



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SOFIA DA COSTA BARRETO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA  
FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA**

**FORTALEZA**

**2017**

SOFIA DA COSTA BARRETO

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA  
FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de graduada em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Paulo Hollanda Cavalcante

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- B264e Barreto, Sofia da Costa.  
Estudo de viabilidade para implementação de uma planta fotovoltaica integrada em um shopping center de Fortaleza / Sofia da Costa Barreto. – 2017.  
85 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.  
Coorientação: Prof. Dr. Antonio Paulo Holanda Cavalcante.
1. Geração fotovoltaica. 2. Análise financeira. 3. Dimensionamento Fotovoltaico. 4. Sombreamento. 5. Geração distribuída. I. Título.

CDD 621.3

---

SOFIA DA COSTA BARRETO

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA  
FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de graduada em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho  
(Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antonio Paulo Hollanda Cavalcante  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Douglas Aurélio Carvalho Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, minhas irmãs, Matheus e a todos os amigos que fizeram parte dessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu o dom da vida, a saúde e vontade de viver, a qual me impulsiona para correr atrás dos meus objetivos. A Força e a coragem concedida durante toda esta longa caminhada. Sem Ele, não teria chegado até aqui.

Agradeço de forma especial ao meu pai Messias e à minha mãe Neuma, por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante, por cada incentivo e orientação e por me formarem com dignidade para a vida. Às minhas irmãs Marina e Lilian, que sempre foram exemplo pra mim e estiveram do meu lado em todos os momentos. E ao meu namorado, Matheus, por todo amor, carinho e paciência, por estar sempre me apoiando nas minhas decisões.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC que contribuíram com minha formação, em especial ao meu orientador Paulo Carvalho, o qual foi solícito desde que cheguei com o tema, e me ajudou na concretização do mesmo.

Ao meu coorientador Antonio Paulo, por me instruir na construção deste trabalho e ao engenheiro Douglas Aurélio pela disponibilidade e ajuda durante o processo.

Aos amigos que fiz durante o curso, que estiveram comigo nessa árdua jornada, me ajudando a passar nas cadeiras, compartilhando conhecimentos, dividindo comigo noites viradas, projetos e trabalhos. Que tornaram essa caminhada mais leve, e me incentivaram a continuar. A todos meus amigos fora do curso que tiveram que compreender por tantas vezes eu não poder estar presente devido algum compromisso da faculdade. Pelo apoio e por sempre torcerem pro meu sucesso.

Aos colegas, engenheiros e todos os profissionais que trabalhei ao longo da minha jornada profissional, na construção do shopping.

“É justo que muito custe o que muito vale.”

(Santa Teresa D’avila)

“Aspiremos a felicidade que nos foi preparada  
por Deus.”

(São Padre Pio)

## RESUMO

Com os elevados custos de energia elétrica nos grandes empreendimentos como *shopping centers*, os empreendedores procuram uma redução nos custos energéticos. Devido aos preços cada vez mais acessíveis, incentivos do governo e leis federais, a implantação de projetos de microgeração e minigeração de energia elétrica, através da energia solar, tem a capacidade hoje, de atingir objetivos não somente em favor do meio ambiente mas também objetivos financeiros. O presente trabalho tem a finalidade de dimensionar e analisar a viabilidade para a implementação de geração fotovoltaica (FV) em um *shopping center* de Fortaleza - CE. Após os conceitos teóricos, a área disponível para implementação do projeto FV é determinada e um estudo de sombreamento é realizado, com a ajuda do programa *SketchUP*, para assim se ter a área útil para o projeto, foi adotado que 90% dessa área seria utilizada para instalação dos módulos, considerando um espaçamento entre os módulos FV para futuras manutenções, resultando em 3188,11 m<sup>2</sup>. Com base na área útil e com os dados da demanda de consumo do *shopping*, 5500 kW, é desenvolvido o dimensionamento do projeto. Uma comparação entre quatro tipos de placas solares é proposta e por fim, é feita uma análise financeira, com a ajuda do programa *RETScreen4*, considerando-se a vida útil dos módulos FV de 25 anos para todas as alternativas. É apresentado o tempo de retorno do investimento para cada alternativa, concluindo-se assim a viabilidade do projeto. Das 4 alternativas estudadas, a placa CdTe foi a que apresentou pior *payback*, com 8 anos e 8 meses, e menor VPL, de R\$ 2.214.785; a placa p-Si foi a que apresentou melhor *payback*, 7 anos porém, a placa m-Si apresentou maior VPL, de R\$ 6.809.107, se tornando assim a melhor alternativa.

**Palavras-chave:** Geração fotovoltaica. Análise financeira. Dimensionamento Fotovoltaico. Sombreamento. Geração distribuída.

## ABSTRACT

With the high costs of electric power in large enterprises such as shopping malls, entrepreneurs seek a reduction in energy costs. Due to increasingly affordable prices, government incentives and federal laws, the implementation of microgeneration projects and the minigeration of electric energy through solar energy have the capacity today to achieve objectives not only in favor of the environment but also objectives financial resources. The present work has the purpose of dimensioning and analyzing the feasibility for the implementation of photovoltaic (PV) generation in a shopping center in Fortaleza - CE. After the theoretical concepts, the area available for implementation of the PV project is determined and a shading study is carried out, with the help of the SketchUP program, in order to have the useful area for the project, it was adopted that 90% of this area would be used for installation of the modules, considering a spacing between the PV modules for future maintenance, resulting in 3188.11 m<sup>2</sup>. Based on the usable area and the consumption demand data of the mall, 5500 kW, the project design is developed. A comparison between four types of solar panels is proposed and, finally, a financial analysis is done with the help of the RETScreen4 program, considering the life of the 25-year PV modules for all alternatives. The time of return of the investment is presented for each alternative, thus concluding the viability of the project. Of the 4 alternatives studied, the CdTe plate presented the worst payback, at 8 years and 8 months, and lower NPV, of R \$ 2,214,785; the p-Si plate presented the best payback, but the m-Si plate presented the highest NPV of R \$ 6,809,107, making it the best alternative.

**Keywords:** Photovoltaic Generation. Financial analysis. Photovoltaic Sizing. Shading. Distributed generation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área do <i>shopping</i> em estudo a ser utilizada.....	18
Figura 2 – Previsão da crescente demanda de eletricidade no Brasil.....	21
Figura 3 – Esquema sistema FV.....	26
Figura 4 – Painel FV de silício monocristalino (m-Si).....	27
Figura 5 – Painel FV de silício policristalino (p-Si).....	27
Figura 6 – Painel FV de silício amorfo (a-Si).....	28
Figura 7 – Painel FV de telureto de cádmio (CdTe).....	29
Figura 8 – Painel FV de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CIGS).....	29
Figura 9 – Maior usina FV do mundo, Longyangxia Dam Solar Park , na China.....	33
Figura 10 – Usina Kamuthi Solar Power Project, Índia.....	33
Figura 11 – Usina Solar Star, EUA.....	34
Figura 12 – Usina Topaz Solar Farm, EUA.....	35
Figura 13 – Usina Desert Sunlight Solar Farm, EUA.....	35
Figura 14 – Irradiação média global no Brasil e na Europa.....	37
Figura 15 – Usina Nova Olinda, Piauí.....	38
Figura 16 – Usina solar da Eletrosul, Santa Catarina.....	39
Figura 17 – Adoção de energia solar no Ceará.....	40
Figura 18 – Usina solar de Tauá, Ceará.....	41
Figura 19 – Resumo da alimentação de energia elétrica do empreendimento.....	45
Figura 20 – Planta baixa da cobertura do <i>shopping</i> com indicação da área disponível.....	46
Figura 21 – Planta baixa da cobertura do <i>shopping</i> com indicação da área para possíveis futuras instalações.....	46
Figura 22 – Foto do <i>shopping center</i> com indicação de área disponível para geração FV.....	47
Figura 23 – Operação de um diodo de desvio ( <i>bypass</i> ).....	50
Figura 24 – Fluxograma do procedimento.....	51
Figura 25 – Importação do Google Earth e localização inicial do projeto.....	51
Figura 26 – Enquadramento do projeto na localização correta.....	52
Figura 27 – Projeção das sombras para o <i>shopping</i> em estudo - solstício de Inverno.....	53
Figura 28 – Projeção das sombras para o <i>shopping</i> em estudo - solstício de verão.....	55
Figura 29 – Contornando o sombreamento para o <i>shopping</i> em estudo.....	57

Figura 30 – Área útil para instalação das placas FV .....	58
Figura 31 – Orientação da face dos módulos FV para norte geográfico .....	61
Figura 32 – Correta orientação dos painéis no local em estudo .....	61
Figura 33 – Ângulo de inclinação dos painéis FV para Fortaleza.....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Oferta interna de eletricidade no Brasil em 2016.....	20
Gráfico 2 – Evolução das capacidade instalada de geração FV .....	30
Gráfico 3 – Custo células FV de silício no mundo, em dólar/watt.....	32
Gráfico 4 – Potência instalada FV em kWp por GD no Brasil.....	36
Gráfico 5 – Curva I-V para 4 módulos conectados em série.....	49
Gráfico 6 – Composição do custo total da instalação de um sistema FV .....	66
Gráfico 7 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 1 .....	74
Gráfico 8 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 2 .....	75
Gráfico 9 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 3 .....	76
Gráfico 10 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 4 .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração elétrica (GWh) no Brasil anos 2015 e 2016 .....	22
Tabela 2 – Capacidade instalada - GD (MW) .....	22
Tabela 3 – Países com maior potência FV instalada em 2016 .....	31
Tabela 4 – Conta de energia elétrica do consumidor.....	59
Tabela 5 – Dados de irradiação em Fortaleza – CE .....	60
Tabela 6 – Ângulo de inclinação recomendado para os módulos FV .....	62
Tabela 7 – Placas FV escolhidas para efeito comparativo .....	64
Tabela 8 – Dados das potências do transformador e inversor e disposição dos inversores para cada sistema.....	66
Tabela 9 – Composição valor Wp placa a-Si .....	68
Tabela 10 – Composição valor Wp placa CdTe .....	69
Tabela 11 – Composição valor Wp placa m-Si .....	70
Tabela 12 – Composição valor Wp placa p-Si .....	71
Tabela 13 – Resumo sistema para cada tipo de placa.....	71
Tabela 14 – Valor tarifa utilizado.....	72
Tabela 15 – Taxa de eletricidade exportada para rede - média anual.....	73
Tabela 16 – Resultados obtidos .....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRASCE	Associação Brasileira de Shopping Centers
ABL	Área Bruta Locável
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CAG	Central de Água Gelada
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CERNE	Centro de Estratégias em Recursos Naturais de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico (a)
GD	Geração Distribuída
MME	Ministério de Minas e Energias
PMT	Painel de Média Tensão
SE	Subestação
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
c-Si	Silício Cristalino
m-Si	Silício Monocristalino
a-Si	Silício Amorfo
p-Si	Silício Policristalino

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Motivação .....	17
1.2 Objetivo .....	18
1.2.1 <i>Objetivos gerais</i> .....	18
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	18
1.3 Estrutura do trabalho.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Situação energética brasileira .....	20
2.2 Energia solar fotovoltaica.....	24
2.2.1 <i>Introdução</i> .....	24
2.2.2 <i>Funcionamento do sistema solar FV</i> .....	25
2.2.3 <i>Tipos de placas FV</i> .....	26
2.2.4 <i>Cenário mundial</i> .....	30
2.2.5 <i>Cenário brasileiro</i> .....	36
2.2.6 <i>Cenário cearense</i> .....	39
2.3 Geração FV em shopping Centers .....	41
3 CARACTERIZAÇÃO DO SHOPPING CENTER.....	43
3.1 Características gerais .....	43
3.2 Alimentação de energia elétrica .....	43
3.3 Área para instalação da planta FV .....	45
4 ESTUDO DO SOMBREAMENTO .....	48
4.1 Introdução.....	48
4.2 Área útil para instalação dos módulos FV.....	50
5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO.....	59

5.1 Análise da conta de energia elétrica do consumidor .....	59
5.2 Irradiação solar .....	60
5.3 Orientação geográfica e inclinação dos painéis FV.....	61
5.4 Placas fotovoltaicas .....	62
5.5 Inversor e transformador .....	65
5.7 Estimativa de custos .....	66
6 ANÁLISE FINANCEIRA E RESULTADOS .....	72
6.1 Alternativa 1 .....	74
6.2 Alternativa 2 .....	75
6.3 Alternativa 3 .....	75
6.4 Alternativa 4 .....	76
7 CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS .....	80

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação

A matriz energética brasileira é composta em sua maior parte por hidrelétricas, a qual em 2016 representou 68,1% da oferta interna de energia. Porém, a forte dependência do país a este tipo de fonte tem demonstrado suas consequências nos últimos anos. O longo período de estiagem sobre importantes bacias hidrográficas do país, tem trazido o racionamento energético e o aumento da tarifa de energia elétrica. Este aumento é devido ao acionamento das termoeletricas, que possuem um custo mais elevado de operação.

Isso somado à crescente demanda de energia elétrica, fortalece a necessidade de se diversificar a matriz energética do país. O uso de fontes renováveis que são disponíveis na natureza, com o vento, o sol, o oceano, dentre outros; possibilita a diversificação da matriz energética.

A energia solar, é uma das mais promissoras alternativas energéticas do futuro, por ser inesgotável na escala terrestre de tempo. O Brasil possui altos índices de irradiação solar, entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano, segundo AHK ([201-]), a área com a menor irradiação solar no sul do Brasil, se encontra até 20% mais irradiada do que a área mais irradiada da Alemanha, um dos maiores produtores de energia solar.

O alto consumo de energia elétrica em *shopping centers*, tem feito cada vez mais esses empreendedores buscarem alternativas para diminuir o gasto com consumo de energia elétrica. A conta de energia muitas vezes, pode chegar a 45% dos gastos destas empresas. Este fato aliado a grandes áreas inutilizadas, como os terraços e cobertura de estacionamentos, faz da geração solar fotovoltaica (FV) ser uma boa opção para utilização em *shopping centers*.

O *shopping* em estudo, situado em Fortaleza, CE, possui uma grande área exposta ao sol, em torno de 5000 m<sup>2</sup>. A figura 1 apresenta a localização do estabelecimento que será explorado para a utilização dos equipamentos FV, a área disponível está presente no último piso (L3) e será descrita com mais detalhes adiante.

Figura 1 – Área do *shopping* em estudo a ser utilizada



Fonte: O shopping.

## 1.2 Objetivo

### 1.2.1 Objetivos gerais

Dada a motivação do alto consumo de energia elétrica em *shopping centers*, da necessidade de diversificação da matriz energética do país e dos altos índices de irradiação solar no Brasil, o presente trabalho tem o objetivo de propor a implementação de um projeto de sistema FV integrado em um *shopping center* de Fortaleza - CE.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Dimensionamento do projeto;
- Análise da viabilidade financeira;
- Comparação entre os sistemas FV utilizados como objeto de estudo.

### 1.3 Estrutura do trabalho

Além deste primeiro capítulo, onde é feita uma introdução sobre o assunto abordado, explicitando a motivação, os objetivos e a estrutura do trabalho; o presente trabalho estrutura-se da seguinte forma:

No capítulo 2 são introduzidos conceitos e definições: a situação energética brasileira, a energia solar FV e a integração desses sistemas em *shopping centers*.

No capítulo 3 são apresentadas as características do *shopping center*. Os tipos de consumidores que são atraídos, o que encontramos em toda sua área, como ocorre sua alimentação de energia elétrica e por fim é indicada a área para instalação da planta FV.

No capítulo 4 é feito um estudo de sombreamento da área disponível para instalação dos painéis FV. Com a ajuda do programa *SketchUP*, é delimitado a área útil para instalação das placas FV.

No capítulo 5 é apresentado o dimensionamento do sistema solar FV. É feito uma análise da conta de energia elétrica do consumidor, da irradiação solar na cidade, também é indicada a orientação geográfica e inclinação dos módulos FV. É realizada uma comparação entre quatro placas de diferentes tecnologias, fabricantes, eficiência e potência. É feito ainda o cálculo da potência do inversor e o dimensionamento do transformador elevador necessário. Por fim, é realizada a estimativa de custo do sistema.

No capítulo 6 é apresentado a análise financeira do sistema, com a ajuda do programa *RETScreen4* e apresentado os resultados.

No capítulo 7 é feita a conclusão do trabalho com as considerações finais e resultados.

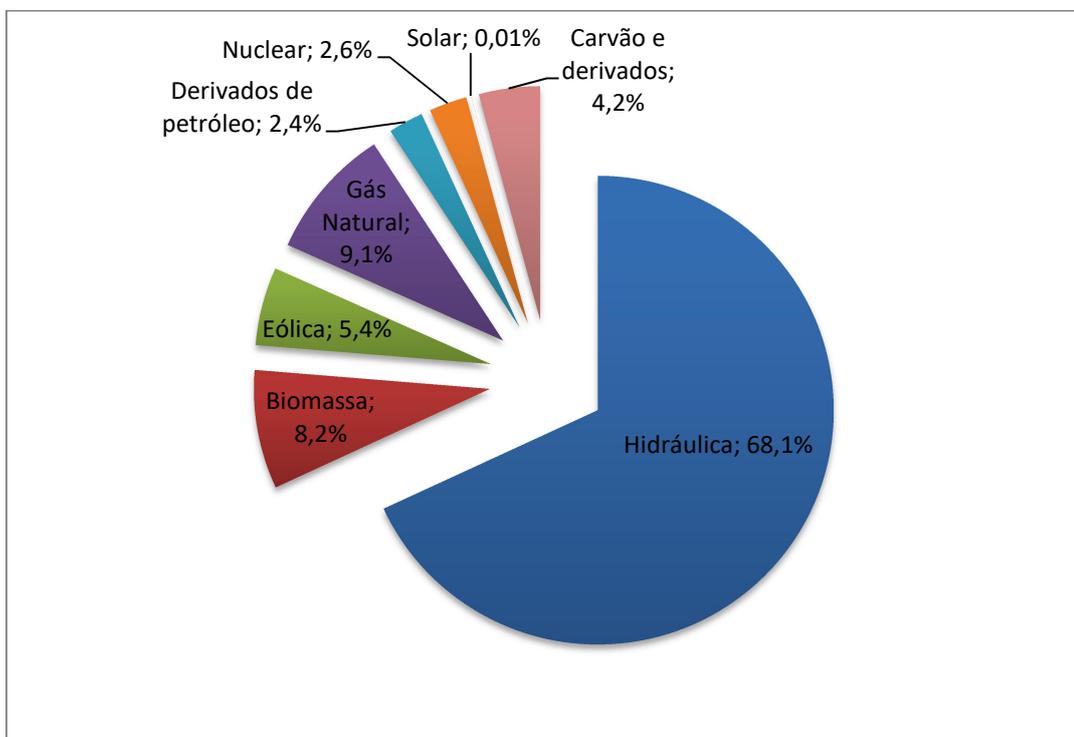
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Situação energética brasileira

As características geográficas brasileiras e os fatores econômicos e históricos, moldaram a situação energética no país. Com as boas condições que o país dispõe para instalação de usinas hidrelétricas, a produção de energia elétrica por hidrelétricas se tornou a principal fonte no Brasil. (SILVESTRE; TAKASAKI, 2014).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para geração hidráulica que responde por 68,1% da oferta interna, conforme o relatório síntese do ano de 2017 do Balanço Energético Nacional (BEN). O gráfico 1 foi baseado nos dados desse relatório.

Gráfico 1 – Oferta interna de eletricidade no Brasil em 2016

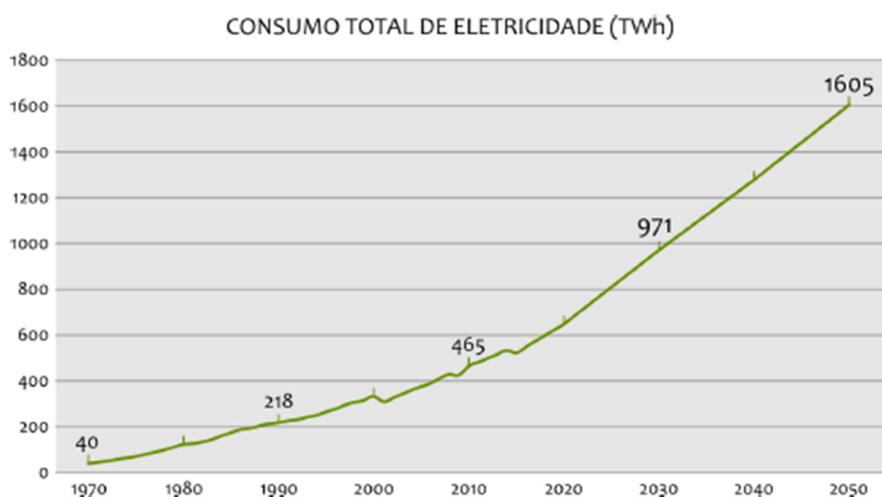


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2017).

Apesar de o Brasil dominar a tecnologia de geração de energia elétrica por fontes hidráulicas, a forte dependência do país a este tipo de fonte tem demonstrado, nos últimos anos, suas consequências. A falta de planejamento do governo aliado ao longo período de estiagem sob as importantes bacias hidrográficas do país, trouxeram ao racionamento energético e aumento da tarifa de energia elétrica aos consumidores finais (MIRANDA, 2016).

Aliado isso com a crescente demanda de eletricidade, se torna mais necessário a busca por fontes alternativas de energia e diversificação da matriz energética; segundo Pereira *et al.* (2017, p.13), “a previsão aponta um crescimento da demanda na ordem de 200% para os próximos 30 anos.” A figura 2 ilustra esta previsão, considerando a série histórica de consumo total de energia elétrica no Brasil entre os anos de 1970 a 2015 e previsão de demanda para o período de 2020 a 2050.

Figura 2 – Previsão da crescente demanda de eletricidade no Brasil



Fonte: Pereira *et al.*, 2017, p.14.

Analisando a produção de energia elétrica no Brasil dos anos de 2015 e 2016, encontrada na tabela 1, é possível observar o avanço das energias renováveis na matriz elétrica.

Tabela 1 – Geração elétrica (GWh) no Brasil anos 2015 e 2016

Fonte	2015	2016	$\Delta$ 16/15
Hidrelétrica	359.743	380.911	5,9%
Gás Natural	79.490	56.485	-28,9%
Biomassa <sup>1</sup>	47.394	49.236	3,9%
Derivados do Petróleo <sup>2</sup>	25.657	12.103	-52,8%
Nuclear	14.734	15.864	7,7%
Carvão Vapor	18.856	17.001	-9,8%
Eólica	21.626	33.489	54,9%
Solar Fotovoltaica	59	85	44,7%
Outras <sup>4</sup>	13.669	13.723	0,4%
Geração Total	581.228	578.898	-0,4%

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2017, p.35.

É possível observar que o maior crescimento foi da energia eólica e solar FV, representando um aumento de 54,9% e 44,7%, respectivamente. Registrou-se ainda neste período forte queda da geração térmica a base de derivados de petróleo e gás natural, com uma queda de 28,9% e 52,8%, respectivamente, resultante do superávit nos fluxos de exportação e importação destas fontes energéticas.

O crescimento da energia solar FV se deve principalmente por participação da geração distribuída (GD), que em 2015 representava 13,3 MW de geração e em 2016 representou 56,9 MW, ou seja, um crescimento de 327,81%, o que pode ser verificado na tabela 2.

Tabela 2 – Capacidade instalada - GD (MW)

Fonte	2015	2016
Hidráulica	0,8	4,4
Térmica	2,3	11,0
Eólica	0,1	0,2
Solar	13,3	56,9
Capacidade disponível	16,5	72,5

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2017, p.34.

Na GD, o consumidor pode produzir parte da energia elétrica que consome e transferir o excedente à rede de distribuição da concessionária. A partir da resolução normativa de nº 482/2012, o sistema de compensação de energia elétrica segue a seguinte diretriz:

Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (ANEEL, 2012, p. 2)

Atualmente o governo é um dos principais investidores nesse tipo de geração de energia elétrica em conjunto com as concessionárias de geração e distribuição de energia. De acordo com Santiago, Rocha e Carvalho (2016, p. 1), “Os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações e interligados à rede elétrica são vantajosos à concessionária elétrica local, no sentido de aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de transmissão e distribuição.”

A resolução normativa de nº 687/2015 da ANEEL aprimorou o que foi estabelecido na resolução 482 e determinou que:

1. Microgeração – Sistema gerador de energia elétrica através de fontes renováveis, com potência instalada inferior ou igual a 75 kW (SANTANA, 2016).
2. Minigeração – Sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (para fonte hídrica) e menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis (Solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada) (SANTANA, 2016).
3. Possibilidade de geração distribuída em condomínios em que os créditos gerados podem ser compensados nas múltiplas unidades do condomínio (CARVALHO, 2016).
4. Utilização dos créditos energéticos em até 60 meses (SANTANA, 2016).

Aliados à necessidade de diversificar as fontes de energia, existem ainda os compromissos apresentados pelo Brasil às Nações Unidas para redução de emissão de gases do efeito estufa (NDC, 2016). O país incluiu entre seus compromissos, a meta de alcançar 45% de participação de fontes renováveis de energia (incluindo fonte hídrica, com participação das demais renováveis entre 28% e 33% deste total). Esses compromissos foram ratificados em reunião na Organização das Nações Unidas (ONU) realizada em setembro de 2016 (PEREIRA *et al*, 2017).

Com o disposto, a fonte solar vem como boa alternativa para a diversificação da matriz energética e para o desenvolvimento sustentável no país.

## **2.2 Energia solar fotovoltaica**

### **2.2.1 Introdução**

O sol é um recurso inesgotável de energia, levando em consideração a escala de tempo de vida no planeta Terra. Segundo Pereira *et al.* (2017, p. 15), “a taxa de energia emitida pelo Sol é aproximadamente constante há bilhões de anos com uma potência atual da ordem de  $3,86 \times 10^{26}$  W.”

O uso da expressão “radiação solar” pode ser usado para relação de fluxo de potência, também chamado de irradiância solar, ou para energia por unidade de área denominado irradiação solar. O valor da intensidade da irradiação solar na Terra varia entre  $1.325 \text{ W/m}^2$  e  $1.412 \text{ W/m}^2$ , sendo seu valor médio de  $1.367 \text{ W/m}^2$ . (LOUZADA, 2016).

A conversão direta da energia solar em energia elétrica, resulta dos efeitos da radiação sobre determinados materiais semicondutores, através do efeito FV. O efeito FV, relatado por Edmond Becquerel, em 1939, “é onde os fótons da luz estimulam os elétrons a saltar para a camada de condução, que sob condições favoráveis irá originar uma tensão e corrente elétrica.” (SANTIAGO; ROCHA; CARVALHO, 2016, p. 2).

A tecnologia FV possui baixa manutenção, longa vida útil, possibilidade de ser instalada praticamente em qualquer lugar e é uma energia limpa e silenciosa. Das desvantagens da tecnologia FV pode citar-se o alto custo de aquisição, a dependência climática (nos dias chuvosos não produzirá tanta energia quanto nos dias ensolarados), o fato

de não produzir energia elétrica durante a noite e as formas de armazenamento associadas serem pouco eficientes quando comparadas por exemplo com os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás).

### ***2.2.2 Funcionamento do sistema solar FV***

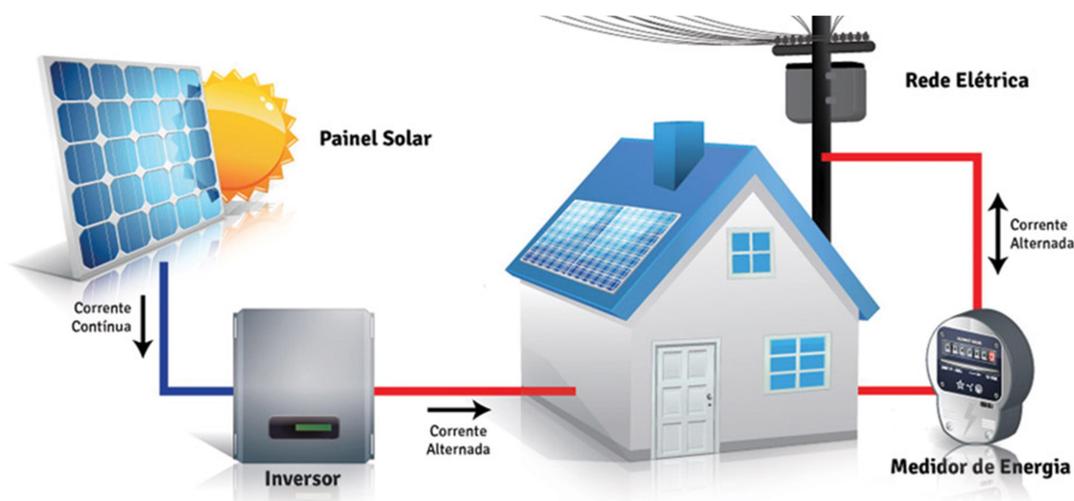
Um sistema solar FV possui dois equipamentos principais e fundamentais: as placas FV e o inversor. Além deles são necessários também os dispositivos de proteção e de medição.

As placas FV convertem a energia solar em energia elétrica, em corrente contínua. Essa corrente é conduzida para o inversor, o qual converte a energia recebida em corrente contínua para corrente alternada, para ser usada em sua casa ou para ser injetada na rede. Para exportar a eletricidade gerada para a rede (GD), é necessário um medidor bidirecional, que mede a energia gerada e a energia consumida, possibilitando assim contabilizar os créditos de energia ao final do mês (FOTAIC ENERGIA SOLAR, [2016?]).

Quando o fornecimento de eletricidade do estabelecimento é feito em alta tensão, o sistema tem que conter ainda um transformador elevador para adequar o nível de tensão de saída do inversor de baixa tensão (BT) para média ou alta tensão (MT ou AT) e poder injetar a energia gerada na rede.

O esquema do funcionamento do sistema FV, em baixa tensão, pode ser observado na figura 3.

Figura 3 – Esquema sistema FV



Fonte: Espaço Luz energia fotovoltaica, [201-].

### 2.2.3 Tipos de placas FV

As células FV são divididas em dois grupos: silício cristalino e filmes finos (PORTAL SOLARa).

O silício cristalino (c-Si) é a tecnologia mais tradicional (representa mais de 85% do mercado), é considerada uma tecnologia consolidada e confiável e possui a melhor eficiência comercialmente disponível. Faz uso de lâminas cristalinas, relativamente espessas, o que aumenta os custos de produção. Não é considerada tão eficiente quando submetida a altas temperaturas. Pode ser do tipo:

#### a) Silício monocristalino (m-Si):

É a tecnologia mais antiga e também uma das mais caras, porém possui alta eficiência (entre 14 e 21%) com relação a outras tecnologias. São produzidos através de um único cristal puro de silício, que é cortado em lâminas individuais. Possui cor uniforme, indicando silício de alta pureza, e cantos tipicamente arredondados, como podemos observar na figura 4. Quanto maior a pureza do silício, melhor será a conversão de luz solar em energia elétrica (PORTAL SOLARa, [201-]);

Figura 4 – Painel FV de silício monocristalino (m-Si)



Fonte: PORTAL SOLARa, [201-].

b) Silício policristalino (p-Si):

Apresenta menor eficiência de conversão (entre 13 e 16,5%) em comparação com o monocristalino, porém com menor custo de produção. Possui processamento mais simples e menor perfeição cristalina. Os cristais de silício são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais (daí o nome ser policristalino). Na figura 5 é possível visualizar um painel FV do tipo p-Si (PORTAL SOLARa, [201-]).

Figura 5 – Painel FV de silício policristalino (p-Si)



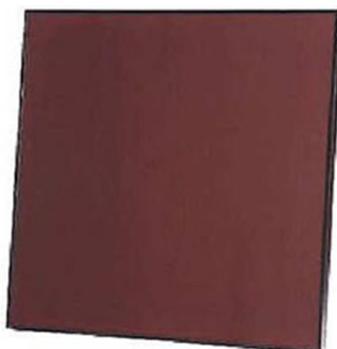
Fonte: PORTAL SOLARa, [201-].

Os painéis FV de filmes finos tem uma modesta participação no mercado (menos de 15%). Existem dificuldades associadas à disponibilidade dos materiais, vida útil e rendimento das células. Na sua produção, o material é colocado diretamente sobre uma superfície, como o vidro ou metal, por exemplo. São depositadas diversas camadas finas de material FV. O material pode ser:

a) Silício amorfo (a-Si):

Exige um gasto menor de silício, se tornando mais barato, porém, menos eficiente. Os módulos disponíveis no mercado estão na faixa de 8-9% de eficiência. Uma outra vantagem é que este material pode ser utilizado como material de revestimento na edificação. Na figura 6 é possível visualizar um painel FV de silício amorfo (PORTAL SOLARa, [201-]);

Figura 6 – Painel FV de silício amorfo (a-Si)



Fonte: PORTAL SOLARa, [201-].

b) Telureto de Cádmio (CdTe):

É a única tecnologia de película fina que superou o custo/eficiência de painéis solares de silício cristalino. A eficiência opera normalmente na faixa de 9-11% e já existem uns fabricantes produzindo painéis com eficiência de 14%. A baixa abundância dos elementos envolvidos e sua toxicidade são aspectos que devem ser levados em conta (SANTIAGO; ROCHA; CARVALHO, 2016). Na figura 7 pode-se visualizar um painel do tipo CdTe (PORTAL SOLARa, [201-]);

Figura 7 – Painel FV de telureto de cádmio (CdTe)



Fonte: PORTAL SOLARa, [201-].

c) Cobre, índio e gálio seleneto (CIS/CIGS):

Em comparação com as outras tecnologias de filme-fino acima, as células solares CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Estas células solares contêm menos quantidades do cádmio (material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe). Tem eficiência entre 10-12% e já existem alguns sendo vendidos no Brasil passando dos 13%. Na figura 8 pode-se visualizar um painel do tipo CIS/CIGS (PORTAL SOLARa, [201-]).

Figura 8 – Painel FV de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CIGS)



Fonte: PORTAL SOLARa, [201-].

Na tecnologia conhecida por Heterojunção (HJT), o processo de fabricação, é similar ao dos painéis FV monocristalinos, porém, possuem uma passivação com camada de Silício Amorfo (a-Si), com algumas diferenças (PORTAL SOLARa, [201-]). Combinando a eficiência do silício cristalino com as características de temperatura do silício amorfo, esta

nova tecnologia pode prover uma potência 10% maior nas condições de altas temperaturas. (SANTIAGO; ROCHA; CARVALHO, 2016). Porém, esta tecnologia ainda não está disponível no mercado brasileiro.

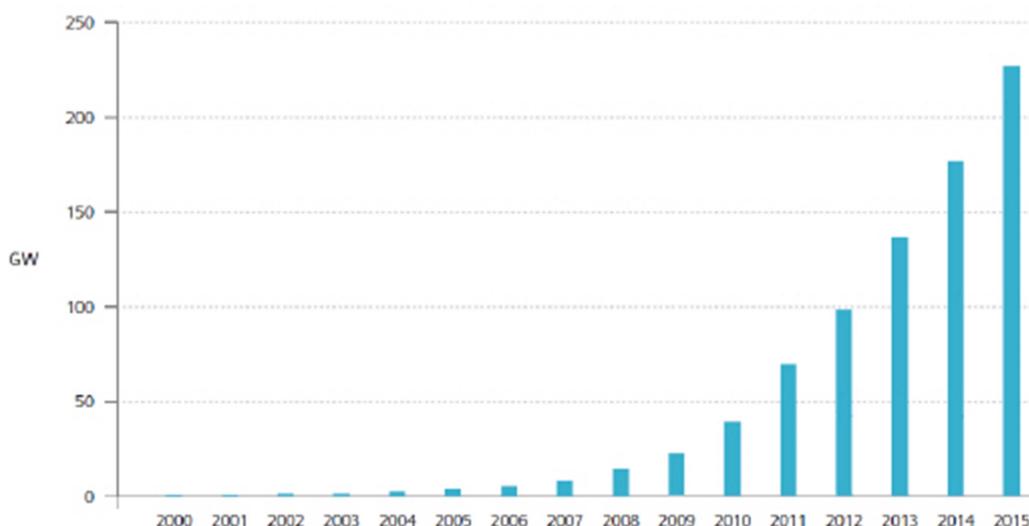
Detalhes como a tecnologia do módulo FV, sombreamento, inclinação do painel FV, orientação geográfica, irradiação e análise da conta de energia elétrica do consumidor, são importantes pontos a serem levados em consideração em um projeto FV, como poderemos observar mais adiante.

#### **2.2.4 Cenário mundial**

A geração solar FV é a terceira fonte de energia renovável mais importante a nível mundial, depois de hidráulica e eólica. Mais de 100 países utilizam geração FV.

O mercado mundial FV vem crescendo exponencialmente, nos últimos anos. Como se pode observar no gráfico 2, a partir de 2010 houve um salto no crescimento da capacidade instalada. Em 2015 foram implementados no mundo cerca de 50 GW de capacidade instalada, um aumento de 25% em relação a 2014. A capacidade total instalada foi de 227 GW em 2015 (NASCIMENTO, 2017).

Gráfico 2 – Evolução das capacidade instalada de geração FV



Fonte: Maia, 2016.

A tendência desse crescimento é continuar. Segundo Ministério de Minas e Energia (MME), em 2016, o mundo já contava com uma potência solar FV instalada de 294 GW, o que representa 29% de aumento com relação ao ano de 2015.

Em 2016, a China liderou a capacidade total instalada de energia solar FV, com 78,07 GW, seguida pelo Japão com 42,75 GW, Alemanha com 41,27 GW, EUA com 40,3 GW e Itália com 19,28 GW, como apresentado na Tabela 3. De acordo com o Departamento de Informações e Estudos Energéticos (2017, p. 6), “Os cinco primeiros países em potência instalada respondem por 74% do total mundial”.

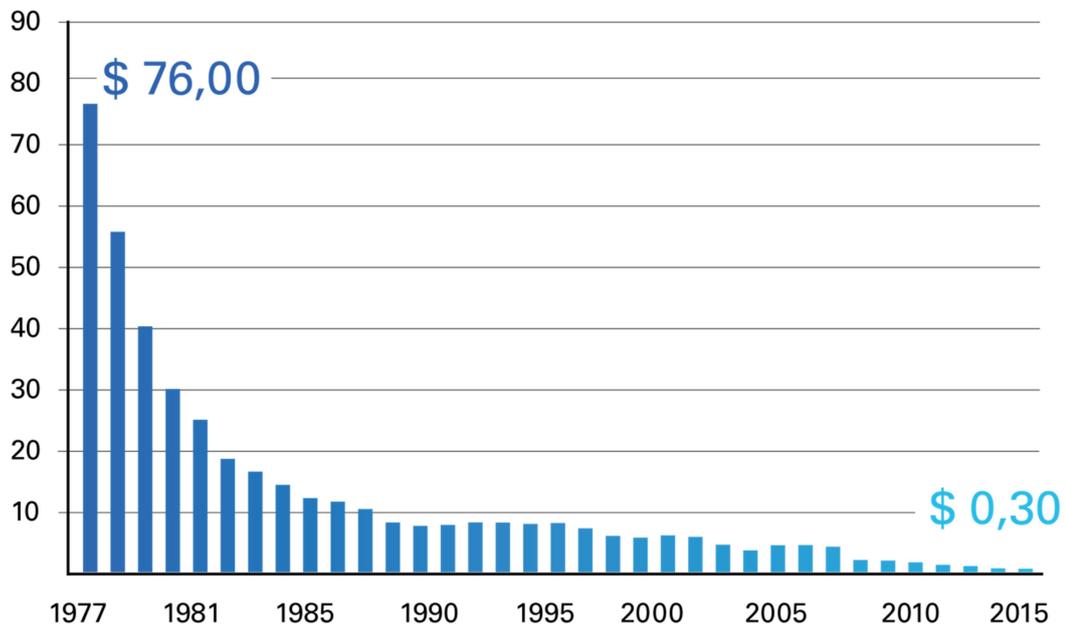
Tabela 3 – Países com maior potência FV instalada em 2016

	País	Potência instalada (GW)
1º	China	78,07
2º	Japão	42,75
3º	Alemanha	41,27
4º	Estados Unidos	40,30
5º	Itália	19,28

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Departamento de informações e estudos energéticos (2017).

Com o crescimento do mercado solar FV, o aumento da escala de produção e o avanço da tecnologia; o valor da geração FV hoje, está 250 vezes mais barato que há quatro décadas (ENEL, 2017a). O gráfico 3 demonstra o custo global das células FV de silício desde 1997.

Gráfico 3 – Custo células FV de silício no mundo, em dólar/watt



Fonte: Enel, 2017a.

Das 5 maiores usinas FV que já estão em funcionamento, 3 estão nos Estados Unidos, 1 na China e 1 na Índia. São elas:

- a) **Longyangxia Dam Solar Park, China** - Instalada na Província de Qingha, China (figura 9). A usina solar foi construída em 2013, com uma capacidade nominal de 320 MWp (Fase I), que cobriu uma área de 9 km<sup>2</sup> com placas FV. Em 2015, foram adicionados 530 MWp (Fase II), com mais 14 km<sup>2</sup>, totalizando 850 MWp se tornando a maior usina FV do mundo (GREENBRÁS, [2016]);

Figura 9 – Maior usina FV do mundo, Longyangxia Dam Solar Park , na China



Fonte: Greenbrás, [2016].

- b) **Kamuthi Solar Power Project, Índia** - Instalada na cidade de Kamuthi, Índia (figura 10). Com uma capacidade de geração de 648 MWp, o projeto foi concluído em 21 de Setembro de 2016. A planta solar consiste em 2.500.000 módulos solares, 27.000 metros de estruturas de suporte, 576 inversores e 154 transformadores e quase 7500 km de cabos. Os painéis ocupam uma área de mais de 5 km<sup>2</sup> (GREENBRÁS, [2016]);

Figura 10 – Usina Kamuthi Solar Power Project, Índia



Fonte: Greenbrás, [2016].

- c) **Solar Star, EUA** - É uma planta FV de 597 MWp instalada nas proximidades de Rosamond, na Califórnia (figura 11). A obra foi concluída em junho de 2015, e faz uso de 1,7 milhão de painéis solares, fabricados pela SunPower que ocupam uma área total de 13 km<sup>2</sup>. A usina é dividida em 2 plantas, sendo a Solar Star I com capacidade para 318MWp e a Solar Star II com capacidade para 279MWp (GREENBRÁS, [2016]);

Figura 11 – Usina Solar Star, EUA



Fonte: Greenbrás, [2016].

- d) **Topaz Solar Farm, EUA** – É uma usina FV de 550 MWp, instalada em San Luis Obispo County, na Califórnia (figura 12). O projeto teve início em novembro de 2011 e terminou em novembro de 2014, e consumiu cerca de US \$ 2,5 bilhões. A usina utiliza 9 milhões de módulos FV de CdTe, fabricada pela empresa americana First Solar. A área ocupada é de aproximadamente 25 km<sup>2</sup>. Segundo a First Solar, a usina é capaz de abastecer 160mil residências (GREENBRÁS, [2016]);

Figura 12 – Usina Topaz Solar Farm, EUA



Fonte: Greenbrás, [2016].

- e) **Desert Sunlight Solar Farm, EUA** - É uma central FV de 550 MWp instalada a quase 10 km ao norte do centro do deserto de Mojave, na Califórnia (figura 13). A instalação utiliza aproximadamente 8,8 milhões de módulos de Telureto de Cádmio fabricados pela First Solar. As placas ocupam uma área de 16 km<sup>2</sup>. A instalação foi realizada em 2 fases, sendo 300MWp na fase I e mais 250MWp na fase II (GREENBRÁS, [2016]).

Figura 13 – Usina Desert Sunlight Solar Farm, EUA



Fonte: Greenbrás, [2016].

A substituição de usinas convencionais por usinas FV está se espalhando pelo mundo. Existem inúmeras outras plantas já instaladas e outros projetos já aprovados e em fase de implantação. De acordo com IEA (International Energy Agency), a geração FV

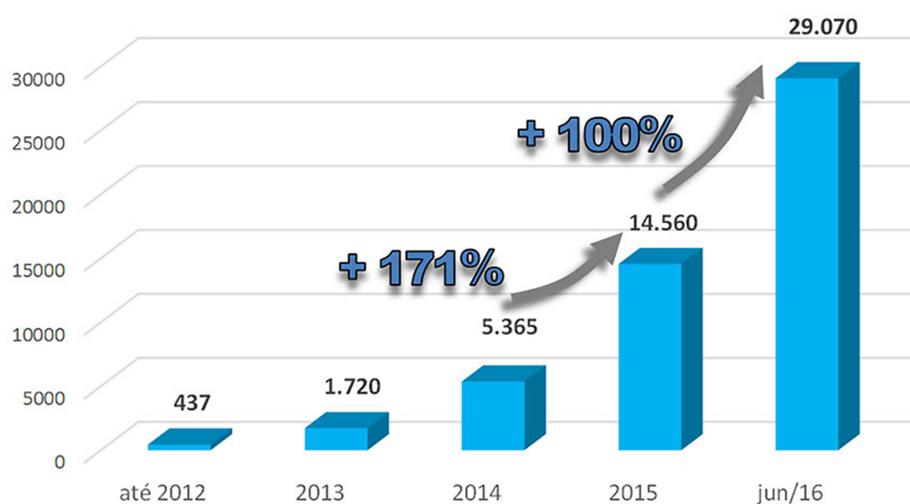
representará mais de 10% da matriz energética mundial até 2050. Desse total, mais de 60% corresponderá à geração distribuída.

### 2.2.5 Cenário brasileiro

No Brasil a geração FV ainda não tem participação significativa na oferta interna de energia. Conforme o relatório síntese do ano de 2017 do BEN, a geração FV em 2016 representa 0,0112% da oferta interna de energia. Porém, com os crescentes incentivos fiscais do governo e leilões de energia solar, a tendência é que esse quadro mude.

O setor da energia solar FV no Brasil, ganhou força a partir de 2012, quando se aprovou a regulamentação para conexão e compensação de geradores distribuídos. A partir daí, vem se destacando dentro de dois segmentos, a geração distribuída e a geração centralizada, que vem ganhando impulso a partir de leilões centralizados (PORTAL SOLARb, [201-]). O gráfico 4 demonstra o significativo crescimento da potência instalada FV por GD no Brasil até final de junho de 2016.

Gráfico 4 – Potência instalada FV em kWp por GD no Brasil



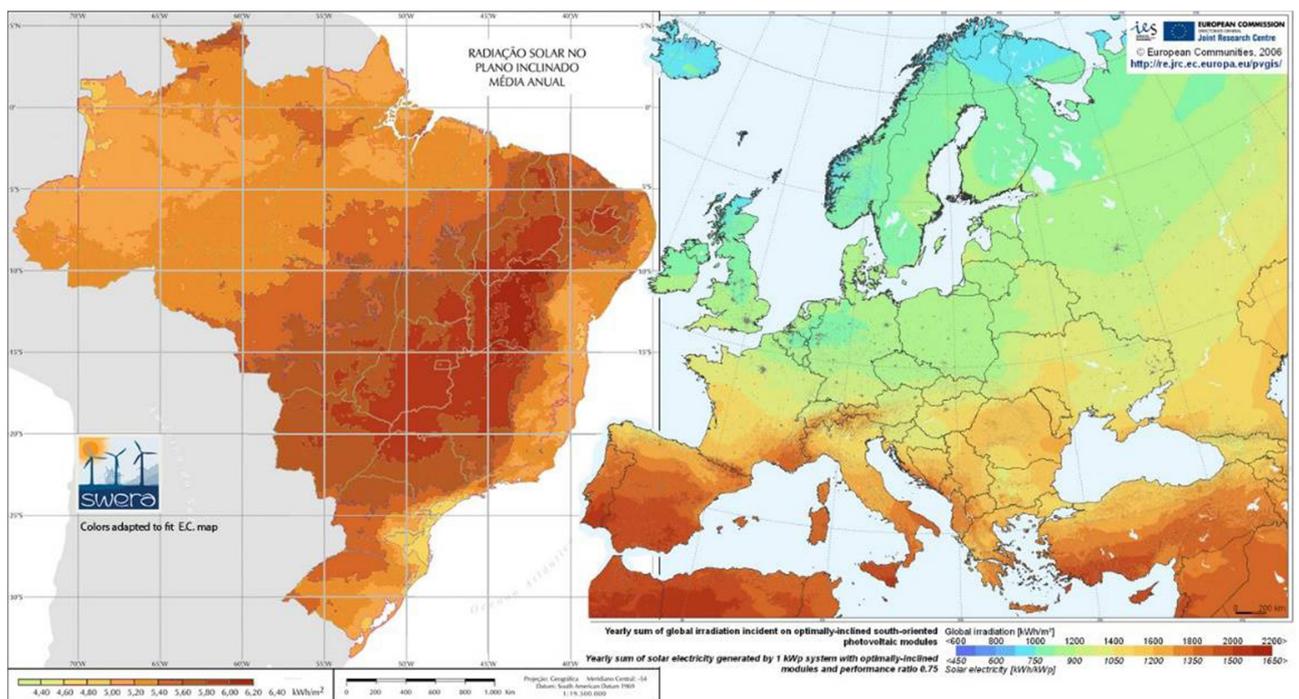
Fonte: PORTAL SOLARb, [201-].

A baixa utilização da energia solar no Brasil chama mais atenção quando verificamos as condições favoráveis ao desenvolvimento da fonte no país. O Brasil, além de altos níveis de irradiação solar, possui ainda grandes reservas de quartzo de qualidade, que

podem gerar importante vantagem competitiva para produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares (NASCIMENTO, 2017).

Os níveis de irradiação global média anual no país é entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Para efeito de comparação, em países que exploram esta fonte há mais tempo, como Alemanha e Espanha, os valores variam, respectivamente, nas faixas 900-1.250 e 1.200-1.850 kWh/m<sup>2</sup>/ano (SILVESTRE; TAKASAKI, 2014). A figura 14 faz uma comparação dos valores de irradiação solar do Brasil e da Europa. Fica fácil de se enxergar que o potencial brasileiro é muito maior, no entanto a Europa possui instalados 88GW de energia FV enquanto o Brasil ainda está com menos de 1 GW (PORTAL SOLARc, [201-]).

Figura 14 – Irradiação média global no Brasil e na Europa



Fonte: PORTAL SOLARc, [201-].

Podemos observar na figura 14 que os valores máximos de irradiação solar no Brasil são na região central da Bahia (6,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia) e no noroeste de Minas Gerais. O Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual, dentre todas as regiões geográficas (DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÕES E ESTUDOS ENERGÉTICOS, 2017).

A usina solar Nova Olinda (Figura 15) é a maior da América do Sul atualmente em operação situada em Ribeira, no Piauí. A usina possui capacidade de 292 MW, foi inaugurada em setembro de 2017 e pertence ao grupo italiano Enel. É composto por 930 mil painéis FV em uma área de 690 hectares, com capacidade de atender 300 mil famílias. (O GLOBO, 2017)

Figura 15 – Usina Nova Olinda, Piauí



Fonte: ENEL, 2017b.

A segunda maior usina do Brasil é a usina de Ituverava, na Bahia, e também pertence ao grupo Enel. É composta de cerca de 850 mil painéis distribuídos em uma área de 579 hectares, com capacidade instalada de 254 MW, podendo atender a 268 mil residências. (O GLOBO, 2017)

A usina solar da Eletrosul é a maior usina do Brasil a ser construída integrada a um edifício, como podemos observar na figura 16. Possui uma potência instalada de 1MWp e foi construída sobre o prédio administrativo da empresa e sobre as vagas de estacionamento, em Florianópolis, Santa Catarina.

Figura 16 – Usina solar da Eletrosul, Santa Catarina



Fonte: PORTAL SOLARd, [201-].

Segundo o Departamento de Informações e Estudos Energéticos (2017, p.4), “O Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2026, estima que a capacidade instalada de geração solar (no Brasil) chegue a 13 GW em 2026, sendo 9,6 GW de geração centralizada e 3,4 GW de geração distribuída.”

### ***2.2.6 Cenário cearense***

O Ceará vem ganhando espaço no cenário nacional de produção de energia limpa. A localização geográfica próxima à linha do Equador permite menor oscilação e maior incidência de raios solares possibilitando o melhor uso das potencialidades para a produção de energia limpa. De acordo com o Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (CERNE) (2017), atualmente, o Ceará conta com 472 unidades produtoras de energia renovável em operação, das quais, 94% são centrais geradoras solar FV.

Segundo Colaferro (2017, página única), “o Ceará aparece em 8º lugar do ranking nacional em relação a adoção da energia solar, com participação nacional de 3,48%”. O Ceará adotou a isenção da tributação do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) na eletricidade gerada pelo sistema fotovoltaico e injetada na rede de distribuição, essa medida permitiu diminuir o valor da conta de luz nas residências com placas solares. Na figura 17 podemos observar que o maior número de sistemas no estado é residencial, totalizando 69,48% das instalações.

Figura 17 – Adoção de energia solar no Ceará



Fonte: Blue sol, 2017.

Em outubro de 2016, o Grupo Telles inaugurou em Pindoretama, na região Metropolitana de Fortaleza, a maior usina de energia solar do Ceará, com potência instalada de 3 MWp, suficiente para garantir o abastecimento da fábrica de embalagens de papelão Santa Elisa, pertencente ao grupo. Com 9.223 painéis FV e o investimento de cerca de R\$ 30 milhões, o grupo prevê ainda um aumento da capacidade para 5 MWp (CAVALLI, 2016).

A usina solar de Tauá (figura 18), localizada no município de Tauá, no sertão do Ceará foi a primeira usina solar do Brasil a gerar eletricidade em escala comercial. Construída em 2011, tem a capacidade de geração de 1 MWp, conta com 4.680 painéis e produz energia suficiente para alimentar 650 casas populares.

Figura 18 – Usina solar de Tauá, Ceará



Fonte: Fonte: PORTAL SOLARd, [201-].

Segundo Energo (2017, página única), “a estimativa é que nos próximos anos tenha um aumento de 270 MW de potência instalada só por geração solar no estado do Ceará.”

### 2.3 Geração FV em shopping Centers

Os elevados custos com energia elétrica em empreendimentos como *shopping centers* representam grande preocupação aos empreendedores. Muitas vezes, a conta de luz significa um dos maiores custos destas empresas, ficando atrás somente da folha de pagamento, segundo estudo divulgado pela ABRASCE, a fatura pode chegar a 45% dos gastos (ABEGÁS, 2013). Os *shoppings* brasileiro estão investindo cada vez mais em medidas de eficiência energética, a qual podemos incluir a geração de energia solar.

Somado a esses elevados custos com energia elétrica, os *shoppings* contam com muitas áreas inutilizadas, como as coberturas dos estabelecimentos e dos estacionamentos, sendo boa oportunidade para a implantação de sistemas FV.

O primeiro *shopping center* do Brasil a produzir energia elétrica a partir da geração FV é o Shopping Plaza Casa Forte, localizado em Recife. Com um investimento de

R\$ 300 mil, o *shopping* conta com 156 painéis instalados no estacionamento e potência instalada 38,22 kW (SATRIX, [201-]).

Existem ainda projetos em fase de execução para outros *shopping centers* no Brasil. Esses empreendimentos também poderão alugar telhados para geração FV, contudo, este tema ainda está em fase de estudo. Segundo Magnabosco (2015, página única),

[...] preocupado em viabilizar o aumento da oferta de energia no curto e médio prazos, o Ministério de Minas e Energia (MME) estuda a possibilidade de autorizar proprietários de indústrias e shopping centers, por exemplo, a alugarem seus telhados para empresas geradoras de energia. Nesses locais seriam instalados painéis fotovoltaicos, com capacidade de geração de energia a partir da incidência dos raios solares.

A proposta pode representar uma mudança importante na sistemática de oferta de energia solar no País, já que atualmente um projeto solar pode ser feito apenas pelo próprio detentor da área. (MAGNABOSCO, 2015)

### 3 CARACTERIZAÇÃO DO SHOPPING CENTER

#### 3.1 Características gerais

O *shopping Center* em estudo é um dos mais recentes *shoppings* de Fortaleza - CE, inaugurado em Outubro de 2016. Com uma Área Bruta Locável (ABL) de 54.865 m<sup>2</sup>, nas quais apenas aproximadamente 54,5% em funcionamento e área construída de 159.396 m<sup>2</sup> com diversificado mix de lojas e equipamentos de lazer.

O *shopping* é dividido em dois pisos de estacionamento (G1 e G2), além de estacionamento em área externa, totalizando 3.198 vagas; três pavimentos de *mall* (L1, L2 e L3) e cobertura. Com cinemas, restaurantes, diversão eletrônica e uma praça de alimentação, o empreendimento conta com 155 lojas na primeira etapa, e outras 120 lojas na segunda etapa, das quais 6 são lojas âncoras. Conta ainda com, espaço família, espaço ecumênico, academia de ginástica, supermercado e área para eventos.

Segundo a ABRASCE o empreendimento conta com o seguinte perfil de consumidores:

- Classe A: 0%
- Classe B: 50%
- Classe C: 50%
- Classe D: 0%

As quais, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), são classificadas de acordo com o número de salários mínimos que entram na renda da família. A classe A, inclui as famílias com renda mensal acima de 20 salários mínimos; a classe B, entre 10 e 20 salários mínimos; a classe C, entre 4 e 10 salários mínimos e a classe D, entre 2 e 4 salários mínimos.

#### 3.2 Alimentação de energia elétrica

O *shopping* recebe alimentação em Alta Tensão (69 kV) da Enel (concessionária local). A transformação de 69 kV para 13,8 kV ocorre em dois transformadores 69/13,8 kV de

5/6,25 MVA, que trabalham isoladamente, cada um sendo capaz de sustentar a carga de toda unidade consumidora.

Dessa subestação (SE-AT), a cabine de média tensão é responsável por seguir com os diversos alimentadores em média tensão até as subestações parciais do *shopping* (SE elevatória, SE-1, SE-2, SE-3 e SE-CAG) bem como para as subestações das lojas âncoras. A cabine de média tensão contém no total 25 Painéis de Média Tensão (PMT) que fazem essa distribuição e contém também o transformador de serviços auxiliares 13.800 - 380V, 45 kVA, 60Hz. O quadro de serviços auxiliares recebe alimentação do transformador mencionado e segue para o retificador/carregador estático, dupla conversão, trifásico 380Vca/125Vcc com um banco de baterias, com tempo de descarga de 5h. Esse por sua vez, alimenta os quadros CC e CA.

A subestação elevatória contém dois transformadores 13.800 - 380/220V, 2500kVA que alimenta o grupo gerador do estabelecimento, 6 geradores de 625 kVA trifásicos a diesel, para funcionamento em emergências.

A subestação 01 (SE-1) contém dois transformadores 13.800 - 380/220V, 1500kVA, um para atendimento de lojas e outro para atendimento de condomínio (quadros de luz e força, quadros de bomba, pontos de força de escada rolante, etc).

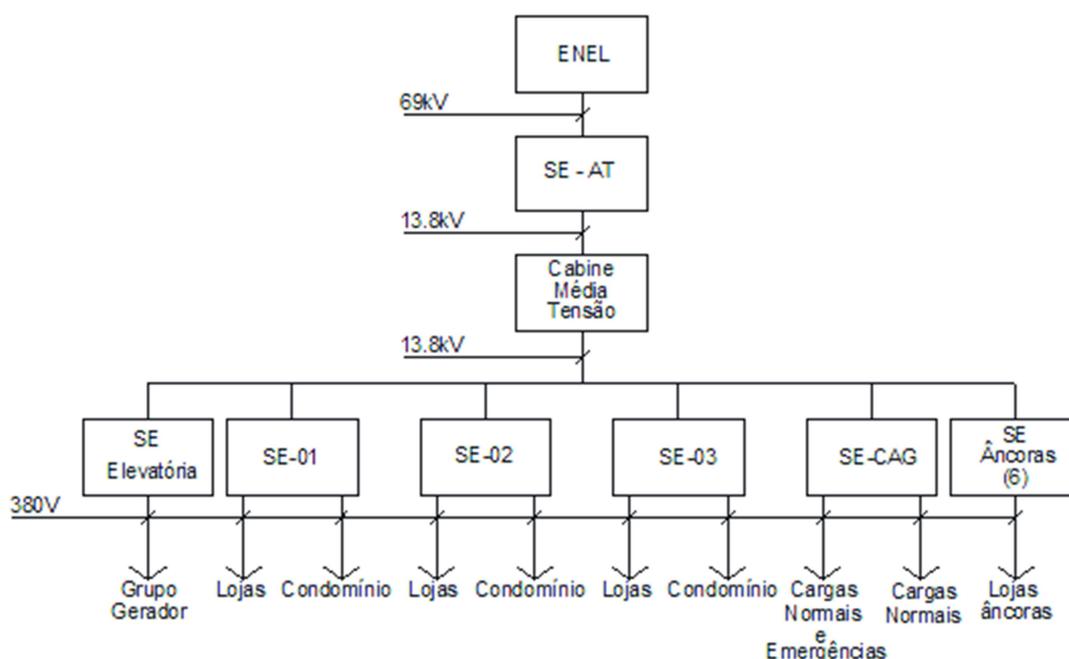
A subestação 02 (SE-2) contém dois transformadores 13.800 - 380/220V, 1000kVA, um para atendimento de lojas e outro para atendimento de condomínio (quadros de luz e força, quadros de bomba, pontos de força de escada rolante, etc).

A subestação 03 (SE-3) contém dois transformadores 13.800 - 380/220V, 1000kVA, um para atendimento de lojas e outro para atendimento de condomínio (quadros de luz e força, quadros de bomba, pontos de força de escada rolante, etc).

A subestação CAG contém um transformador 13.800 - 380/220V, 750KVA para atendimento das cargas normais e emergência da central de água gelada; e um transformador 13.800 - 380/220V, 2000KVA para atendimento das cargas normais da central de água gelada.

A figura 19 ilustra a alimentação de energia elétrica do *shopping center*.

Figura 19 – Resumo da alimentação de energia elétrica do empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

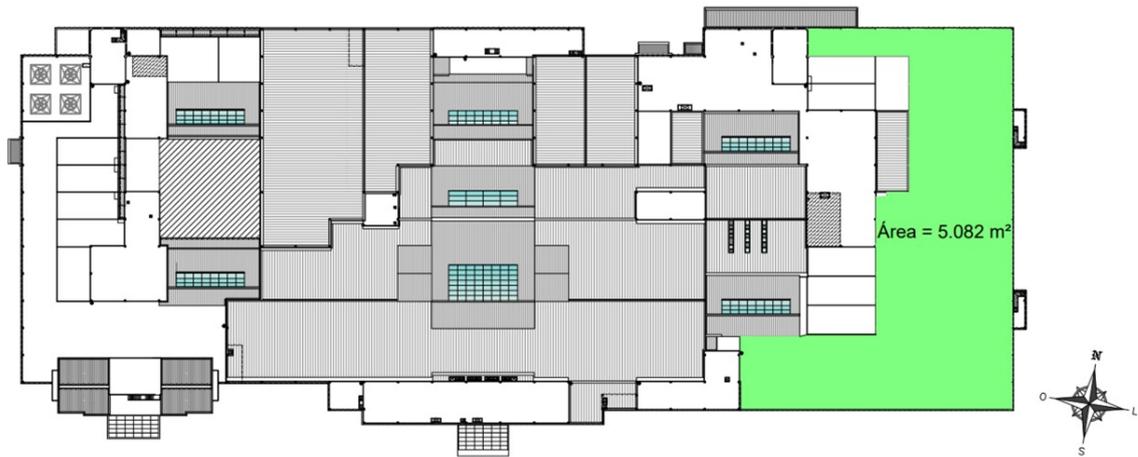
O empreendimento é consumidor Grupo A3, série B-2, tarifa horo-sazonal azul. Caracteriza-se por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (horário de ponta e horário fora de ponta) e a época do ano (período seco e período úmido).

O horário de ponta é escolhido entre três horas compreendidas no intervalo das 17:00 às 22:00 horas dos dias úteis. Na cidade de Fortaleza – CE, o intervalo adotado é entre as 17:30 e 20:30. O período úmido entre dezembro e abril e o período seco entre maio e novembro.

### 3.3 Área para instalação da planta FV

O *shopping center* conta com uma grande área disponível no pavimento L3, com área de 5082 m<sup>2</sup>, exposta ao sol, sendo um ótimo local para se utilizar a geração FV. A figura 20 mostra a planta baixa da cobertura do *shopping*, a área disponível está destacada em verde.

Figura 20 – Planta baixa da cobertura do *shopping* com indicação da área disponível



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área em questão possui chão de laje impermeável e está a uma altura de 16,87m do solo. Pode-se considerar ainda para futuras instalações as áreas indicadas em vermelho na figura 21, porém necessitaria de um estudo específico para essas áreas, como por exemplo, um estudo de suporte de peso, pois essas áreas possuem cobertura metálica, podendo não suportar as placas FV; possuem também maior sombreamento, o que pode ser notado no capítulo a seguir.

Para este trabalho será considerada apenas a área indicada na figura 20.

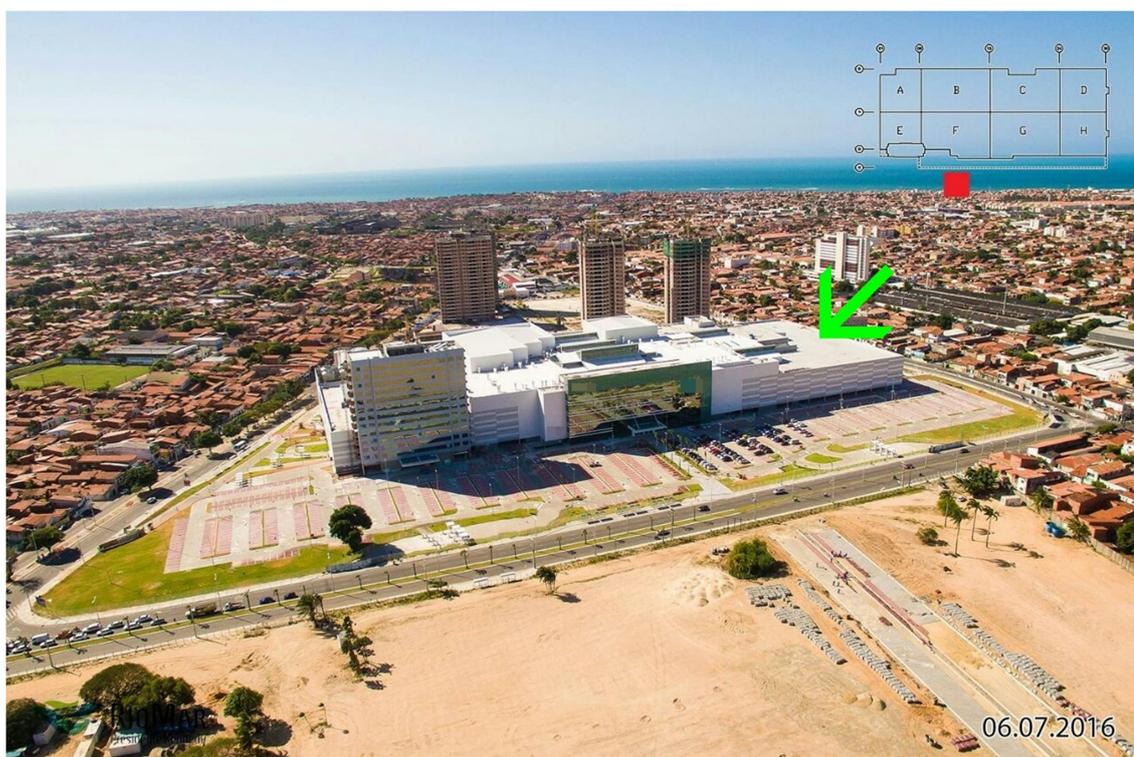
Figura 21 – Planta baixa da cobertura do *shopping* com indicação da área para possíveis futuras instalações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de ter essa área disponível, o *shopping* tem uma ótima localização geográfica, Fortaleza – CE, que se encontra próximo à linha do Equador. Encontra-se também em um bairro onde a predominância de residências são casas, não tendo portanto, prédios mais altos que a instalação para atrapalhar a geração FV, conforme figura 22.

Figura 22 – Foto do *shopping center* com indicação de área disponível para geração FV



Fonte: O shopping.

De conhecimento da área disponível para o projeto, pode-se dar continuidade ao estudo do projeto.

## 4 ESTUDO DO SOMBREAMENTO

### 4.1 Introdução

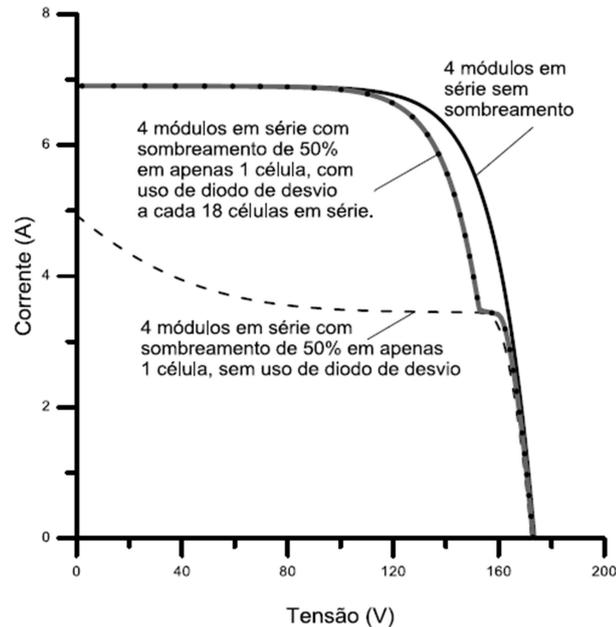
Para instalar sistemas FV com potências elevadas, faz-se necessário associar módulos em série e em paralelo com o objetivo de obter valores de tensão e corrente apropriados para a aplicação que se deseja.

Possíveis sombreamentos de células FV podem ocasionar perdas na geração de energia elétrica, pois, como os módulos FV são associados em série, se uma ou mais célula recebe menos irradiação solar do que as células do mesmo conjunto, a corrente total vai ser limitada pela célula de menor corrente. Outro fator importante da decorrência do efeito do sombreamento é o risco de danos ao módulo, pois,

uma célula que estiver sombreada pode funcionar como carga para as demais células ocasionando uma dissipação exagerada de potência sobre ela e, por consequência, provocando um aquecimento que pode causar danos à célula. Esse fenômeno é conhecido como *hot-spot heating* (pontos quentes). (RAMPINELLI; KREZINGRE, 2006, p. 2)

O gráfico 5 exhibe o efeito do sombreamento em apenas uma das células de um dos 4 módulos em série em um sistema FV. Como a corrente no módulo sombreado foi reduzida, a corrente total do sistema é reduzida também.

Gráfico 5 – Curva I-V para 4 módulos conectados em série

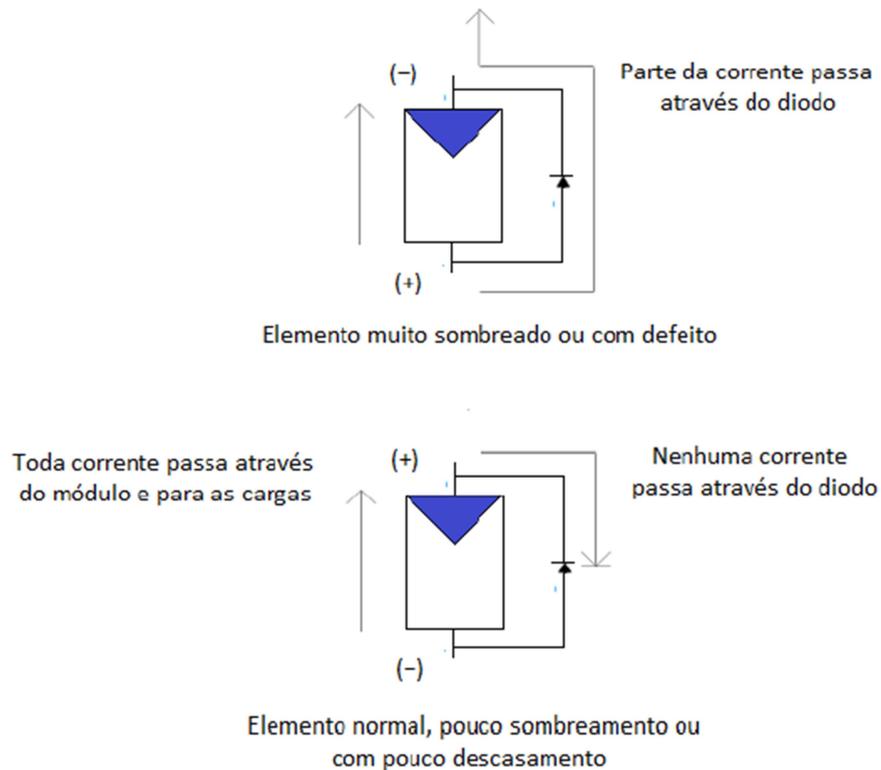


Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

Para evitar essa ocorrência, são utilizados diodos de desvio, chamados *bypass*, que auxiliam com um caminho paralelo a corrente, diminuindo as perdas por dissipação de potência no módulo sombreado. Nesse caso, a célula sombreada não gera energia elétrica, mas também não se comporta como carga para as demais células do módulo.

Quando a célula não estiver sombreada, o diodo *bypass* encontra-se reversamente polarizado, não permitindo que por ele circule corrente elétrica. No entanto, quando uma célula estiver sombreada, o mesmo encontra-se diretamente polarizado permitindo que por ele circule corrente. (RAMPINELLI; KRENZINGER, 2006). A figura 23 ajuda no entendimento da configuração dos diodos *bypass*.

Figura 23 – Operação de um diodo de desvio (*bypass*).



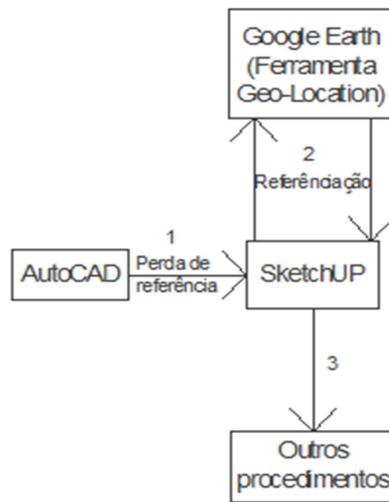
Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

#### 4.2 Área útil para instalação dos módulos FV

O estudo do sombreamento do local é um elemento chave no projeto da instalação de módulos FV. Na presente pesquisa, a análise de sombreamento foi realizada com a ajuda do programa *SketchUP* que, com uma base de dados, trabalha em conjunto com um mapa da área via satélite.

Quando se passa o projeto do *autoCAD* para o *SketchUP*, perde-se a referência geográfica do local, a qual é fundamental para análise de sombreamento, pois indica a trajetória correta do sol. Para alterar a localização do projeto, pode-se referenciá-lo através da ferramenta “*Geo-Location*” do *SketchUP*. Esta função importa objetos do *Google Earth*, onde foi necessário colocar as coordenadas do *shopping* em estudo e selecionar a área desejada. A figura 24 demonstra esse procedimento.

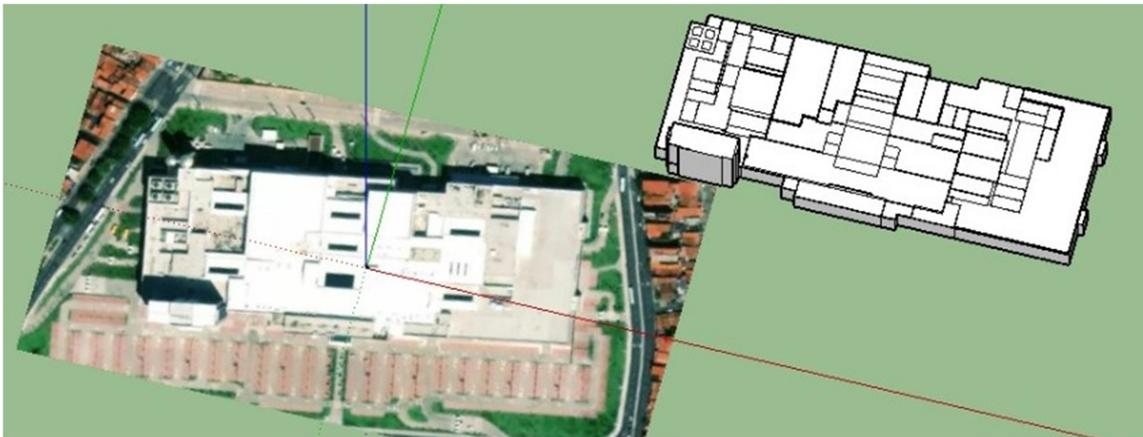
Figura 24 – Fluxograma do procedimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após essa importação, enquadrou-se o projeto na localização correta. A figura 25 e 26, demonstram esta referência.

Figura 25 – Importação do Google Earth e localização inicial do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

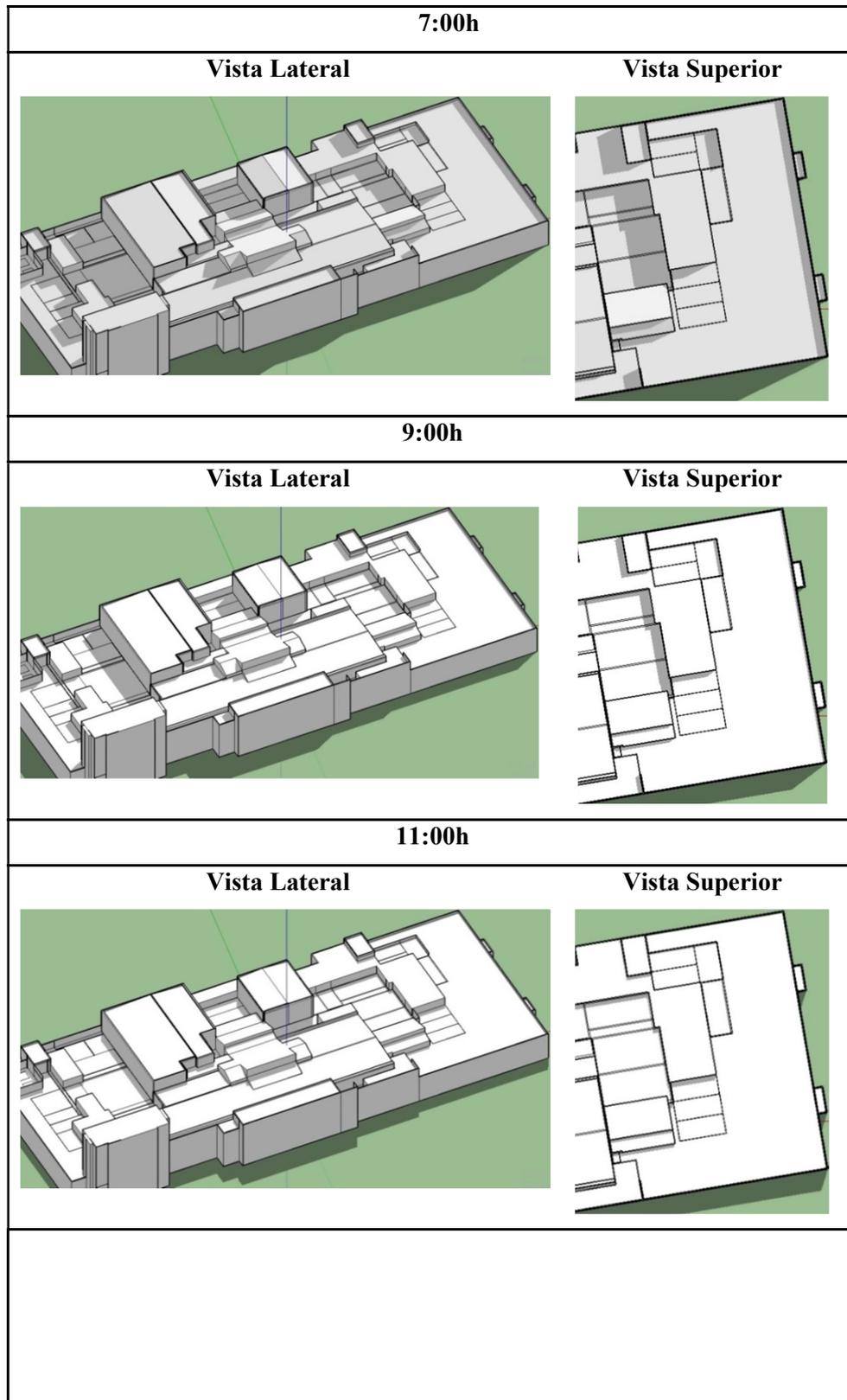
Figura 26 – Enquadramento do projeto na localização correta

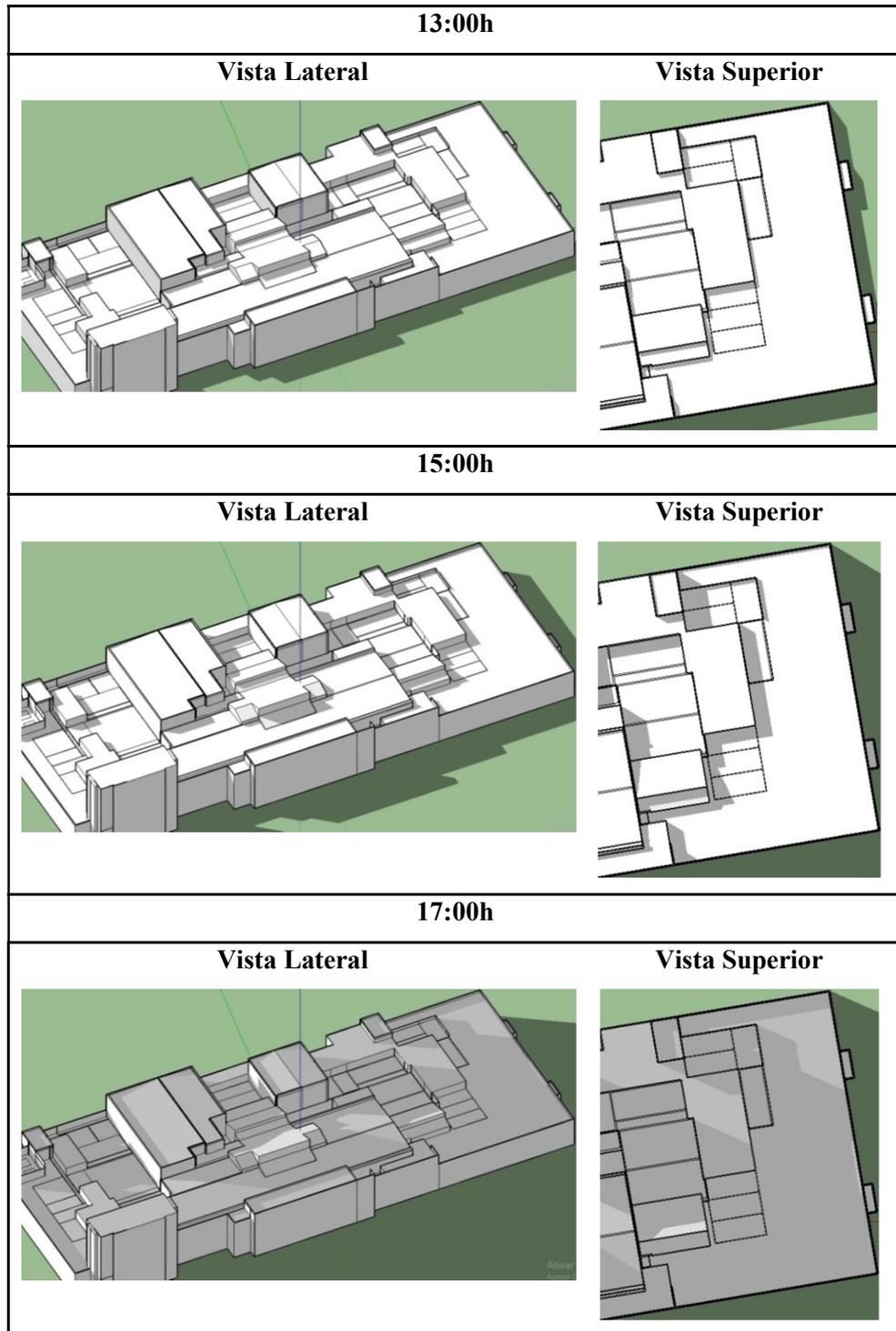


Fonte: Elaborado pelo autor.

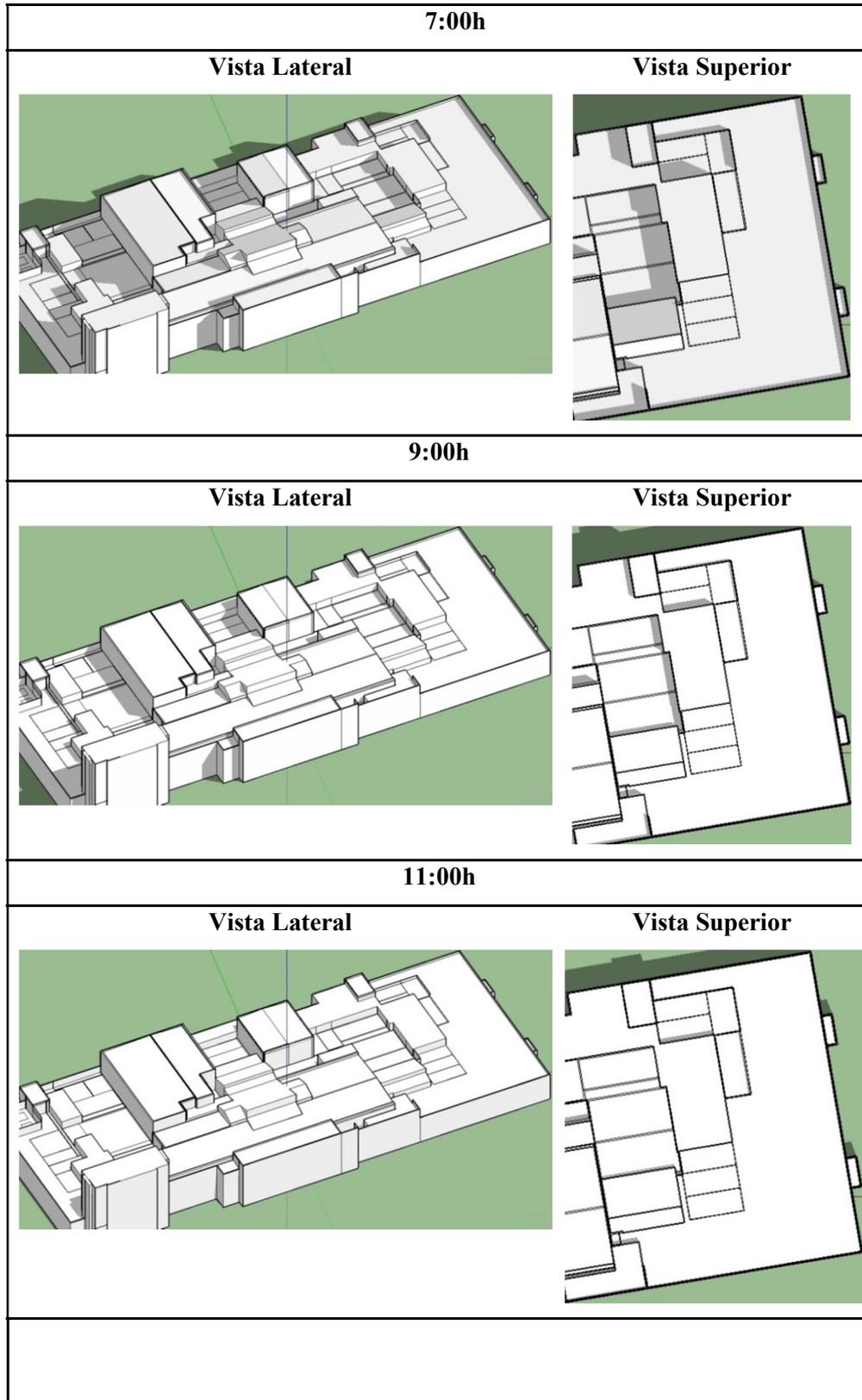
Após a modelagem tridimensional do *shopping* e sua correta localização geográfica, foi feita a análise de sombreamento através da simulação da trajetória solar em diferentes horários e meses do ano.

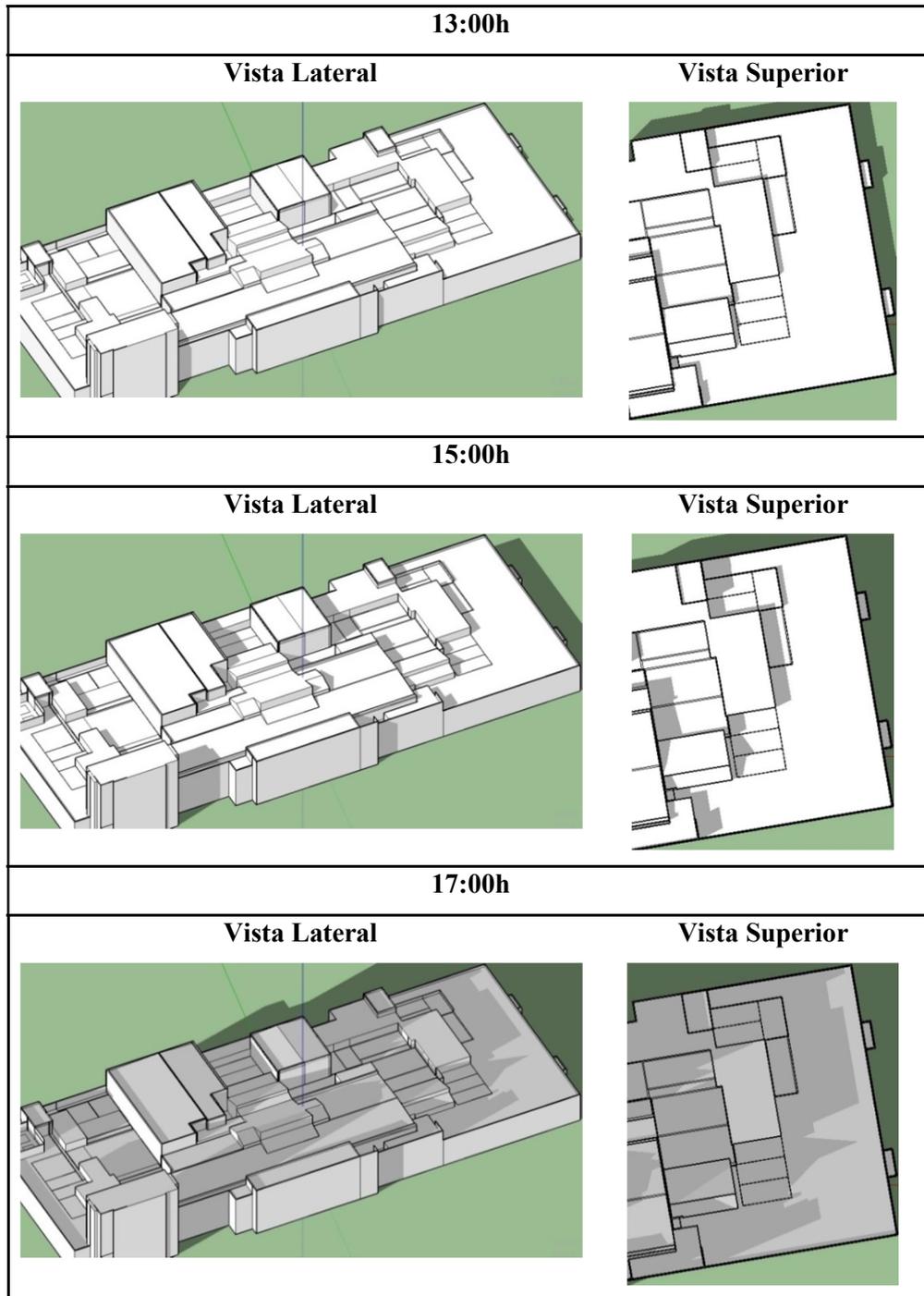
O primeiro estudo foi realizado para a projeção das sombras no solstício de inverno (21 de Junho) e de verão (21 de Dezembro), de 7:00h as 17:00h, conforme observado nas figuras 27 e 28. Foram escolhidos os solstícios de inverno e verão pois é o momento em que o sol atinge o maior grau de afastamento angular da linha do Equador.

Figura 27 – Projeção das sombras para o *shopping* em estudo - solstício de Inverno



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 – Projeção das sombras para o *shopping* em estudo - solstício de verão

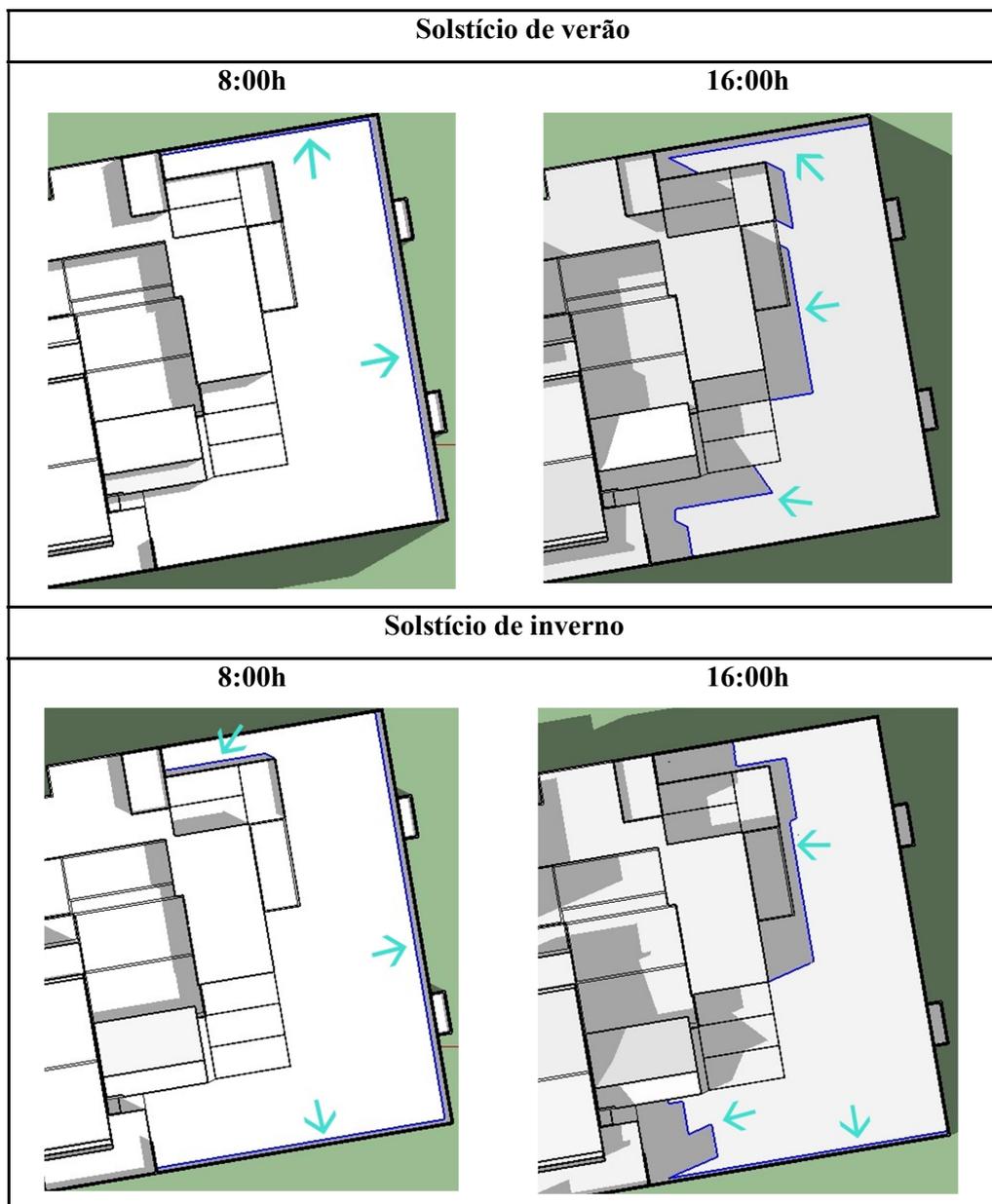


Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da análise da variação da trajetória do sol, optou-se por considerar como área sombreada, a região que é atingida pela sombra no período diário das 8:00h às 16:00h. É durante este horário que a intensidade da irradiação solar é mais elevada.

No segundo estudo foi possível delimitar a área atingida pela sombra, traçando-se uma linha contornando a sombra nos horários escolhidos (8:00h e 16:00h), no solstício de verão e de inverno (figura 29). Podemos observar a área útil para a aplicação de módulos FV na figura 30.

Figura 29 – Contornando o sombreamento para o *shopping* em estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 – Área útil para instalação das placas FV



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área útil para a aplicação de células FV então resulta em 3542,35 m<sup>2</sup>, o que corresponde a 69,7% da área disponível, ou seja, boa parte da área disponível pode ser utilizada sem que o sombreamento atrapalhe a produção de energia elétrica, mais uma comprovação das boas condições do local para este tipo de investimento.

## 5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO

### 5.1 Análise da conta de energia elétrica do consumidor

O consumo médio mensal e diário de energia elétrica foi determinado a partir das contas de energia do meses de novembro de 2016 (inauguração do *shopping*) até outubro de 2017, conforme apresentado na tabela 4.

A média de consumo mensal neste período foi de 1.270.817 kWh, já a média de consumo diário foi de 42.361 kWh. A demanda contratada é de 3300 kW fora ponta e 2200 kW ponta.

Tabela 4 – Conta de energia elétrica do consumidor

Consumo (kWh)			
Mês	Hora ponta	Fora ponta	TOTAL
Nov/16	134.800	1.406.400	<b>1.541.200</b>
Dez/16	151.900	1.374.100	<b>1.526.000</b>
Jan/17	132.100	1.058.300	<b>1.190.400</b>
Fev/17	129.700	1.075.600	<b>1.205.300</b>
Mar/17	106.100	956.500	<b>1.062.600</b>
Abr/17	116.400	1.016.800	<b>1.133.200</b>
Mai/17	130.100	1.221.400	<b>1.351.500</b>
Jun/17	137.700	1.110.900	<b>1.248.600</b>
Jul/17	130.400	1.112.200	<b>1.242.600</b>
Ago/17	137.500	1.166.200	<b>1.303.700</b>
Set/17	121.300	1.040.900	<b>1.162.200</b>
Out/17	125.500	1.157.000	<b>1.282.500</b>
		<b>Média mensal anual</b>	<b>1.270.817</b>
		<b>Média diária</b>	<b>42.361</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível notar pela tabela 4 que os meses de maior consumo são novembro e dezembro, relacionados aos meses de inauguração do *shopping* e final de ano, em que o movimento no comércio é mais elevado; vale salientar também que o mesmo adotou

alternativas para diminuir o consumo de energia elétrica a partir do mês de dezembro. Além desses meses, maio e agosto tiveram consumo acima da média mensal.

## 5.2 Irradiação solar

Os dados de irradiação solar foram obtidos através do programa *RETScreen4*, o qual será utilizado para os cálculos de tempo de retorno do investimento, no capítulo 6. O Software *RETScreen4* é um programa para análise de viabilidade de projetos de energia limpa, baseado em Excel, que determina a viabilidade técnica e financeira de projetos de eficiência energética, energias renováveis e cogeração.

A irradiação solar diária horizontal e irradiação solar diária inclinada de 12 meses e a irradiação diária média anual são demonstradas na tabela 5. A média anual de irradiação solar diária horizontal para cidade de Fortaleza é de 5,56kWh/m<sup>2</sup>/d e inclinada é de 5,46 kWh/m<sup>2</sup>/d.

Tabela 5 – Dados de irradiação em Fortaleza – CE

Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiação solar diária - inclinada kWh/m <sup>2</sup> /d
Janeiro	5,33	5,52
Fevereiro	5,14	5,21
Março	4,67	4,62
Abril	4,53	4,36
Maio	5,03	4,68
Junho	5,00	4,57
Julho	5,69	5,19
Agosto	6,19	5,81
Setembro	6,25	6,09
Outubro	6,47	6,53
Novembro	6,36	6,59
Dezembro	6,06	6,35
<b>Anual</b>	<b>5,56</b>	<b>5,46</b>

Fonte: Programa *RETScreen*.

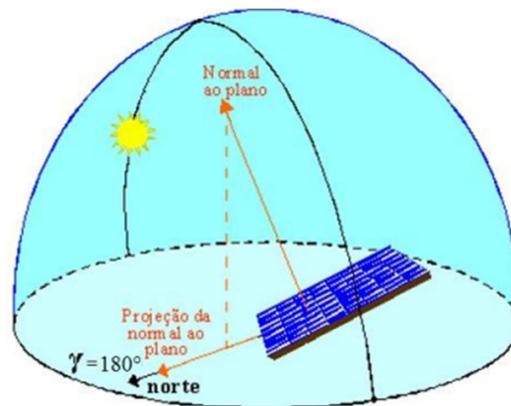
Pode-se observar que a menor irradiação solar diária são entre os meses de março a junho, considerados os meses chuvosos na cidade de Fortaleza – CE, prevalecendo uma boa irradiação o resto do ano.

### 5.3 Orientação geográfica e inclinação dos painéis FV

Para maximizar a captação e a geração de energia elétrica ao longo do ano, é importante levar em consideração a orientação geográfica e a inclinação dos painéis FV.

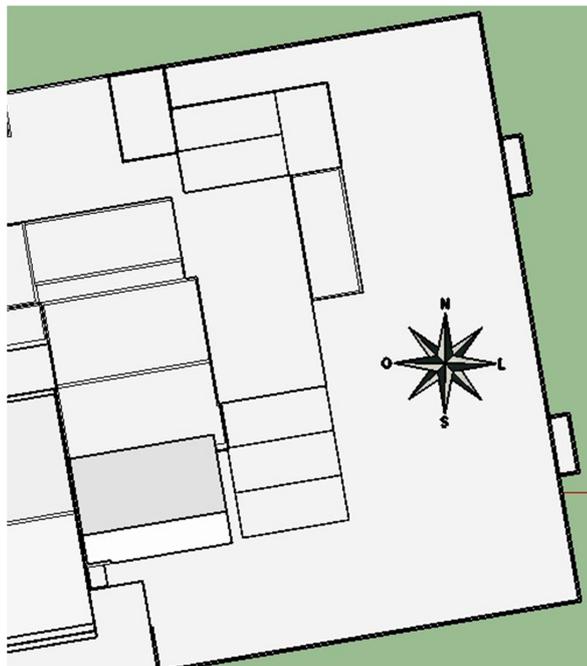
A orientação ideal para os módulos FV, no hemisfério sul, é para o norte geográfico, como indicado na figura 31. Podemos observar na figura 32 o norte geográfico no local em estudo.

Figura 31 – Orientação da face dos módulos FV para norte geográfico



Fonte: Moehlecke *et al.*, 2014, p.366.

Figura 32 – Correta orientação dos painéis no local em estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto a inclinação dos módulos FV, de acordo com Ribeiro (2015), deve ser levado em consideração a tabela 6.

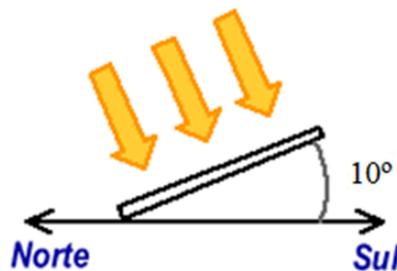
Tabela 6 – Ângulo de inclinação recomendado para os módulos FV

Latitude Local	Ângulo de Inclinação Recomendado
0° a 10°	$\varphi = 10^\circ$
11° a 20°	$\varphi = \text{latitude}$
21° a 30°	$\varphi = \text{latitude} + 5$
31° a 40°	$\varphi = \text{latitude} + 10$
41° ou mais	$\varphi = \text{latitude} + 15$

Fonte: Ribeiro, 2015, p. 39.

A latitude de Fortaleza é de 3° sul, portanto, a inclinação adotada deve ser 10°, para favorecer uma autolimpeza dos módulos devido ao acúmulo de partículas que podem atrapalhar o funcionamento do painel. A figura 33 mostra a inclinação recomendada.

Figura 33 – Ângulo de inclinação dos painéis FV para Fortaleza



Fonte: CRESSESSEB modificada pelo autor, 2013, p. 2.

#### 5.4 Placas fotovoltaicas

A escolha da placa FV envolve fatores como eficiência, área ocupada, potência nominal e preço. Para efeito de comparação, foram escolhidas 4 placas de tecnologias diferentes: 2 de filme fino e 2 de Silício (Si) cristalino. As placas de filmes finos escolhidas utilizam tecnologia Si Amorfo (a-Si) e Telureto de Cádmio (CdTe); as placas de Si cristalino

escolhidas usam Si Monocristalino (m-Si) e Si policristalino (p-Si) de diferentes potências e eficiências.

A quantidade de placas a serem adotadas foi calculada através da fórmula 1.

$$Qntd\ placas = \frac{\text{área útil disponível} \times Fa}{\text{área do módulo FV}} \quad (1)$$

Em que a área útil disponível foi de 3542,35 m<sup>2</sup>, encontrada no tópico 4.2; Fa é o fator de área, de 0,9, adotado para se obter um espaçamento entre os módulos necessário para futuras manutenções preventivas e corretivas do sistema e a área do módulo FV é a área de cada módulo a ser utilizado.

a) Alternativa 1:

Foi escolhida a tecnologia a-Si, do fabricante Q-Cells, modelo a-Si- SN2-145.0W, com potência nominal 145 W, área ocupada de 1,78 m<sup>2</sup> e eficiência de 8,16%.

Com esta área ocupada por módulo e, sabendo que, a área útil disponível é de 3542,35 m<sup>2</sup>, e que Fa é 0,9, então:

$$Qntd\ placas = \frac{3542,35 \times 0,9}{1,78} = 1791,07$$

Para este modelo de placa foi adotado então 1791 placas.

b) Alternativa 2:

Foi escolhida a tecnologia CdTe, do fabricante BP Solar, modelo CdTe - BP Apollo 980, com potência nominal 80 W, área ocupada de 1,21 m<sup>2</sup> e eficiência de 8,6%.

Com esta área ocupada por módulo e sabendo que a área útil disponível é de 3542,35 m<sup>2</sup>, e que Fa é 0,9, então:

$$Qntd\ placas = \frac{3542,35 \times 0,9}{1,21} = 2634,8$$

Para este modelo de placa foi adotado então 2634 placas.

## c) Alternativa 3:

Foi escolhida a tecnologia m-Si, do fabricante Sunpower, modelo mono-Si-SPR-310E-WHT com potência nominal 320 W, área ocupada de 1,62 m<sup>2</sup> e eficiência de 19,62%.

Com esta área ocupada por módulo e sabendo que a área útil disponível é de 3542,35 m<sup>2</sup>, e que Fa é 0,9, então:

$$\text{Qntd placas} = \frac{3542,35 \times 0,9}{1,62} = 1967,97$$

Para este modelo de placa foi adotado então 1967 placas.

## d) Alternativa 4:

Foi escolhida a tecnologia p-Si, do fabricante Kyocera, modelo poly-Si-KD215GX-LPU com potência nominal 215 W, área ocupada de 1,49 m<sup>2</sup> e eficiência de 14,48%.

Com esta área ocupada por módulo e sabendo que a área útil disponível é de 3542,35 m<sup>2</sup>, e que Fa é 0,9, então:

$$\text{Qntd placas} = \frac{3542,35 \times 0,9}{1,49} = 2139,67$$

Para este modelo de placa foi adotado então 2139 placas.

O resumo dessas informações se encontram na tabela 7.

Tabela 7 – Placas FV escolhidas para efeito comparativo

Alternativa	Tecnologia	Fabricante	Potência (W)	Área da placa FV (m <sup>2</sup> )	Eficiência	Potência instalada (kW)	Quantidade de placas
1	a-Si	Q-Cells	145	1,78	8,16%	259,69	1791
2	CdTe	BP Solar	80	1,21	8,60%	210,72	2634
3	m-Si	Sunpower	320	1,62	19,62%	629,44	1967
4	p-Si	Kyocera	215	1,49	14,48%	459,88	2139

Fonte: Adaptado do programa RETScreen.

Em princípio, somente a eficiência não deve nortear a escolha do módulo a não ser que a área disponível para instalação seja um fator restritivo, o que não é o caso, pois o *shopping* dispõe de uma boa área disponível. Devem ser levados em consideração não só a eficiência mas também o custo e a durabilidade da placa.

## 5.5 Inversor e transformador

A potência do inversor e do transformador elevador a serem escolhidos devem seguir os seguintes passos:

- I. Quantidade de placas por inversor:

$$N^{\circ} \text{ de placas por inversor} = \frac{\text{Pot. inversor adotado}}{\text{Pot. placa}} \quad (2)$$

Foi adotado inversores com potência de 30 kW e 40 kW.

- II. Quantidade de inversores:

$$\text{Quant. de inversores} = \frac{\text{Quant. de placas}}{N^{\circ} \text{ de placas por inversor}} \quad (3)$$

- III. Quantidade de placas por strings:

$$N^{\circ} \text{ de placas por string} = \frac{N^{\circ} \text{ de placas por inversor}}{N^{\circ} \text{ de strings}} \quad (4)$$

Foram adotados sistemas com 5 a 10 strings por inversor.

- IV. Potência do transformador elevador

$$\text{Pot. do transformador} = \text{Pot. do inversor} * N^{\circ} \text{ de inversores} \quad (5)$$

A partir desse cálculo, levou-se em consideração os valores comerciais de transformadores.

Os resultados para cada sistema se encontram na tabela 8.

Tabela 8 – Dados das potências do transformador e inversor e disposição dos inversores para cada sistema

Alternativa	Tecnologia	Pot. Inversor adotado (kW)	Nº de placas por inversor	Quant. Inversores	Nº de strings por inversor	Nº de placas por string	Pot. do transformador elevador (kVA)
1	a-Si	40	276	7	6	46	300 kVA
2	CdTe	30	375	7	10	35	300
3	m-Si	40	125	16	5	25	750
4	p-Si	40	186	12	6	31	500

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.7 Estimativa de custos

Para a determinação dos custos envolvidos no estudo de implementação da planta FV, considerou-se a tabela do anexo A. Essa tabela foi elaborada pela empresa Greener, a qual realizou uma pesquisa de mercado entrevistando 454 empresas no período de 31 de maio a 23 de junho de 2017, com amostragem de empresas de todo o país.

Como a tecnologia de placas FV mais utilizada no Brasil é a de Silício Policristalino, considerou-se que os valores da pesquisa realizada pela Greener seriam referentes a esta tecnologia. Os valores dessa tabela, levam em consideração o sistema FV como um todo, desde o projeto de implantação, módulos e inversores utilizados até a instalação dos mesmos. A composição do preço com relação aos componentes necessários nas instalações FV podem ser observados no gráfico 6.

Gráfico 6 – Composição do custo total da instalação de um sistema FV



Fonte: Ideal, 2017, p.37.

Como pode ser visto no gráfico 6, os módulos FV ainda representam o componente mais caro de uma instalação (41%). Os demais componentes de composição do custo total são: inversores (23%), projeto e instalação (16%), estruturas metálicas e de suporte (10%) e outros componentes (10%), os quais incluem instalações, proteções elétricas, etc. (IDEAL, 2017)

Uma vez que a pesquisa realizada pela Greener acerca do preço do sistema FV só leva em consideração a tecnologia p-Si, foi necessário estimar os valores das outras tecnologias (a-Si, CdTe e m-Si). Essa estimativa foi feita a partir de uma equivalência entre os valores encontrados na pesquisa da Greener, e uma média dos valores encontrados no mercado.

Os valores médios encontrados no mercado por  $W_p$  foram:

- a-Si = R\$ 4,12/ $W_p$  (MERCADO LIVREa);
- CdTe = R\$ 4,57/ $W_p$  (TEK ENERGY);
- m-Si = R\$ 3,66/ $W_p$  (MERCADO LIVREb, MERCADO LIVREc, MERCADO LIVREd, MERCADO LIVREe);
- p-Si = R\$ 2,83/ $W_p$  (MERCADO LIVREf, MERCADO LIVREg, MERCADO LIVREh, MERCADO LIVREi, MERCADO LIVREj, SUBMARINO).

A partir desses valores, construiu-se a equivalência para cada tipo de placa e Obteve-se os valores finais por  $W_p$ , como podemos ver a seguir:

a) Alternativa 1:

Considerando a potência nominal do sistema de 259,69 kW, o valor do obtido pela empresa Greener, de acordo com a tabela do anexo A, para esta faixa de potência é de R\$ 4,22/ $W_p$ , levando em consideração todo o sistema FV, e de R\$ 1,793/ $W_p$ , caso considere-se somente os 41% referentes aos módulos FV.

Os valores das placas p-Si e a-Si encontrados no mercado foram de R\$ 2,83/ $W_p$  e R\$ 4,12/ $W_p$ , respectivamente, sendo que estes valores incidem apenas nos módulos FV. Ao se fazer a equivalência desses valores de mercado e dos valores encontrados pela pesquisa da empresa Greener pode-se encontrar que o valor da placa a-Si é de R\$ 2,518/ $W_p$ .

Considerou-se ainda o valor da subestação abrigada necessária para instalação do transformador elevador de 300 kVA, que foi de R\$ 0,3428 por Wp (SEINFRA, [s.d]). O valor estimado do sistema com placa a-Si então, encontra-se na tabela 9.

Tabela 9 – Composição valor Wp placa a-Si

Equipamento	Composição	Valor/Wp (R\$)
Módulos FV	41%	2,518
Inversores	23%	0,9706
Projeto e instalação	16%	0,7752
Estruturas metálicas de suporte	10%	0,422
Outros componentes	10%	0,422
Transformador Elevador	-	0,3428
	<b>VALOR Wp =</b>	<b>R\$ 5,451</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor utilizado para tecnologia a-Si foi de R\$ 5,45/Wp.

b) Alternativa 2:

Considerando a potência nominal do sistema de 210,72 kW, o valor do obtido pela empresa Greener, de acordo com a tabela do anexo A, para esta faixa de potência é de R\$ 4,22/Wp, levando em consideração todo o sistema FV, e de R\$ 1,793/Wp, caso considere-se somente os 41% referentes aos módulos FV.

Os valores das placas p-Si e CdTe encontrados no mercado foram de R\$ 2,83/Wp e R\$ 4,57/Wp, respectivamente, sendo que estes valores incidem apenas nos módulos FV. Ao se fazer a equivalência desses valores de mercado e dos valores encontrados pela pesquisa da empresa Greener pode-se encontrar que o valor da placa a-Si é de R\$ 2,793/Wp.

Considerou-se ainda o valor da subestação abrigada necessária para instalação do transformador elevador de 300 kVA, que foi de R\$ 0,3428 por Wp (SEINFRA, [s.d]). O valor estimado do sistema com placa CdTe então, encontra-se na tabela 10.

Tabela 10 – Composição valor Wp placa CdTe

Equipamento	Composição	Valor/Wp (R\$)
Módulos FV	41%	2,793
Inversores	23%	0,9706
Projeto e instalação	16%	0,7752
Estruturas metálicas de suporte	10%	0,422
Outros componentes	10%	0,422
Transformador Elevador	-	0,3428
	<b>VALOR Wp =</b>	<b>R\$ 5,725</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor utilizado para tecnologia CdTe foi de R\$ 5,72/Wp.

c) Alternativa 3:

Considerando a potência nominal do sistema de 629,44 kW, o valor do obtido pela empresa Greener, de acordo com a tabela do anexo A, para esta faixa de potência é de R\$ 4,14/Wp, levando em consideração todo o sistema FV, e de R\$ 1,6974/Wp, caso considere-se somente os 41% referentes aos módulos FV.

Os valores das placas p-Si e m-Si encontrados no mercado foram de R\$ 2,83/Wp e R\$ 3,66/Wp, respectivamente, sendo que estes valores incidem apenas nos módulos FV. Ao se fazer a equivalência desses valores de mercado e dos valores encontrados pela pesquisa da empresa Greener pode-se encontrar que o valor da placa a-Si é de R\$ 2,195/Wp.

Considerou-se ainda o valor da subestação abrigada necessária para instalação do transformador elevador de 750 kVA, que foi de R\$ 0,1874 por Wp (SEINFRA, [s.d]). O valor estimado do sistema com placa m-Si então, encontra-se na tabela 11.

Tabela 11 – Composição valor Wp placa m-Si

Equipamento	Composição	Valor/Wp (R\$)
Módulos FV	41%	2,195
Inversores	23%	0,9522
Projeto e instalação	16%	0,6624
Estruturas metálicas de suporte	10%	0,414
Outros componentes	10%	0,414
Transformador Elevador	-	0,1874
	<b>VALOR Wp =</b>	<b>R\$ 4,825</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor utilizado para tecnologia m-Si foi de R\$ 4,82/Wp.

d) Alternativa 4:

Considerando a potência nominal do sistema de 459,88 kW, o valor do obtido pela empresa Greener, de acordo com a tabela do anexo A, para esta faixa de potência é de R\$ 4,14/Wp, levando em consideração todo o sistema FV, e de R\$ 1,6974/Wp, caso considere-se somente os 41% referentes aos módulos FV.

O valor da placas p-Si encontrados no mercado foi de R\$ 2,83/Wp, sendo que este valor incide apenas nos módulos FV. Ao se fazer a equivalência desses valores de mercado e dos valores encontrados pela pesquisa da empresa Greener pode-se encontrar que o valor da placa a-Si é de R\$ 1,6974/Wp.

Considerou-se ainda o valor da subestação abrigada necessária para instalação do transformador elevador de 500 kVA, que foi de R\$ 0,244 por Wp

(SEINFRA, [s.d]). O valor estimado do sistema com placa p-Si então, encontra-se na tabela 12.

Tabela 12 – Composição valor Wp placa p-Si

Equipamento	Composição	Valor/Wp (R\$)
Módulos FV	41%	1,697
Inversores	23%	0,9522
Projeto e instalação	16%	0,6624
Estruturas metálicas de suporte	10%	0,414
Outros componentes	10%	0,414
Transformador Elevador	-	0,244
	<b>VALOR Wp =</b>	<b>R\$ 4,3836</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor utilizado para tecnologia p-Si foi de R\$ 4,38/Wp.

O valor das tecnologias de filmes finos (a-Si e CdTe) teóricamente deveriam ser mais baratas que as de tecnologias silício cristalino (m-Si e p-Si), porém, as tecnologias de c-Si são mais utilizadas no Brasil, barateando assim o valor dos módulos FV (lei da oferta e da procura).

O resumo dos sistemas para cada placa, podem ser visualizados na tabela 13.

Tabela 13 – Resumo sistema para cada tipo de placa

Alternativa	Tecnologia	Fabricante	Potência (W)	Eficiência	Quantidade de placas	Potência nominal Sistema (kW)	Valor do Wp
1	a-Si	Q-Cells	145	8,16%	1791	259,69	<b>R\$ 5,45</b>
2	CdTe	BP Solar	80	8,60%	2634	210,72	<b>R\$ 5,72</b>
3	m-Si	Sunpower	320	19,62%	1967	629,44	<b>R\$ 4,82</b>
4	p-Si	Kyocera	215	14,48%	2139	459,88	<b>R\$ 4,38</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6 ANÁLISE FINANCEIRA E RESULTADOS

Para análise financeira da planta FV foi utilizado o programa *RETScreen4* que, como foi dito na seção 5.2, é um programa que determina a viabilidade técnica e financeira de projetos de energias renováveis.

Foi adotada as tarifas da conta de energia elétrica do consumidor no horário fora de ponta, que é o horário em que o sistema FV mais estará produzindo eletricidade. O valor dessas tarifas podem ser visualizados na tabela 14.

Tabela 14 – Valor tarifa utilizado

Mês	Preço eletricidade exportada (R\$/MWh)
Janeiro	379,7
Fevereiro	415,7
Março	379,8
Abril	400,3
Maiο	410,2
Junho	400,8
Julho	397,7
Agosto	404
Setembro	402,4
Outubro	415,7
Novembro	411,2
Dezembro	410,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi considerado uma inflação de 6,29%, referente ao ano de 2016 (CURY; BOECKEL; CAVALLINI, 2017). O tempo de vida útil das placas adotado foi de 25 anos, igual para todas as alternativas. A taxa de eletricidade exportada para rede por cada sistema, pode ser observada na tabela 15.

Tabela 15 – Taxa de eletricidade exportada para rede - média anual

Alternativa	Tecnologia	Eletricidade Exportada para rede (MWh)
1	a-Si	432,72
2	CdTe	339,56
3	m-Si	977,28
4	p-Si	714,02

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores estimados, pôde-se fazer a análise financeira e estudo de viabilidade no programa *RETScreen4* com base no tempo de retorno (*payback*), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) de cada investimento.

O *payback* indica o período de retorno do investimento e segue a seguinte fórmula:

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FCt}{(1 + K)^t} \quad (3)$$

Onde,

I = Investimento inicial;

FCt = fluxo de caixa no t-ésimo período;

T = *payback*;

K = custo do capital ou taxa mínima de atratividade.

O Valor Presente Líquido significa o valor ao final da vida útil do projeto, matematicamente é dado pela fórmula 4:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1 + K)^t} \quad (4)$$

Onde,

I = Investimento inicial;

FCt = fluxo de caixa no t-ésimo período;

K = custo do capital ou taxa mínima de atratividade.

TIR é a taxa de retorno do investimento. Matematicamente, a TIR é uma taxa hipotética que anula o VPL, ou seja, é aquele valor de  $i^*$  que satisfaz a seguinte equação:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^N \frac{FCt}{(1+i^*)^t} = 0 \quad (5)$$

Onde,

I = Investimento inicial;

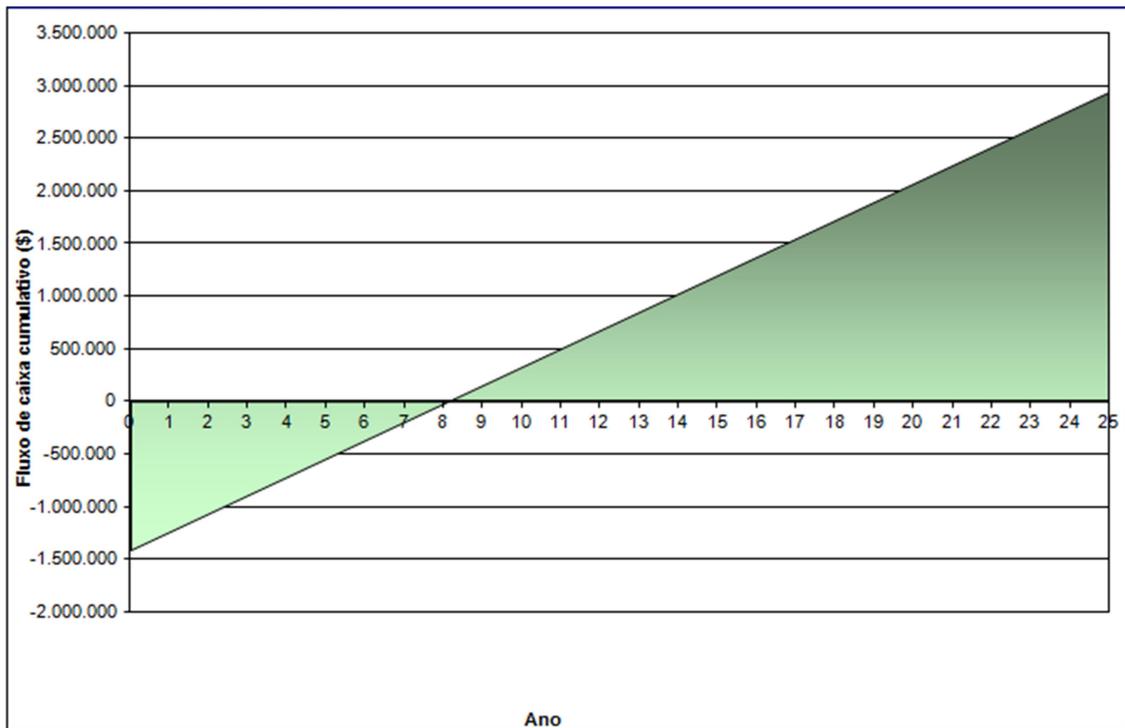
FCt = fluxo de caixa no t-ésimo período;

i\* ou TIR = taxa interna de retorno.

### 6.1 Alternativa 1

Para as placas FV a-Si, o investimento inicial foi de R\$1.415.338, o tempo de retorno pode ser observado no gráfico 7.

Gráfico 7 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 1



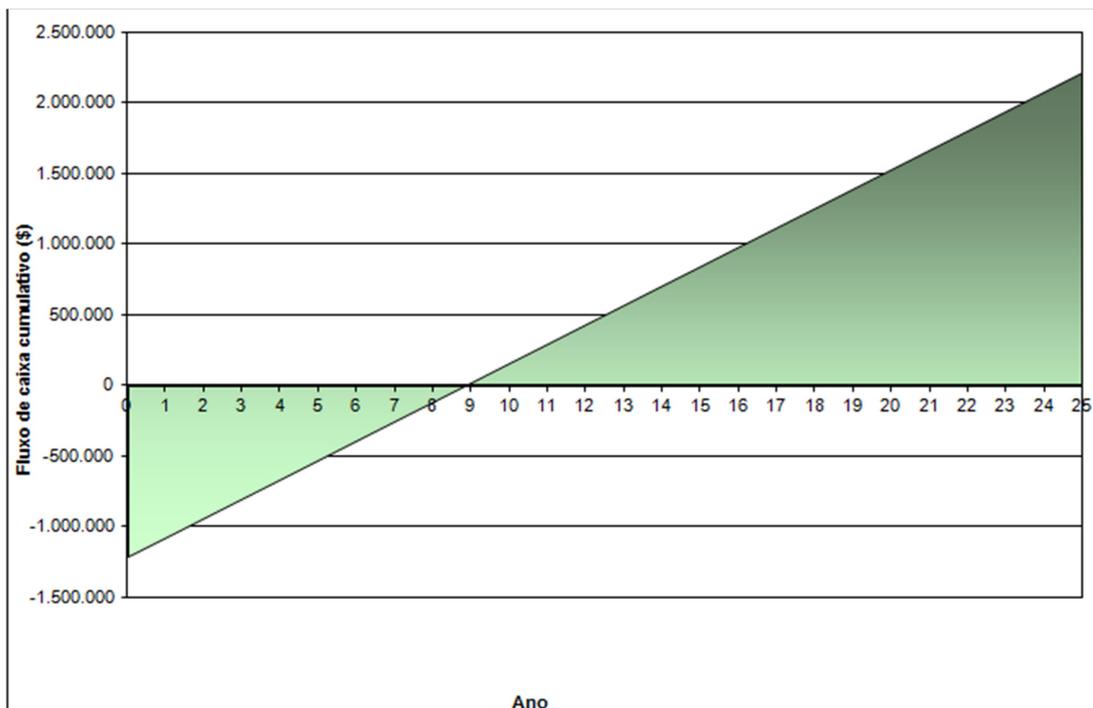
Fonte: Programa RETScreen.

O tempo de retorno para esta alternativa foi de 8 anos e 1 mês, com VPL ao final dos 25 anos de R\$ 2.943.266 e TIR de 11,5%.

## 6.2 Alternativa 2

Para as placas FV de CdTe o investimento inicial foi de R\$1.205.318, o tempo de retorno pode ser observado no gráfico 8.

Gráfico 8 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 2



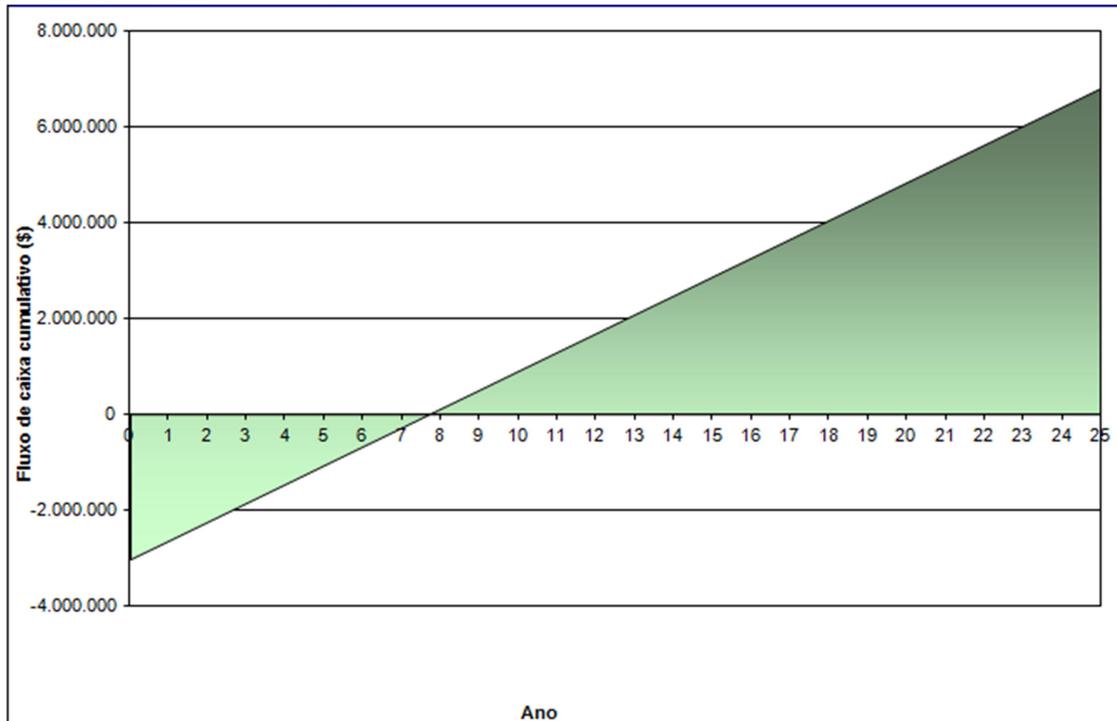
Fonte: Programa RETScreen.

O tempo de retorno para esta alternativa foi de 8 anos e 8 meses, com VPL ao final dos 25 anos de R\$ 2.214.785, TIR de 10,4%.

## 6.3 Alternativa 3

Para as placas FV de m-Si o investimento inicial foi de R\$3.033.901, o tempo de retorno pode ser observado no gráfico 9.

Gráfico 9 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 3



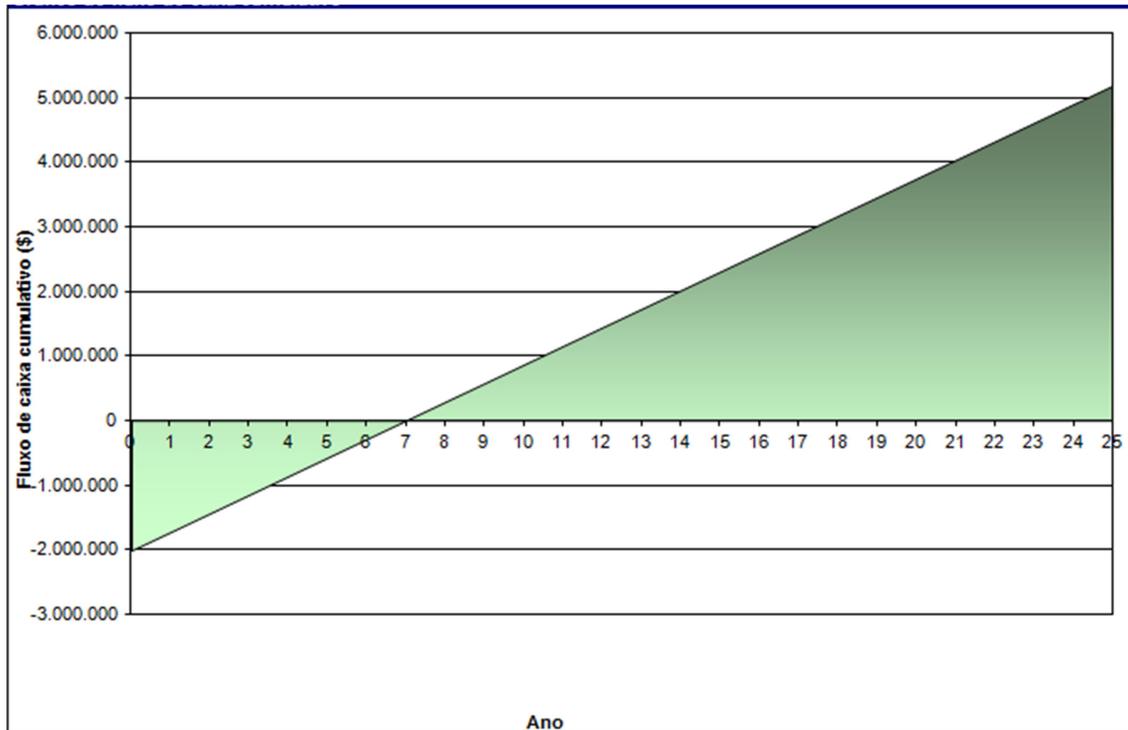
Fonte: Programa *RETSscreen4*.

O tempo de retorno para esta alternativa foi de 7 anos e 7 meses, com VPL ao final dos 25 anos de R\$ 6.809.107, TIR de 12,3%.

#### 6.4 Alternativa 4

Para as placas FV de p-Si o investimento inicial foi de R\$2.014.296, o tempo de retorno pode ser observado no gráfico 10.

Gráfico 10 – Fluxo de caixa acumulativo - alternativa 4



Fonte: Programa *RESTScreen*.

O tempo de retorno para esta alternativa foi de 7 anos, com VPL ao final dos 25 anos de R\$ 5.177.258, TIR de 13,7%.

O resumo dos resultados obtidos podem ser observados na tabela 16, para melhor comparação.

Tabela 16 – Resultados obtidos

Alternativa	Tecnologia	Potência instalada (kW)	Eletricidade exportada para rede (MWh)	Investimento inicial (R\$)	Tempo de Retorno (anos)	VPL (R\$)	TIR
1	a-Si	259,69	432,72	1.415.338	8,1	2.943.266	11,5%
2	CdTe	210,72	339,56	1.205.318	8,8	2.214.785	10,4%
3	m-Si	629,44	977,28	3.033.901	7,7	6.809.107	12,3%
4	p-Si	459,88	714,02	2.014.296	7	5.177.258	13,7%

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 7 CONCLUSÃO

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar e estudar a viabilidade financeira da implantação de uma usina fotovoltaica integrada em um *shopping center* de Fortaleza, no Ceará. Como primeira etapa, foi realizado um estudo de sombreamento no local, nos solstícios de inverno e verão, resultando em uma área útil de 3542,35 m<sup>2</sup>, o que significa que 69,7% da área disponível pode ser utilizada para geração FV sem que o sombreamento atrapalhe. Para o dimensionamento foi considerado ainda uma margem de 10% de espaçamento entre os módulos FV para futuras manutenções preventivas e corretivas, resultando em uma área de 3188,11 m<sup>2</sup> para instalação dos módulos. Além do mais, o *shopping* se encontra em um bairro que tem predominância de casas e a área para instalação dos módulos FV está a uma altura elevada do solo (cerca de 16 metros), sendo mais difícil ter obstáculos gerando sombras e atrapalhando na geração de eletricidade. Todos esses fatores comprovam as boas condições para implementação de geração FV no *shopping* em estudo.

O estudo de viabilidade financeira foi realizado com a ajuda do programa *Retscreen4*, que a partir do valor do Wp estimado de cada tecnologia de placa analisada, gerou o gráfico do tempo de retorno (*payback*), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) para cada alternativa. As quatro alternativas estudadas apresentam VPL positivo, sugerindo que são viáveis e que possuem investimento justificável e atrativo. A pior alternativa foi a tecnologia CdTe, a qual possui maior *payback* (8 anos e 8 meses), menor VPL (R\$ 2.214.785), menor TIR (10,4%) e menor taxa de eletricidade exportada para rede (339,56 MWh). A placa p-Si foi a que apresentou melhor TIR (14,4%) e melhor *payback*, com 7 anos, porém a placa m-Si possui o maior VPL, de R\$ 6.809.107, se tornando assim a melhor alternativa. A placa m-Si possui ainda a maior taxa de eletricidade exportada para rede (977,28 MWh) e um bom tempo de retorno, 7 anos e 7 meses. A placa a-Si também possui um bom tempo de retorno próximo ao da placa m-Si, de 8 anos e 1 mês. Grande parte disso se deve também aos altos índices de irradiação na cidade de Fortaleza.

O projeto pode ainda ter um impacto positivo na demanda contratada do *shopping*, pois o horário em que ocorre a maior geração FV coincide com o horário em que ocorre o pico da demanda de energia do *shopping*, referente à grande parcela da carga de ar condicionado nos horários de maiores temperaturas.

Podem ser consideradas para futuros estudos outras áreas para aplicação de geração FV, como a área da cobertura do *shopping* e o estacionamento da área externa, aumentando assim a geração FV e aproveitando ainda mais as áreas disponíveis do *shopping*.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi alcançado, concluindo-se que a implementação de geração FV no *shopping* é viável para todas as tecnologias FV estudadas e que o *shopping* em estudo possui grande potencial para geração FV.

## REFERÊNCIAS

- ABEGÁS. **Energia mais barata nos shopping centers**. [Rio de Janeiro], 17 janeiro 2013. Disponível em: <<http://www.abegas.org.br/Site/?p=16685>>. Acesso em: 11 novembro 2017.
- AHK. **Energia Solar**. Rio de Janeiro, [201-]. Disponível em: <<http://ahkbusiness.de/pt/energias-renovaveis/perfil-do-setor-eletrico/energia-solar/>>. Acesso em: 14 novembro 2017.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482 de 17 de Abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 novembro 2017.
- BLUE SOL. **O mercado de energia solar em expansão no Ceará**. [s.l.], 16 agosto 2017. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/o-mercado-de-energia-solar-em-expansao-no-ceara/>>. Acesso em: 10 novembro 2017.
- CARVALHO, M. **Principais mudanças da resolução 687 da ANEEL**. [s.l.], 24 maio 2016. Disponível em: <<https://www.minasenergy.com.br/single-post/2016/05/24/Principais-mudan%C3%A7as-da-Resolu%C3%A7%C3%A3o-687-da-ANEEL-1>>. Acesso em: 06 dezembro 2017.
- CAVALLI, F. **Inaugurada no CE maior usina solar privada**. Diário do Nordeste, Fortaleza, 21 outubro 2016. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/inaugurada-no-ce-maior-usina-solar-privada-1.1637733>>. Acesso em: 11 novembro 2017
- CERNE. **Ceará volta à vanguarda da energia renovável com mini e microgeração**. 17 julho 2017. Disponível em: <<http://cerne.org.br/ceara-volta-a-vanguarda-da-energia-renovavel-com-mini-e-microgeracao/>>. Acesso em: 11 novembro 2017
- COLAFERRO, L. **Energia solar no Brasil: um panorama para você entender tudo**. Blue Sol, [s.l.], 20 maio 2017. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>. Acesso em: 10 novembro 2017
- CRESESEB. **Sistema de geração fotovoltaica**. [s.l.], 22 abril 2013. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=cse\\_sistema\\_fotovoltaico](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=cse_sistema_fotovoltaico)>. Acesso em: 08 novembro 2017.
- CURY, A.; BOECKEL, C.; CAVALLINI, M. **Inflação oficial fecha 2016 em 6,29%, diz IBGE**. G1, [s.l.], 11 janeiro 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/inflacao-oficial-fecha-2016-em-629-diz-ibge.ghtml>>. Acesso em: 15 novembro 2017.
- DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÕES E ESTUDOS ENERGÉTICOS – DIE/MME. **Energia solar no Brasil e mundo**. Brasília, 16 outubro 2017. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Acesso em: 09 novembro 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório final Balanço Energético Nacional 2017: ano base 2016**. Rio de Janeiro, 2017.

ENEL. **Custo de energia solar despensa nos últimos 40 anos**. [s.l.], 12 janeiro 2017a. Disponível em: <<https://www.enelsolucoes.com.br/blog/2017/01/custo-de-energia-solar-despensa-nos-ultimos-40-anos/>>. Acesso em: 10 novembro 2017.

ENEL. **Nova Olinda: primeiro painel instalado**. [s.l.], 7 fevereiro 2017b. Disponível em: <<https://www.enel.com.br/pr/midia/news/d201703-nova-olinda-primeiro-painel-est-instalado.html>>. Acesso em: 15 novembro 2017.

ENERGO. **O potencial de Energia Solar no Ceará**. Disponível em: <<https://energo.eng.br/2017/05/o-potencial-de-energia-solar-no-ceara/>>. Acesso em: 11 novembro 2017

ESPAÇO LUZ ENERGIA FOTOVOLTAICA. **Sistema on grid**. [s.l.], [201-]. Disponível em: <<http://www.espacoluzfotovoltaica.com.br/sistema/>>. Acesso em: 09 novembro 2017.

FOTAIC energia solar. **Manual da energia solar**. [Fortaleza], [2016?].

GREENBRÁS. **Energia solar no mundo: saiba quais são as 5 maiores usinas fotovoltaicas do planeta**. [São Paulo], [2016]. Disponível em: <<http://greenbras.com/energia-fotovoltaica/energia-solar-no-mundo-saiba-quais-sao-as-5-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-planeta/>>. Acesso em: 11 novembro 2017.

GREENER. **Análise do mercado fotovoltaico de geração distribuída**. [s.l.], 2º semestre, 2017.

IDEAL. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**. [s.l.], 4ª edição, 2017.

LOUZADA, A.T. **Dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico aplicado à central de água gelada de um shopping center**. 2016. Projeto de graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MAGNABOSCO, A. **Indústrias e shoppings poderão alugar telhados para gerar energia solar**. Estadão, São Paulo, 13 março 2015. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,industrias-e-shoppings-poderao-alugar-telhados-para-gerar-energia-solar,1650116>>. Acesso em: 11 novembro 2017

MAIA, fpj. **A evolução da energia solar fotovoltaica no mundo**. [s.l.], 25 novembro 2016. Disponível em: <<http://infosolar.admdata.net/2016/11/25/a-evolucao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-mundo/>>. Acesso em: 09 novembro 2017.

MERCADO LIVREa. **Painél Solar De Filme Fino 105w / 111v / 1,17a.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-926413769-painel-solar-de-filme-fino-105w-111v-117a-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-926413769-painel-solar-de-filme-fino-105w-111v-117a-_JM)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREb. **Painel Placa Solar 250w Monocristalino + Controlador 20a.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-779170753-painel-placa-solar-250w-monocristalino-controlador-20a-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-779170753-painel-placa-solar-250w-monocristalino-controlador-20a-_JM)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREc. **Painel/módulo/placa Solar Fotovoltaica 200w- Promoção.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-708679392-painelmoduloplaca-solar-fotovoltaica-200w-promoco-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-708679392-painelmoduloplaca-solar-fotovoltaica-200w-promoco-_JM)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREd. **Painel Placa Solar Fotovoltaica 250w + Controlador 30a Lcd.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-684745687-painel-placa-solar-fotovoltaica-250w-controlador-30a-lcd-\\_JM#reco\\_item\\_pos=4&reco\\_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vip-seller\\_items-above&reco\\_id=2709b2f9-8f2c-446e-bbbc-eca381ef2f17](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-684745687-painel-placa-solar-fotovoltaica-250w-controlador-30a-lcd-_JM#reco_item_pos=4&reco_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=2709b2f9-8f2c-446e-bbbc-eca381ef2f17)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREe. **Painel Placa Solar Fotovoltaica 250w Inmetro Monocristalino.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-775487923-painel-placa-solar-fotovoltaica-250w-inmetro-monocristalino-\\_JM#reco\\_item\\_pos=5&reco\\_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vip-seller\\_items-above&reco\\_id=2709b2f9-8f2c-446e-bbbc-eca381ef2f17](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-775487923-painel-placa-solar-fotovoltaica-250w-inmetro-monocristalino-_JM#reco_item_pos=5&reco_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=2709b2f9-8f2c-446e-bbbc-eca381ef2f17)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREf. **Placa Solar Painel Solar 24v 265w + Conector Mc4 + Manual.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-875726672-placa-solar-painel-solar-24v-265w-conector-mc4-manual-\\_JM#reco\\_item\\_pos=2&reco\\_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vip-seller\\_items-above&reco\\_id=348f2360-8bbe-4d9a-987e-668bfe9627d2](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-875726672-placa-solar-painel-solar-24v-265w-conector-mc4-manual-_JM#reco_item_pos=2&reco_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=348f2360-8bbe-4d9a-987e-668bfe9627d2)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREg. **Painel Solar Placa Solar 150w + Conector Mc4 + Manual.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-928872785-painel-solar-placa-solar-150w-conector-mc4-manual-\\_JM#reco\\_item\\_pos=0&reco\\_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vip-seller\\_items-above&reco\\_id=348f2360-8bbe-4d9a-987e-668bfe9627d2](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-928872785-painel-solar-placa-solar-150w-conector-mc4-manual-_JM#reco_item_pos=0&reco_backend=17-17-pp-ngrams-seller&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=348f2360-8bbe-4d9a-987e-668bfe9627d2)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREh. **Placa Solar Painel Solar 12v 150w + Conector Mc4 + Manual.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-753785530-placa-solar-painel-solar-12v-150w-conector-mc4-manual-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-753785530-placa-solar-painel-solar-12v-150w-conector-mc4-manual-_JM)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREi. **Placa Painel Solar 24v 260w Inmetro Vida Util 30 Anos Nfe.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-842577806-placa-painel-solar-24v-260w-inmetro-vida-util-30-anos-nfe-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-842577806-placa-painel-solar-24v-260w-inmetro-vida-util-30-anos-nfe-_JM)>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MERCADO LIVREj. **Placa Painel Solar 24v 320w + Manual + Mc4 Melhor Pós Venda.** Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-859088501-placa-painel-solar-24v-320w-manual-mc4-melhor-pos-venda-\\_JM#reco\\_item\\_pos=3&reco\\_backend=17-17-pp](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-859088501-placa-painel-solar-24v-320w-manual-mc4-melhor-pos-venda-_JM#reco_item_pos=3&reco_backend=17-17-pp)>.

ngrams-seller&reco\_backend\_type=low\_level&reco\_client=vip-seller\_items-above&reco\_id=348f2360-8bbe-4d9a-987e-668bfe9627d2>. Acesso em: 29 outubro 2017.

MIRANDA, M. R. **Projeto de usina de geração fotovoltaica de larga escala em terra no Brasil**. 2016. Projeto técnico de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MOEHLECKE *et al.* **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, Mar. 2014.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Estudo técnico. [s.l.], março 2017

NDC. **Contribuição do Brasil às Nações Unidas - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)**. [s.l.], 2016. Disponível em <[http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf)>.

O GLOBO. **Dois parques de energia solar entram em operação no nordeste Brasil**. G1, [s.l.], 18 setembro 2017. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2017/09/dois-parques-de-energia-solar-entram-em-operacao-no-nordeste-brasil.html>>. Acesso em: 15 novembro 2017

PEREIRA *et al.* **Atlas Brasileiro de energia solar**. São José dos Campos, 2ª edição, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, março 2014.

PORTAL SOLARa. **Tipos de painel solar fotovoltaico**. [São Paulo], [s.d.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 novembro 2017.

PORTAL SOLARb. **Energia solar fotovoltaica: a revolução energética já começou no Brasil**. [São Paulo], [s.d.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-a-revolucao-energetica-ja-comecou-no-brasil.html>>. Acesso em: 09 novembro 2017.

PORTAL SOLARc. **Energia Fotovoltaica**. [São Paulo], [201-]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 10 novembro 2017.

PORTAL SOLARd. **Usina solar**. [São Paulo], [201-]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>>. Acesso em: 10 novembro 2017.

RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER A. **Efeito do sombreamento em células de uma associação de módulos fotovoltaicos**. Rio Grande do Sul. Janeiro 2006.

RIBEIRO A., **Análise da Influência da Localização, Área e Forma de Sítios no Potencial de Geração de Energia Elétrica de Pequena Escala no Brasil: Um Método para as Fontes Solar e Eólica**. 2015. Dissertação de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

SANTANA, L. **Resolução 482 da ANEEL: 3 principais pontos comentados**. [s.l.], 23 dezembro 2016. Disponível em: <http://blog.bluesol.com.br/resolucao-482-da-aneel-guia-completo/>. Acesso em: 07 dezembro 2017.

SANTIAGO, M. V.; ROCHA, D. A.; CARVALHO, G. L. **Estudo de caso do dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico no Campus João Pinheiro II do Centro Universitário UNA**. Artigo, [s.l.], 2016.

SATRIX. **Portofólio shopping plaza casa forte**. [s.l.], [201-]. Disponível em: <http://www1.satrix.com.br/satrix/portfolio/shopping-plaza-casa-forte.html>. Acesso em: 11 novembro 2017.

SEINFRA. **Tabela de custos**. Disponível em: <http://www.seinfra.ce.gov.br/siproce/onerada/html/18.14.html?a=1493216233000>. Acesso em: 12 dezembro 2017.

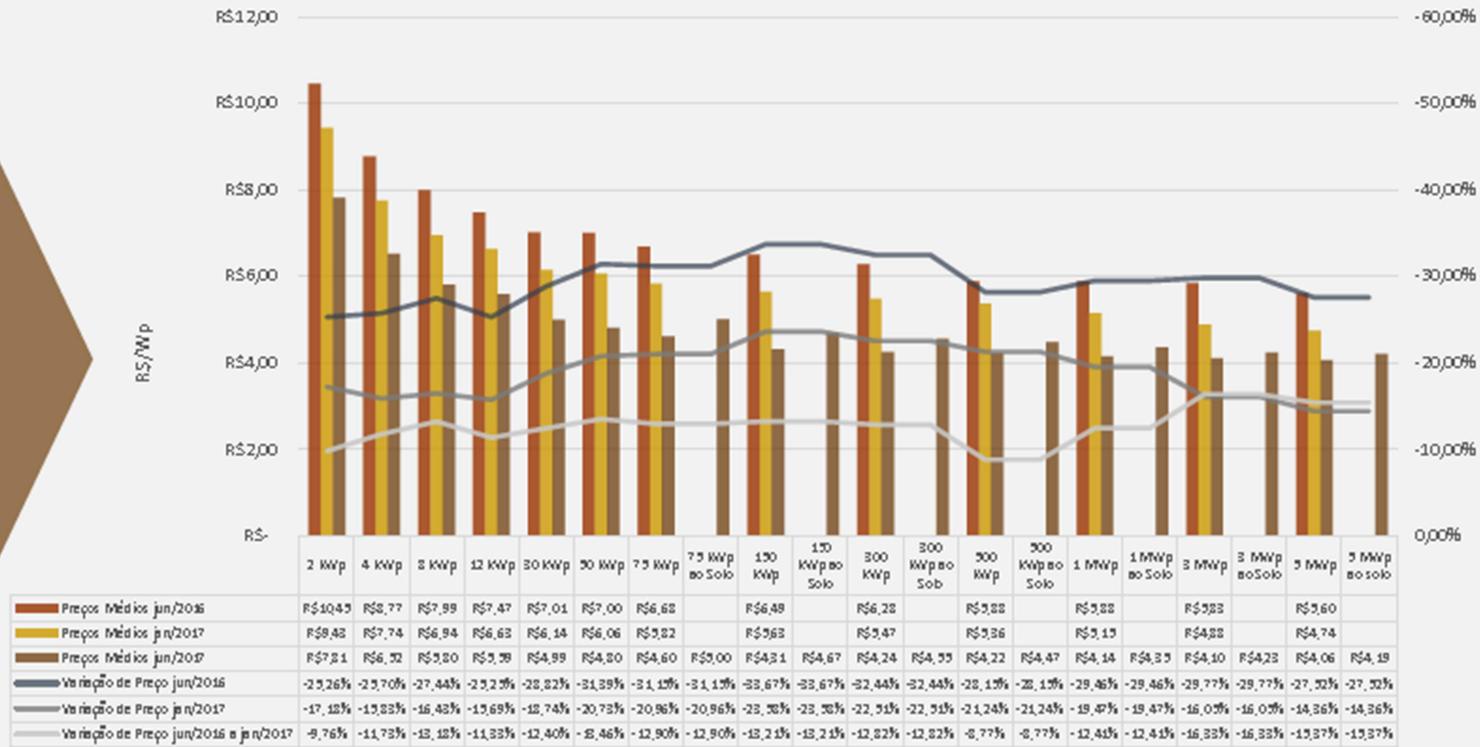
SILVESTRE, A. F.; TAKASAKI, V. G. **Estudo de viabilidade para implantação de geração fotovoltaica em shopping centers na região de Curitiba**. 2014. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 24 fevereiro 2014.

SUBMARINO. **Painel Solar Fotovoltaico Renesola 270 Wp**. Disponível em: [https://www.submarino.com.br/produto/26420162/painel-solar-fotovoltaico-renesola-270-wp?WT.srch=1&epar=bp\\_pl\\_00\\_go\\_g35210&gclid=EAIaIQobChMIi-C\\_iNmy1wIVEoCRCh0KSgyWEAQYASABEGK5WfD\\_BwE&opn=XMLGOOGLE&sellerId=9240627000194](https://www.submarino.com.br/produto/26420162/painel-solar-fotovoltaico-renesola-270-wp?WT.srch=1&epar=bp_pl_00_go_g35210&gclid=EAIaIQobChMIi-C_iNmy1wIVEoCRCh0KSgyWEAQYASABEGK5WfD_BwE&opn=XMLGOOGLE&sellerId=9240627000194). Acesso em: 29 outubro 2017.

TEK ENERGY. **Painel solar fotovoltaico 85W calyxo CX3 PRO**. Disponível em: <https://loja.tekenergy.ind.br/painel-de-filme-fino/painel-solar-fotovoltaico-85w-calyxo-cx3-pro>. Acesso em: 29 outubro 2017.

ANEXO A

## Histórico de Preços de Sistemas Fotovoltaicos - Preços Consumidor - Geração Distribuída - Brasil Jun/2016 a Jun/2017



**- 29,41 %**

Queda Média de Preços nos últimos 12 meses

Queda Média de Preços nos últimos 6 meses

**- 19,05 %**

