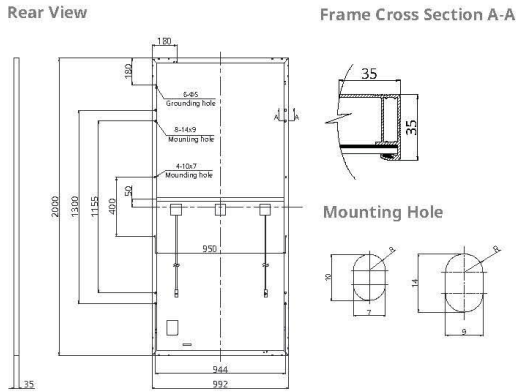
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance / price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

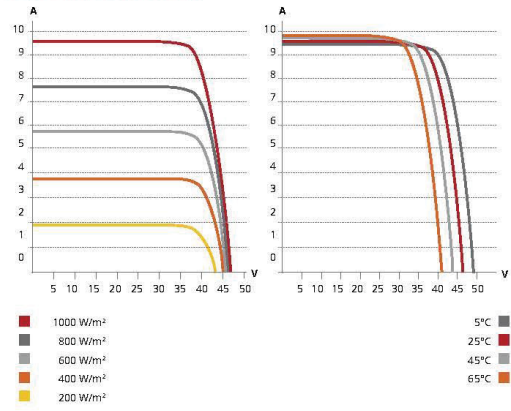
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3U-365P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3U	355P	360P	365P	370P	375P
Nominal Max. Power (Pmax)	355 W	360 W	365W	370W	375W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.4 V	39.6 V	39.8 V	40.0 V	40.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.02 A	9.10 A	9.18 A	9.26 A	9.34 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.8 V	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.59 A	9.67 A	9.75 A	9.83 A	9.91 A
Module Efficiency	17.9%	18.2%	18.4%	18.7%	18.9%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or Class C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	30 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3U	355P	360P	365P	370P	375P
Nominal Max. Power (Pmax)	264 W	268 W	272 W	276 W	279 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.7 V	36.9 V	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.21 A	7.27 A	7.34 A	7.40 A	7.46 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.0 V	44.1 V	44.3 V	44.5 V	44.7 V
Short Circuit Current (Isc)	7.74 A	7.80 A	7.87 A	7.93 A	7.99 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2000 X 992 X 35 mm (78.7 X 39.1 X 1.38 in)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-); landscape: 1250 mm (49.2 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.36 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.28 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustments to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ANEXO 9. MÓDULO POLICRISTALINO – RISEN SOLAR TECHNOLOGY

**HIGH PERFORMANCE
POLYCRYSTALLINE MODULE**
RSM144-6-335P-355P

144 CELL POLYCRYSTALLINE MODULE

335-355Wp POWER OUTPUT RANGE

1500VDC MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE

17.8% MAXIMUM EFFICIENCY



About Risen Energy

Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.


KEY SALIENT FEATURES




-  **Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing**

-  **Industry leading lowest thermal co-efficient of power**

-  **Industry leading 12 years product warranty**


-  **Excellent low Irradance performance**

-  **Excellent PID resistance**

-  **Positive tight power tolerance**

-  **Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product**

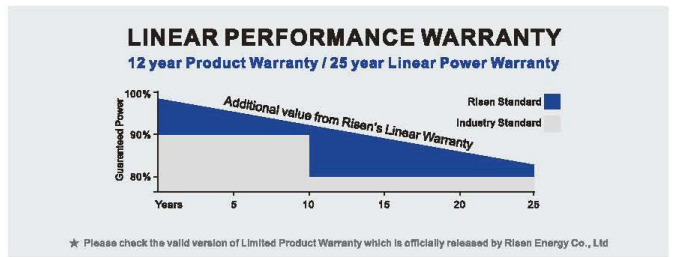
-  **Module Imp binning radically reduces string mismatch losses**

-  **Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements**

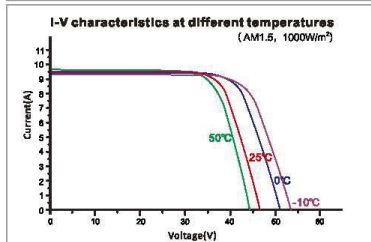
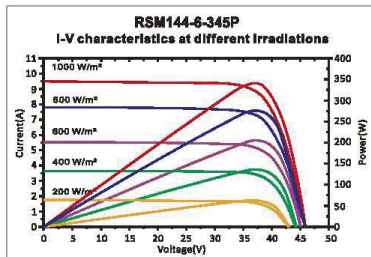
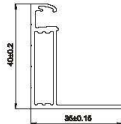
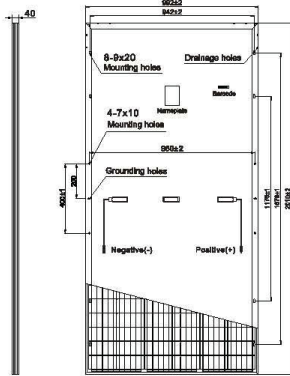
-  **Certified to withstand severe environmental conditions**
 - ◆ Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - ◆ Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - ◆ Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance



RISEN ENERGY CO., LTD.
 Tashan Industry Zone, Meilin,
 Ninghai 315609, Ningbo | PRC
 Tel: +86-574-59953239
 Fax: +86-574-59953599
 E-mail: marketing@risenenergy.com
 Website: www.risenenergy.com



Dimensions of PV Module List: mm



Our Partners:

REM144-P-55B-EN-H1-1-2020

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM144-6-335P	RSM144-6-340P	RSM144-6-345P	RSM144-6-350P	RSM144-6-355P
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	335	340	345	350	355
Open Circuit Voltage-Voc(V)	46.10	46.30	46.50	46.70	46.90
Short Circuit Current-Isc(A)	9.30	9.40	9.50	9.60	9.70
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	38.80	38.70	38.80	38.95	39.10
Maximum Power Current-Imp(A)	8.70	8.80	8.90	9.00	9.10
Module Efficiency (%) *	16.8	17.1	17.3	17.6	17.8

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
 * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM144-6-335P	RSM144-6-340P	RSM144-6-345P	RSM144-6-350P	RSM144-6-355P
Maximum Power-Pmax (Wp)	250.4	254.0	257.5	261.4	265.3
Open Circuit Voltage-Voc (V)	42.40	42.60	42.80	43.00	43.10
Short Circuit Current-Isc (A)	7.63	7.71	7.79	7.87	7.95
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	35.30	35.40	35.50	35.60	35.80
Maximum Power Current-Imp (A)	7.09	7.17	7.25	7.34	7.42

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Polycrystalline, 5BB
Cell configuration	144 cells (6×12+6×12)
Module dimensions	2010×992×40mm
Weight	23kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm² (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)270mm
Connector	Risen Twinseal PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS


Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.055%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)	20ft
Number of modules per container	594	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	22	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2040×1130×1130	2040×1130×1130
Box gross weight[kg]	670	670

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 ©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO 10. MÓDULO BIFACIAL MONOCRISTALINO – RISEN SOLAR TECHNOLOGY



Jäger *Plus*

HIGH PERFORMANCE
BIFACIAL PERC MONOCRYSTALLINE MODULE

RSM144-6-395BMDG-420BMDG

144 CELL Mono PERC Module	395-420Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	20.6% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

-  Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
-  Bifacial technology enables additional energy harvesting from rear side (up to 30%)
-  Industry leading lowest thermal co-efficient of power
-  Industry leading 12 years product warranty
-  Excellent low irradiance performance
-  Excellent PID resistance
-  Positive tight power tolerance
-  Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
-  Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
-  Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
-  Certified to withstand severe environmental conditions
 - ♦ Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - ♦ Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - ♦ Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance



RISEN ENERGY CO., LTD.

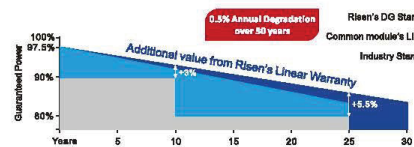
Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Tashan Industry Zone, Mellin, Ninghai 315609, Ningbo | PRC
 Tel: +86-574-59953239 Fax: +86-574-59953599
 E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 year Product Warranty / 30 year Linear Power Warranty

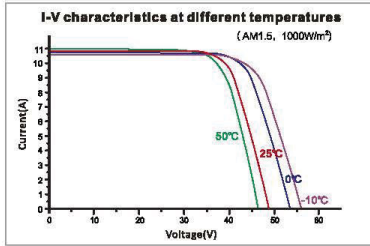
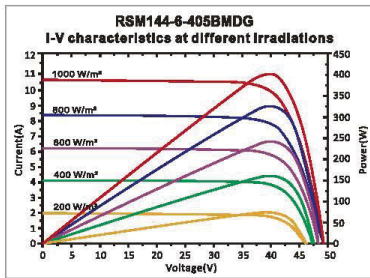
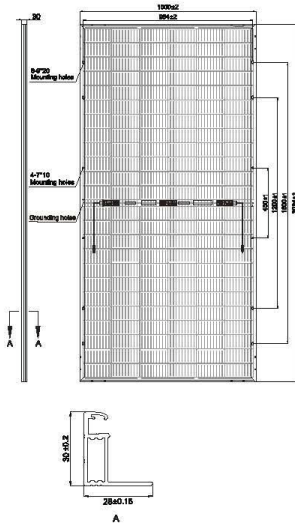


* Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd

THE POWER OF RISING VALUE



Dimensions of PV Module Unit: mm



Our Partners:

REM144-BMDG-9BS-EN-H1-1-2020

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM144-6-385BMDG	RSM144-6-400BMDG	RSM144-6-405BMDG	RSM144-6-410BMDG	RSM144-6-415BMDG	RSM144-6-420BMDG
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	395	400	405	410	415	420
Open Circuit Voltage-Voc(V)	48.45	48.60	48.75	48.90	49.00	49.10
Short Circuit Current-Isc(A)	10.40	10.50	10.60	10.70	10.80	10.90
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	40.35	40.45	40.55	40.65	40.70	40.80
Maximum Power Current-Impp(A)	9.80	9.80	10.00	10.10	10.20	10.30
Module Efficiency (%) *	19.4	19.7	19.9	20.2	20.4	20.6

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
 Bifacial factor: 70%±5 * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

Electrical characteristics with different rear side power gain (reference to 405Wp front)

Bifacial Gain *	Pmax/W	Voc/V	Isc/A	Vmpp/V	Impp/A
5%	426	48.75	11.13	40.55	10.50
10%	446	48.75	11.66	40.55	11.00
15%	466	48.75	12.19	40.55	11.50
20%	487	48.75	12.72	40.55	12.00
25%	507	48.75	13.25	40.55	12.50
30%	527	48.75	13.78	40.55	13.00

*Bifacial Gain: The additional gain from the rear side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM144-6-385BMDG	RSM144-6-400BMDG	RSM144-6-405BMDG	RSM144-6-410BMDG	RSM144-6-415BMDG	RSM144-6-420BMDG
Maximum Power-Pmax (Wp)	295.6	299.3	303.1	306.9	309.2	312.7
Open Circuit Voltage-Voc (V)	44.60	44.70	44.90	44.99	45.63	45.70
Short Circuit Current-Isc (A)	8.53	8.61	8.69	8.77	8.80	8.87
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	37.00	37.05	37.14	37.24	37.30	37.40
Maximum Power Current-Impp (A)	8.00	8.08	8.16	8.24	8.29	8.36

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline, 9BB
Cell configuration	144 cells (6×12×6×12)
Module dimensions	2034×1000×30mm
Weight	27kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm² (12AWG), Positive(+) 270mm, Negative(-) 270mm
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.28%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)	20ft
Number of modules per container	770	350
Number of modules per pallet	35	35
Number of pallets per container	22	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2100×1130×1135	2100×1130×1135
Box gross weight[kg]	1000	1000

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 ©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO 11. MÓDULO MONOCRISTALINO – RISEN SOLAR TECHNOLOGY



Jäger Plus
HIGH PERFORMANCE
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE

G2.3

RSM144-6-395M-420M

144 CELL Mono PERC Module	395-420Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	20.9% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

-  Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
-  Industry leading lowest thermal co-efficient of power
-  Industry leading 12 years product warranty
-  Excellent low irradiance performance
-  Excellent PID resistance
-  Positive tight power tolerance
-  Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
-  Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
-  Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
-  Certified to withstand severe environmental conditions
 - ♦ Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - ♦ Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - ♦ Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance



RISEN ENERGY CO., LTD.

Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial Innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Tashan Industry Zone, Meilin, Ninghai 315609, Ningbo | PRC
Tel: +86-574-59853239 Fax: +86-574-59953599
E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty



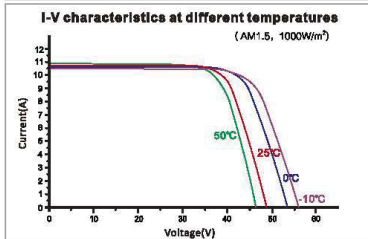
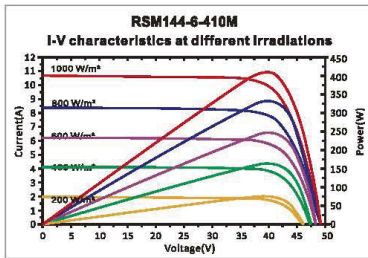
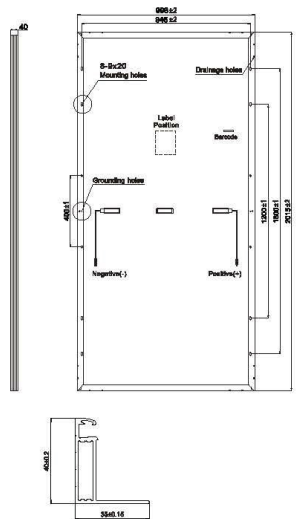
The graph shows Quantified Power (%) on the y-axis (80% to 100%) and Years on the x-axis (0 to 25). The Risen Standard (blue line) starts at 100% at year 0 and decreases to approximately 82% at year 25. The Industry Standard (grey line) starts at 100% at year 0 and decreases to approximately 80% at year 25. The area between the two lines is labeled 'Additional value from Risen's Linear Warranty'.

* Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd

THE POWER OF RISING VALUE



Dimensions of PV Module Unit: mm



Our Partners:

REM144-M-9BB-EN-H1-1-2020

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM144-6-395M	RSM144-6-400M	RSM144-6-405M	RSM144-6-410M	RSM144-6-415M	RSM144-6-420M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	395	400	405	410	415	420
Open Circuit Voltage-Voc(V)	48.45	48.60	48.75	48.90	49.00	49.10
Short Circuit Current-Isc(A)	10.40	10.50	10.60	10.70	10.80	10.90
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	40.35	40.45	40.55	40.65	40.70	40.80
Maximum Power Current-Imp(A)	9.80	9.80	10.00	10.10	10.20	10.30
Module Efficiency (%) *	19.7	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
 * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM144-6-395M	RSM144-6-400M	RSM144-6-405M	RSM144-6-410M	RSM144-6-415M	RSM144-6-420M
Maximum Power-Pmax (Wp)	295.6	299.3	303.1	306.9	309.2	312.7
Open Circuit Voltage-Voc (V)	44.60	44.70	44.90	44.99	45.63	45.70
Short Circuit Current-Isc (A)	8.53	8.61	8.69	8.77	8.80	8.87
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	37.00	37.05	37.14	37.24	37.30	37.40
Maximum Power Current-Imp (A)	8.00	8.08	8.16	8.24	8.29	8.36

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline, 9BB
Cell configuration	144 cells (6×12+6×12)
Module dimensions	2015×996×40mm
Weight	23kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm² (12AWG), Positive(+)/270mm, Negative(-)/270mm
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)	20ft
Number of modules per container	594	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	22	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2040×1130×1130	2040×1130×1130
Box gross weight[kg]	670	670

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 ©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

THE POWER OF RISING VALUE

ANEXO 12. MÓDULO MONOCRISTALINO MONOFACIAL – JINKO SOLAR

www.jinkosolar.com



Tiger Mono-facial All Black 380-400 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018
certified factory

IEC61215, IEC61730 certified product



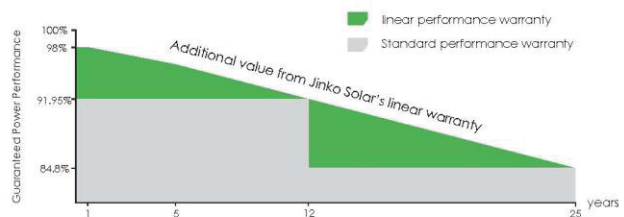
KEY FEATURES

- TR technology + Half Cell**
 TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (mono-facial up to 20.96%)
- 9BB instead of 5BB**
 9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.
- Higher lifetime Power Yield**
 2% first year degradation,
 0.55% linear degradation
- Best Warranty**
 12 year product warranty,
 25 year linear power warranty
- Avoid debris, cracks and broken gate risk effectively**
 9BB technology using circular ribbon that could avoid debris, cracks and broken gate risk effectively
- Severe Weather Resilience**
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

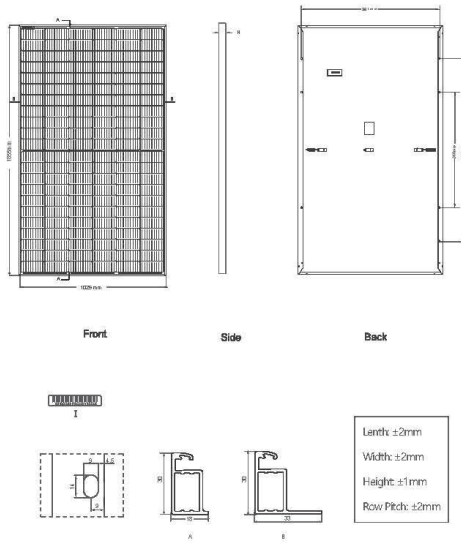


LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

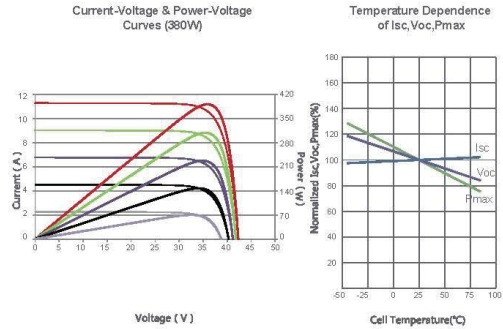
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty
 0.55% Annual Degradation Over 25 years



Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

35pcs/pallets, 70pcs/stack, 840pcs/ 40' HQ Container

Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	132 (2x66)
Dimensions	1855x1029x30mm (73.03x40.51x1.18 inch)
Weight	20.8 kg (45.86 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² (+): 290mm, (-): 145 mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM380M-6RL3-B		JKM385M-6RL3-B		JKM390M-6RL3-B		JKM395M-6RL3-B		JKM400M-6RL3-B	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	380Wp	283Wp	385Wp	286Wp	390Wp	290Wp	395Wp	294Wp	400Wp	298Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.90V	33.70V	37.02V	33.90V	37.15V	34.02V	37.27V	34.13V	37.39V	34.25V
Maximum Power Current (Imp)	10.30A	8.39A	10.40A	8.45A	10.50A	8.53A	10.60A	8.61A	10.70A	8.69A
Open-circuit Voltage (Voc)	44.22V	41.74V	44.34V	41.85V	44.47V	41.97V	44.59V	42.09V	44.71V	42.20V
Short-circuit Current (Isc)	11.12A	8.98A	11.22A	9.06A	11.32A	9.14A	11.42A	9.22A	11.52A	9.30A
Module Efficiency STC (%)	19.91%		20.17%		20.43%		20.69%		20.96%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

* STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5
 NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s
 * Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. TR JKM380-400M-6RL3-B-A2-EN (IEC2016)

ANEXO 13. MÓDULO MONOCRISTALINO BIFACIAL – JINKO SOLAR

www.jinkosolar.com



Tiger Bifacial 455-475 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018 certified factory

IEC61215, IEC61730 certified product

N-Type



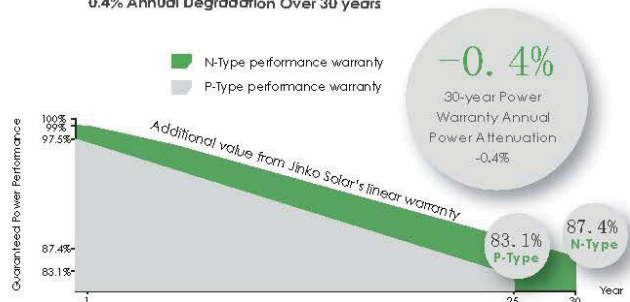
KEY FEATURES

- TR technology + Half Cell**
 TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (mono-facial up to 20.90%)
- Low Light Induced Degradation**
 The N-type cell shows extremely low light induced degradation (LID) performance when comparing with the P-type cell.
- 9BB instead of 5BB**
 9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.
- Higher lifetime Power Yield**
 1% first year degradation,
 0.4% linear degradation
- Best Warranty**
 15 year product warranty,
 30 year linear power warranty
- Better low-light performance**
 Excellent performance in low-light environments (e.g. early morning, dusk, and cloud, etc.)
- Severe Weather Resilience**
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

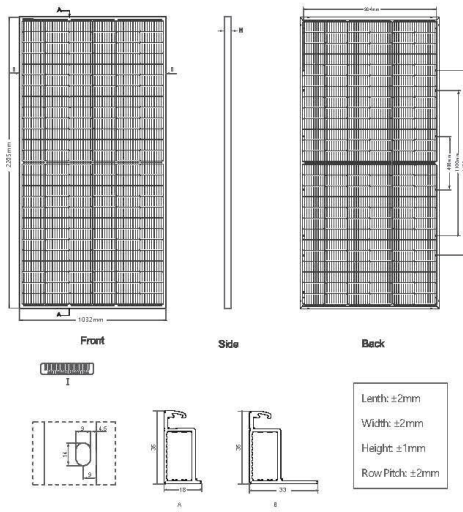


LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

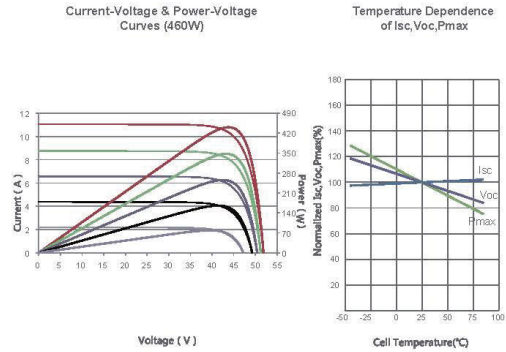
15 Year Product Warranty 30 Year Linear Power Warranty
 0.4% Annual Degradation Over 30 years



Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2×78)
Dimensions	2205×1032×35mm (86.81×40.63×1.38 inch)
Weight	25.0 kg (55.12 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+):250mm, (-): 150 mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)
31 pcs/pallets, 62 pcs/stack, 620 pcs/ 40' HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM455N-7RL3-TV		JKM460N-7RL3-TV		JKM465N-7RL3-TV		JKM470N-7RL3-TV		JKM475N-7RL3-TV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	455Wp	339Wp	460Wp	343Wp	465Wp	347Wp	470Wp	350Wp	475Wp	354Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	43.54V	40.15V	43.60V	40.26V	43.66V	40.36V	43.72V	40.47V	43.78V	40.52V
Maximum Power Current (Imp)	10.45A	8.45A	10.55A	8.52A	10.65A	8.59A	10.75A	8.66A	10.85A	8.74A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.80V	48.89V	51.90V	48.99V	52.00V	49.08V	52.10V	49.18V	52.16V	49.23V
Short-circuit Current (Isc)	11.16A	9.01A	11.25A	9.09A	11.34A	9.16A	11.43A	9.23A	11.53A	9.31A
Module Efficiency STC (%)	20.00%		20.21%		20.43%		20.65%		20.87%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.34%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Refer. Bifacial Factor	85±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REARSIDE POWER GAIN

		478Wp	483Wp	488Wp	494Wp	499Wp
5%	Maximum Power (Pmax)	478Wp	483Wp	488Wp	494Wp	499Wp
	Module Efficiency STC (%)	20.99%	21.23%	21.46%	21.69%	21.92%
15%	Maximum Power (Pmax)	523Wp	529Wp	535Wp	541Wp	546Wp
	Module Efficiency STC (%)	22.99%	23.25%	23.50%	23.75%	24.01%
30%	Maximum Power (Pmax)	592Wp	598Wp	605Wp	611Wp	618Wp
	Module Efficiency STC (%)	25.99%	26.28%	26.56%	26.85%	27.16%

* STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s
 * Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. TR JKM455-475N-7RL3-TV-A2-EN