

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

FERNANDA DOMBECK FLORIANI

**ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CURITIBA**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2018

FERNANDA DOMBECK FLORIANI

**ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CURITIBA**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis, do Curso de Pós-graduação Lato Sensu da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CURITIBA

Por

FERNANDA DOMBECK FLORIANI

Esta monografia foi apresentada em 29 / 06 / 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz
Orientador

Prof. Dr. Silvestre Labiak Jr
Membro Titular

Prof. Dr. José Alberto Cerri
Membro Titular

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

RESUMO

FLORIANI, Fernanda Dombeck. Compartilhamento da informação e do conhecimento em bibliotecas especializadas. 2018. 75f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

O Brasil possui relevante potencial para geração de energia elétrica fotovoltaica, devido ao alto índice de radiação solar no território nacional. Dessa forma, a energia solar é muito promissora no país e, atualmente, relativamente pouco explorada. Sendo considerada uma geração de energia limpa, os sistemas fotovoltaicos representam soluções e medidas sustentáveis para a construção civil. Sua grande vantagem é a redução de perdas do sistema, possibilitando a geração de energia elétrica próxima do local de consumo, decentralizando a geração de energia. Os sistemas de fotovoltaicos podem ser instalados nas coberturas e fachadas de edifícios e, partindo dessas soluções, o presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade para implementação de um sistema fotovoltaico instalado na cobertura e fachada em um edifício residencial existente em Curitiba - Paraná, para atender a demanda comum do condomínio do Edifício Silvertown e também, análise do consumo e possíveis medidas para diminuir o consumo de energia elétrica pelo condomínio. O resultado foi obtido com o auxílio de imagens do Google Earth, para estudo de sombreamento do entorno no edifício, e análise do programa RADIASOL.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Condomínio. Cobertura. Fachadas.

ABSTRACT

FLORIANI, Fernanda Dombeck. Information and knowledge sharing in special libraries. 2018. 75f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Brazil has relevant potential for photovoltaic electric energy generation, due to the high solar radiation index in the national territory. Thereby, solar energy is very promising in the country and, currently, relatively unexplored. Considered a clean energy generation, photovoltaic systems represent sustainable solutions and measures for constructions. Its great advantage is the reduction of the system's losses, allowing the generation of electric energy near the place of consumption, decentralizing the generation of energy. Photovoltaic systems can be installed in the roofs and facades of buildings and, starting from these solutions, the present work presents a viability study for the implementation of a photovoltaic system installed on the roof and facade in an existing residential building in Curitiba - Paraná, to meet the common demand of the condominium of the Silvertown Building and also, analysis of the consumption and possible measures to decrease the consumption of electrical energy by the condominium. The result was obtained with the help of Google Earth images, to study the shading of the environment in the Building, and analysis of the RADIASOL program.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Condominium. Roof. Facades.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Imagem ilustrativa sobre economia de energia.....	16
Figura 2 - Imagem ilustrativa sobre economia de energia.....	20
Figura 3 - Evolução da capacidade de FV instalada no mundo	22
Figura 4 - Histórico de preço de células fotovoltaicas de silício	22
Figura 5 - Mapa mundial de irradiação solar	23
Figura 6 - Estrutura típica de um módulo fotovoltaico de silício cristalino	24
Figura 7 - Módulo Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino	25
Figura 8 - Módulo Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino	26
Figura 9 - Módulo Solar de Silício Amorfo.....	27
Figura 10 - Módulo Solar de Telureto de Cádmio.....	28
Figura 11 - Módulo Solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio	28
Figura 12 - Constituição básica do sistema fotovoltaico conectado à rede	29
Figura 13 - Fachada principal Edifício Silvertown.....	31
Figura 14 - Implantação Edifício Silvertown	38
Figura 15 - Ângulos das Fachadas 01 e 02.....	39
Figura 16 – Simulação de sombreamento na edificação às 8:00h.....	40
Figura 17 - Simulação de sombreamento na edificação às 12:00h.....	40
Figura 18 - Simulação de sombreamento na edificação às 16:00h.....	41
Figura 19 - Simulação de sombreamento na edificação às 18:00h.....	41
Figura 20 - Implantação: localização dos painéis FV nas simulações.....	42
Figura 21 - Interface de entrada da estação Silvertown	43
Figura 22 - RADIASOL Simulação 01	44
Figura 23 - Elevação Fachada 01 com módulos FV de filmes finos.....	47
Figura 24 - RADIASOL Simulação 02	48

Figura 25 - Elevação Fachada 02 com módulos FV de filmes finos.....	49
Figura 26 - RADIASOL Simulação 03	50
Figura 27 - Implantação de módulos FV na cobertura	52
Figura 28 - Elevação Fachada 01 com 28 módulos FV de filmes finos.....	54
Figura 29 - Arranjo do sistema FV instalado na cobertura	57
Figura 30 - Arranjo do sistema FV instalado na Fachada 01	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica do edifício Silvertown	33
Tabela 2 - Tipos de lâmpadas do edifício Silvertown	35
Tabela 3 - Equipamentos elétricos do edifício Silvertown	37
Tabela 4 - Catálogo ThyssenKrupp: motor de elevadores	37
Tabela 5 - Geração estimada de energia do sistema FV mensal e anual	55
Tabela 6 - Arranjo do sistema FV instalado na cobertura	56
Tabela 7 - Arranjo do sistema FV instalado na Fachada 01	58
Tabela 8 – Quadro resumo de equipamentos	60

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

A	Ampére
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Apud	em (termo em Latim)
Av.	Avenida
a-Si	Silício amorfo
BAPV	Building Applied Photovoltaic (termo em Inglês)
BIPV	Sistema Fotovoltaico Integrado a Edifícios
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CdTe	Telureto de Cádmio Rígido
CIS / CIGS	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (elemento químico)
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
c-Si	Silício cristalino
d	Distância
E	Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
et. Al.	e outros (termo em Latim)
Fe	Fator de espaçamento
FV	Fotovoltaico
GWh	Giga watt hora (unidade de medida)
GWp	Giga watt pico (unidade de medida)
h	Hora
h_i	Altura de instalação do gerador fotovoltaico
h_o	Altura do obstáculo
H_{TOT}	Irradiação solar incidente no plano dos módulos FV
I_{mp}	Corrente de máxima potência
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
kW	Quilowatt (unidade de medida)
kWh	Quilowatt hora (unidade de medida)
kWh/m ²	Quilowatt hora por metro quadrado (unidade de medida)
L	Leste ou comprimento

LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
m	Metros
m ²	Metros quadrados (unidade de medida)
m/min	Metros por minuto
máx.	Máximo
mm	Milímetro (unidade de medida)
mm ²	Milímetro quadrado (unidade de medida)
m-Si	Monocristalino (elemento químico – Mono Silício)
MW	Megawatt (unidade de medida)
MW	Megawatt hora (unidade de medida)
N	Norte
n.d.	Não divulgado
N _{FV}	Número de módulos fotovoltaicos
O	Oeste
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Potência total do painel fotovoltaico
P _{FV}	Potência do painel fotovoltaico
P _{MAX}	Potência nominal do módulo fotovoltaico
PR	Paraná ou Performance Ratio
p-Si	Policristalino (elemento químico – Poli Silício)
R.	Rua
R\$	Real Brasileiro
S	Sul
SESC	Serviço Social do Comércio
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
TFPV	Células fotovoltaicas de película fina
US\$	Dólar Norte Americano
V	Volt (unidade de medida) ou Tensão do barramento CC
V _{cc}	Tensão máxima de corrente contínua
V _{mp}	Tensão de máxima potência
V _{oc}	Tensão de circuito aberto
W	Watt (unidade de medida)
Wh	Watt hora (unidade de medida)
Wh/m ²	Watt hora por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTO DO TEMA	13
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3	OBJETIVO GERAL	14
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.5	JUSTIFICATIVA	15
1.6	DELIMITAÇÃO DO TEMA	15
1.7	METODOLOGIA	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS	18
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	20
2.3	TECNOLOGIAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	23
2.4	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (SFVCR)	29
3	PROJETO	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO SILVERTOWN	31
3.2	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO OBJETO DE ESTUDO	32
3.3	ESTUDO GEOGRÁFICO E DE SOMBREAMENTO	38
3.4	SIMULAÇÕES	42
3.5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FV ESCOLHIDO	52
4	CONCLUSÕES E DISCUSSÕES	61
5	REFERÊNCIAS	63
	ANEXO A – CATÁLOGO First Solar SERIES 6 FS-6445	67
	ANEXO B – CATÁLOGO Canadian Solar MAXPOWER CS6X-325P	70
	ANEXO C – CATÁLOGO SMA Sunny Tripower 15000TL	73

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica está presente fortemente no dia-a-dia atual, sendo quase inimaginável atualmente a vida sem ela. No Brasil, predomina a geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas, sendo a usina de Itaipu como referência em produção. As usinas hidrelétricas apesar de gerarem energia a um custo relativamente baixo, geram grandes impactos ambientais, devido ao seu grande porte. Atualmente, o estado do Paraná é abastecido pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), que gera e distribui energia através das seguintes fontes: principalmente hidráulica, solar, térmica, células a combustível, eólica e biomassa (COPEL, 2016).

Devido à demanda de energia elétrica estar aumentando significativamente nos últimos tempos, é necessário que se adotem medidas sustentáveis, como utilização de fontes renováveis para a geração de energia. É necessário também que se encontrem soluções para o problema de sobrecarga das concessionárias nacionais, devido ao aumento da população, das tecnologias e conseqüentemente, do consumo. Dessa forma, países Europeus, como a Alemanha, instituíram programas de incentivo à geração de energia elétrica distribuída, em que os consumidores da rede elétrica podem gerar sua própria energia e dessa forma optarem por fontes renováveis de energia. Essas medidas além de contribuírem para a sustentabilidade do meio ambiente, desafogam a produção e distribuição das companhias nacionais, por gerarem a energia no local de consumo, diminuem perdas e desperdícios na geração a distância convencional. Uma dessas fontes renováveis para geração de energia de baixo impacto são os sistemas fotovoltaicos, que produzem energia a partir da luz do sol pelas células fotovoltaicas do sistema (EPE, 2017b).

O Brasil recentemente instituiu ações regulatórias que viabilizam a Micro e Mini Geração Distribuída (ANEEL, 2012), através de sistemas de compensação do excedente de energia elétrica. No Balanço Energético Nacional do ano base de 2016, divulgado em meados de 2017 e realização do Ministério das Minas e Energia, mostra que a Micro e Mini Geração Distribuída marcaram 104,1 GWh com potência instalada de 72,5 MW, sendo a geração de fonte solar fotovoltaica, com geração de 53,6 GWh e potência instalada de 56,9 MW (EPE, 2017a.)

Devido aos avanços de tecnologias rumo a uma geração de energia com fontes renováveis e de menor impacto, a geração fotovoltaica é de extrema vantagem, uma vez que permite ser utilizada a própria cobertura ou a fachada do edifício, sem requerer área adicional (URBANETZ JUNIOR, 2010). Seguindo essa tendência, o seguinte trabalho de conclusão de curso propõe um estudo de caso do dimensionamento e aplicação do sistema fotovoltaico para suprir o consumo das áreas comuns de um edifício residencial já existente.

1.1 CONTEXTO DO TEMA

Atualmente é muito discutido e pesquisado novas formas de geração de energia, visto que as fontes de energia atuais são em sua grande maioria fósseis e não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural, sendo muito agressivas para o meio ambiente e com previsão de finitude. Dessa forma, energias consideradas limpas ou provenientes de fontes renováveis estão sendo progressivamente mais pesquisadas e novas tecnologias já podem ser aplicadas utilizando matérias-primas e recursos naturais. Além de ser desenvolvido e analisados métodos e tecnologias que reduzam o consumo de energia, dessa forma, não sendo necessária a geração de energia excedente (EPE, n.d.).

Essa Monografia analisará um estudo de caso utilizando o Edifício Silvertown, edifício residencial localizado em Curitiba, Paraná, como objeto de estudo. Nesse, será analisado práticas, medidas e tecnologias que primeiramente reduzam o consumo de energia elétrica e, após, proposto um pré-dimensionamento para aplicação do sistema FV de geração de energia conectada à rede elétrica e instalada no edifício.

Essa intervenção será do tipo aplicada a edificação – Building Applied Photovoltaic (BAPV), uma vez que se trata de um edifício já existente. Esse tipo de sistema é o mais utilizado no Brasil atualmente, já que a maioria dos sistemas fotovoltaicos instalados não são integrados nos edifícios desde a concepção do projeto, sistema esse que está sendo difundido em países estrangeiros e que já possuem essa tecnologia e o conceito do uso de FV mais desenvolvidos.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O estudo analisará um edifício residencial existente, Edifício Silvertown, o consumo de energia elétrica nas áreas comuns e um pré-dimensionamento para implementação de um sistema de geração de energia FV no local a fim de reduzir os custos do condomínio e promover medidas sustentáveis para prédios antigos.

Situado no bairro Água Verde e construído em 1996, o prédio contempla sessenta apartamentos, quatro unidades por pavimento e quinze pavimentos residenciais, um pavimento térreo de área comum e dois subsolos garagem. Na época da construção ainda não era difundida a importância de soluções sustentáveis, portanto o edifício não foi projetado visando a sustentabilidade.

Como os apartamentos de cobertura são duplex e possuem uma varanda, a cobertura do edifício possui uma área comum muito reduzida, na qual será analisada se na área disponível é possível instalar o sistema fotovoltaico de geração de energia. Dessa forma, o estudo analisará a viabilidade de se instalar o sistema aplicado de duas formas: na cobertura e nas fachadas do edifício; e comparar qual das soluções é mais eficaz.

1.3 OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade técnica de implementação de um sistema fotovoltaico de geração de energia para abastecer as áreas comuns do Edifício Silvertown.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta Monografia são:

- Levantar e identificar equipamentos com potências significativas (como motores e bombas) e sistemas de iluminação utilizados nas áreas comuns do Edifício Silvertown para avaliar o consumo e a eficiência energética do condomínio;

- Levantar dados da irradiação solar do edifício em questão a fim de obter dados da(s) fachada(s) mais insolada(s) e da cobertura;
- Pré-dimensionar o sistema fotovoltaico de geração de energia no objeto de estudo na(s) fachada(s) mais ensolarada(s) e na cobertura do edifício;
- Comparar as situações de locação do sistema FV e elencar o mais eficaz para uma possível viabilidade de implementação do sistema no edifício.

1.5 JUSTIFICATIVA

Frente a um assunto atual e que retrata a importância desse tipo de geração de energia no cenário mundial, o estudo objetiva alcançar os seguintes resultados:

- Enfoque atual da importância de reduzir o consumo de energia;
- Demanda real de diminuição de custos do valor condominial do estudo de caso;
- Projeto multidisciplinar: abrange a áreas da arquitetura, engenharia civil e engenharia elétrica;
- Interesse pessoal, residência no edifício em questão e interesse em apresentar o estudo de viabilidade do projeto desenvolvido para o condomínio aplicá-lo futuramente;
- Desenvolver projeto para outros edifícios residenciais já existentes que tenham o mesmo interesse em reduzir a tarifa condominial através dessas medidas sustentáveis.

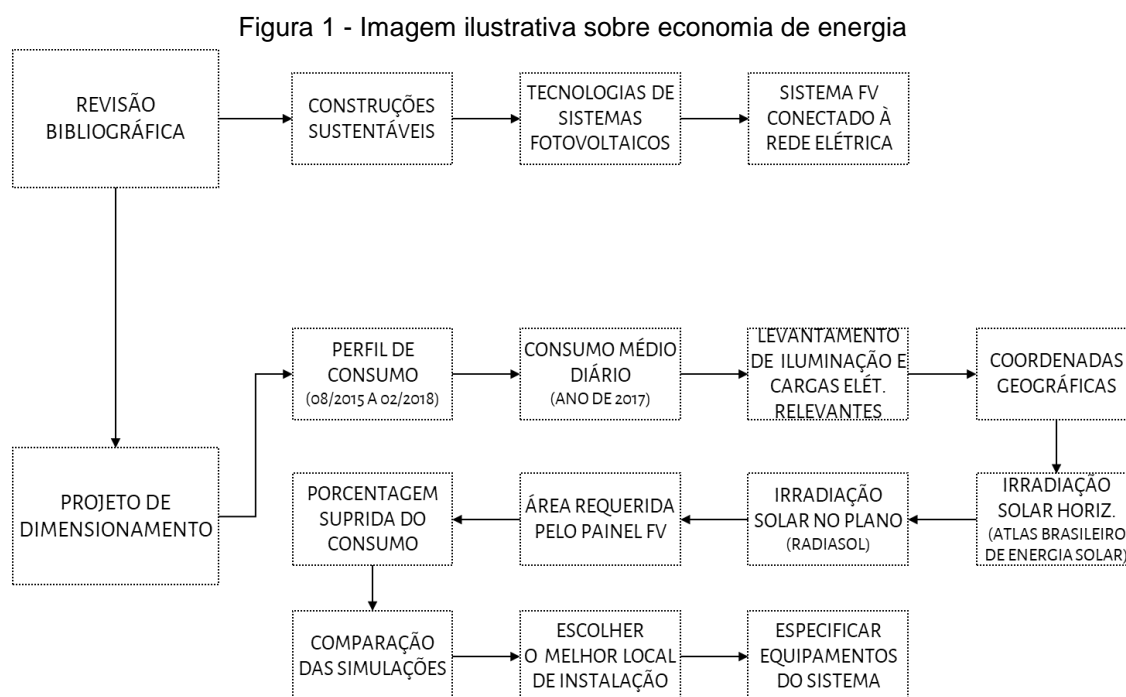
1.6 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo será baseado na análise do sistema de iluminação artificial do edifício Silvertown e na proposta de implantação do sistema FV de geração de energia afim de estudar a viabilidade técnica de implementação do sistema.

O edifício Silvertown situa-se no endereço Avenida Silva Jardim, número 2014, no bairro Água Verde, na cidade de Curitiba, estado do Paraná.

1.7 METODOLOGIA

O estudo será desenvolvido a partir de uma revisão da literatura sobre os temas: construções sustentáveis e energia solar fotovoltaica, onde serão pesquisados os tipos de tecnologias dos sistemas FV e o Sistema de Geração Fotovoltaica Conectada à Rede Elétrica. Na sequência, será realizado um projeto de dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico de geração de energia para o edifício residencial já existente (objeto de estudo), simulando a instalação na cobertura e na fachada do edifício, a fim de analisar a possibilidade de suprir total ou parcialmente a demanda de consumo de energia elétrica do condomínio nas áreas comuns, ver na Figura 1 o fluxograma do procedimento metodológico.



Fonte: Autoria própria

O estudo de caso dar-se-á conforme seguintes etapas: análise do perfil de consumo de energia elétrica do condomínio referente a 31 meses (agosto de 2015 a fevereiro de 2018), onde será identificado mudanças que reduziram o consumo significativo do condomínio. Estipular o consumo médio diário e mensal de energia do ano de 2017 (entre os meses de janeiro de 2017 a dezembro de 2017). Em seguida, será listado os sistemas de iluminação e levantamento de cargas elétricas de bombas e motores das áreas comuns do edifício.

Na sequência, será estudada a posição do edifício em estudo e sua orientação solar, identificação da(s) fachada(s) mais adequada(s) para a instalação do sistema de geração de energia solar fotovoltaica e o sombreamento dessa(s) fachada(s). Identificará a latitude e longitude do ponto do objeto em estudo para que se encontre os dados de irradiação solar horizontal mensal, retirados do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª edição. (PEREIRA et. Al, 2017). Em seguida, será utilizado o programa RADIASOL para determinar a irradiação solar no plano do módulo fotovoltaico e nela serão inseridos os dados de irradiação solar horizontal mensal referentes às coordenadas geográficas do edifício, encontrados anteriormente, o ângulo de inclinação do plano escolhido (fachada ou cobertura) e o seu desvio azimutal com relação ao Norte. O software trará como resultado os dados mensais e a média anual de irradiação solar incidente no plano dos módulos fotovoltaicos (unidade de medida kWh/m². dia).

Será então desenvolvido um pré-dimensionamento do sistema de geração de energia solar fotovoltaica a partir dos dados obtidos anteriormente. Através de fórmula de dimensionamento do painel fotovoltaico, será estimado a área requerida pelo painel fotovoltaico em cada uma das situações para suprir a potência necessária do condomínio (média mensal). Em seguida, será analisado se a área exigida é compatível com a área disponível na fachada e na cobertura e na sequência estipular a porcentagem de demanda suprida em cada situação.

Então, serão comparados os resultados obtidos nas situações propostas, dependentes do plano de instalação dos painéis FV e justificar a escolha da instalação (fachada ou cobertura) que se apresentar mais eficiente. Após, será calculado o dimensionamento dos condutores e especificado os equipamentos para concluir o dimensionamento do sistema proposto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

O conceito de sustentabilidade está relacionado à expressão “desenvolvimento sustentável”, tido como o desenvolvimento que atende às necessidades das gerações atuais e garante que as gerações futuras tenham condições de suprirem suas próprias necessidades. (SESC, n.d.). Esse conceito começou a ser discutido em 1972, na primeira conferência da ONU em Estocolmo, Suécia, que teve como tema o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Após 11 anos, a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, foi indicada pela ONU para comandar a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que teve como resultado o documento *Nosso Futuro Comum*, ou Relatório Brundtland. Esse documento apresentou a definição de “desenvolvimento sustentável”. (SENADO, n.d.). Tradução da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987, retirada do documento:

Na sua essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações e necessidades humanas. (apud. ONU, n.d).

Nesse documento, foram apresentadas inúmeras recomendações, o que fez com que o assunto entrasse em pauta na agenda pública. Em 1992, ocorreu uma nova Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, desta vez no Rio de Janeiro, conhecida como Eco-92 ou Cúpula da Terra. Foi desenvolvido então um instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável, visando reduzir a degradação ambiental e garantir o desenvolvimento sustentável, através de métodos de conservação ambiental, justiça social e crescimento econômico (ONU, n.d.). Algumas das medidas apresentadas no documento com interesse de reduzir a degradação ambiental são: “proteger a atmosfera; combater o desmatamento, a perda de solo e a desertificação; prevenir a poluição da água e do ar; deter a destruição das populações de peixes e promover uma gestão segura dos resíduos tóxicos.” (ONU, n.d.). O documento final da Agenda

21 recomendou a reavaliação dos padrões sustentáveis de distribuição de energia, produção e uso e da gestão dos recursos energéticos, afim de se reduzir a degradação ambiental e as emissões de gases de efeito estufa.

Dá-se então, na década de 90, início à discussão da sustentabilidade na arquitetura, principalmente no contexto europeu, em decorrência da conscientização de uma possível crise energética a níveis mundiais devido ao consumo de energia de fontes fósseis e do crescimento populacional, urbano e tecnológico que aumentariam a demanda do consumo energético. Após a Segunda Guerra Mundial, a tecnologia permitiu que os edifícios controlassem as condições ambientais no seu interior, com o uso de sistemas de condicionamento ambiental artificial e de iluminação artificial, dessa forma, viu-se uma grande tendência a construção de edifícios com grandes peles de vidro e o uso excessivo de energia elétrica. Com o aumento das cidades, ficou-se cada vez mais notável o aumento do consumo e dos riscos de uma possível crise energética (GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S., 2006).

A arquitetura bioclimática passou a ter grande importância no conceito de sustentabilidade e tem-se então retomado os conceitos e métodos de conforto ambiental para as edificações (GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S., 2006). Aliado à tecnologia, desenvolveram-se sistemas de iluminação artificial que reduzem consideravelmente o consumo de energia elétrica, como as lâmpadas LED, além de sistemas de geração de energia que reduzem o impacto ambiental e potencializam a produção devido à proximidade do uso. Podemos citar a geração de energia eólica, através das usinas de torres eólicas e a geração de energia fotovoltaica, objeto deste estudo. Na ilustração da Figura 2, lê-se “é mais barato economizar energia do que fornecê-la!” e é exatamente nessa afirmação que se tem desenvolvido mundialmente o conceito de sustentabilidade no setor energético.

Figura 2 - Imagem ilustrativa sobre economia de energia
"é mais barato ECONOMIZAR energia do que FORNECÊ-LA!"



Fonte: LAMBERTS et al. (2013)

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O Sol é a principal estrela do planeta solar e uma abundante fonte de energia renovável, ao modo que um dia de energia solar incidente sobre a superfície terrestre, é superior à demanda mundial de energia de um ano inteiro (LABEEE, 2010.). O Sol pode fornecer energia pela sua radiação, que pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, gerando calor, e para geração de potência mecânica ou elétrica. A energia solar pode também ser convertida diretamente em energia elétrica, devido às propriedades de determinados materiais, como termoelétricos e fotovoltaicos (ANEEL, 2005).

A energia solar é utilizada pela humanidade desde séculos antes de Cristo, para aquecer água e casas e para fazer fogo. Com o passar dos anos e do desenvolvimento tecnológico, descobriu-se o efeito fotovoltaico pelo cientista francês Edmond Becquerel, que permitiu a criação da célula solar. Na segunda metade do século XIX, Willoughby Smith, engenheiro elétrico inglês, descobriu as propriedades fotocondutivas do selênio que permitiu que em seguida, os cientistas William Grylls Adams e Richard Evans Day descobrissem a criação de eletricidade quando o material é exposto à luz solar. A primeira célula solar foi então produzida em 1883, por Charles Fritts, feitas com selênio. Somente em 1954, os cientistas Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson construíram a primeira célula solar de silício, sendo pioneiros na criação de tecnologia fotovoltaica com eficiência de apenas 4%, mas capaz de

alimentar um aparelho elétrico por várias horas. Em 1973, construiu-se a primeira casa com geração de energia solar própria em estudo realizado pela Universidade de Delaware, Estados Unidos. A “Solar One”, como foi chamada, contava com a tecnologia fotovoltaica integrada ao telhado, sendo considerada a primeira utilização do BIPV - Sistema Fotovoltaico Integrado a Edifícios (RICHARDSON, 2017).

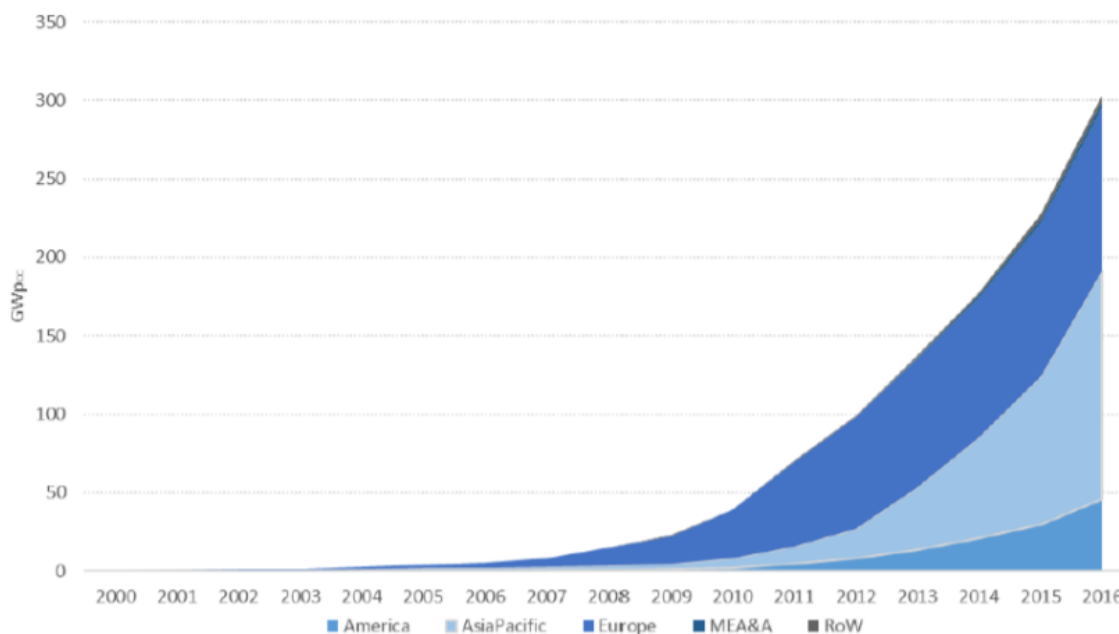
A descoberta e invenção da tecnologia do sistema de geração de energia fotovoltaico contribui atualmente para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a energia solar é uma fonte renovável, o sistema possui baixo impacto e a geração é potencializada devido à proximidade do local de uso, reduzindo perdas (SOUZA V. A.; CARVALHO, R. F.; SARKIS, A. M., 2015). Atualmente, a instalação de painéis fotovoltaicos para geração local de energia é muito utilizada por aqueles que desejam aderir às práticas da construção sustentável.

A família que decide ter uma casa fotovoltaica, bem como uma instituição que decide construir uma sede fotovoltaica, está expressando um posicionamento social, está afirmando que adotou o evangelho da solidariedade intergerações, como no passado se adotava a caridade com o próximo e, mais tarde, a solidariedade global. Ela está declarando que optou por um mundo sustentável e está mostrando que pode dar uma contribuição eficaz, não apenas simbólica; está fazendo-o mediante a adoção de uma energia limpa que, com a multiplicação de um número sempre crescente de adeptos, se tornará muito importante; e, além disso, está contribuindo para o crescimento de uma indústria perfeitamente capaz de tornar essa opção mais econômica (Antonio Luque. Prefácio. Barcelona apud. CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F., 2007).

A utilização da energia solar convertida diretamente em eletricidade nos últimos anos cresceu vertiginosamente e está bastante difundida em mais de 100 países. A China em primeiro lugar, seguida por Japão e Estados Unidos são os três mercados de energia que mais crescem atualmente, porém a Alemanha se mantém como maior produtora de energia fotovoltaica do mundo (PORTAL SOLAR, n.d. a). Justifica-se que neste país, o governo possui programa de incentivo à instalação de mini e micro geração de energia solar fotovoltaica. O programa proporciona tarifas diferenciadas pela geração de energia do sistema BIPV, onde as concessionárias alemãs de energia compram toda a energia gerada pelos sistemas FV em uma proporção de 3 para 1 com relação à tarifa convencional (LABEEE, 2010). Dessa forma, o investimento da população em sistemas FV conectados à rede elétrica se tornou atrativo e estimulou o desenvolvimento da tecnologia e competitividade comercial. Ao longo dos anos a

instalação de sistemas FV cresceu e o valor da célula FV diminuiu, como é possível ver nas Figura 3 e Figura 4.

Figura 3 - Evolução da capacidade de FV instalada no mundo



Fonte: Global PV Markets, IEA PVPS (2017) apud. SAUAIA, R. L. (2017)

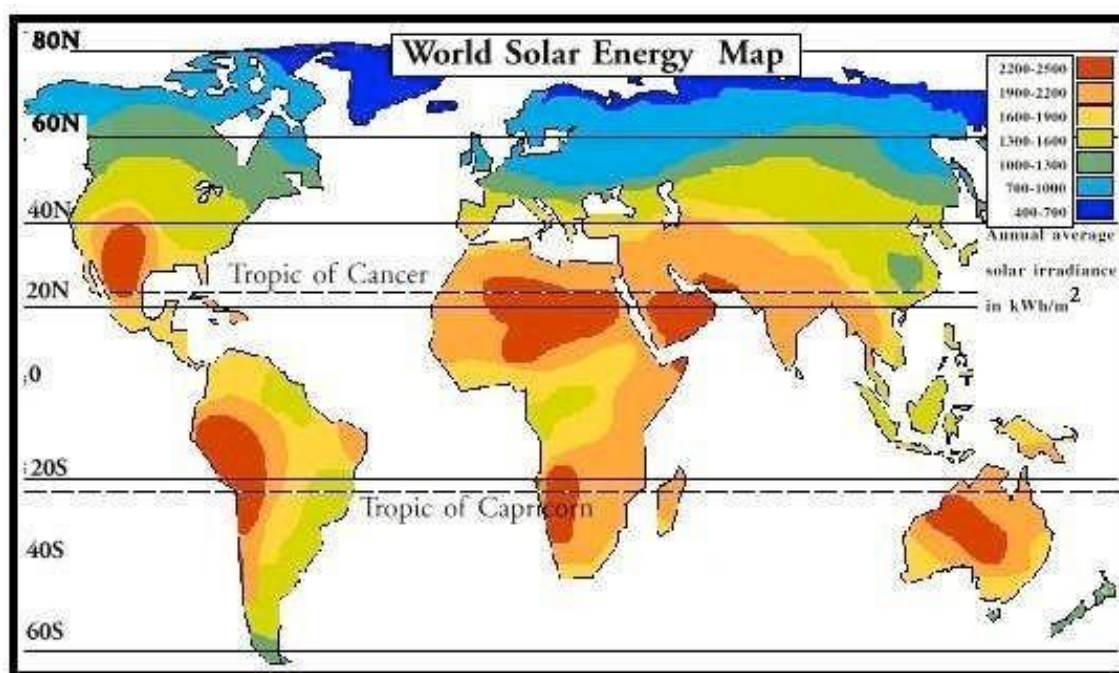
Figura 4 - Histórico de preço de células fotovoltaicas de silício



Fonte: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com apud. SAUAIA, R. L. (2017)

Ainda que a insolação na Alemanha seja relativamente baixa, de 1100 – 1300 kWh/m², com relação aos países tropicais, os incentivos governamentais proporcionaram que o país fosse uma potência na geração de energia fotovoltaica. O Brasil, em contrapartida, possui insolação de 1700 – 2400 kWh/m², superior aos países do hemisfério Norte que são referência na geração de energia FV, ver Figura 5 (S4 SOLAR DO BRASIL). Isso mostra que o potencial FV do Brasil está sendo subaproveitado, prova disso é a afirmação publicada pelo GREENPEACE (2010, p. 16): “Se apenas 5% dessa energia fosse aproveitada, toda a demanda brasileira por eletricidade poderia ser atendida”.

Figura 5 - Mapa mundial de irradiação solar



Nota: medida em kWh/m²

Fonte: (S4 SOLAR DO BRASIL)

2.3 TECNOLOGIAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

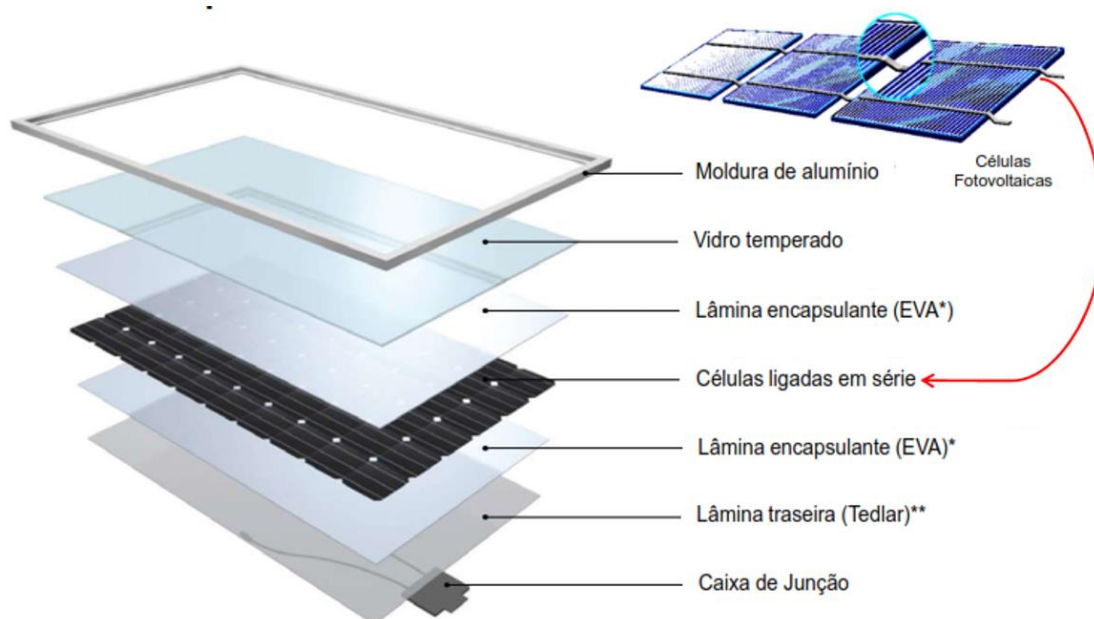
A energia solar pode ser utilizada direta ou indiretamente. A transformação direta da energia solar em eletricidade é denominada de “efeito fotovoltaico”, em que os elementos luminosos da energia solar (fótons), são convertidos pelos dispositivos

fotovoltaicos em energia elétrica (LABEEE, 2010). A geração de energia ocorre devido à diferença de potencial elétrico gerado entre a incidência de luz solar e a célula solar fotovoltaica, devido as cargas opostas forma-se então uma corrente elétrica. (GUIMARÃES, 2015).

Atualmente, existem opções de tecnologias que produzem a conversão de energia fotovoltaica, com células solares fotovoltaicas produzidas a nível comercial, sendo as duas principais baseadas no silício cristalino e baseadas em filmes finos (RÜTHER, 2004 apud. LABEEE, 2010).

A tecnologia de silício cristalino (c-Si) é a tecnologia mais usual, estima-se que 90% dos painéis fotovoltaicos utilizados no mundo são de silício. Na Figura 6, vê-se a estrutura de um módulo fotovoltaico padrão de c-Si, composto pelas células fotovoltaicas e proteção e sustentação em vidro. (URBANETZ, 2017a).

Figura 6 - Estrutura típica de um módulo fotovoltaico de silício cristalino



Fonte: Centrotherm apud. URBANETZ, 2017a.

É dividida em formas, diferenciadas pelo seu grau de pureza do silício. A mais antiga tecnologia, Módulo Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino (m-Si), é também a que possui maior grau de pureza e, portanto, maior eficiência dentre as tecnologias comercialmente acessíveis – entre 14 e 22%. São módulos retangulares

de cor uniforme azul escuro, quase preto, cinza ou azul acinzentado e cantos arredondados, sendo fácil identificá-los ver Figura 7. São fabricados através do processo Czochralski, na junção de silícios em lingotes cilíndricos, posteriormente cortados os quatro lados para aumentar a área de captação da luz solar e laminado. Essa tecnologia possui melhor performance em condições de pouca luz. Sua desvantagem é ter o custo mais elevado que os demais (PORTAL SOLAR, n.d. b).

Figura 7 - Módulo Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino



Fonte: Portal Solar, n.d. b

A outra é tecnologia de Módulo Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino (p-Si). Nessa, os cristais de silício são fundidos e formam múltiplos cristais em blocos quadrados e em seguidas laminados, sendo um pouco mais fácil e barata sua produção comparada a tecnologia monocristalina, também gerando menos resíduos devido ao maior aproveitamento do silício. A eficiência é inferior comparada a outra tecnologia, entre 13 e 18%. Os módulos são retangulares e sua aparência é heterogênea e de coloração azul ou cinza prateada, como é possível ver na Figura 8.

Ambas tecnologias possuem vida útil superior a 30 anos e em algumas fábricas, possuem garantia de 25 anos (PORTAL SOLAR, n.d. b).

Figura 8 - Módulo Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino



Fonte: Portal Solar, n.d. b

A tecnologia de filmes finos consiste em agregar finas camadas de células fotovoltaicas sobre um substrato, sendo também denominadas de células fotovoltaicas de película fina (TFPV). A diferenciação dos tipos de painéis de filmes finos dá-se na escolha do material fotovoltaico utilizado. No geral, essa tecnologia possui menor eficiência que as de silício cristalino, porém já existem no mercado painéis fotovoltaicos de filme fino com eficiência próxima aos 16%, podendo ser similar aos Módulos Fotovoltaicos de Silício Policristalino. Também, possuem menor vida útil, tendo a garantia de fábrica reduzida. (PORTAL SOLAR, n.d. b). Os filmes finos permitem maior integração do uso dos painéis fotovoltaicos com a edificação, devido à sua versatilidade de formas e estética.

Os Módulos Solares de Silício Amorfo (a-Si) possuem baixa eficiência e eram utilizados apenas em pequena escala como em calculadoras e relógios. Atualmente, com o processo de fabricação de empilhamento, é possível agregar várias camadas

de silício amorfo e elevar a eficiência do módulo para 6 a 9% (PORTAL SOLAR, n.d. b). O sistema se mostrou eficiente na geração de energia por iluminação artificial ou radiação difusa – predominante em dias de céu encoberto. O silício é aplicado em superfícies de vidro, aço inox ou plásticos, sendo aparência homogênea e o sistema muito versátil, permitindo a obtenção de módulos “flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes, com superfícies curvas” (RÜTHER, 2004). Essa variedade disponível, faz com que essa tecnologia seja atraente para soluções arquitetônicas relacionadas à estética, permitindo diversas alternativas de aplicações nos edifícios. Na Figura 9, é possível ver um exemplo do módulo em aparência rígida e acobreada.

Figura 9 - Módulo Solar de Silício Amorfo



Fonte: Portal Solar, n.d. b

Os Módulos Solares de Telureto de Cádmio (CdTe) é a tecnologia de filmes finos que possuem melhor desempenho de custo/eficiência com relação aos painéis de silício cristalino, tendo sua eficiência entre 9 a 16% geralmente. Suas instalações são em grandes escalas, como em grandes usinas de energia solar, sendo a empresa First Solar líder no mercado de telureto de cádmio (PORTAL SOLAR, n.d. b). Sua larga aplicação dá-se no custo reduzido de produção, comparado à tecnologia de silício, e na eficiência superior que do silício amorfo. Contudo, a disponibilidade notavelmente inferior com relação ao silício e a toxicidade do cádmio, são importantes desvantagens do uso dessa tecnologia se considerada a larga escala. Normalmente, os módulos são comercializados em placas retangulares de vidro com coloração azul ou marrom escuro, como na Figura 10 (RÜTHER, 2004).

Figura 10 - Módulo Solar de Telureto de Cádmio



Fonte: Portal Solar, n.d. b

Devido as desvantagens do CdTe, a tecnologia de Módulos Solares de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS e CIGS), modelo na Figura 11, é promissora, por possuírem potencial de eficiência semelhantes do Telureto de Cádmio, possui as mesmas desvantagens da disponibilidade do recurso de matéria prima e da toxicidade do material para o meio-ambiente, porém inferiores à outra tecnologia (RÜTHER, 2004). A eficiência do sistema é de 10 a 12%, existindo fabricantes com mais de 13% atualmente (PORTAL SOLAR, n.d. b).

Figura 11 - Módulo Solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio

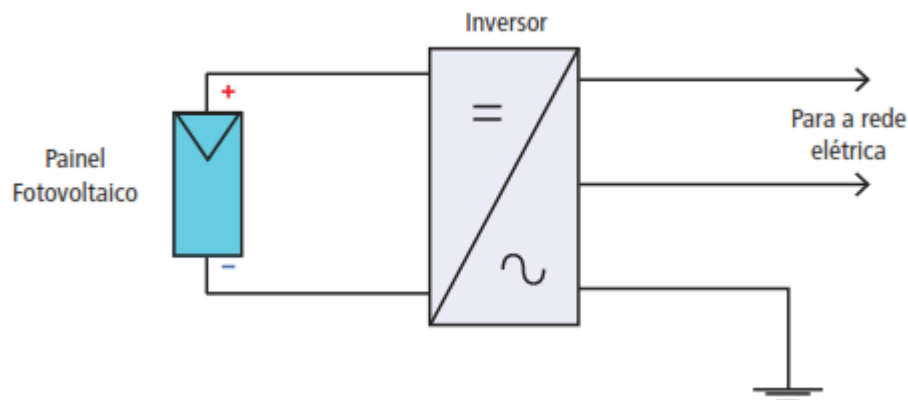


Fonte: Portal Solar, n.d. b

2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (SFVCR)

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica é dado por uma planta centralizada para geração descentralizada de energia elétrica, conectada à rede elétrica pública. A energia gerada no sistema é injetada na rede, formando uma cogeração de energia particular com a concessionária. Nesse sistema, o inversor detecta a presença de conexão à rede e converte a tensão contínua advinda do painel fotovoltaico e transforma em tensão alternada, padrão da rede elétrica conectada que será injetada a energia gerada (LABEEE, 2010). Uma instalação solar fotovoltaica conectada à rede elétrica é composta pelos painéis solares e seus elementos de fixação, por um equipamento conversor de CC-CA, ou inversor, medidor eletrônico bidirecional, fusíveis e disjuntores, proteções contra sobretensões e aterramento e caixas de conexão, ver Figura 12 (RÜTHER, 2004).

Figura 12 - Constituição básica do sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: LABEEE, 2010.

A geração de energia do SFVCR se dá no local de consumo, onde a energia gerada é utilizada ou lançada na rede elétrica, se a geração for excedente ao consumo e passa a ser utilizada por outros consumidores. Caso a energia gerada seja insuficiente ou inexistente (noite), o consumo é abastecido pela rede elétrica pública a que o sistema está conectado (LABEEE, 2010). Esse tipo de cogeração é regulamentado pela ANEEL, na Resolução Normativa 482/2012 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Nela, determina-se que a unidade consumidora

que gerar excedentes, passa a ter créditos com a concessionária que poderão ser consumidos posteriormente, ressaltando que não existe a remuneração por essa energia gerada e injetada na rede, o consumidor resguarda do direito de acumular seus créditos para utilizar em até 60 meses no próprio local de geração ou em “autoconsumo remoto”, unidade consumidora registrada pelo mesmo titular, desde que em local atendido pela mesma distribuidora. Na unidade consumidora que é instalado o SFVCR, utiliza-se um leitor de consumo bidirecional, onde é registrada a entrada de saída da rede para consumo e a injeção de energia gerada à rede. Quando a unidade consumidora utiliza a energia da rede, ainda que possua créditos, é cobrado os impostos referentes ao momento do consumo. Além, disso, é cobrado da unidade consumidora a taxa mínima, ou consumo mínimo de energia. Dessa forma, o SFVCR não possibilita a isenção da cobrança de energia pela concessionaria local.

Na falta de energia elétrica, o SFVCR é desativado e desconectado da rede automaticamente por questões de segurança, sendo proibida a utilização de baterias no sistema conectado à rede.

Pela norma, determina-se que *Microgeração Distribuída* é a central geradora com potência instalada de até 75 quilowatts (kW) e *Minigeração Distribuída*, aquela com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 5MW, por meio de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

3 PROJETO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO SILVERTOWN

O edifício Silvertown, objeto de estudo deste trabalho, é projeto e execução de autoria da, já extinta, Sociedade Construtora Cidadela Ltda. Projeto de 1995 e construção de 1996, localizado no bairro Água Verde, Curitiba, Paraná, no endereço Av. Silva Jardim, nº 2014, em terreno com área de 1.556,00m², Figura 13. O empreendimento possui 2 pavimentos subsolos de garagens, pavimento térreo de uso comum, 15 pavimentos tipos de unidades de apartamentos, cobertura duplex e pavimentos técnicos. Com 4 unidades de apartamento por pavimento tipo, totalizando 60 apartamentos em área construída total de 9.910,60m.

Figura 13 - Fachada principal Edifício Silvertown



Fonte: Imóvelweb, n.d.

Cada apartamento tipo de aproximadamente 106m² possui sala para 3 ambientes, cozinha, área de serviço, quarto de serviço, sanitário de serviço, hall de entrada, lavabo, 2 quartos, banheiro social e 1 suíte. As 4 unidades de cobertura duplex, além dos cômodos citados, contam com sala íntima, quarto e sanitário no pavimento superior e varanda e piscina individual descoberta. Dessa forma, a maior parte da área de cobertura é de uso privativo. O condomínio conta com a instalação de dois portões de entrada para veículos, um portão de acesso de pedestres e dois elevadores e escada de emergência. O condomínio abriga majoritariamente famílias e estudantes, imóveis próprios ou locados, com 1 ou 2 vagas de garagem dependendo do apartamento.

3.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO OBJETO DE ESTUDO

O edifício analisado é uma unidade consumidora da COPEL/PR. Foram, então, coletados dados a respeito do consumo de energia elétrica durante os meses de agosto de 2015 a fevereiro de 2018, totalizando 31 meses analisados, ver Tabela 1.

A escolha do período analisado se deu ao fato de, no final do ano de 2015, a maioria das lâmpadas das áreas comuns terem sido trocadas para o sistema LED. Com isso, é possível perceber uma redução significativa do consumo de agosto de 2015: 4150kWh, para o ano de 2018: 1894kWh de diferença entre os anos. O condomínio optou pela troca gradativa das lâmpadas pela tecnologia LED, sendo possível perceber com a gradual redução do consumo desde a segunda metade do ano de 2015. A redução de aproximadamente 54% reforça a afirmativa que lâmpadas LED são mais econômicas que outros tipos de lâmpadas, já que o tempo de uso não alterou significativamente entre os meses para que interferisse no resultado. Dessa forma, identifica-se uma solução sustentável que o edifício está implementando: substituição gradativa das lâmpadas por sistema LED, além de já possuir sensores de presença em alguns ambientes das áreas comuns há anos.

Na tabela, a progressão de cores da escala vermelho-verde, em que vermelho representa o maior consumo e verde o menor, mostra que atualmente o edifício está

em sua fase de melhor eficiência energética dos últimos 31 meses seu menor consumo.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica do edifício Silvertown

Mês Referência	Consumo Registrado (kWh)	Valor Total	Valor da tarifa
2015			
Agosto	4150	R\$ 3.541,47	R\$ 0,85
Setembro	4698	R\$ 3.933,32	R\$ 0,84
Outubro	4531	R\$ 3.764,15	R\$ 0,83
Novembro	3824	R\$ 3.244,70	R\$ 0,85
Dezembro	3261	R\$ 2.835,88	R\$ 0,87
2016			
Janeiro	2764	R\$ 2.430,57	R\$ 0,88
Fevereiro	3117	R\$ 2.704,35	R\$ 0,87
Março	2803	R\$ 2.361,33	R\$ 0,84
Abril	2697	R\$ 2.199,07	R\$ 0,82
Maio	2863	R\$ 2.284,99	R\$ 0,80
Junho	2672	R\$ 2.129,00	R\$ 0,80
Julho	2348	R\$ 1.679,04	R\$ 0,72
Agosto	2519	R\$ 1.701,81	R\$ 0,68
Setembro	2256	R\$ 1.528,33	R\$ 0,68
Outubro	2402	R\$ 1.616,73	R\$ 0,67
Novembro	2285	R\$ 1.562,35	R\$ 0,68
Dezembro	2249	R\$ 1.525,39	R\$ 0,68
2017			
Janeiro	2095	R\$ 1.400,95	R\$ 0,67
Fevereiro	2175	R\$ 1.454,79	R\$ 0,67
Março	2230	R\$ 1.534,11	R\$ 0,69
Abril	2324	R\$ 1.555,40	R\$ 0,67
Maio	2058	R\$ 1.417,44	R\$ 0,69
Junho	2298	R\$ 1.610,85	R\$ 0,70
Julho	2223	R\$ 1.631,12	R\$ 0,73
Agosto	2201	R\$ 1.702,11	R\$ 0,77
Setembro	2311	R\$ 1.793,26	R\$ 0,78
Outubro	1992	R\$ 1.589,89	R\$ 0,80
Novembro	2299	R\$ 1.885,46	R\$ 0,82
Dezembro	1973	R\$ 1.607,39	R\$ 0,81
2018			
Janeiro	1785	R\$ 1.387,53	R\$ 0,78
Fevereiro	1894	R\$ 1.398,14	R\$ 0,74

Fonte: Autoria própria.

Os meses considerados para o cálculo de dimensionamento do sistema fotovoltaico são de janeiro de 2017 a dezembro de 2017. A média de consumo do condomínio nestes meses é de 2.181kWh e a partir desse dado que será calculado o dimensionamento do sistema FV.

No início do ano de 2018, a iluminação do condomínio opera quase que em sua totalidade com lâmpadas LED, ver Tabela 2, com exceção da iluminação da quadra poliesportiva, que possui 8 lâmpadas de vapor metálico 90W, e dos elevadores, que possuem 4 lâmpadas fluorescente tubular 15W em cada cabine. As lâmpadas da quadra poliesportiva, que possuem a maior potência, não foram substituídas pelo sistema LED devido a maior qualidade na reprodução de cor das lâmpadas de vapor metálico, proporcionando maior conforto para a prática de esportes. Porém, o consumo é pouco significativo, pelo fato de as quadras terem suas luzes acesas somente pelo período máximo de 4 horas (18:00h às 22:00, período máximo noturno que permite a permanência e uso das quadras de esporte) e ainda considerando que esse padrão máximo de uso não é diário.

Tabela 2 - Tipos de lâmpadas do edifício Silvertown

Ambiente	Sensor de presença	Lâmpada bulbo LED 9W	Lâmpada bulbo LED 7W	Lâmpada dicróica LED 5W	Lâmp. vapor metálico 90W	Lâmpada fluorescente tubular 15W	Luminária de Emergência
SUBSOLO 01							
Garagem	Sim	34					4
SUBSOLO 02							
Garagem	Sim	31					4
Escada subsolo	Sim	1					1
Área técnica	Não	1					0
TÉRREO							
Entrada	Não	6					0
Guarita	Não		1				1
Hall de entrada	Sim		8	29			2
Salão de festas	Não		15	13			0
Sanitário feminino	Não		1				0
Sanitário masculino	Não		1				0
Academia	Não		11	12			0
Sanitário 01	Não		1				0
Depósito 01	Não		1				0
Depósito 02	Não		1				0
Escada subsolo	Não		1				1
Estar funcionários	Não		4				0
Sanitário funcionários	Não		1				0
DML	Não		1				0
Salão de jogos	Não		11				0
Sanitário recreação	Não		1				0
Bicicletário	Não		1				0
Recreação coberta	Sim		14				0
Quadra	Não				8		0
Playground	Não	4					0
Recreação descoberta	Não	9					0
Antecâmara	Não	1					0
Escada	Não	1					1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 continuação - Tipos de lâmpadas do edifício Silvertown

Ambiente	Sensor de presença	Lâmpada bulbo LED 9W	Lâmpada bulbo LED 7W	Lâmpada dicroica LED 5W	Lâmp. vapor metálico 90W	Lâmpada fluorescente tubular 15W	Luminária de Emergência
TIPO (x15)							
Antecâmara	Não	1					0
Escada	Não	1					1
Hall comum	Sim		6				1
Sala de lixo	Não		1				1
Quadros elétricos	Não		1				1
PAV. TÉCNICO							
Casa de máquinas	Não	1					1
ELEVADORES (x2)							
Cabine	Não					4	0
QUANTIDADE TOTAL		119	194	54	8	8	75
POTÊNCIA TOTAL		1.071W	1.358W	270W	720W	120W	-

Fonte: Autoria própria.

Para reduzir pouco mais o consumo de energia elétrica do condomínio, pode-se propor que futuramente sejam substituídas as lâmpadas das cabines dos elevadores, hoje quatro lâmpadas fluorescentes tubulares de 15W em cada cabine acesas durante o dia todo, diariamente. O consumo atual estimado da iluminação dos elevadores é de 86,40kWh/mês. Se fossem substituídas por 4 lâmpadas de 9W em cada cabine, o consumo estimado de iluminação dos elevadores seria de 51,84kWh/mês, uma redução de 40% do consumo atual das lâmpadas fluorescentes.

Outra fonte de consumo de energia elétrica são os equipamentos elétricos de maior potência como motores e bombas, ver Tabela 3. A exemplo do motor do elevador, é possível reduzir seu consumo substituindo o sistema do elevador por motores mais eficazes.

Tabela 3 - Equipamentos elétricos do edifício Silvertown

Equipamento	Potência (W)
Motor elevador (x2)	18.000
Bomba cisterna (x2)	5.516,24
Bomba de drenagem águas pluviais (x2)	5.516,24
Motor portão externo	1.471
Motor portão interno	1.471
Fechadura magnética	4,32
TOTAL	31.978,80

Fonte: Autoria própria.

Os elevadores continuam os mesmos da entrega do edifício, ano de 1997, com tecnologia defasada e por isso, maior consumo e menos eficiência no uso do equipamento em diversos fatores. Os elevadores atualmente são da empresa ThyssenKrupp, uma empresa de referência no mercado de elevadores, com cabines para 8 pessoas. Propondo manter os novos elevadores dessa mesma empresa e com a mesma capacidade, existem sistemas mais econômicos, ver Tabela 4. Se utilizar o elevador com capacidade para 8 pessoas, velocidade de 60m/min e percurso de até 65m, o motor passa a ser de 7.500W, redução significativa de 58% do consumo atual. Porém, tal medida seria mais complexa que as outras substituições citadas, já que a troca dos elevadores implica num alto custo despendido momentaneamente, muito superior que a troca gradual das lâmpadas.

Tabela 4 - Catálogo ThyssenKrupp: motor de elevadores

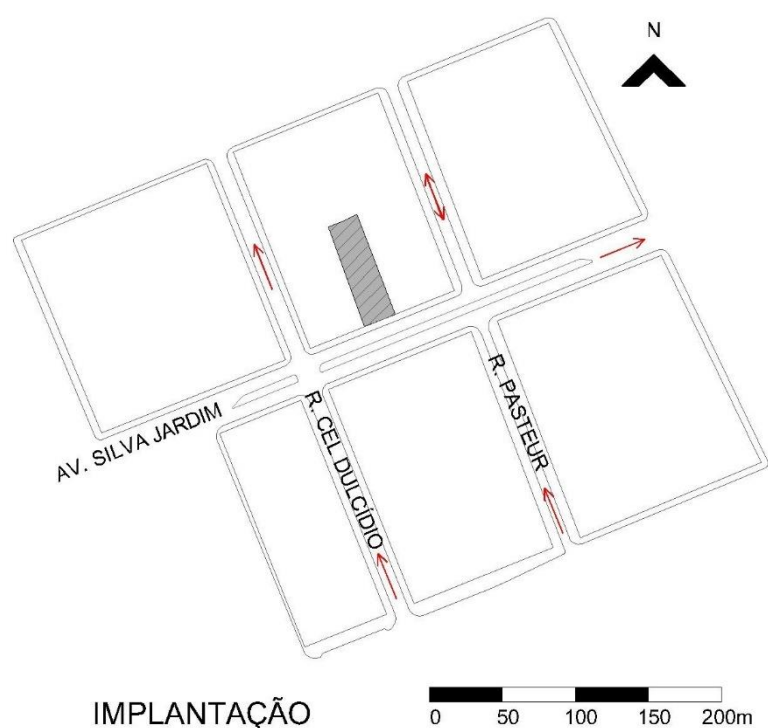
Capac. (pessoas)	Velocidade (m/min)	Percurso (m)	Motor (kW)
06	60	Até 65	5,5
		65 à 120	11
	75/90/105	Até 65	7,5
		65 à 120	11
	120/150	Até 120	11
180		15	
08	60	Até 65	7,5
		65 à 120	11
	75/90/105		11
		Até 120	120
	150/180		

Fonte: Catálogo ThyssenKrupp, 2010.

3.3 ESTUDO GEOGRÁFICO E DE SOMBREAMENTO

O edifício está localizado na Av. Silva Jardim, coordenadas 25,44°S latitude e 49,28°O longitude, fachada principal a sudeste, ver Figura 14. Suas fachadas mais ao Norte são a fachada posterior e a lateral direita de quem da rua avista o edifício, que possuem maior insolação.

Figura 14 - Implantação Edifício Silvertown

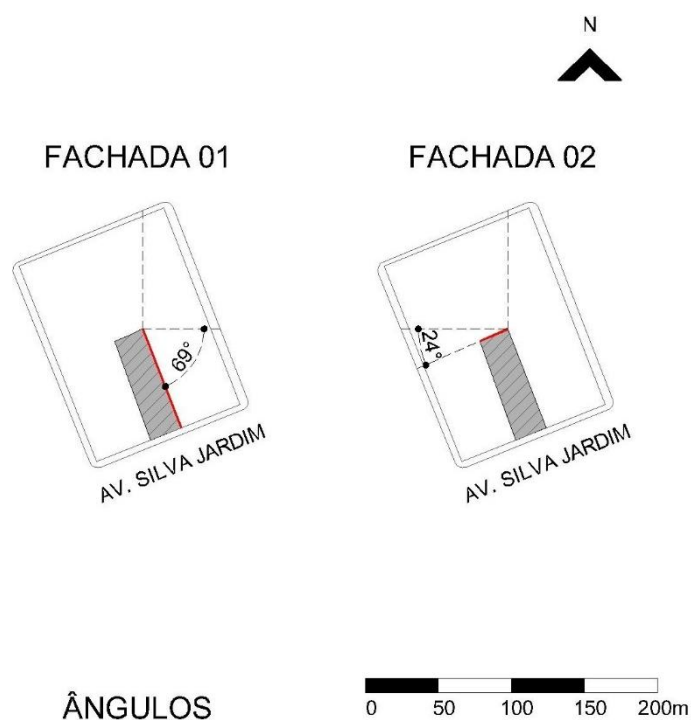


IMPLANTAÇÃO 0 50 100 150 200m

Fonte: Adaptado de IPPUC/Geoprocessamento, 2018.

A fachada posterior possui desvio azimutal de 69°L, a partir de então nomeada de Fachada 01, ver Figura 23, e a fachada lateral direita desvio azimutal de 24°O, denominada Fachada 02 (Figura 15).

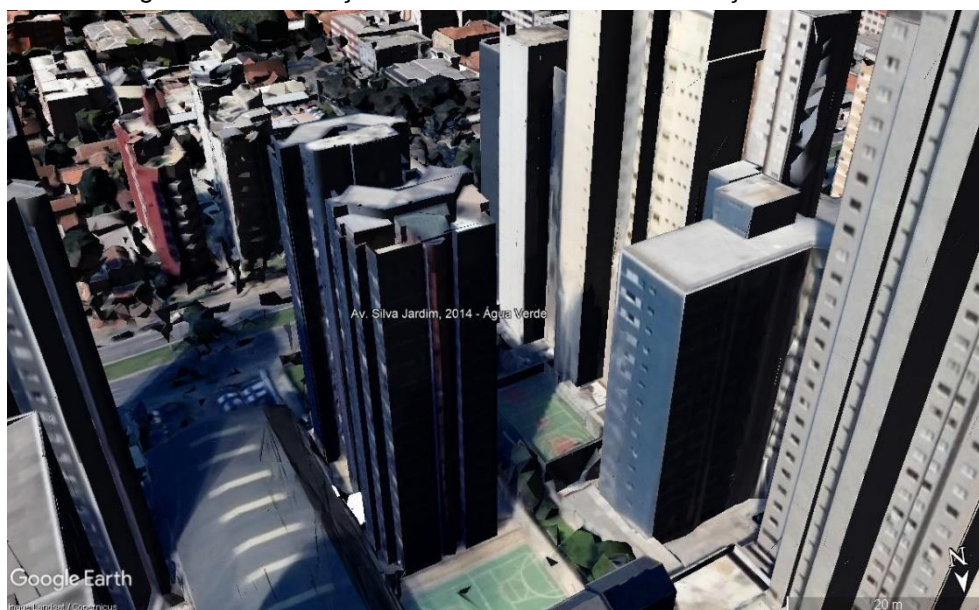
Figura 15 - Ângulos das Fachadas 01 e 02



Fonte: Adaptado de IPPUC/Geoprocessamento, 2018.

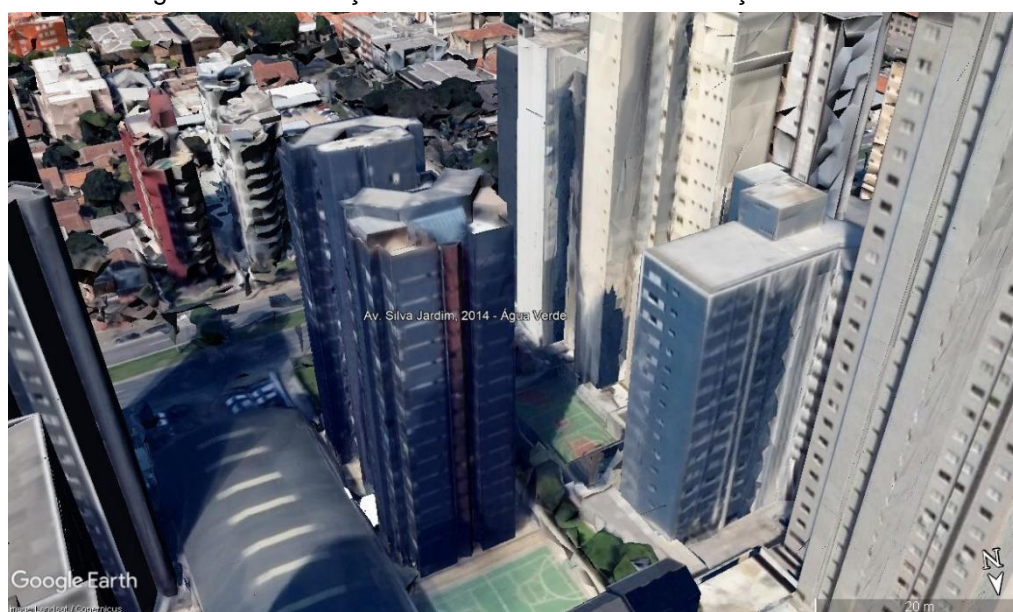
O edifício se encontra no meio de quadra e em seu entorno possuem outras edificações de diversas alturas. Através da ferramenta Google Earth, foi possível analisar o sombreamento do entorno no objeto de estudo, ver Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19, utilizando um filtro para simular o sombreamento sobre uma mesma imagem do edifício.

Figura 16 – Simulação de sombreamento na edificação às 8:00h



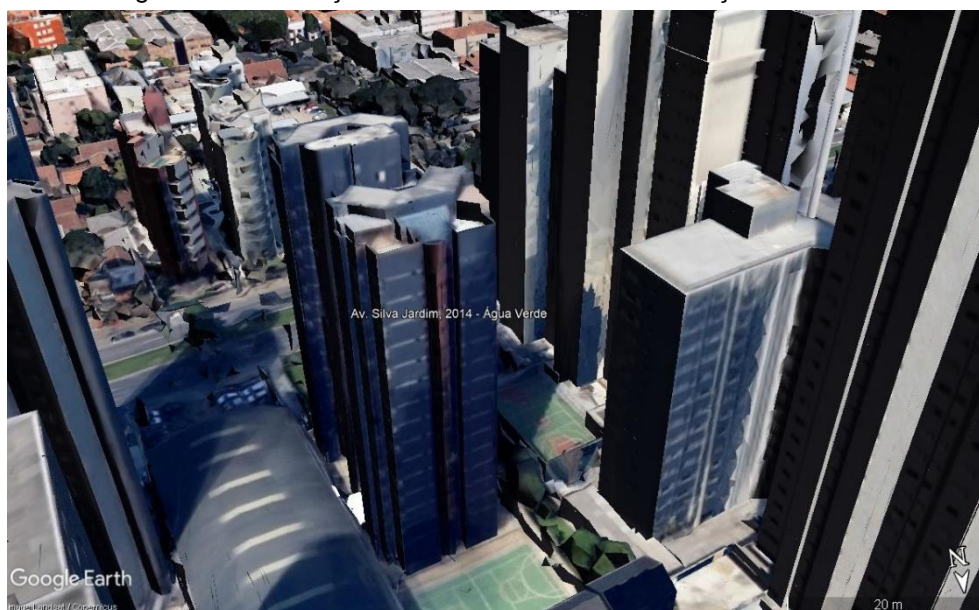
Fonte: Google Earth, 2018

Figura 17 - Simulação de sombreamento na edificação às 12:00h



Fonte: Google Earth, 2018

Figura 18 - Simulação de sombreamento na edificação às 16:00h



Fonte: Google Earth, 2018

Figura 19 - Simulação de sombreamento na edificação às 18:00h

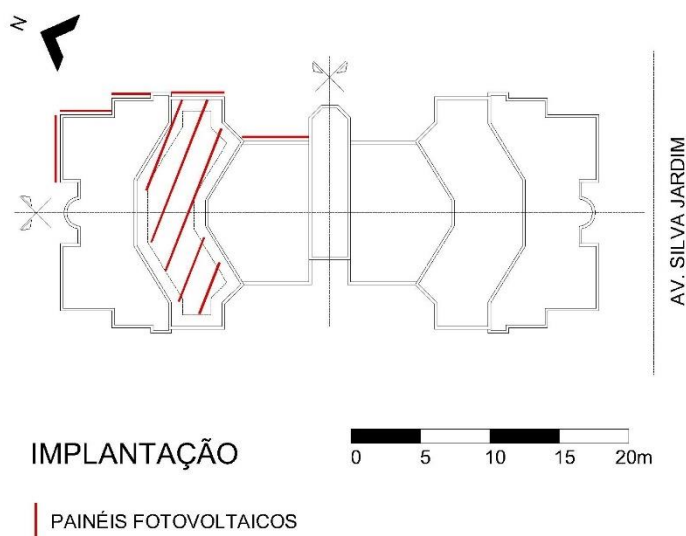


Fonte: Google Earth, 2018

A Fachada 01, localizada na Figura 15, é mais ensolarada no período da manhã e praticamente em todos os pavimentos tipos. Será então utilizado para cálculo, a área disponível desse plano vertical todos os pavimentos tipos (16 pavimentos: 15 pavimentos tipo mais cobertura). A Fachada 02 é mais insolada no período da tarde, tendo sombra permanente até o 10º pavimento tipo, por tanto, somente do 11º ao 16º

pavimento é aproveitado pelo sistema FV nos cálculos seguintes. O plano de cobertura utilizado será o volume da parte posterior do edifício, mais à Norte. Ver na Figura 20 a localização dos painéis FV, determinados nos locais de maior incidência solar.

Figura 20 - Implantação: localização dos painéis FV nas simulações



Fonte: Autoria própria.

3.4 SIMULAÇÕES

O estudo propõe criar 3 simulações para implementação do sistema FV no objeto de estudo, duas simulações na fachada (superfície vertical) e uma simulação na cobertura (superfície horizontal). A tecnologia utilizada nas simulações do sistema instalado na fachada é a de filmes finos – telureto de cádmio. Para essa tecnologia, foi escolhido o módulo da empresa First Solar SERIES 6 FS-6445, com potência nominal de 445Wp, eficiência de 18%, sem moldura, medindo 2009x1232mm, ver catálogo em Anexo 2. Para a simulação no plano horizontal, será utilizada a tecnologia de módulos de silício-policristalino; o escolhido foi o módulo MAXPOWER CS6X-325P da marca Canadian Solar, com potência nominal de 325Wp, eficiência de 16,94%, moldura em alumínio anodizado, medindo 1954x982mm, ver catálogo em Anexo 3.

Por tanto, será a partir das características desses módulos escolhidos que o sistema será dimensionado em cada simulação.

Através das coordenadas geográficas da localização do Edifício Silvertown, é possível encontrar os dados de irradiação solar horizontal mensal e média anual, retirados do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª edição. (PEREIRA et. Al, 2017). Os dados são inseridos em uma estação criada no software RADIASOL e nele são configurados o ângulo azimutal e a inclinação da superfície onde o sistema FV será instalado.

Nesse estudo, foi criada a estação Silvertown e inserido os dados de irradiação solar das coordenadas mais próximas da real posição do edifício encontrados no Atlas Solar: 49,249°O longitude e 25,40°S latitude, ver Figura 21. Na sequência, serão criadas três simulações para determinar os dados de irradiação solar nas diferentes superfícies: simulação 01 referente à Fachada 01, simulação 02 à Fachada 02 e simulação 03, com os painéis instalados no plano horizontal da cobertura.

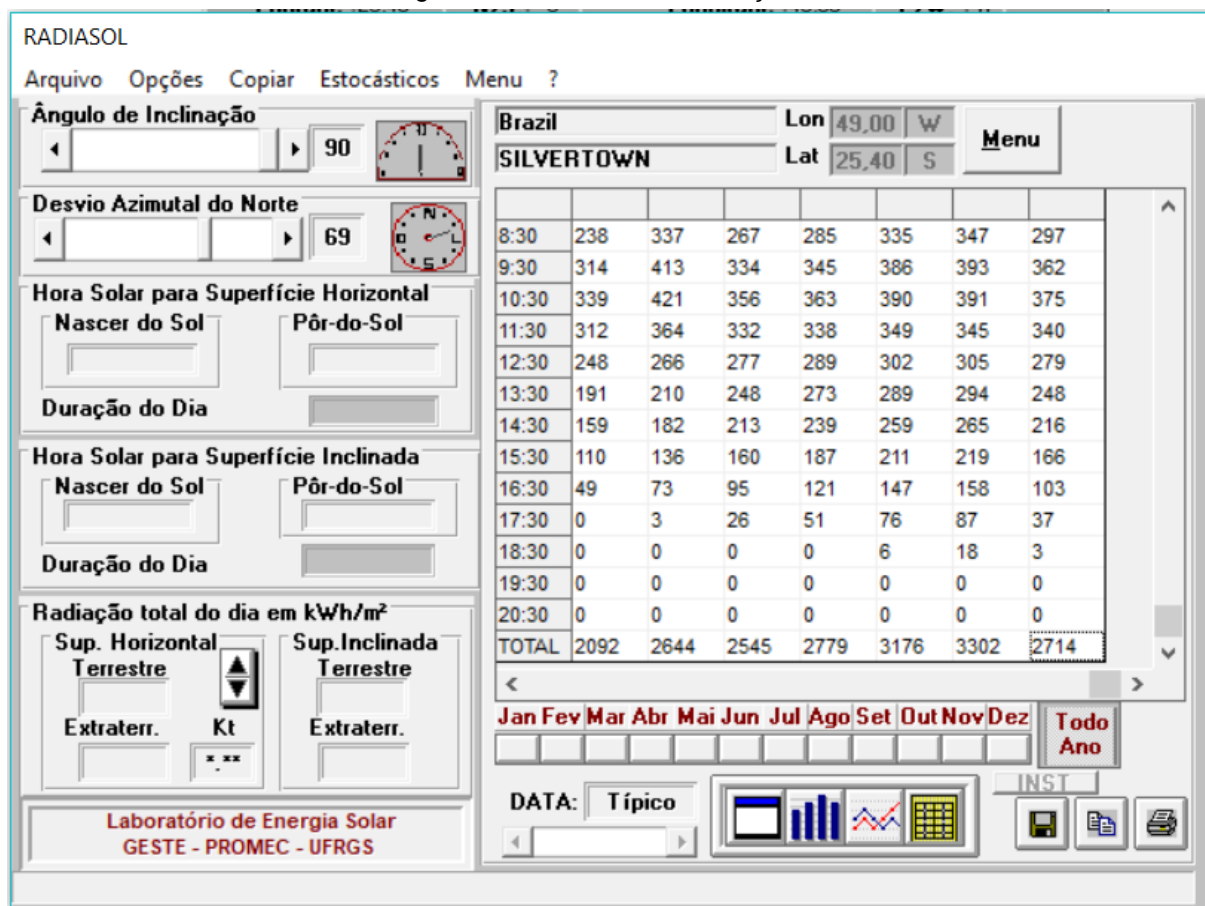
Figura 21 - Interface de entrada da estação Silvertown

Selecione um país e uma estação											
País	Brazil										
Estação	SILVERTOWN										
Latitude	25,40	N/S:	S	Longitude	49,00	E/W:	W				
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,32	5,16	4,54	3,78	3,05	2,76	2,89	3,86	3,83	4,36	5,23	5,56
Radiação em kWh/m ²											

Fonte: RADIASOL, 2018.

Na Simulação 01, proposta para a Fachada 01, ver Figura 23, foi colocado no software RADIASOL os dados de desvio azimutal de 69°L e ângulo de inclinação de 90° (superfície vertical), ver Figura 22. O resultado da média anual de irradiação solar incidente nessa superfície é de 2,714kWh/m².dia.

Figura 22 - RADIASOL Simulação 01



Fonte: RADIASOL, 2018.

O edifício é ligado à rede da COPEL em sistema trifásico, sendo cobrada uma taxa de disponibilidade correspondente a 100kWh/mês, que serão cobrados independentemente do seu uso. Dessa forma, para o cálculo da energia necessária produzida pelo sistema FV desconta-se do consumo médio mensal calculado acima (2.181kWh/mês), a taxa de disponibilidade cobrada pela concessionária de 100kWh/mês, resultando em 2.081kWh/mês a serem produzidos como média mensal pelo sistema fotovoltaico. Com esse resultado, divide-se por 30 para obter o valor da média de consumo diário de 69,37kWh/dia, esse valor que será considerado nos cálculos seguintes.

Como os dados das especificações dos sistemas escolhidos são apresentados conforme situações ideais, é determinado um Índice de performance, performance ratio, do sistema em condições mais próximas as reais. Esse valor determinar um

percentual de desempenho do sistema real com relação as condições ideais de funcionamento, permitindo que haja uma maior precisão dos resultados de energia que o sistema realmente produzirá e da energia que ele é capaz de produzir. Como o sistema fotovoltaico é conectado à rede elétrica, determinou-se o valor de 80% para a performance ratio dos cálculos a seguir, com base em FINOCCHIO, 2013, indicando que se admita os valores no intervalo de 80% a 90%.

A partir da obtenção dos valores de estimativa de energia diária a ser gerada e a média anual de irradiação solar no plano, aplicam-se tais dados na Equação 01 para se encontrar o valor da potência do painel FV instalado na Fachada 01:

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot PR} \quad \text{Eq. 01}$$

URBANETZ, 2017a

Onde:

- E - energia diária a ser gerada (69,37kWh/dia)
- H_{TOT} - irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (2,714kWh/m².dia)
- PR - Performance Ratio (0,80)
- **$P_{FV} = 31,950\text{kWp}$**

Encontra-se então, que a potência do painel FV é de 31,95kWp. Para obter o número de módulos FV CdTe, divide-se a potência do painel encontrada pela potência nominal do módulo escolhido. Na Equação 02, obtêm-se a quantidade necessária de módulos para instalar a potência FV encontrada:

$$N_{FV} = P_{FV} / P_{MAX} \quad \text{Eq. 02}$$

URBANETZ, 2017c

Onde:

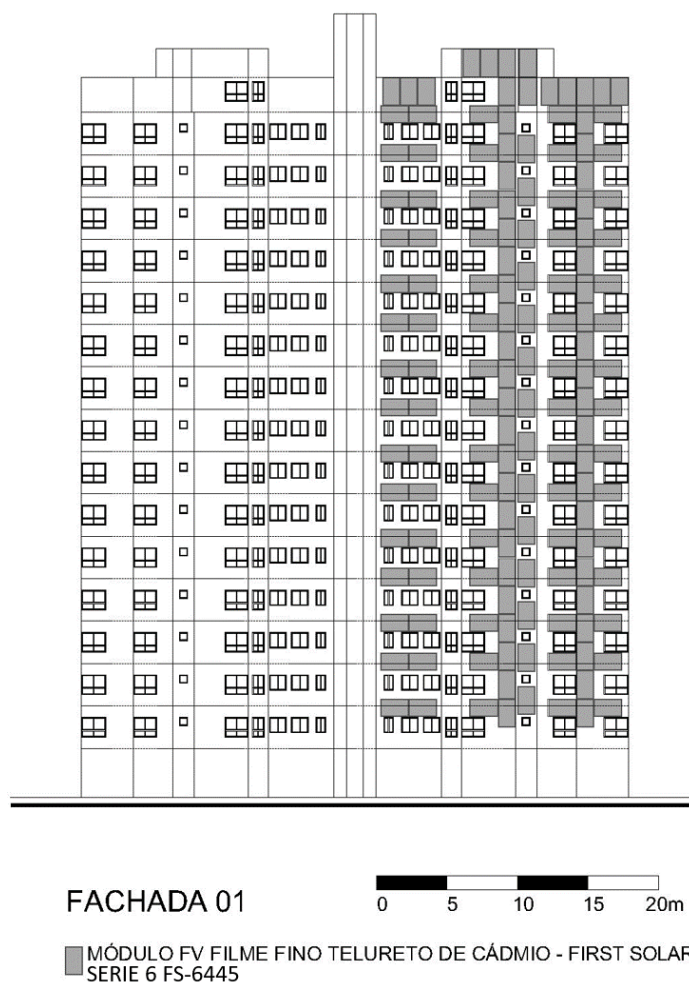
- P_{FV} - potência do painel FV (31.950Wp)
- P_{MAX} - potência nominal do módulo FV (445Wp)

- **$N_{FV} = 71,72$ módulos**

Serão necessários 71,72 módulos para que se obtenha energia necessária para suprir o consumo calculado anteriormente, arredondando em 72 unidades. Multiplicando as dimensões do módulo CdTe escolhido (2009x1232mm), a área de cada módulo é 2,475m², multiplicado novamente pelo número de unidades necessárias, obtêm-se que a área necessária para instalação do sistema FV na Fachada 01 é de 178,20m².

Simulando a instalação dos painéis fotovoltaicos nas superfícies analisadas, é possível determinar se a área disponível na fachada é suficiente para implementação do sistema para suprir a totalidade da demanda encontrada ou qual a demanda encontrada é suprida na área disponível. Dessa forma, foram dispostos os módulos na área disponível, determinada pela maior incidência solar, na Fachada 01, ver Figura 23.

Figura 23 - Elevação Fachada 01 com módulos FV de filmes finos

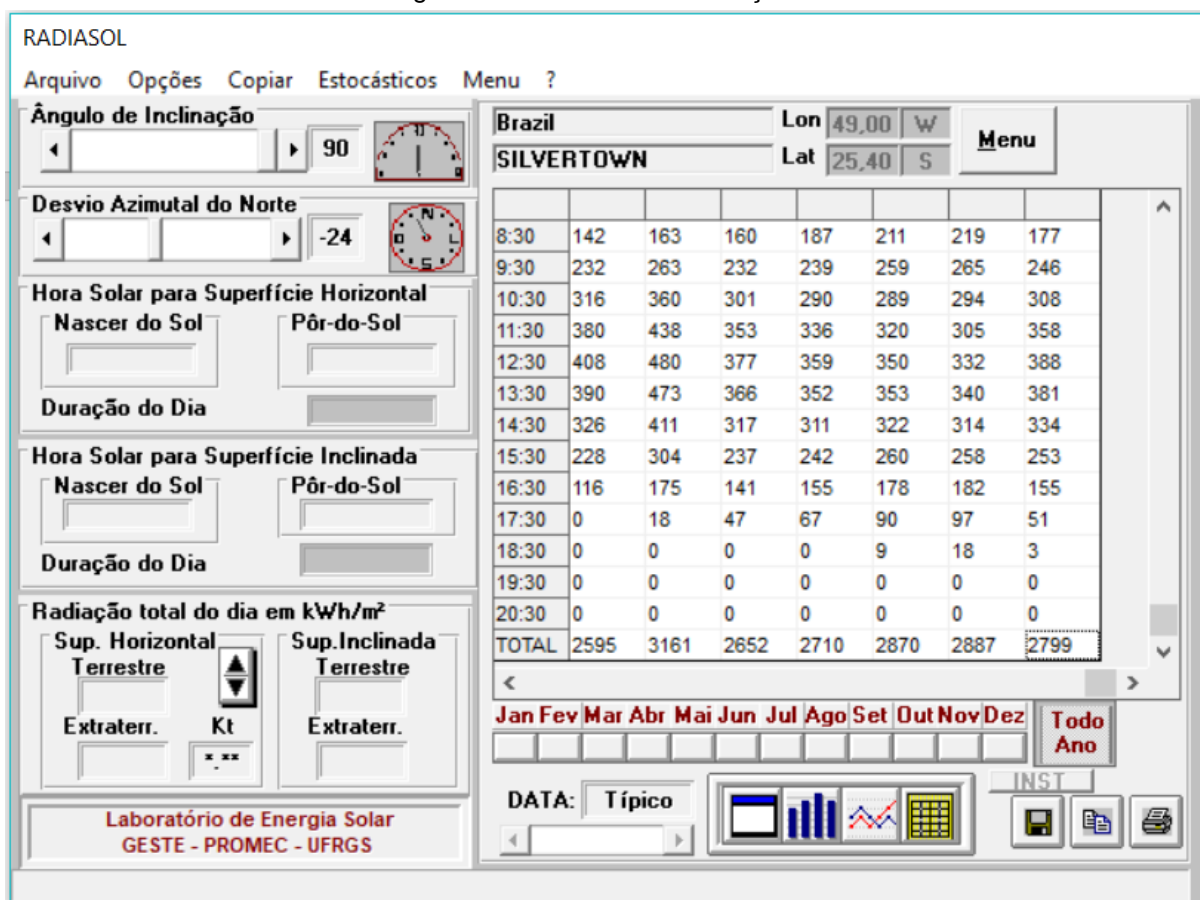


Fonte: Autoria própria.

É possível implantar 147 módulos na Fachada 01, totalizando uma área de 363,825m², superior à necessária e por tanto supre a demanda total do consumo do Edifício Silvertown.

Seguindo para a simulação 02, ver na Figura 24, os dados inseridos no software RADIASOL para inclinação em ângulo de 90° e desvio azimutal de 24°O. O resultado da irradiação solar incidente no plano da Fachada 02 é de 2,799 kWh/m².dia.

Figura 24 - RADIASOL Simulação 02

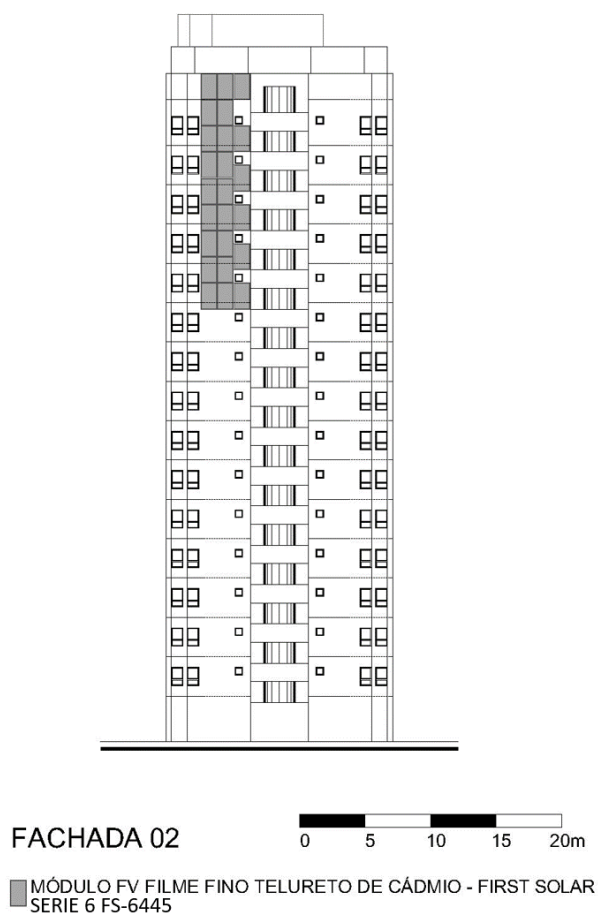


Fonte: RADIASOL, 2018.

Aplicando-se o novo valor de irradiação nas equações já apresentadas na simulação 01, chega-se a uma potência requerida de painel fotovoltaico de 30,98kWp. Para obter o número de módulos FV CdTe, aplica-se a equação 02 e obtêm-se a quantidade de 69,62 módulos, para que se obtenha energia necessária para suprir o consumo calculado anteriormente, arredondando em 70 unidades. Multiplicando as dimensões do módulo CdTe escolhido (2009x1232mm), a área de cada módulo é 2,475m², multiplicado novamente pelo número de unidades necessárias, obtêm-se que a área necessária para instalação do sistema FV na Fachada 02 é de 173,25m².

Na Fachada 02, considerou-se apenas a instalação dos módulos FV a partir do 11º pavimento e da lateral esquerda da fachada, zona com maior incidência solar. Como apresentado na Figura 25, foi possível instalar 24 módulos, totalizando uma área de 59,40m² disponível. Dessa forma, na Fachada 02, é possível suprir apenas 34,29% da demanda do condomínio.

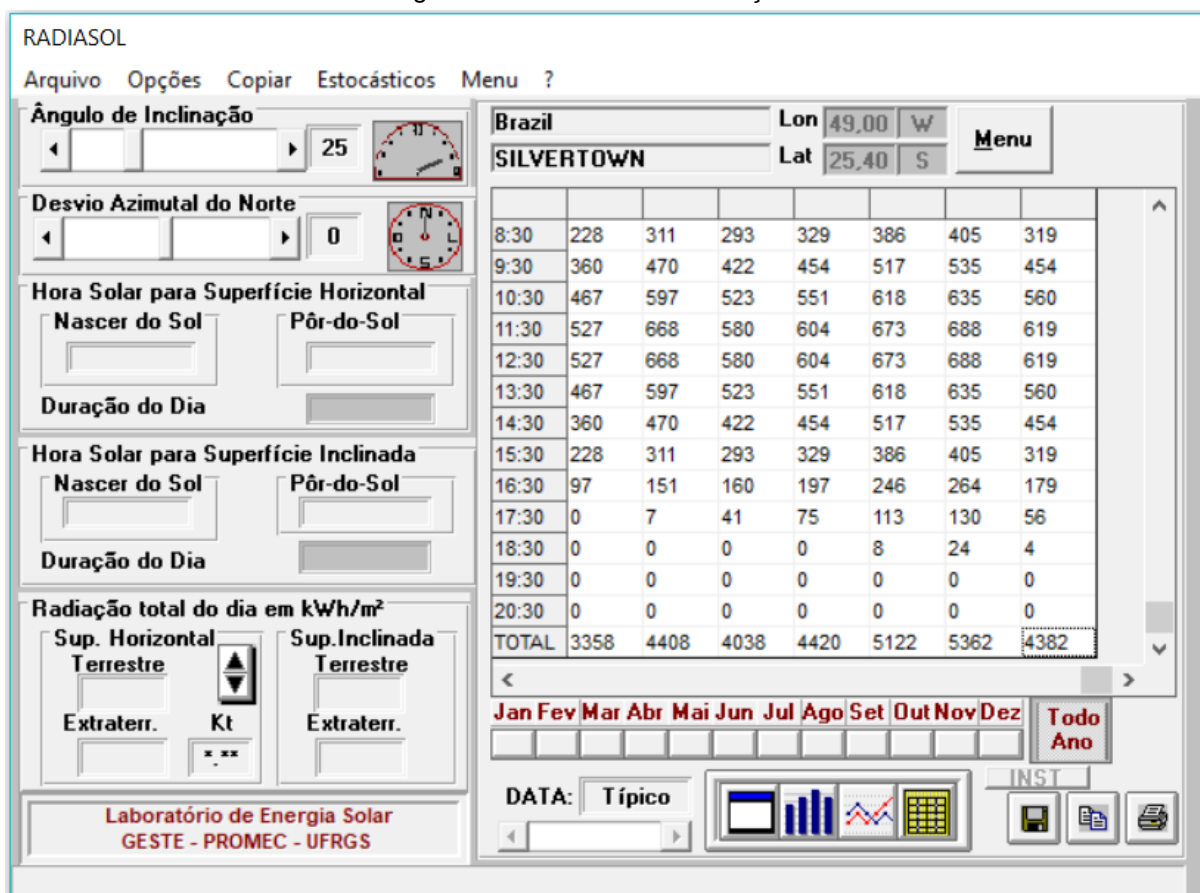
Figura 25 - Elevação Fachada 02 com módulos FV de filmes finos



Fonte: Autoria própria.

Enfim, a simulação 03 representa a posição ideal para locação dos módulos fotovoltaicos, com a inclinação dos módulos com valor referente à latitude e orientados à Norte. Dessa forma, ver na Figura 26, foram inseridos nos dados no programa RADIASOL inclinação dos módulos de 25° e desvio azimutal de 0° (Norte). O resultado da irradiação solar incidente no plano dos módulos é o maior obtidos entre as simulações: $4,382\text{kWh/m}^2.\text{dia}$.

Figura 26 - RADIASOL Simulação 03



Fonte: RADIASOL, 2018.

Aplicando-se o novo valor de irradiação nas equações apresentadas na simulação 01, chega-se a uma potência requerida de painel fotovoltaico de 19,788kWp. Para obter o número de módulos FV p-Si, aplica-se a Equação 02 e obtêm-se a quantidade de 60,89 módulos para que se obtenha energia necessária para suprir o consumo calculado anteriormente, arredondando em 61 unidades. Multiplicando as dimensões do módulo p-Si escolhido (1954x982mm), a área de cada módulo é 1,919m², multiplicado novamente pelo número de unidades necessárias, obtêm-se que a área necessária para instalação do sistema FV na cobertura é de 117,06m².

Para a instalação dos módulos na cobertura, as fileiras de módulos devem ser distadas umas entre as outras para que não haja sobreposição de módulos e sombreamento uns sobre os outros. Utiliza-se o método apresentado por PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014, para determinar o afastamento entre módulos, conforme

equação 03. Para o dado “fator de espaçamento” cuja curva determina-o conforme a latitude local, tem-se o valor 2, referente à Curitiba. Para determinar a altura do obstáculo – o próprio módulo fotovoltaico, calcula-se a altura que forma o módulo quando instalado inclinado através da multiplicação da altura nominal do módulo pelo cosseno do ângulo formado pelo módulo. No caso, o ângulo é igual a latitude – 25°, com seno igual a 0,423, que multiplicado pelo comprimento do módulo 2,009m do módulo resulta em uma altura de 0,85m.

$$d = Fe(h_0 - h_i) \quad \text{Eq. 03}$$

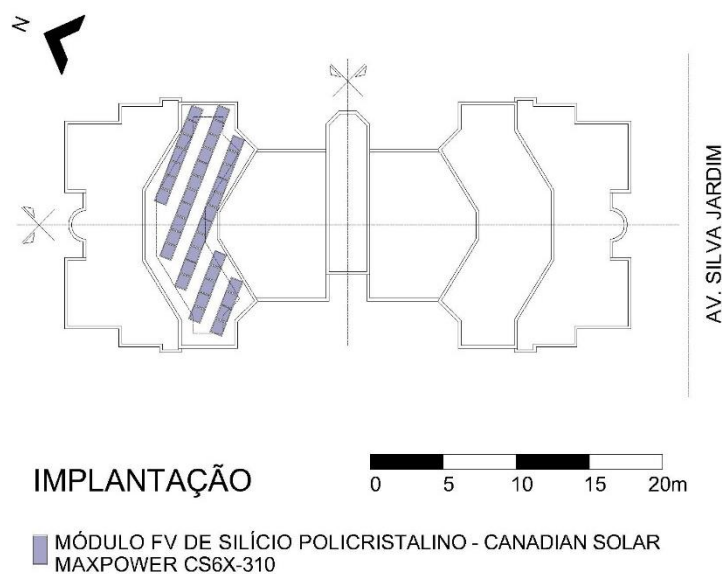
PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014

Onde:

- Fe – fator de espaçamento (2)
- h_0 – altura do obstáculo (0,85m)
- h_i – altura de instalação do gerador fotovoltaico (0m)
- **d = 1,70m**

Instalando os módulos apenas na cobertura do lado posterior do edifício, ver Figura 27, respeitando a distância de 1,70 entre fileiras e prevendo áreas de circulação, é possível instalar 38 módulos, totalizando uma área de 72,92m² instalados e suprimindo apenas 62,29% da demanda do condomínio.

Figura 27 - Implantação de módulos FV na cobertura



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, conclui-se que a simulação 01, instalação de filmes finos na Fachada 01 é a única simulação que supre a demanda total do consumo do condomínio. Porém, o sistema de filmes finos tem custo mais elevado se comparado aos módulos de silício-policristalino e devido à posição dos painéis ser menos eficiente na fachada que na cobertura, fica definido para a sequência do dimensionamento que será instalada a totalidade da área disponível na cobertura, simulação 03, e a porcentagem faltante, será instalada na Fachada 01. Optou-se pela instalação na Fachada 01 pelo fato de possuir maior área disponível, ainda que a Fachada 02 possua uma diferença pequena de irradiação.

3.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FV ESCOLHIDO

A instalação dos 38 módulos FV de silício-policristalino na cobertura multiplicado pela potência nominal dos módulos de 325W, obtêm-se o valor de 12,35kW de potência instalada. Para calcular a energia gerada na instalação da cobertura, aplica-se a Equação 04.

$$E = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT} \cdot PR}{G}$$

Eq. 04

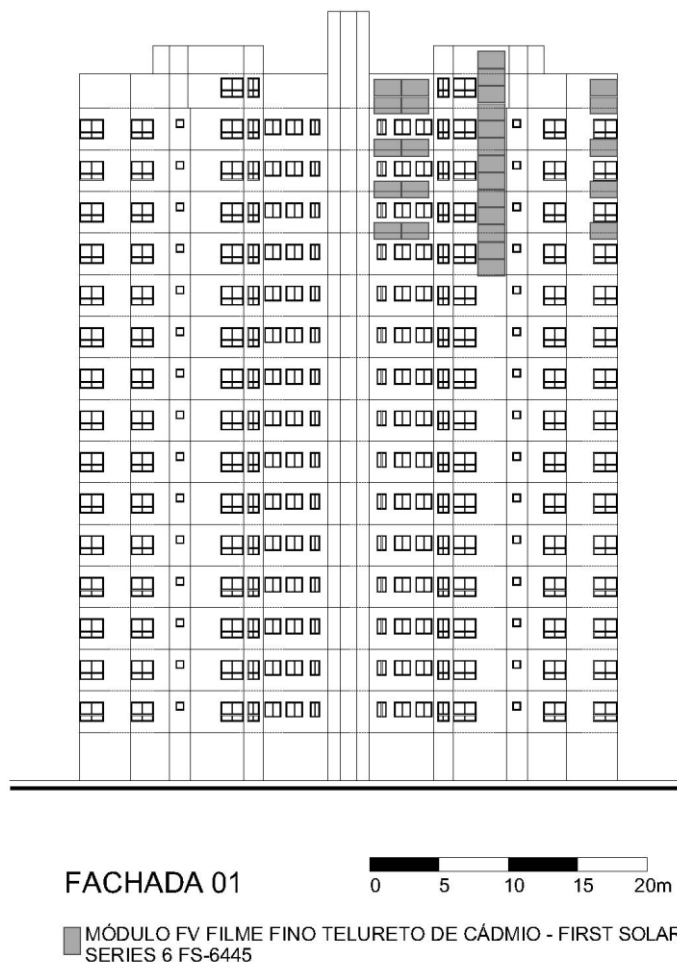
URBANETZ, 2017a

Onde:

- $P_{FV} = 12,35kW$
- H_{TOT} - irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (4,382kWh/m².dia)
- PR - Performance Ratio (0,80)
- **E - energia diária a ser gerada (43,29kWh/dia)**

A instalação do sistema FV instalado na cobertura tem previsão para gerar 43,29kWh/dia de energia. Subtraindo do valor do consumo diário do condomínio (69,37kWh/dia), resulta em um déficit de 26,08kWh/dia, que será instalado na Fachada 01. Retomando a equação 01 para a Fachada 01, desta vez com a energia a ser gerada de 26,08kWh/dia, obtêm-se o valor da potência instalada de 12,012kWp. Para obter o número de módulos FV CdTe, divide-se, novamente, a potência do painel encontrada pela potência nominal do módulo escolhido. Na equação 02, obtêm-se a quantidade necessária de módulos para instalar a potência FV é de 26,99 módulos. Arredondando para 28 módulos de filmes finos, devido a melhor formação do arranjo para o Inversor, que será apresentado na sequência. Dessa forma, a potência do painel FV passa a ser de 12,46kWp, resultado da multiplicação da potência nominal do painel FV (445Wp) com o número de módulos determinado (28). Os módulos serão instalados na Fachada 01 distribuídos nos pavimentos superiores, como na Figura 28, essa escolha é devido aos pavimentos mais acima estarem menos sujeitos à sombreamento.

Figura 28 - Elevação Fachada 01 com 28 módulos FV de filmes finos



Fonte: Autoria própria.

As instalações, somadas, tem previsão para gerar energia suficiente para atender a demanda total do condomínio. As previsões de energia a serem geradas pelo sistema instalado estão apresentadas na Tabela 5. A diferença de 450kWh/ano entre a energia total produzida e a energia consumida se dá pelo fato de ter sido descontado a taxa de disponibilidade de 100kWh/mês no cálculo do dimensionamento do sistema FV, portanto foram considerados que 1.200kWh/ano será provido pela taxa de disponibilidade do condomínio. Dessa forma, o sistema FV está com previsão para gerar um excedente de 750kWh/ano.

Tabela 5 - Geração estimada de energia do sistema FV mensal e anual

Mês	Energia produzida na Cobertura	Energia produzida na Fachada 01	Energia total produzida	Energia Consumida
JANEIRO	1.585,92kWh/mês	993,77kWh/mês	2.579,69kWh/mês	2.095,00kWh/mês
FEVEREIRO	1.424,14kWh/mês	876,67kWh/mês	2.300,81kWh/mês	2.175,00kWh/mês
MARÇO	1.446,25kWh/mês	898,90kWh/mês	2.345,16kWh/mês	2.230,00kWh/mês
ABRIL	1.220,58kWh/mês	768,53kWh/mês	1.989,11kWh/mês	2.324,00kWh/mês
MAIO	1.059,73kWh/mês	667,15kWh/mês	1.726,88kWh/mês	2.058,00kWh/mês
JUNHO	961,52kWh/mês	687,79kWh/mês	1.649,31kWh/mês	2.298,00kWh/mês
JULHO	1.028,49kWh/mês	646,44kWh/mês	1.674,93kWh/mês	2.223,00kWh/mês
AGOSTO	1.350,08kWh/mês	817,02kWh/mês	2.167,10kWh/mês	2.201,00kWh/mês
SETEMBRO	1.196,86kWh/mês	761,06kWh/mês	1.957,92kWh/mês	2.311,00kWh/mês
OUTUBRO	1.353,76kWh/mês	858,73kWh/mês	2.212,49kWh/mês	1.992,00kWh/mês
NOVEMBRO	1.518,16kWh/mês	949,75kWh/mês	2.467,91kWh/mês	2.299,00kWh/mês
DEZEMBRO	1.642,27kWh/mês	1.020,34kWh/mês	2.662,62kWh/mês	1.973,00kWh/mês
ANUAL	15,79MWh/ano	9,95MWh/ano	25,73MWh/ano	26,18MWh/ano

Fonte: Autoria própria.

Escolheu-se utilizar o inversor da empresa SMA, ver catálogo em Anexo 2, modelo Sunny Tripower 15000TL, com as seguintes especificações: sem transformador, potência nominal de 15.260W, tensão máxima de 1.000Vcc, faixa da tensão de operação de 580-800Vcc, corrente máxima de 36A, 1 buscador do ponto de máxima potência com até 6 entradas CC e eficiência de 98,5%. O arranjo dos painéis foi projetado para atender as especificações do fabricante do inversor escolhido. Considerando que em ligação em série, a corrente é constante e somam-se as tensões, e em ligações em paralelo, a tensão é constante e somam-se as correntes.

Para o arranjo do sistema FV instalado na cobertura, optou-se por duas ligações em paralelo de 19 módulos, conectados em série, em um inversor, ver Tabela 6 e

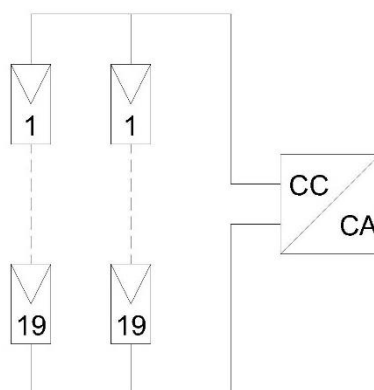
Figura 29. A potência dos 38 módulos de p-Si somados é de 12.350Wp, devendo ser menor que a potência nominal do inversor, 15.260W. A tensão de circuito aberto em série resulta da multiplicação do número de módulos em série, 19, pelo valor Voc do módulo, 45,50V, resultando em 864,50V e se mantém constante na associação em paralelo. O valor de Voc deve ser menor a tensão máxima de entrada do inversor, ou seja, menor que 1.000Vcc. A corrente de máxima potência em série se mantém constante, no valor de 8,78A, e se soma na associação em paralelo, resultando 17,56A. A corrente de máxima potência deve ser menor que a corrente máxima do inversor, ou seja, inferior a 36A. A tensão de máxima potência em série resulta da multiplicação do número de módulos em série, 19 unidades, pelo valor Vmp do módulo, 37V, resultando em 703V e se mantém constante na associação em paralelo. O valor de Vmp deve estar entre a faixa da tensão de operação indicada pelo fabricante do inversor, ou seja, no intervalo de 380-800Vcc.

Tabela 6 - Arranjo do sistema FV instalado na cobertura

SISTEMA FV INSTALADO NA COBERTURA			
Módulo	MAXPOWER CS6X-325P / Canadian Solar		
Tensão de circuito aberto (Voc)	45,50V		
Corrente de máx. potência (Imp)	8,78A		
Tensão de máx. potência (Vmp)	37V		
Nº de módulos	38		
Arranjo	série		paralelo
	19 módulos	19 módulos	
Tensão de circuito aberto (Voc)	864,50V	864,50V	864,50V
Corrente de máx. potência (Imp)	8,78A	8,78A	17,56A
Tensão de máx. potência (Vmp)	703V	703V	703V

Fonte: Autoria própria.

Figura 29 - Arranjo do sistema FV instalado na cobertura



Fonte: Autoria própria.

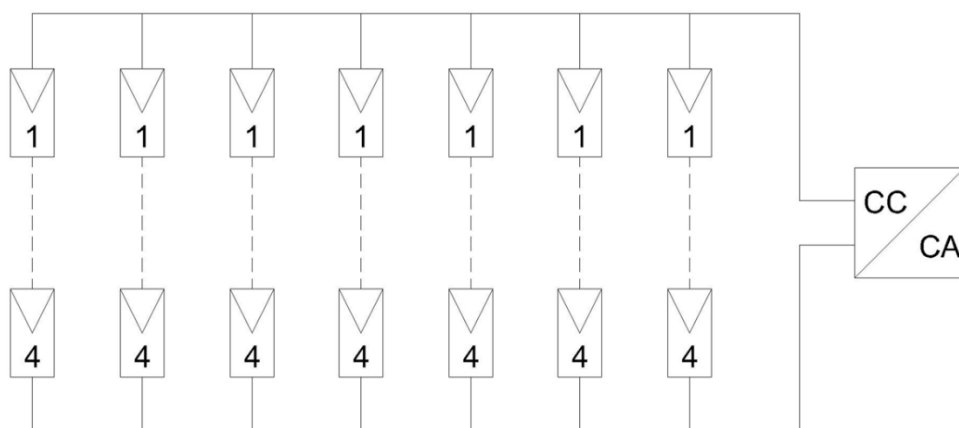
Para o arranjo do sistema FV instalado na Fachada 01, optou-se por utilizar o mesmo inversor (SMA – modelo Sunny Tripower 15000TL). O arranjo dessa instalação será realizado na associação de 7 ligações em paralelo de 4 módulos conectados em série, ver Tabela 7 e Figura 30. A potência dos 28 módulos de CdTe somados é de 12.460Wp, devendo ser menor que a potência nominal do inversor, 15.260W. A tensão de circuito aberto em série resulta da multiplicação do número de módulos em série, 4, pelo valor V_{oc} do módulo, 2240,40V, resultando em 881,60V e se mantém constante na associação em paralelo. O valor de V_{oc} deve ser menor a tensão máxima de entrada do inversor, ou seja, menor que 1000Vcc. A corrente de máxima potência em série se mantém constante, no valor de 2,40A, e se soma na associação dos 7 paralelos, resultando 16,80A. A corrente de máxima potência deve ser menor que a corrente máxima do inversor, ou seja, inferior a 36A. A tensão de máxima potência em série resulta da multiplicação do número de módulos em série, 4 unidades, pelo valor V_{mp} do módulo, 185,70V, resultando em 742,80V e se mantém constante na associação em paralelo. O valor de V_{mp} deve estar entre a faixa da tensão de operação indicada pelo fabricante do inversor, ou seja, no intervalo de 380-800Vcc.

Tabela 7 - Arranjo do sistema FV instalado na Fachada 01

SISTEMA FV INSTALADO NA FACHADA 01		
Módulo	SERIES 6 FS-6445 / First Solar	
Tensão de circuito aberto (Voc)	220,40V	
Corrente de máx. potência (Imp)	2,40A	
Tensão de máx. potência (Vmp)	185,70V	
Nº de módulos	28	
Arranjo	série	7 ligações em paralelo
	4 módulos	
Tensão de circuito aberto (Voc)	881,60V	881,60V
Corrente de máx. potência (Imp)	2,40A	16,80A
Tensão de máx. potência (Vmp)	742,80V	742,80V

Fonte: Autoria própria.

Figura 30 - Arranjo do sistema FV instalado na Fachada 01



Fonte: Autoria própria.

Para dimensionamento dos condutores, considera-se que os inversores estão localizados a 30m de distância dos painéis FV. Aplicando esse valor à Equação 05, obtêm-se a dimensão da bitola do condutor de entrada para as instalações na cobertura e na Fachada 01.

$$S_{cond} = \left(\frac{2l.P.0,0178}{V^2.\Delta V} \right).100 = \left(\frac{2l.I.0,0178}{V.\Delta V} \right).100$$

Eq. 05

URBANETZ, 2017a

Onde:

- l – comprimento do condutor (30m)
- P – potência total do painel FV (12.350Wp para a cobertura e 12.460Wp para a Fachada 01)
- V - tensão do barramento CC (703V para a cobertura e 742,80V para a Fachada 01)
- ΔV – queda de tensão admitida (2%)
- **S_{cond} – área da seção transversal dos condutores CC (1,3mm² para a cobertura e 1,2mm² para a Fachada 01)**

A área da seção transversal dos condutores de entrada resultou em 1,3mm² para o painel FV instalado na cobertura e 1,2mm², para o painel FV instalado na Fachada 01. Os módulos FV atuais já possuem entrada para condutores de bitola 4mm², portanto será adotada a bitola de 4mm² para os condutores de entrada no inversor das instalações da cobertura e Fachada 01.

Para o dimensionamento dos condutores de saída dos inversores, considera-se que os inversores distam 10m dos quadros elétricos de disjuntores trifásicos. Aplicando esse valor à Equação 05, obtêm-se a dimensão da bitola do condutor de saída para as instalações na cobertura e na Fachada 01. Desta vez, considerando a potência nominal do inversor (15.260W) e uma tensão de barramento CA de 220V, resultando em uma bitola de 5,6mm². Utiliza-se então a bitola comercial de 6mm².

Por fim, cabe apresentar um quadro resumo de equipamentos utilizados no dimensionamento do sistema fotovoltaico para melhor compreensão do abordado, ver Tabela 8.

Tabela 8 – Quadro resumo de equipamentos

INSTALAÇÃO	ITEM	MARCA	MODELO	QUANTIDADE
Cobertura	Módulo FV de silício policristalino	Canadian Solar	MAXPOWER CS6X-325P	38
		ARRANJO		
		2 ligações em paralelos de séries de 19 módulos		
	Inversor	SMA	Sunny Tripower 15000TL	1
	Condutor de entrada CC	-	4mm ²	30m
	Condutor de saída CA	-	6mm ²	10m
Fachada 01	Módulo FV de Telureto de Cádmio	First Solar	SERIE 6 FS-6445	28
		ARRANJO		
		7 ligações em paralelos de séries de 4 módulos		
	Inversor	SMA	Sunny Tripower 15000TL	1
	Condutor de entrada CC	-	4mm ²	30m
	Condutor de saída CA	-	6mm ²	10m

Fonte: Autoria própria.

4 CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Considerando o que foi apresentado nesta proposta, conclui-se que é possível instalar um sistema fotovoltaico em um edifício existente, como o deste Estudo de Caso. O Edifício Silvertown, localizado na Av. Silva Jardim, 2014, Curitiba, Paraná, foi escolhido como objeto de estudo para analisar a viabilidade da implementação de um SFVCR. Para otimizar a viabilidade técnica e econômica do SFV a ser instalado, deve-se analisar primeiramente o estado da arte do objeto em estudo e avaliar possíveis medidas que potencializem a eficiência e reduzam o consumo de energia elétrica, para então dimensionar o sistema fotovoltaico, sem que sejam considerados desperdícios de energia e recursos. O proposto trabalho objetivou um estudo de viabilidade técnica, apenas, dessa forma, deixando uma sugestão para trabalhos futuros de análise da viabilidade econômica. Essa escolha dá-se pelo fato do valor econômico do sistema fotovoltaico ser alterado constantemente conforme o avanço de suas tecnologias e, portanto, o trabalho rapidamente ficaria desatualizado com a realidade econômica.

Neste estudo de caso, primeiramente levantou o consumo de energia elétrica do condomínio, referente às áreas comuns do edifício, durante os meses de agosto de 2015 a fevereiro de 2018. Nesse período de 31 meses, foi possível identificar que houve uma redução significativa de 54% do consumo, coincidindo com a gradual substituição das lâmpadas do condomínio para LED durante esse período. Considerou-se, assim, que o edifício já apresenta soluções de eficiência energética. Dessa análise, obteve-se o dado de consumo médio, 2181kWh/ano, baseando-se no consumo do ano de 2017. Em seguida, identificou-se e quantificou-se equipamentos com potências significativas, como os motores e bombas, e os sistemas de iluminação utilizados nas áreas comuns do Edifício Silvertown, a fim de se obter dados suficientes para que fossem propostas possíveis mudança das instalações para redução do consumo de energia. Avaliou-se que é possível reduzir o consumo de energia elétrica com a substituição das lâmpadas fluorescentes dos elevadores, por lâmpadas LED e, medida mais complexa, troca dos elevadores por tecnologias mais atuais e econômicas.

O condomínio é atendido pela COPEL em sistema trifásico, tendo como taxa de disponibilidade de 100kWh/mês. Obteve-se, então, o consumo diário para dimensionamento do sistema FV de 69,37kWh/dia. Utilizando a ferramenta Google Earth, foi possível analisar o sombreamento do entorno sobre o edifício e identificar quais eram os locais mais ensolarados, as denominadas Fachada 01, parte superior da Fachada 02 e a parte posterior da cobertura do edifício, mais à Norte. Determinou-se o uso de Painéis de Telureto de Cádmio para as fachadas e Painéis de Silício Policristalino para a cobertura. Na sequência, levantou-se os dados da irradiação solar nas superfícies analisadas em cada simulação com o auxílio do software RADIASOL. Calculou-se a área necessária para implementação do sistema FV em cada situação das três simulações e comparou-se com a área disponível, analisando qual a porcentagem suprida da demanda. Optou-se pela instalação do sistema na totalidade da área da cobertura posterior, instalando 38 módulos p-Si com energia diária prevista de 43,29kWh/dia e suprimindo 62,29% da demanda do condomínio. Para gerar o déficit, foi proposto a instalação de 28 módulos de filmes finos na Fachada 01. O SFVCR tem previsão de geração de energia total produzida de 25,73MWh/ano, superando a previsão da energia consumida.

Relevante ressaltar que o estudo tem como base a situação atual do entorno, pois existe um potencial risco desse ser modificado caso haja alteração no gabarito das edificações próximas ao edifício em questão. Caso as casas situadas nos fundos do terreno deem lugar a construções mais altas, pode condenar o investimento dispendido para instalar o projeto do estudo abordado neste trabalho. Sugere-se, para trabalhos futuros, a avaliação de tal risco e a análise imobiliária do entorno.

Conclui-se, por tanto, que a instalação do SFVCR para suprir a demanda do consumo das áreas comuns de um edifício existente é viável, sendo possível suprir a totalidade do consumo. O presente estudo demonstra uma solução para aplicação de medidas sustentáveis em construções existentes, que na grande maioria das vezes, na época de sua construção, os conceitos de sustentabilidade não eram tão difundidos e aplicados. Dessa forma, o conceito de sustentabilidade pode ser agregado a edifícios antigos, seja pela substituição dos equipamentos e conseqüente redução do consumo de energia ou pela instalação de sistemas FV.

5 REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2012. Brasil, 12p.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2ª edição. Brasília, 2005. 243p.

Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. 11 de dezembro de 1987. Disponível em <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>. Acesso em 09 de abril de 2018.

COPEL. **Fontes de Energia**. Publicado em 18 de janeiro de 2016. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Fgeracao%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F7E28ACE6262257E9032574A20047EE88>>. Acesso em 06 de abril de 2018.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**. Editora Reverté. Barcelona, 2007.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2017: Relatório Síntese - ano base 2016**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2017a.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2017b.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em 24 de julho de 2018.

FINOCCHIO, M. A. F. **Noções de Energia Solar Fotovoltaica**. Ministério da Educação – UFPR. Cornélio Procópio, 2013.

GOOGLE EARTH. Programa Google Earth. 2018.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Porto Alegre, 2006.

GREENPEACE. **(R)evolução Energética – a caminho do desenvolvimento limpo.** Greenpeace Internacional, Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC). 2010.

GUIMARÃES, Gabriel. **Saiba mais sobre as diferentes tecnologias para aproveitar a energia solar.** Equipamentos, Guias e dicas, Sustentabilidade – Solar Volt Energia, março de 2015. Disponível em: <<http://www.solarvoltenergia.com.br/saiba-mais-sobre-as-diferentes-tecnologias-para-aproveitar-a-energia-solar/>>. Acesso em 06 de maio de 2018.

IMÓVEL WEB. **Silvertown.** Disponível em <<https://www.imovelweb.com.br/propriedades/silvertown-2930715940.html>>. Acesso em 14 de junho de 2018.

IPPUC. **Planta Cadastral.** Disponível em <<http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>>. Acesso em: 2016.

LABEEE. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia.** 2ª Versão. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2010.

LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR – LABSOL. ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Radisol.** Porto Alegre, 2015. Disponível em <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª Edição. Brasil, 2013. 382 p.

ONU, Organização das Nações Unidas. **A ONU e o Meio Ambiente.** Disponível em <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em 09 de abril de 2018.

PEREIRA et. Al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2ª edição. INPE. São José dos Campos, São Paulo, julho de 2017.

PORTAL SOLAR. **Energia Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em 06 de maio de 2018.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CEPEL – CRESESB. Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL SOLAR b. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 06 de maio de 2018.

RICHARDSON, L. **The History and Invention of Solar Panel Technology**. Publicado no site Energy Sage em 18 de fevereiro de 2017. Disponível em <<https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>>. Acesso em 09 de abril de 2018.

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

S4 SOLAR DO BRASIL. **S4 Solar do Brasil – Mapas Solarimétricos**. Disponível em <<http://s4solar.com.br/energia-solar/mapas-solari-metricos/>>. Acesso em 10 de abril de 2018.

SAUAIA, R. L. **Energia Solar Fotovoltaica: Panoramas, Oportunidades e Desafios**. ABSOLAR. Seminário Desafios da Geração de Energia Elétrica no Brasil. Brasília, 2017.

SESC São Paulo. **Conceito de Sustentabilidade**. Disponível em <<http://sustentabilidade.sescsp.org.br/conceito-de-sustentabilidade>>. Acesso em 09 de abril de 2018.

SENADO – Em discussão. **Do ecodesenvolvimento ao conceito de desenvolvimento sustentável no Relatório Brundtland, da ONU, documento que coloca temas como necessidades humanas e de crescimento econômico dos países, pobreza, consumo de energia, recursos ambientais e poluição**. Disponível em <<http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/temas-em-discussao-na-rio20/ecodesenvolvimento-conceito-desenvolvimento-sustentavel-relatorio-brundtland-onu-crescimento-economico-pobreza-consumo-energia-recursos-ambientais-poluicao.aspx>>. Acesso em 09 de abril de 2018.

SOUZA V. A.; CARVALHO, R. F.; SARKIS, A. M. **Análise técnica, econômica e ecológica para conectar um sistema de geração de energia solar fotovoltaica a rede elétrica convencional, que supre os sistemas elétricos auxiliares dos rebocadores da classe RAMPARTS 2500**. Artigo publicado na Revista Sodebras, volume 10, nº 116, XXXIII Internacional Sodebras Congress. Salvador, 2015.

URBANETZ JUNIOR, J. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. UTFPR. Curitiba, 2017a.

URBANETZ JUNIOR, J. **Energia Solar Fotovoltaica**. UTFPR. Curitiba, 2017b.

URBANETZ JUNIOR, J. **Notas de aula**. Curso de Especialização em Construções Sustentáveis, UTFPR. Curitiba, 2017c.

URBANETZ JUNIOR, J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Florianópolis, 2010. 189 p.

ANEXO A – CATÁLOGO FIRST SOLAR SERIES 6 FS-6445



First Solar Series 6™

NEXT GENERATION THIN FILM SOLAR TECHNOLOGY

MODULE DATASHEET



420-445 Watts
17%+ Efficiency

HIGH-POWER PV MODULES

First Solar Series 6™ photovoltaic (PV) module sets a new industry benchmark for reliable energy production, optimized design and environmental performance. Series 6 modules are optimized for every stage of your application, significantly reducing balance of system, shipping, and operating costs.



MORE ENERGY PER MODULE

- More watts per connection and per lift (420+ watts) than 72-cell silicon modules (<400 watts)
- With superior temperature coefficient, spectral response and shading behavior, Series 6 modules generate up to 8% more energy than conventional crystalline silicon solar modules
- Anti-reflective coated glass enhances energy production



INNOVATIVE MODULE DESIGN

- Under-mount frame allows for simple and fast installation
- Dual junction box optimizes module-to-module connections
- Under-mount frame provides the cleaning and snow-shedding benefits of a frameless module, protects edges against breakage and enables horizontal stacking



PROVEN LONG-TERM RELIABILITY

- Manufactured using methods and process adapted from Series 4 modules – the most tested solar modules in the industry
- Independently tested and certified for reliable performance that exceeds IEC standards in high temperature, high humidity, extreme desert and coastal applications



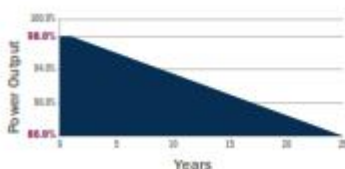
BEST ENVIRONMENTAL PROFILE

- Fastest energy payback time and smallest carbon and water footprint in the industry
- Global PV collection and recycling services available through First Solar or customer-selected third-party

INDUSTRY-LEADING MODULE WARRANTY*

98% WARRANTY START POINT

0.5% WARRANTED ANNUAL DEGRADATION RATE



- 25-Year Linear Performance Warranty
- 10-Year Limited Product Warranty

FIRST SOLAR SERIES 6™

MODEL TYPES AND RATINGS AT STANDARD TEST CONDITIONS (1000W/m ² , AM 1.5, 25°C)							
NOMINAL VALUES		FS-6420 FS-6420A	FS-6425 FS-6425A	FS-6430 FS-6430A	FS-6435 FS-6435A	FS-6440 FS-6440A	FS-6445 FS-6445A
Nominal Power ¹ (-0/+5%)	P _{MAX} (W)	420.0	425.0	430.0	435.0	440.0	445.0
Efficiency (%)	%	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0
Voltage at P _{MAX}	V _{MAX} (V)	180.4	181.5	182.6	183.6	184.7	185.7
Current at P _{MAX}	I _{MAX} (A)	2.33	2.34	2.36	2.37	2.38	2.40
Open Circuit Voltage	V _{OC} (V)	218.5	218.9	219.2	219.6	220.0	220.4
Short Circuit Current	I _{SC} (A)	2.54	2.54	2.54	2.55	2.55	2.56
Maximum System Voltage	V _{MSV} (V)	1500 ⁴					
Limiting Reverse Current	I _R (A)	6.0					
Maximum Series Fuse	I _{CF} (A)	6.0					

RATINGS AT NOMINAL OPERATING CELL TEMPERATURE OF 45°C (800W/m ² , 20°C air temperature, AM 1.5, 1m/s wind speed) ²							
Nominal Power	P _{MAX} (W)	317.2	320.9	324.7	328.5	332.4	336.0
Voltage at P _{MAX}	V _{MAX} (V)	168.7	169.8	170.9	172.0	173.1	174.1
Current at P _{MAX}	I _{MAX} (A)	1.88	1.89	1.90	1.91	1.92	1.93
Open Circuit Voltage	V _{OC} (V)	206.3	206.6	207.0	207.3	207.7	208.0
Short Circuit Current	I _{SC} (A)	2.04	2.05	2.05	2.06	2.06	2.06

TEMPERATURE CHARACTERISTICS			
Module Operating Temperature Range	(°C)	-40 to +80	
Temperature Coefficient of P _{MAX}	T _e (P _{MAX})	-0.32%/°C (Temperature Range: 25°C to 75°C)	
Temperature Coefficient of V _{OC}	T _e (V _{OC})	-0.28%/°C	
Temperature Coefficient of I _{SC}	T _e (I _{SC})	+0.04%/°C	

MECHANICAL DESCRIPTION	
Length	2009mm
Width	1232mm
Thickness	48.5mm
Area	2.47m ²
Module Weight	35kg
Leadwire ⁵	2.5mm ² , 720mm (+) & Bulkhead (-)
Connectors	MC4-EVO 2
Bypass Diode	N/A
Cell Type	Thin film CdTe semiconductor, up to 204 cells
Frame Material	Anodized Aluminum
Front Glass	2.8mm heat strengthened Series 6A™ includes anti-reflective coating
Back Glass	2.2mm heat strengthened
Encapsulation	Laminate material with edge seal
Frame to Glass Adhesive	Silicone
Wind Load ⁶	2400Pa
Snow Load ⁶	5400Pa

PACKAGING INFORMATION			
Modules Per Pallet	20	Pallet Dimensions (L x W x H)	2200 x 1300 x 1150mm (86 x 51 x 45in)
Pallet Weight	1025kg	Pallets per 40' Container	18

Disclaimer

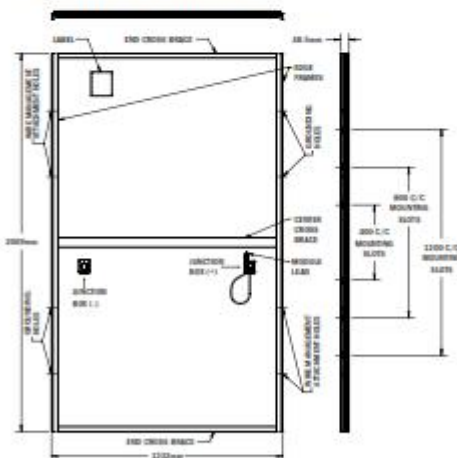
The information included in this Module Datasheet is subject to change without notice and is provided for informational purposes only. No contractual rights are established or should be inferred because of user's reliance on the information contained in this Module Datasheet. Please refer to the appropriate Module User Guide and Module Product Specification document for more detailed technical information regarding module performance, installation and use.

The First Solar logo, First Solar™, and all products denoted with ® are registered trademarks, and those denoted with a ™ are trademarks of First Solar, Inc.

CERTIFICATIONS AND TESTS ⁷	
IEC	
61215 & 61730 1500V ⁸ , CE	
61701 Salt Mist Corrosion	
00068-2-68 Dust and Sand Resistance	
UL	
UL 1703 1500V Listed ⁹	
REGIONAL CERTIFICATIONS	
CSI Eligible	JET
FSEC	SII
MCS	InMetro
CEC Australia	
EXTENDED DURABILITY TESTS	
Long-Term Sequential	
Thresher Test	
PID Resistant	
QUALITY & EHS	
ISO 9001:2008 & 14001:2004	
OHSAS 18001:2007	



MECHANICAL DRAWING



Install in portrait only

- 1 Limited power output and product warranties subject to warranty terms and conditions
- 2 All ratings 110V, unless specified otherwise. Specifications are subject to change
- 3 Measurement uncertainty applies
- 4 Testing Certifications/Listings pending
- 5 IEC 61730-1: 2010 Class II / UL 1703 1500V listed
- 6 Leadwire length from junction box exit to connector mating surface
- 7 See User Guide

ANEXO B – CATÁLOGO CANADIAN SOLAR MAXPOWER CS6X-325P



MAXPOWER CS6X-310 | 315 | 320 | 325 P

The high quality and reliability of Canadian Solar's modules is ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to 16.94 %
-  Outstanding low irradiance performance: 96.0 %
-  High PTC rating of up to 91.97%
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25
years

linear power output warranty

10
yearsproduct warranty on materials
and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
 ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
 ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: TÜV-Rheinland / VDE / MCS / CE / CEC AU / INMETRO
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
 Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

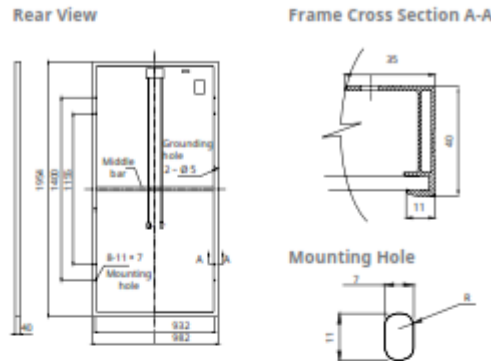


* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NAS-DAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR INC.

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

ENGINEERING DRAWING (mm)**ELECTRICAL DATA / STC***

CS6X	310P	315P	320P	325P
Nominal Max. Power (Pmax)	310 W	315 W	320 W	325 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.4 V	36.6 V	36.8 V	37.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.52 A	8.61 A	8.69 A	8.78 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.9 V	45.1 V	45.3 V	45.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.08 A	9.18 A	9.26 A	9.34 A
Module Efficiency	16.16%	16.42%	16.68%	16.94%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

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

ELECTRICAL DATA / NOCT*

CS6X	310P	315P	320P	325P
Nominal Max. Power (Pmax)	225 W	228 W	232 W	236 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.2 V	33.4 V	33.6 V	33.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.77 A	6.84 A	6.91 A	6.98 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.3 V	41.5 V	41.6 V	41.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.36 A	7.44 A	7.50 A	7.57 A

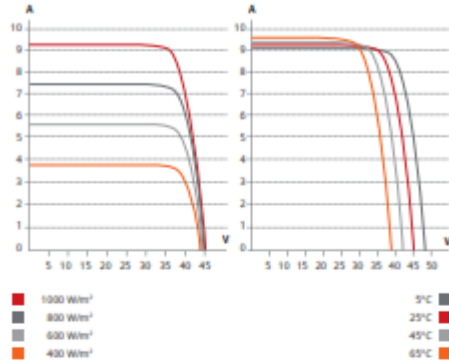
* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.0 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

CS6X-320P / I-V CURVES**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1954×982×40 mm (76.9×38.7×1.57 in)
Weight	22 kg (48.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1150 mm (45.3 in)
Per Pallet	26 pieces, 620 kg (1366.9 lbs) (quantity & weight per pallet)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temp. Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temp. Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temp. Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PARTNER SECTION

Scan this QR-code to discover solar projects built with this module



ANEXO C – CATÁLOGO SMA SUNNY TRIPOWER 15000TL



ECONOMIC EXCELLENCE

Economical

- Maximum efficiency 98.5 %
- SMA OptiTrac MPP tracking for best MPP tracking efficiency

- Active temperature management with OptiCool
- Bluetooth communication

Simple

- Three-phase grid feed-in
- Cable connection without tools
- SUNCLIX DC plug-in system

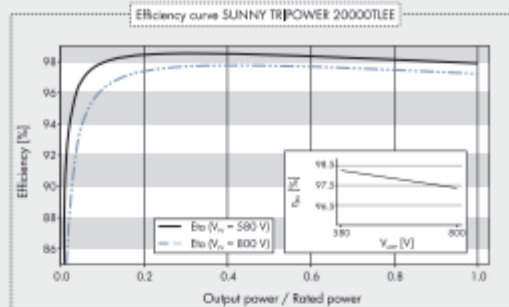
Flexible and future-proof

- DC input voltage up to 1 000 V
- Integrated grid management functions
- Reactive-power capable

SUNNY TRIPower 15000TL / 20000TL ECONOMIC EXCELLENCE

The expert cost saver for high-yield, commercial plants

Peak performance and technological perfection at a significantly reduced specific price: the new Sunny Tripower TL Economic Excellence is the next logical step in the development of the Sunny Tripower series in terms of achieving an optimum price-performance ratio. On the one hand, it brings with it a considerable reduction in investment costs, while on the other hand guaranteeing exceptionally high yields with an efficiency of 98.5 %. Hence, the Sunny Tripower TL Economic Excellence is the ideal solution for uniformly structured PV plants on the medium to very large scale. The focus is on the essentials and meets all requirements, including reactive power provision, grid support, and grid management integration.



Accessories

RS485 interface
DM-485CB-10Webconnect interface
with WEBCONDM-10
speedwire functionInterface to speedwire
fieldbus SPWDM-10Multi-function relay
MFR01-10

¹ Does not apply to all national appendices of EN 50438

Preliminary information - last updated: March 2012

● Standard feature ○ Optional feature – Not available

Data at nominal conditions

Technical data	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL
Input [DC]		
Max. DC power [at $\cos \phi = 1$]	15260 W	20450 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range @ 230 V line voltage	580 V - 800 V	580 V - 800 V
Min. input voltage / initial input voltage	570 V / 620 V	570 V / 620 V
Max. input current	36 A	36 A
Max. input current per string	36 A	36 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 6	1 / 6
Output [AC]		
Rated output power [@ 230 V, 50 Hz]	15000 W	20000 W
Max. apparent AC power	15000 VA	20000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE, 230 V / 400 V	3 / N / PE, 230 V / 400 V
Nominal AC voltage range	160 V - 280 V	160 V - 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	24 A	29 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
Efficiency		
Max. efficiency / European weighted efficiency	98.5 % / 98.3 %	98.5 % / 98.2 %
Protective devices		
DC-side disconnection device	○	○
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC surge arrester type II	–	–
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / –	● / ● / –
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W / H / D)	665 / 680 / 265 mm (26.2 / 26.8 / 10.4 inch)	665 / 680 / 265 mm (26.2 / 26.8 / 10.4 inch)
Weight	45 kg / 99.2 lb	45 kg / 99.2 lb
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Noise emission (typical)	51 dB(A)	51 dB(A)
Self-consumption (night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool
Degree of protection: electronics / connection area (according to IEC 60529)	IP65 / IP54	IP65 / IP54
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
Features		
DC connection	SUNCLIX	SUNCLIX
AC connection	Spring clamp terminal	Spring clamp terminal
Display	Graphic	Graphic
Interfaces: RS485 / Bluetooth / multi-function relay	○ / ● / ○	○ / ● / ○
Interfaces: Webconnect / speedwire	○ / ○	○ / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates and approvals [more available on request]	CE, VDE0126-1-1, RD 661/2007, PPC, AS 4777, EN 50438 ¹ , C10/11, PPDS, UTE C15-712-1, G59/2, VDE-AR-N 4105, BDEW 2008, RD1699	CEI 021
Certificates and approvals [planned]		
Type designation	STP 15000TLIEE-10	STP 20000TLIEE-10