



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANA CAROLINA DE ALENCAR COSTA**

**METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE PLANTA FOTOVOLTAICA**  
**INTEGRADA À EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO PARA O INSTITUTO DA**  
**PRIMEIRA INFÂNCIA (IPREDE)**

**FORTALEZA**

**2017**

**ANA CAROLINA DE ALENCAR COSTA**

**METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE PLANTA FOTOVOLTAICA  
INTEGRADA À EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO PARA O INSTITUTO DA  
PRIMEIRA INFÂNCIA (IPREDE)**

Trabalho final de curso submetido à  
Universidade Federal do Ceará como parte dos  
requisitos para obtenção do grau de Graduado  
em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de  
Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Paulo de  
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)

---

A353m Alencar Costa, Ana Carolina de.  
Metodologia de Planejamento de Planta Fotovoltaica Integrada à Edificação: : Estudo de Caso para o Instituto da Primeira Infância (IPREDE) / Ana Carolina de Alencar Costa. – 2017.  
49 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. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante.

1. Energia Solar. 2. Viabilidade Financeira. 3. Modelagem. I. Título.

CDD 621.3

---

**ANA CAROLINA DE ALENCAR COSTA**

**METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE PLANTA FOTOVOLTAICA  
INTEGRADA À EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO PARA O INSTITUTO DA  
PRIMEIRA INFÂNCIA (IPREDE)**

Trabalho final de curso submetido à  
Universidade Federal do Ceará como parte dos  
requisitos para obtenção do grau de Graduado  
em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de  
Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Paulo de  
Hollanda Cavalcante

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Breno Bezerra Chaves  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha família.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar sabedoria e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Ivonildo e Solange, e irmãos, Mateus e Leonardo, por todo o incentivo, paciência, compreensão e companheirismo. Obrigada por todos os esforços para me tornar quem sou hoje.

A minha cunhada, Joyce, pela paciência em me ajudar no desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu orientador, Paulo Cesar Marques de Carvalho, e coorientador, Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante, por me ajudarem na realização desse trabalho.

Aos meus amigos da faculdade, Raissa, Pedro, Emanuel, que me auxiliaram durante o curso e que me ajudaram a aliviar o estresse com as conversas e risadas.

A todos os meus amigos e colegas que me apoiaram nessa jornada, meus sinceros agradecimentos.

Ao Instituto da Primeira Infância (IPREDE) pelos dados cedidos e disponibilidade do local para a pesquisa.

“A persistência é o caminho

do êxito.” (Charles Chaplin)



## RESUMO

O presente trabalho visa comparar e demonstrar a viabilidade financeira da geração de energia elétrica por módulos fotovoltaicos (FV) em complementação à eletricidade da concessionária local do Estado do Ceará. É avaliado o desempenho de um sistema FV hipotético conectado à rede e integrado à arquitetura do Instituto de Primeira Infância (IPREDE). São utilizados os *softwares* RETScreen e SketchUp, para analisar a viabilidade financeira do projeto e para auxiliar na decisão da localização dos painéis FV, respectivamente. SketchUp permite fazer a modelagem do prédio em estudo para em seguida ser realizada a análise de sombreamento. A análise de sombreamento é feita variando os meses do ano e as horas do dia para ver como se comportam as sombras no telhado do prédio. Ao final da modelagem é utilizado RETScreen, uma ferramenta didática e de fácil uso, pois com o resultado da análise financeira e da modelagem juntos é possível decidir de maneira mais precisa qual melhor caso para se escolher. No estudo, são propostos 3 casos, onde o primeiro visa atender 75% da demanda de energia elétrica do IPREDE através da geração FV, no segundo caso atender 50% da conta e por fim, o terceiro caso que pretende suprir 25% da demanda. A situação mais vantajosa para escolha é o caso 2, pois possui um tempo de retorno de capital menor do que o do caso 3, e, de acordo com a modelagem, ocupa menor área do que o caso 1, fazendo com que os painéis FV não tenham que ficar em locais de baixa eficiência. O caso 2 possui potência de 47,74 kWp, com um custo total de R\$ 294.140,00, um tempo de retorno de capital de 5,3 anos e ocupa uma área de 341 m<sup>2</sup>. A eficiência da metodologia usada é comprovada ao final do estudo, pois foi possível definir o caso mais eficiente para o IPREDE.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Viabilidade Financeira, Modelagem

## ABSTRACT

This paper aims at comparing and demonstrating the financial feasibility of the electric power generation by photovoltaic (PV) modules in addition to the electricity of the local utility of the State of Ceará. The performance of a hypothetical PV system connected to the network and integrated with the architecture of the Instituto de Primeira Infância (IPREDE) is evaluated. RETScreen and SketchUp are used to analyze the financial feasibility of the project and to assist in deciding the location of the PV panels, respectively. SketchUp allows you to model the building under study and then perform shading analysis. Shading analysis is done by varying the months of the year and the time of day to see how the shadows on the roof of the building behave. At the end of the modeling RETScreen is used, a didactic tool and easy to use, because with the result of financial feasibility and modeling together it is possible to decide more precisely which case is the best to choose. In the study, three cases are proposed, in which the former aims to meet 75% of IPREDE's electricity demand through FV generation, in the second case to meet 50% of the account and finally, the third case that intends to supply 25% of the demand. The best case to choose is case 2, since it has a lower payback time than case 3, and, according to the modeling, it occupies less area than case 1. Thus, the PV panels do not have to stay in places of low efficiency. Case 2 has 47.74 kWp with a total cost of R \$ 294,140.00, a time of capital return of 5.3 years and occupies an area of 341 m<sup>2</sup>. The efficiency of the methodology used is proven at the end of the study, because it was possible to define the most efficient case for IPREDE.

**Keywords:** Solar energy, Financial Feasibility, Modeling

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de uma casa com instalação FV conectada à rede elétrica.....	21
Figura 2 - Dados Técnicos do inversor PHB5000D-NS.....	27
Figura 3 - IPREDE visto de cima.....	30
Figura 4 - Planta 2D (AutoCAD) do IPREDE.....	31
Figura 5 - IPREDE – Modelagem feita no SketchUp.....	31
Figura 6 - Vista de cima IPREDE.....	32
Figura 7 - Vista de cima IPREDE de outro ângulo.....	32
Figura 8 - IPREDE no mês de Março às 8h30min.....	33
Figura 9 - IPREDE no mês de Setembro às 8h30min.....	33
Figura 10 - IPREDE no mês de Março às 12h.....	33
Figura 11 - IPREDE no mês de Setembro às 12h.....	33
Figura 12 - IPREDE no mês de Março às 15h30min.....	34
Figura 13 - IPREDE no mês de Setembro às 15h30min.....	34
Figura 14 - Caso 1 no mês de Março às 8h30min.....	34
Figura 15 - Caso 1 no mês de Setembro às 8h30min.....	35
Figura 16 - Caso 1 no mês de Março às 15h30min.....	35
Figura 17 - Caso 1 no mês de Setembro às 15h30min.....	36
Figura 18 - Caso 2 no mês de Março às 8h30min.....	36
Figura 19 - Caso 2 no mês de Setembro às 8h30min.....	36
Figura 20 - Caso 2 no mês de Março às 15h30min.....	37
Figura 21 - Caso 2 no mês de Setembro às 15h30min.....	37
Figura 22 - Caso 3 no mês de Março às 15h30min.....	38
Figura 23 - Caso 3 no mês de Setembro às 15h30min.....	38
Figura 24 - Informações iniciais sobre o projeto.....	39
Figura 25 - Dados climáticos.....	40
Figura 26 - Sistema de Eletricidade do caso proposto.....	41
Figura 27 - Dados Sistema FV pelo RETScreen CASO 1.....	41
Figura 28 - Dados Sistema FV pelo RETScreen CASO 2.....	42
Figura 29 - Dados Sistema FV pelo RETScreen CASO 3.....	42
Figura 30 - Aba Análise de Custos.....	44
Figura 31 - Parâmetros Financeiros.....	45
Figura 32 - Dados RETScreen, Receita Anual.....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de Instalações FV em geração distribuída no Brasil .....	20
Gráfico 2 - Consumo Mensal de Energia Elétrica (MWh) anos 2016/2017 .....	22
Gráfico 3 - Custo de sistemas FV por faixa de potência .....	43
Gráfico 4 - Fluxo de Caixa Cumulativo (Caso 1).....	46
Gráfico 5 - Fluxo de Caixa Cumulativo (Caso 2).....	47
Gráfico 6- Fluxo de Caixa Cumulativo (Caso 3).....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração Elétrica (GWh) baseada nos anos 2015 e 2016.....	19
Tabela 2 - Fator de Capacidade .....	23
Tabela 3 - Características do Painel Solar escolhido .....	24
Tabela 4 - Resultado do Dimensionamento dos Painéis FV.....	26
Tabela 5 - Resultado Dimensionamento FV e Inversores .....	29
Tabela 6 - Viabilidade Financeira Caso 1 .....	46
Tabela 7 - Viabilidade Financeira Caso 2 .....	47
Tabela 8 - Viabilidade Financeira Caso 3 .....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IPREDE	Instituto de Primeira Infância
LEA	Laboratório de Energias Alternativas
UFC	Universidade Federal do Ceará
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.2. Objetivos.....	18
1.1. Estrutura do trabalho.....	18
2. GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	19
2.1. Geração FV distribuída.....	20
2.2. Resolução Normativa nº 482 .....	21
3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FV .....	22
3.1. Dimensionamento dos painéis FV .....	22
3.1.1. <i>Dimensionamento dos painéis FV para o caso 1:</i> .....	24
3.1.2. <i>Dimensionamento dos painéis FV para o caso 2:</i> .....	25
3.1.3. <i>Dimensionamento dos painéis FV para o caso 3:</i> .....	26
3.2. Escolha do inversor.....	27
4. MODELAGEM COM SKETCHUP .....	30
5. ANÁLISE FINANCEIRA.....	39
6. CONCLUSÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50





## 1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira possui sua base na energia hidráulica. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) as hidrelétricas são responsáveis por 64% da geração de energia no Brasil. No início dessa década essa porcentagem era bem diferente, em 2010, por exemplo, as usinas hidrelétricas geravam em média 75% da eletricidade do país. Essa mudança foi causada pela crise hídrica que o Brasil enfrentou e ainda vem enfrentando, a escassez de água fez nascer à necessidade de encontrar novas formas de geração de energia. Diversificar a matriz energética foi fundamental.

As fontes alternativas de energia surgiram como uma alternativa ao uso das fontes tradicionais de energia. Renováveis, pouco ou não poluentes, inesgotáveis, emissões mínimas de gases do efeito estufa, são algumas das vantagens que as fontes alternativas de energias possuem.

A geração fotovoltaica (FV) é uma forma alternativa de energia em grande expansão mundial desde meados do ano 2000. A inserção dessa forma de geração de energia na rede elétrica de distribuição vem apresentando crescimento principalmente após a regulamentação promovida pela Resolução Normativa n° 482/2012 da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012). Em 2015 surgiu a Resolução Normativa n°687/2015 alterando a RN 482.

Este trabalho visa fazer um estudo sobre a viabilidade da implantação de painéis FV no prédio do Instituto de Primeira Infância (IPREDE), localizado na Rua Professor Carlos Lobo, 15 - Cidade dos Funcionários, em Fortaleza – Ceará, com o intuito de reduzir a conta de energia. Para isso, será feito o estudo para três situações: sistemas que atendam 25%, 50% e 75% da demanda. Com esses resultados, será possível analisar a viabilidade financeira e o valor do subsídio que deve ser pago para que a energia elétrica produzida, ao longo de sua vida útil, cubra o investimento feito na instalação do sistema. Ao fim da pesquisa, será possível identificar qual das três situações estudadas terá a melhor relação de custo benefício para o instituto.

## **1.2. Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo, mostrar de forma sucinta, a viabilidade financeira da utilização de determinada porcentagem de energia elétrica gerada por painéis FV em forma de compensação e conectada na rede elétrica da concessionária local.

### **1.1. Estrutura do trabalho**

Este trabalho está dividido em 5 capítulos afim de facilitar a compreensão de todo o estudo.

No capítulo 2 é realizada uma abordagem a geração FV.

No capítulo 3 é exposto o início do estudo de caso com a realização do dimensionamento de todo o sistema FV.

No capítulo 4 é abordada a modelagem e o estudo do sombreamento usando o *software* SketchUp.

No capítulo 5 é apresentada a análise financeira realizada usando o *software* RETScreen para analisar a viabilidade dos casos em estudo.

No capítulo 6 constam as conclusões do estudo realizado.

## 2. GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

As energias alternativas surgiram, como já diz o próprio nome, como uma alternativa para o uso das fontes tradicionais de energia. A crise hídrica e a provável escassez de alguns tipos de combustíveis foram pontos importantes para tornar as fontes alternativas mais conhecidas e mais utilizadas. Na tabela 1 é possível ver que as fontes eólica e solar foram as que possuíram maior crescimento percentual.

Tabela 1- Geração Elétrica (GWh) baseada nos 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>3</sup>	13.669	13.723	0,4%
<b>Geração Total</b>	<b>581.228</b>	<b>578.898</b>	<b>-0,4%</b>

<sup>1</sup> Inclui geração distribuída

<sup>2</sup> Inclui lenha, bagaço de cana e lixívia

<sup>3</sup> Inclui óleo diesel e óleo combustível

<sup>4</sup> Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias

FONTES: EPE (Balanço Energético 2017)

A energia solar FV ganhou força e mais adeptos a partir de 2012 após ser aprovada a regulamentação para conexão e compensação de geradores distribuídos. A partir disso, a energia solar FV tem obtido destaque na geração distribuída e a na geração centralizada.

O gráfico ilustra mais especificamente o crescimento da geração solar FV.

Gráfico 1 - Número de Instalações FV em geração distribuída no Brasil



FONTE: ANEEL

## 2.1. Geração FV distribuída

A geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica. (ANEEL, 2016)

Essa geração abrange a instalação de sistemas solares fotovoltaicos em telhados e fachadas de edifícios residenciais, comerciais, industriais e públicos.

Em geral, gerar energia elétrica dessa maneira possui diversas vantagens para o sistema elétrico como, por exemplo, a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão. Além disso, por produzir a energia elétrica junto à carga há redução nas perdas ocasionadas nas redes de transmissão e distribuição, dentre outras vantagens. Na figura 1 é possível ver o esquema de uma casa com instalação FV conectada à rede elétrica.

Figura 1- Esquema de uma casa com instalação FV conectada à rede elétrica.



FONTE: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>

## 2.2. Resoluções Normativas

Em abril de 2012 foi criado o sistema de compensação de energia elétrica, com o intuito de dar a possibilidade ao consumidor brasileiro de poder gerar energia elétrica para próprio consumo através de fontes alternativas ou cogeração qualificada, podendo ainda fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

A REN nº 482 estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente. (ANEEL, 2016)

Em novembro de 2015 surge a REN 687 para alterar a REN 482.

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017)

### 3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FV

#### 3.1. Dimensionamento dos painéis FV

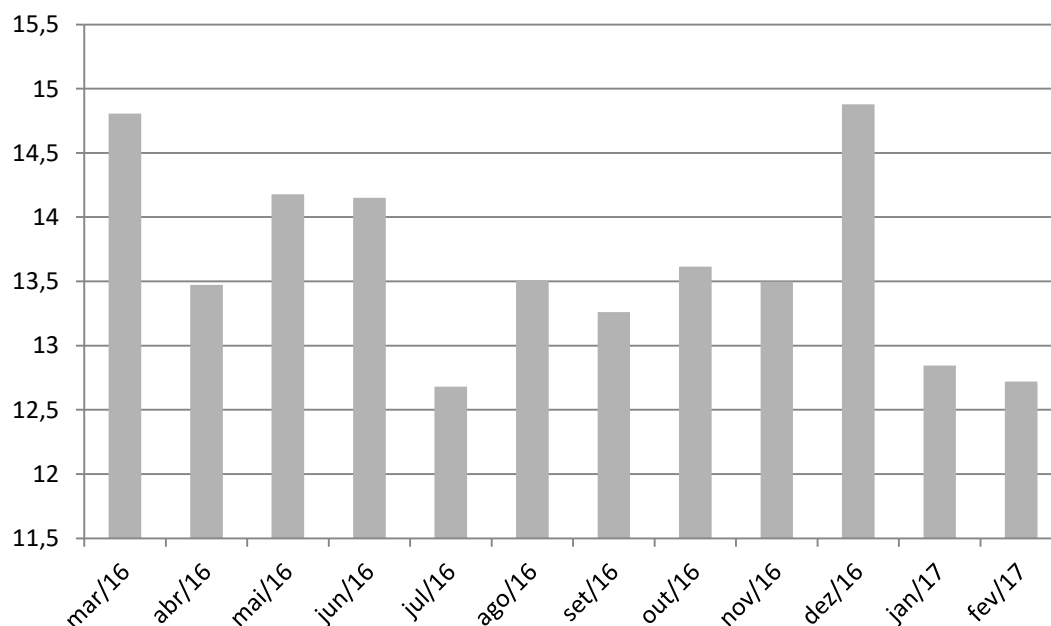
Como citado no capítulo 1 o estudo é realizado para três casos.

O caso 1 é determinado como um sistema que atende a 75% da demanda do IPREDE, caso 2 atende a 50% e o caso 3 atende a 25%.

O cálculo de dimensionamento dos painéis FV realizado a seguir proposto por (Carvalho, 2016) é feito baseado no consumo de energia do local estudado, pelo fator capacidade do sistema FV, pela potência do sistema FV. Todos esses fatores serão descritos no decorrer desse tópico.

Possuindo as contas de energia do IPREDE no período de 12 meses entre os anos de 2016 e 2017, é possível montar o gráfico 2 para ilustrar melhor a situação a ser estudada.

Gráfico 2 - Consumo Mensal de Energia Elétrica (MWh) anos 2016/2017



FONTE: Contas de Energia fornecidas pelo IPREDE

Do gráfico 2 é possível chegar aos seguintes dados:

- Consumo Anual: soma do consumo de energia elétrica de 12 meses que é equivalente a 163,618 MWh por ano.
- Média de Consumo Mensal: esse valor é dado pelo consumo anual de energia dividido por 12 meses, resultando em 13,643 MWh/mês.

Para encontrar a energia elétrica gerada é necessário usar o fator de capacidade FV ( $FC_{FV}$ ), que é a relação entre a produção efetiva de energia em um período de tempo e a capacidade total máxima neste mesmo período, utilizado para esse estudo foi a média dos fatores de capacidade medidos entre novembro de 2016 e outubro de 2017 no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) localizado na Universidade Federal do Ceará (UFC). Os fatores de capacidade mensais e o fator de capacidade médio estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 - Fator de Capacidade

<b>MÊS</b>	<b>FC (%)</b>
<b>nov/16</b>	22,85
<b>dez/16</b>	20,13
<b>jan/17</b>	19,23
<b>fev/17</b>	17,51
<b>mar/17</b>	14,48
<b>abr/17</b>	13,97
<b>mai/17</b>	13,47
<b>jun/17</b>	21,46
<b>jul/17</b>	21,03
<b>ago/17</b>	24,04
<b>set/17</b>	25,69
<b>out/17</b>	20,87
<b>FC MÉDIO</b>	19,56

FONTE: Laboratório de Energias Alternativas -UFC

Conhecendo o valor de energia elétrica gerada ( $E_{ger}$ ) que se deseja, é possível usar a equação (1). Nessa equação a energia nominal ( $E_{nom}$ ) é encontrada após relacionar os valores de energia gerada e  $FC_{FT}$ .

$$E_{nom} = \frac{E_{ger}}{FC_{FV}} \quad (1)$$

Com o valor da energia nominal, expressa em MWh, já conhecido, deve-se encontrar o valor da potência nominal ( $P_{nom\ do\ sistema}$ ) do sistema FV. A equação (2) apresenta a relação da energia nominal com 8760 h (o número de horas de um ano).

$$P_{nom\ do\ sistema} = \frac{E_{nom}}{8760} \quad (2)$$

Para chegar à quantidade final de painéis FV que compõem o sistema é necessário analisar as suas características elétricas. O painel escolhido para o estudo é de fabricação chinesa, suas medidas são 99 cm de largura por 165 cm de altura, e um resumo de suas características elétricas está apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Características do Painel Solar escolhido

Fabricante	Modelo	Potência Nominal	Tensão Nominal	Corrente Nominal	Tensão de Circuito Aberto	Corrente de Curto-Circuito	Tensão máx. do Sistema
Yingli	YL250P-29b	250 W	29,8 V	8,39 A	37,6 V	8,92 A	1000 V

FONTE: Datasheet Yingli Solar – YGE 60 CELL SERIES - YL250P-29b

A equação (3) apresenta a relação entre a potência nominal do sistema e a potência do painel, obtendo-se a quantidade necessária de painéis FV.

$$n_{mod} = \frac{P_{nom\ do\ sistema}}{P_{nom\ do\ painel}} \quad (3)$$

Visto a metodologia de dimensionamento, é possível agora aplica-la aos três casos estudados.

### 3.1.1. Dimensionamento dos painéis FV para o caso 1:

A demanda anual do IPREDE é de 163,618 MWh, como o caso 1 só atende a 75% da demanda:

$$E_{gerCASO1} = 0,75 \cdot 163,618 = 122,713 \text{ MWh}$$

Então, o caso 1 atende uma demanda de 122,713 MWh por ano.

Calculando a energia nominal a partir da equação (1):

$$E_{nom} = \frac{E_{ger}}{FC}$$



$$E_{nom} = \frac{122,713}{0,1956} = 627,369 MWh$$

Calculo da potência nominal do sistema FV a partir da equação (2):

$$P_{nom \text{ do sistema}} = \frac{E_{nom}}{8760} = \frac{627,639}{8760} = 0,07164 MW = 71,64 kW$$

Por último, cálculo da quantidade de módulos de acordo com a equação (3):

$$n_{mod} = \frac{71617}{250} = 286,47$$

Para o caso 1, será necessário um sistema FV com 287 painéis.

### 3.1.2. Dimensionamento dos painéis FV para o caso 2:

A demanda anual do IPREDE é de 163,618 MWh, como o caso 2 só atende a 50% da demanda:

$$E_{gerCASO2} = 0,50 \cdot 163,618 = 81,809 MWh$$

Então, o caso 2 atende uma demanda de 81,809 MWh por ano.

Calculando a energia nominal a partir da equação (1):

$$E_{nom} = \frac{E_{ger}}{FC}$$

$$E_{nom} = \frac{81,809}{0,1956} = 418,246 MWh$$

Calculo da potência nominal do sistema FV a partir da equação (2):

$$P_{nom \text{ do sistema}} = \frac{E_{nom}}{8760} = \frac{418,246}{8760} = 0,04774 MW = 47,74 kW$$

Por último, calculo da quantidade de módulos de acordo com a equação (3):

$$n_{mod} = \frac{47740}{250} = 190,98$$

Para o caso 2, será necessário um sistema FV com 191 painéis.

### 3.1.3. Dimensionamento dos painéis FV para o caso 3:

A demanda anual do IPREDE é de 163,618 MWh, como o caso 3 só atende a 25% da demanda:

$$E_{gerCASO3} = 0,25 \cdot 163,618 = 40,90 \text{ MWh}$$

Então, o caso 3 atende uma demanda de 40,90 MWh por ano.

Calculando a energia nominal a partir da equação (1):

$$E_{nom} = \frac{E_{ger}}{FC}$$

$$E_{nom} = \frac{40,90}{0,1956} = 209,123 \text{ MWh}$$

Calculo da potência nominal do sistema FV a partir da equação (2):

$$P_{nom \text{ do sistema}} = \frac{E_{nom}}{8760} = \frac{209,123}{8760} = 0,02387 \text{ MW} = 23,87 \text{ kW}$$

Por último, calculo da quantidade de módulos de acordo com a equação (3):

$$n_{mod} = \frac{23870}{250} = 95,48$$

Para o caso 3, será necessário um sistema FV com 96 painéis.

Na tabela 4 está exposto o resumo dos resultados dos três dimensionamentos dos sistemas FV.

Tabela 4 - Resultado do Dimensionamento dos Painéis FV

	Eletricidade Gerada (MWh)	FC	Potência Nominal do Sistema (kWp)	Potência Nominal do Módulo (W)	Qtd de Módulos
<b>Caso 1 (75% da demanda total)</b>	122,713	19,56%	71,61	250	287
<b>Caso 2 (50% da demanda total)</b>	81,809	19,56%	47,74	250	191
<b>Caso 3 (25% da demanda total)</b>	40,904	19,56%	23,87	250	96

FONTE: O próprio autor

### 3.2. Escolha do inversor

Um inversor solar tem como papel principal converter a energia elétrica gerada pelos painéis, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Além disso, ele garante a segurança do sistema e mede a energia produzida pelos painéis solares.

O inversor escolhido para este estudo é da marca PHB Solar e possui as seguintes características:

Figura 2 - Dados Técnicos do inversor PHB5000D-NS

Modelo	PHB1500-NS	PHB3000-NS	PHB5000D-NS
<b>Dados da Entrada CC</b>			
Max. Potência Fotovoltaica [W]	1950	3900	6500
Max. Tensão CC [V]	450	500	580
Faixa de Operação SPMP (MPPT) [V]	80~400	80~450	125~550
Tensão CC de Partida [V]	80	80	120
Corrente CC Máxima [A]	10	15	11/11
N° Strings / MPPT	1/1	1/1	2/2
Conector CC	MC4 / Phoenix / Amphenol		
Consumo em Standby [W]	5		
<b>Dados da Saída CA</b>			
Potência CA Nominal [W]	1500	3000	5000
Max. Potência CA [W]	1500	3000	5000
Max. Corrente CA [A]	7.5	13.5	22.8
Saída Nominal CA	60Hz; 220Vca		
Faixa de Operação CA	57.5~62Hz; 176~242Vca		
THD	<5%		
Fator de Potência	Unitário		0.95 indutivo...0.95 capacitivo
Conexão CA	Monofásica / Bifásica		
<b>Eficiência</b>			
Max. Eficiência	97.0%	97.5%	97.8%
Eficiência SPMP (MPPT)	>99.9%	>99.9%	>99.9%

FONTE: Catálogo de Inversores Monofásicos Linha NS - PHB

De acordo com os dados técnicos, esse inversor suporta no máximo duas *strings* em paralelo.

Uma *string* é composta por um conjunto de painéis FV conectados em série. Nesse tipo de conexão, o terminal positivo de um dispositivo é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo. Como os painéis da *string* são idênticos e submetidos a mesma irradiância, a tensão das *strings* é:

$$V_{string} = n^{\circ}_{painéis} \cdot V_{painel} \quad (4)$$

Onde:

$V_{string}$ : tensão da *string*;

$n^{\circ}_{painéis}$ : número de painéis conectados em série formando a *string*.

$V_{painel}$ : tensão de circuito aberto do painel, neste caso vai ser 37,6 V como mostrado na tabela 3.

A corrente da *string* vai ser igual a corrente de curto circuito do painel, no caso 8,92 A

Para decidir o número de inversores e quantos painéis estão conectados a cada inversor é necessário realizar alguns cálculos. Inicialmente, encontra-se o número de inversores:

$$N^{\circ}_{inversores} = \frac{P_{nomfv}}{P_{máxdoinversor}} \quad (5)$$

Onde:

$N^{\circ}_{inversores}$ : quantidade de inversores a utilizados.

$P_{nomfv}$ : é a potência nominal do sistema FV.

$P_{máxdoinversor}$ : potência máxima do inversor encontrada no catálogo, no caso é 6500 W.

Em seguida, é necessário decidir quantos painéis são ligados a cada inversor, para isso utiliza-se o número de módulos do sistema encontrado após o dimensionamento citado no tópico anterior, como mostra a equação (6).

$$Painel\ por\ inversor = \frac{N^{\circ}_{mod}}{N^{\circ}_{inversores}} \quad (6)$$

A seguir é mostrado o calculo dos inversores para cada caso.

Para o caso 1:

De acordo com a equação (5):

$$N^{\circ}_{inversores} = \frac{P_{nomfv}}{P_{máxdoinversor}} = \frac{71,61}{6,5} = 11,01$$

Para esse caso é necessário o uso de 12 inversores.

A quantidade de painel por inversor é de:

$$Painel\ por\ inversor = \frac{N^{\circ}_{mod}}{N^{\circ}_{inversores}} = \frac{287}{12} = 23,91$$

Sabendo que cada inversor está conectado a 24 painéis, é necessário saber a quantidade de *strings* que o inversor possui. O inversor usado suporta até 2 *strings*, logo cada *string* possui 12 painéis conectados em série. A tensão e a corrente por *string* é de:

$$V_{string} = N^{\circ}_{painéis} \cdot V_{painel} = 12 \cdot 37,6 = 451,2 V$$

$$I_{string} = 8,92 A$$

De acordo com os dados técnicos mostrados na figura 2 a faixa de operação por *string* foi respeitada.

A tensão e a corrente que o inversor vai possuir é de:

$$V_{inversor} = 451,2 V$$

$$I_{inversor} = 8,92 \cdot 2 = 17,84 A$$

A faixa de operação por *string* foi respeitada.

De maneira análoga esses cálculos são feitos para os casos 2 e 3, os dados obtidos seguem na tabela 5.

Tabela 5 - Resultado Dimensionamento FV e Inversores

	Pot. Nominal do Sistema (kWh)	Pot. Nominal do Módulo (W)	Qtd de Módulos	Qtd de Inversores	Pot. do Inversor (W)	Núm. de Painéis por Inversor	Qtd de String por Inversor	Núm. de Painéis por String
Caso 1 (75% da demanda total)	71,61	250	287	12	6500	24	2	12
Caso 2 (50% da demanda total)	47,74	250	191	8	6500	24	2	12
Caso 3 (25% da demanda total)	23,87	250	96	4	6500	24	2	12

FONTE: O próprio autor

#### 4. MODELAGEM COM SKETCHUP

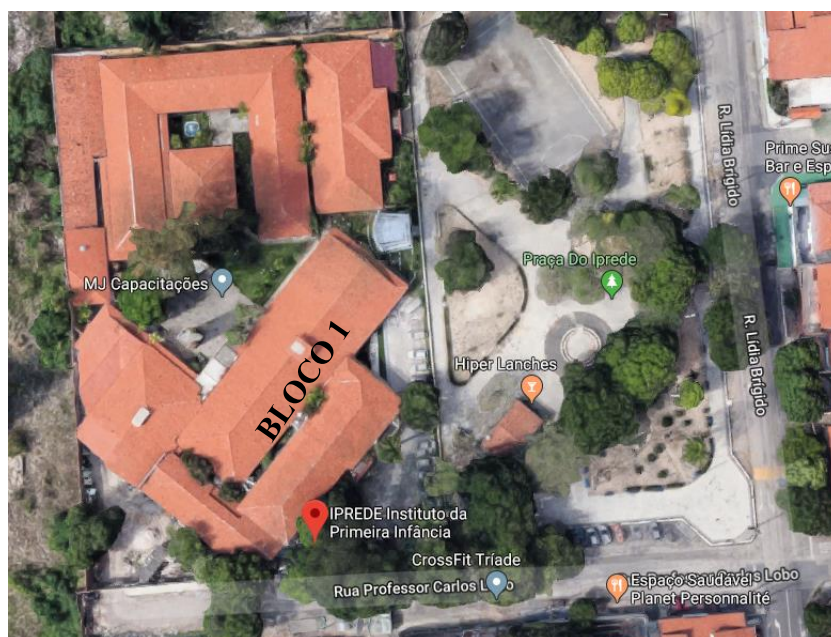
O SketchUp é um *software* que foi criado por uma empresa chamada *At Last Software* e que posteriormente foi comprado pela Google e atualmente pertencente a *Trimble Navigation*. É um modelador 3D de fácil uso muito utilizado em projetos de arquitetura e engenharia.

Esse *software* foi utilizado nesse estudo para auxiliar na decisão dos locais para instalação dos painéis FV observando os efeitos do sombreamento sobre o prédio do IPREDE.

O sombreamento é um dos principais fatores de perda em um sistema FV instalado em ambientes urbano, ele pode ocorrer devido à existência de árvores e outros prédios ao redor e até mesmo devido à existência de sujeira. Esse sombreamento pode causar um bloqueio parcial ou total da radiação solar direta nos sistemas FV fazendo com que haja perdas e que a eficiência do sistema seja prejudicada. Dependendo da intensidade da sombra, é possível que o painel fique inoperante ou receba luz de maneira desigual o podendo danificar os módulos.

Partindo de imagens do Google Earth e de plantas 2D feitas no AutoCAD foi possível realizar a modelagem do prédio. A figura 3 mostra o prédio em estudo.

Figura 3 - IPREDE visto de cima



FONTE: Google Earth

A figura 4 mostra a planta do IPREDE em 2D.

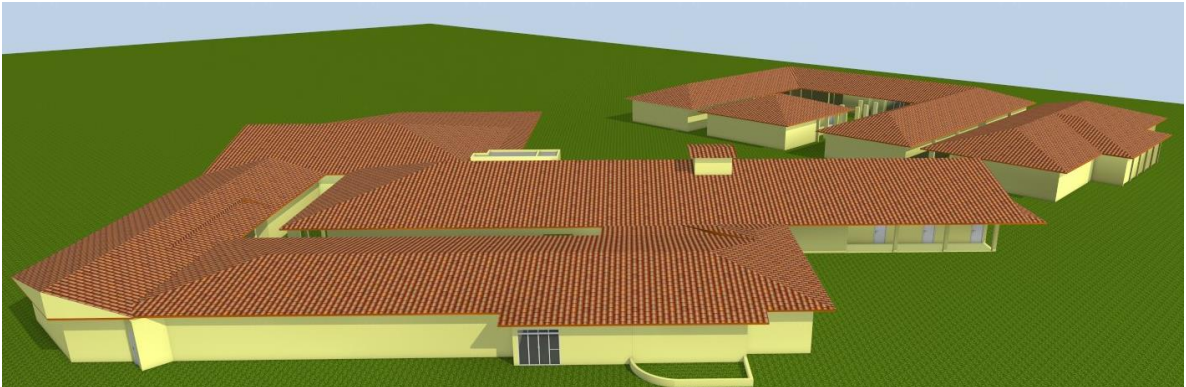
Figura 4 - Planta 2D (AutoCAD) do IPREDE



FONTE: IPREDE

A figura 5 ilustra a modelagem realizada para os prédios do IPREDE.

Figura 5 - IPREDE – Modelagem feita no SketchUp



FONTE: O próprio autor

Seguindo com o estudo, no Google Earth é possível ver que as árvores do local já causam sombreamentos em parte do prédio. As figuras 6 e 7 mostram nas áreas demarcadas de vermelho as sombras em parte dos telhados.

Figura 6 - Vista de cima IPREDE



FONTE: O próprio autor

Figura 7 - Vista de cima IPREDE de outro ângulo



FONTE: O próprio autor

Com isso, é possível ver que o bloco identificado como bloco 1 na figura 3 é a melhor opção. Escolhido o bloco 1 para modelagem no SketchUp é feito um novo estudo de



sombreamento utilizando a ferramenta “sombras”. Essa ferramenta nos dá a possibilidade de simular as sombras de acordo com os meses do ano e com as horas do dia. Para exemplificação dessa simulação, foram escolhidos dois meses: Março (mês com muita chuva em Fortaleza) e Setembro (mês com pouca chuva). E três horários aproximados: 08h30min, 12h e 15h30min.

As figuras 8 e 9 mostram o IPREDE em dois meses diferentes e no mesmo horário. A sombra às 8h30min está para o lado direito do telhado (demarcado em vermelho).

Figura 8 - IPREDE no mês de Março às 8h30min



FONTE: O próprio autor

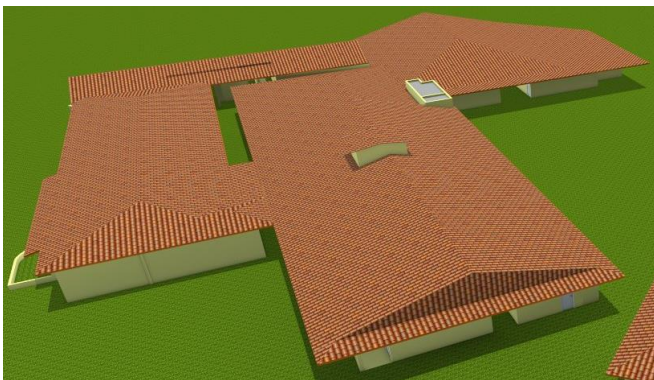
Figura 9 - IPREDE no mês de Setembro às 8h30min



FONTE: O próprio autor

As figuras 10 e 11 ilustram o IPREDE em dois meses diferentes às 12h. Nesse horário o telhado tem pouca sombra.

Figura 10 - IPREDE no mês de Março às 12h



FONTE: O próprio autor

Figura 11 - IPREDE no mês de Setembro às 12h



FONTE: O próprio autor

As figuras 12 e 13 ilustram o IPREDE em dois meses diferentes às 15h30min. Nesse horário o telhado já possui mais sombra do que os horários anteriores. Esse resultado

vai impactar diretamente na escolha do local de instalação dos painéis FV.

Figura 12 - IPREDE no mês de Março às 15h30min



FONTE: O próprio autor

Figura 13 - IPREDE no mês de Setembro às 15h30min

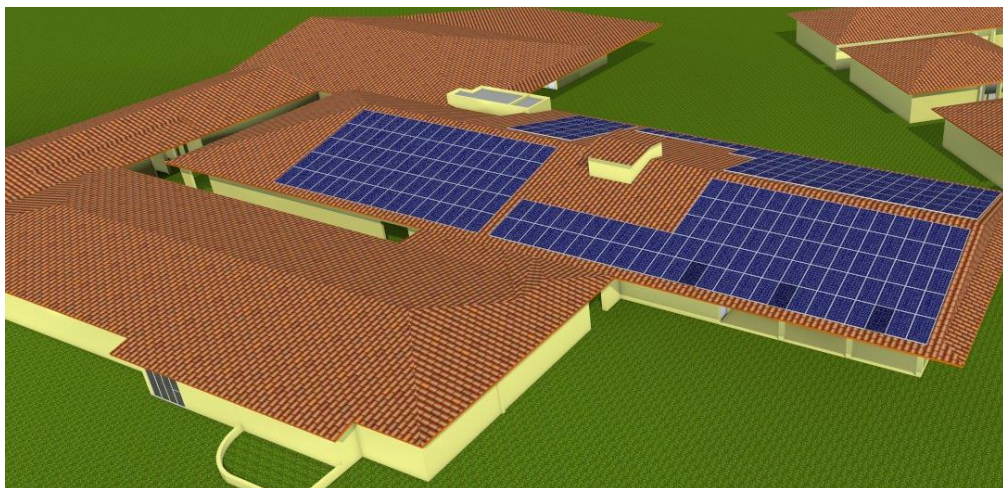


FONTE: O próprio autor

Em seguida, foi feita uma simulação para o caso 1, caso 2 e caso 3 usando somente dois horários diferentes tanto no mês de março como no mês de setembro nas figuras abaixo estão ilustrados os três casos estudados.

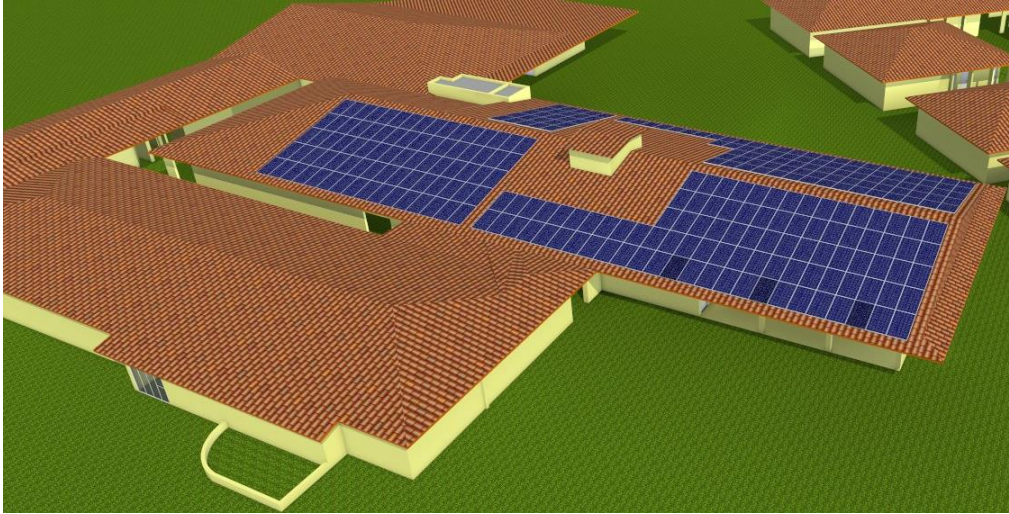
O caso 1 possui 287 painéis. Nas figuras 14 e 15 mostram que no horário de 8h30min a sombra ainda está longe dos painéis FV.

Figura 14 - Caso 1 no mês de Março às 8h30min



FONTE: O próprio autor

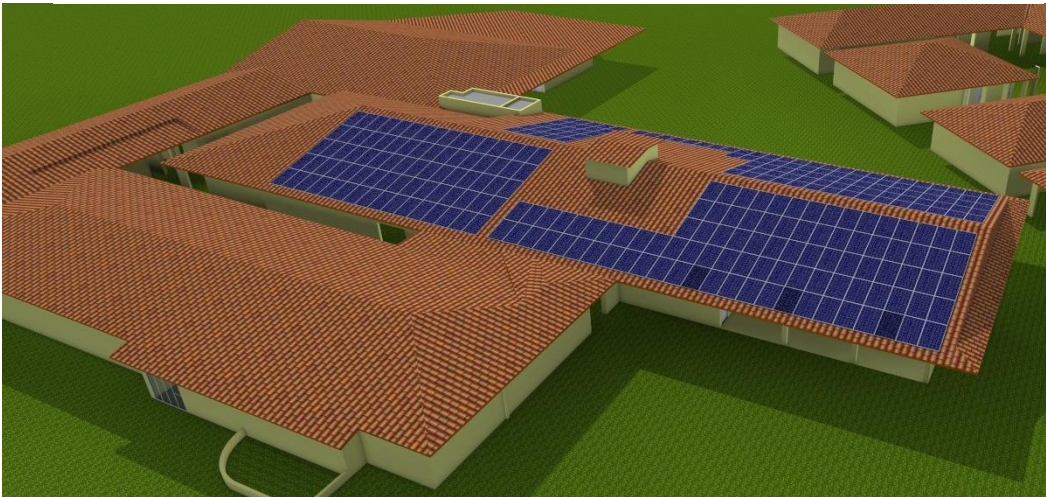
Figura 15 - Caso 1 no mês de Setembro às 8h30min



FONTE: O próprio autor

Nas figuras 14 a 17 é possível ver que o caso 1 ocupa uma área muito grande do telhado, sendo necessário o uso de áreas sombreadas, como ilustram as figuras 16 e 17. Ocupar áreas sombreadas causa uma redução na eficiência do sistema.

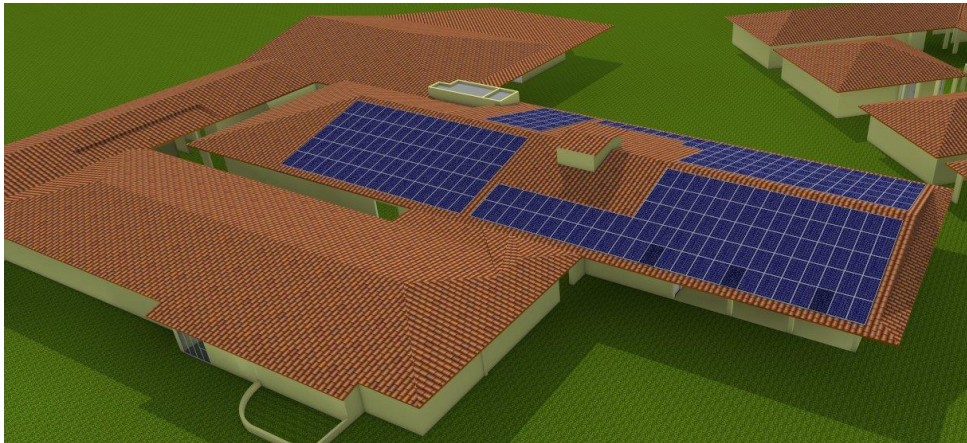
Figura 16 - Caso 1 no mês de Março às 15h30min



FONTE: O próprio autor

A figura 17 mostra que a sombra alcança parte dos painéis FV.

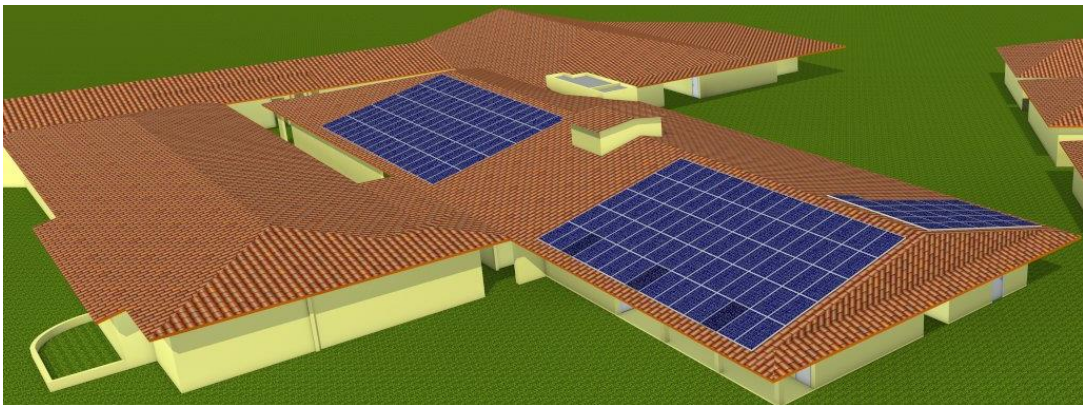
Figura 17 - Caso 1 no mês de Setembro às 15h30min



FONTE: O próprio autor

O caso 2 possui 191 painéis. As figuras 18 e 19 mostram a disposição dos painéis  
FV.

Figura 18 - Caso 2 no mês de Março às 8h30min



FONTE: O próprio autor

Figura 19 - Caso 2 no mês de Setembro às 8h30min



FONTE: O próprio autor

As figuras 20 e 21 mostram a sombra às 15h30min. Nesse horário a sombra é bem maior do que no horário mostrado anterior, mas, ainda assim, não atinge os painéis FV da maneira que estão instalados.

Figura 20 - Caso 2 no mês de Março às 15h30min



FONTE: O próprio autor

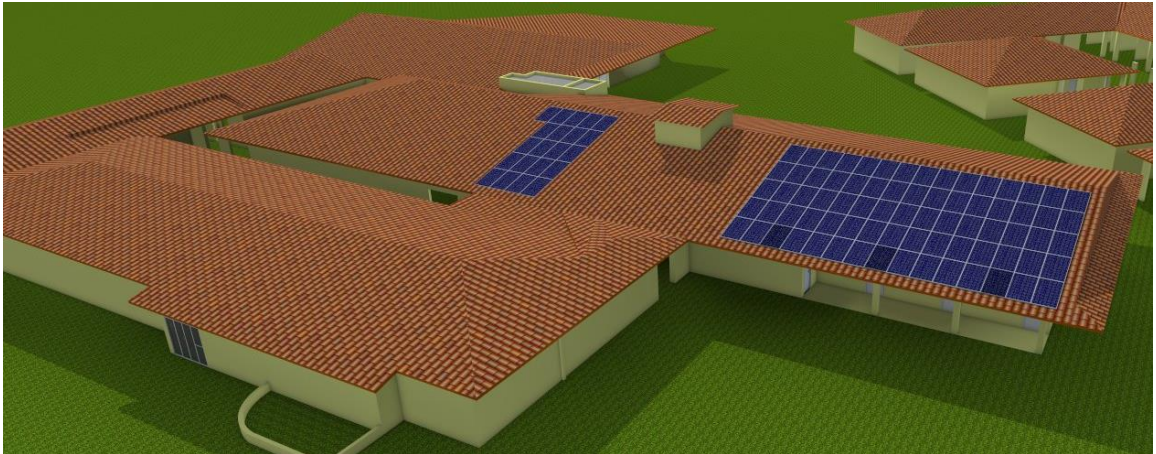
Figura 21 - Caso 2 no mês de Setembro às 15h30min



FONTE: O próprio autor

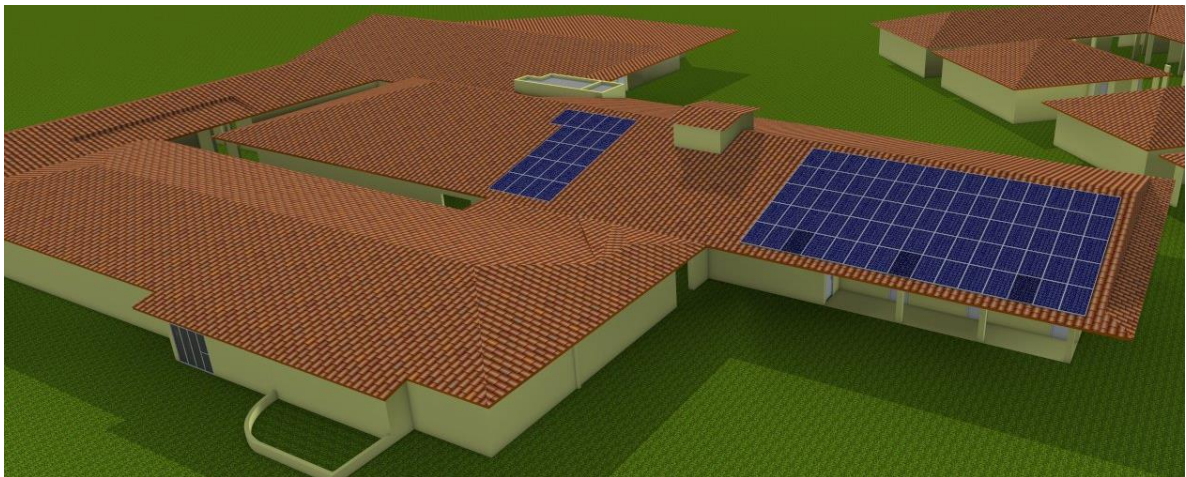
O caso 3 possui 96 painéis, é a menor quantidade de painéis FV dentre os três casos estudados. Por isso, para esse caso só serão expostas as imagens referentes ao horário com mais sombra, apenas para comprovar que não vai atingir os painéis FV.

Figura 22 - Caso 3 no mês de Março às 15h30min



FONTE: O próprio autor

Figura 23- Caso 3 no mês de Setembro às 15h30min



FONTE: O próprio autor

É possível ver com a modelagem realizada que os casos 2 e 3 ficaram melhor dispostos no telhado e não foram atingidos pelo sombreamento.

## 5. ANÁLISE FINANCEIRA

O RETScreen, *software* responsável por fazer a análise financeira, é uma ferramenta muito utilizada para análise de projetos de energia limpa. Criado no Canadá e baseado no Excel, o RETScreen auxilia os tomadores de decisão do setor a determinar viabilidade técnica e financeira da implementação de projetos de energia renovável.

Para realizar a análise financeira, é necessário entrar com alguns dados no RETScreen. As etapas são separadas em abas e estão descritas nos parágrafos seguintes.

- **Aba Iniciar:**

Opções escolhidas para esse projeto são: produção de eletricidade, tecnologia FV e rede central (significa que o sistema está conectado a rede), e a localização Fortaleza – CE. A figura 24 ilustra os dados iniciais do RETScreen.

Figura 24 - Informações iniciais sobre o projeto

Informação sobre o projeto		<a href="#">Veja banco de Dados do projeto</a>
Nome do Projeto	Sistema Fotovoltaico IPREDE - Caso 1	
Localização do Projeto	Fortaleza - Ce	
Preparado para	IPREDE	
Preparado por	Ana Carolina de Alencar	
Tipo de projeto	Produção de eletricidade	
Tecnologia	Fotovoltaica	
Tipo de grid	Rede Central	
Tipo de análise	Método 2	
Poder calorífico de referência	Poder calorífico superior (PCS)	
Ver parâmetros	<input checked="" type="checkbox"/>	
Idioma	Portuguese - Português	
Manual do usuário	English - Anglais	
Moeda	Brasil	
Unidades	Unidades métricas	
Condições de Referência do site		<a href="#">Selecionar local de dados climáticos</a>
Localização dos dados climáticos	Fortaleza	
Mostrar dado	<input checked="" type="checkbox"/>	

FONTE: O próprio autor

Após definir a localização do projeto, o RETScreen exibe uma tabela com alguns

dados climáticos para a realização da análise. A figura 25 mostra os dados climático fornecidos pelo RETScreen.

Figura 25 - Dados climáticos

	Unidade	Localização dos dados climáticos		Localização do Projeto	
Latitude	°N	-3,8	-3,8	-3,8	-3,8
Longitude	°E	-38,6	-38,6	-38,6	-38,6
Elevação	m	26	26	26	26
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	23,1			
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	32,1			
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	4,6			

Mês	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia mensal p/ aquecimento	Refrigeração graus-dias
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Janeiro	27,3	78,0%	5,33	101,2	3,7	27,8	0	536
Fevereiro	26,7	79,0%	5,14	101,2	3,1	27,9	0	468
Março	26,3	84,0%	4,67	101,2	2,6	27,9	0	505
Abril	26,5	85,0%	4,53	101,2	2,9	27,9	0	495
Mai	26,3	82,0%	5,03	101,3	3,7	27,7	0	505
Junho	25,9	80,0%	5,00	101,4	5,1	27,3	0	477
Julho	25,7	80,0%	5,69	101,5	5,6	27,3	0	487
Agosto	26,1	75,0%	6,19	101,5	6,3	28,1	0	499
Setembro	26,6	74,0%	6,25	101,4	6,7	28,4	0	498
Outubro	27,0	73,0%	6,47	101,3	6,3	28,8	0	527
Novembro	27,2	74,0%	6,36	101,2	5,8	28,7	0	516
Dezembro	27,3	76,0%	6,06	101,2	4,6	28,3	0	536
Anual	26,6	78,3%	5,56	101,3	4,7	28,0	0	6.050
Medido a	m				10,0	0,0		

FONTE: O próprio autor

- **Aba Modelo Energético:**

Para esse projeto é usado sistema de posicionamento solar fixo, é determinada uma inclinação, ângulo entre o módulo FV e a horizontal, de 15° para o sistema. Esta é a inclinação que em geral maximiza a radiação solar no plano da matriz FV no inverno. O azimute para esse sistema é de 180°.

Também é necessário entrar com o preço de eletricidade exportada, que é a tarifa fora-ponta que se encontra na conta de energia, para esse caso o RETScreen fez a média das tarifas mensais e obteve o preço médio foi de R\$403,78 por MWh. A tarifa fora-ponta é relativa ao consumo de energia elétrica fora do intervalo de 17h30 as 20h30 (horário de ponta). Para esse estudo não é usado a tarifa de ponta, pois ela está relacionada a um horário que não é gerada energia elétrica pelos painéis FV. A figura 26 mostra detalhes do sistema de eletricidade do caso proposto.



Figura 26 - Sistema de Eletricidade do caso proposto

Sistema de eletricidade do caso proposto				
Tecnologia	Fotovoltaica			
Tipo de análise	<input type="radio"/> Método 1 <input checked="" type="radio"/> Método 2			
<b>Avaliação de recursos</b>				
Sistema de posicionamento solar	Fixo			
Inclinação	15,0			
Azimet	180,0			
<input checked="" type="checkbox"/> Mostrar dado				
Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiação solar diária - inclinada kWh/m <sup>2</sup> /d	Preço eletricidade exportada BRL/MWh	Eletricidade exportada p/ rede MWh
Janeiro	5,33	4,84	379,0	6,126
Fevereiro	5,14	4,84	369,0	5,563
Março	4,67	4,57	402,4	5,865
Abril	4,53	4,61	407,9	5,706
Mai	5,03	5,35	403,3	6,787
Junho	5,00	5,44	390,6	6,678
Julho	5,69	6,19	404,0	7,797
Agosto	6,19	6,50	413,3	8,145
Setembro	6,25	6,22	423,6	7,570
Outubro	6,47	6,11	416,4	7,664
Novembro	6,36	5,75	410,8	6,966
Dezembro	6,06	5,38	410,6	6,753
<b>Anual</b>	<b>5,56</b>	<b>5,49</b>	<b>403,78</b>	<b>81,621</b>
Radiação Solar anual - horizontal	MWh/m <sup>2</sup>	2,03		
Radiação Solar anual - inclinado	MWh/m <sup>2</sup>	2,00		

FONTE: O próprio autor

Ainda nessa aba é necessário fornecer a potência do sistema FV e quantidade de painéis para cada caso de acordo com o dimensionamento realizado no capítulo 3. Para o caso 1 foi dimensionado 287 painéis. A potência de inversores usada nesse sistema é de 78 kW como mostra os cálculos do tópico 3. A figura 27 ilustra os dados do sistema FV para o caso 1.

Figura 27 - Dados Sistema FV pelo RETScreen CASO 1

<b>Fotovoltaica</b>		
Tipo		poly-Si
Potência elétrica	kW	71,75
Fabricante		Yingli Solar
Modelo		poly-Si - YL250P-32b
Eficiência	%	14,0%
Temperatura de operação normal da célula	°C	45
Coefficiente de Temperatura	% / °C	0,40%
Área do coletor solar	m <sup>2</sup>	514
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Inversor</b>		
Eficiência	%	97,8%
Capacidade	kW	78,0
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Resumo</b>		
Fator de Utilização	%	19,5%
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	122,645

FONTE: O próprio autor

Para os casos 2 e 3, há uma mudança em alguns dados como mostrado nas figuras 28 e 29:

Figura 28 - Dados Sistema FV pelo RETScreen CASO 2

<b>Fotovoltaica</b>		
Tipo		poly-Si
Potência elétrica	kW	47,75
Fabricante		Yingli Solar
Modelo		poly-Si - YL250P-32b
Eficiência	%	14,0%
Temperatura de operação normal da célula	°C	45
Coefficiente de Temperatura	% / °C	0,40%
Área do coletor solar	m <sup>2</sup>	341
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Inversor</b>		
Eficiência	%	97,8%
Capacidade	kW	52,0
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Resumo</b>		
Fator de Utilização	%	19,5%
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	81,621

FONTE: O próprio autor

Figura 29 - Dados Sistema FV pelo RETScreen CASO 3

<b>Fotovoltaica</b>		
Tipo		poly-Si
Potência elétrica	kW	24,00
Fabricante		Yingli Solar
Modelo		poly-Si - YL250P-32b
Eficiência	%	14,0%
Temperatura de operação normal da célula	°C	45
Coefficiente de Temperatura	% / °C	0,40%
Área do coletor solar	m <sup>2</sup>	172
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Inversor</b>		
Eficiência	%	97,8%
Capacidade	kW	26,0
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Resumo</b>		
Fator de Utilização	%	19,5%
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	41,024

FONTE: O próprio autor

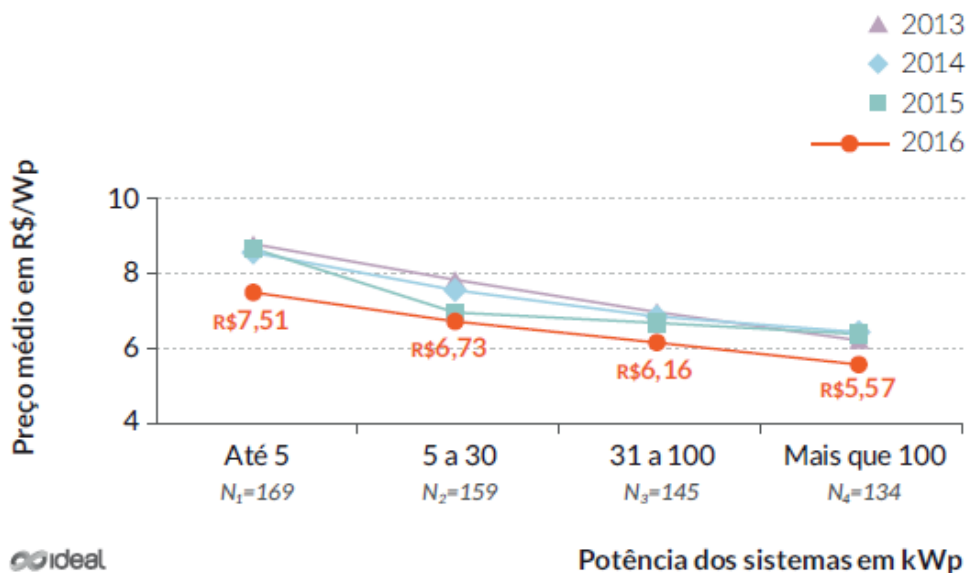
Após entrar com os dados, o RETScreen fornece a área que o sistema FV vai ocupar, o fator de utilização que é equivalente ao fator de capacidade citado no capítulo 3 e a eletricidade exportada para a rede. Esses valores estão compatíveis com os valores

encontrados no dimensionamento feito no início do estudo de caso.

- **Aba Análise de Custos:**

É necessário entrar com os valores gastos nas etapas de todo o projeto. O preço usado foi baseado no gráfico 3. Esses valores foram encontrados após uma pesquisa de mercado entre várias empresas instaladoras do setor. O preço de kWp mostrado no gráfico 3 inclui painéis, inversores, cabos, estruturas metálicas, mão de obra, manutenção e tudo que é necessário para se montar um sistema FV. O valor usado foi referente ao ano de 2016.

Gráfico 3 – Custo de sistemas FV por faixa de potência



FONTE: Instituto Ideal

A figura 30 mostra detalhes da aba de análise de custos.

Figura 30 - Aba Análise de Custos

## Análise de Custos RETScreen - Projeto produção de Eletricidade

Opções						
<input checked="" type="radio"/> Método 1	<input checked="" type="radio"/> Notas/faixa					
<input type="radio"/> Método 2	<input type="radio"/> Segunda moeda		Notas/faixa			Nenhum
	<input type="radio"/> Alocação de custo					
Custos iniciais (créditos)						
	Unidade	Quantidade	Custo unitário		Quantidade	Custos relativos
<b>Estudo de viabilidade</b>						
Estudo de viabilidade	custo	0	BRL -		BRL -	
Subtotal					BRL -	0,0%
<b>Desenvolvimento</b>						
Desenvolvimento	custo	0	BRL -		BRL -	
Subtotal					BRL -	0,0%
<b>Engenharia</b>						
Engenharia	custo	0	BRL -		BRL -	
Subtotal					BRL -	0,0%
<b>Sistema de produção de eletricidade</b>						
Fotovoltaica	kW	71,75	BRL 6.160		BRL 441.980	
Construção de estrada	km	0	BRL -		BRL -	
Linha de Transmissão	km	0	BRL -		BRL -	
Subestação	projeto	0	BRL -		BRL -	
Ações de Eficiência energética	projeto	0	BRL -		BRL -	
Definido pelo usuário	custo				BRL -	
Subtotal					BRL 441.980	100,0%
<b>Balanco do sistema e misc.</b>						
Peças de reposição	%				BRL -	
Transporte	projeto				BRL -	
Treinamento & Comissionamento	p-d				BRL -	
Definido pelo usuário	custo				BRL -	
Contingências	%		BRL 441.980		BRL -	
Juros durante a construção			BRL 441.980		BRL -	
Subtotal					BRL -	0,0%
<b>Total de custos de investimento</b>						
					BRL 441.980	100,0%

FONTE: O próprio autor

Como o valor do kWp inclui todos os processos e materiais necessários para a instalação do sistema FV não é necessário entrar com mais valores na planilha. Para o caso 1 e 2 o kWp custa R\$ 6160,00 e para o caso 3 o kWp custa R\$ 6730,00 de acordo com o gráfico 3. Os casos 1, 2 e 3 possuem um custo total de R\$ 441.980,00, R\$ 294.140,00 e R\$ 161.520,00, respectivamente.

- Aba Análise Financeira:**

Nessa aba o sistema é avaliado de acordo com algumas taxas. A taxa de inflação usada é a média das taxas no intervalo de 10 anos equivalente a 6,2 % a.a. (IBGE,2017)

A taxa de desconto, que pode ser definida como a porcentagem de retorno do valor investido é de 11% a.a. (NAKABAYASHI, 2014), pois é equivalente a taxa de juros para títulos públicos.

A vida útil do projeto varia de acordo com cada fabricante, mas em média é usado um período de 25 anos. A figura 31 mostra os parâmetros financeiros.

Figura 31 - Parâmetros Financeiros

**Análise Financeira RETScreen -Projeto produção de Eletricidade**

<b>Parâmetros financeiros</b>			
<b>Geral</b>			
Reajuste do custo do combustível	%		0,0%
Taxa de inflação	%		6,2%
Taxa de desconto	%		11,0%
Vida do projeto	ano		25

FONTE: O próprio autor

A figura 32 mostra os dados de receita anual necessários para a análise financeira.

Figura 32 - Dados RETScreen, Receita Anual

<b>Receita anual</b>			
<b>Receita com eletricidade exportada</b>			
Eletricidade exportada p/ rede	MWh		123
Preço eletricidade exportada	BRL/MWh		403,78
Receita com eletricidade exportada	BRL		49.521
Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada	%		16,5%

FONTE: O próprio autor

Os casos 1 (tabela 6 e gráfico 4) e 2 (tabela 7 e gráfico 5) do projeto apresentam:

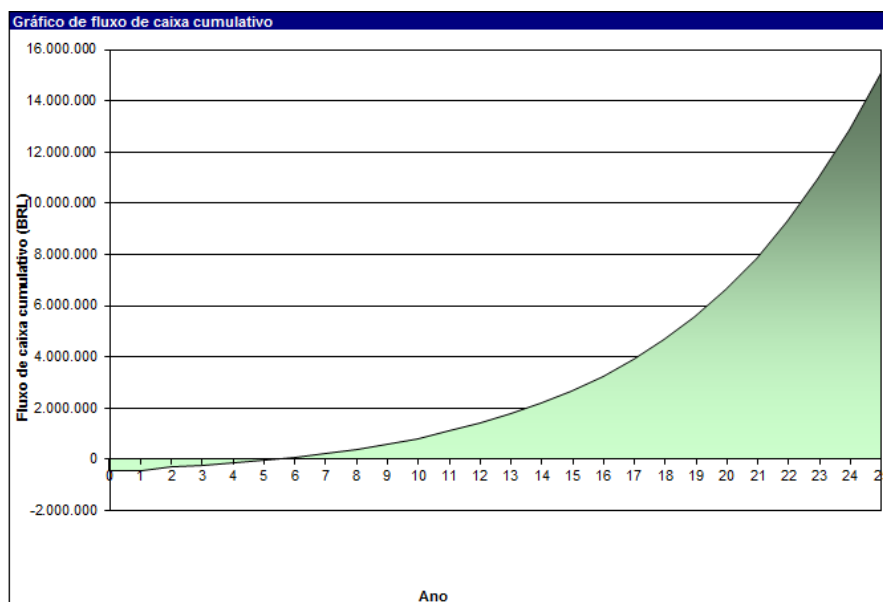
- Uma taxa interna de retorno (TIR) de 28,4% a.a. A TIR simboliza a taxa de juros para qual o valor presente das entradas de caixa resultante do projeto iguala o valor presente dos gastos do projeto, sendo uma medida bastante utilizada no orçamento de capital;
- Payback (retorno simples) de 8,9 anos com fluxo de caixa positivo (retorno do capital próprio) a partir de 5,3 anos, uma razão custo benefício de 5,58;
- Valor Presente Líquido (VPL) positivo de R\$ 2.023.285 e R\$ 1.346.507, respectivamente. O valor presente líquido é o conjunto das suas projeções de fluxo de caixa futuros trazidos para valor presente. Uma vez que o dinheiro tem valor no tempo, deve-se descontar uma taxa sobre esses fluxos.

Tabela 6 - Viabilidade Financeira Caso 1

<b>TIR antes impostos-capital próprio</b>	%	28,4%
<b>TIR antes impostos - ativos</b>	%	28,4%
<b>TIR após impostos - capital</b>	%	28,4%
<b>TIR após impostos - ativos</b>	%	28,4%
<b>Retorno simples</b>	ano	8,9
<b>Retorno do capital próprio</b>	ano	5,3
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	BRL	2.023.285
<b>Economia anual no ciclo de vida</b>	BRL/an	240.245
<b>Razão custo benefício (C-B)</b>		5,58
<b>Custo da Geração de energia</b>	BRL/MWh	72,39
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	49.521

FONTE: O próprio autor

Gráfico 4 - Fluxo de Caixa Cumulativo (Caso 1)



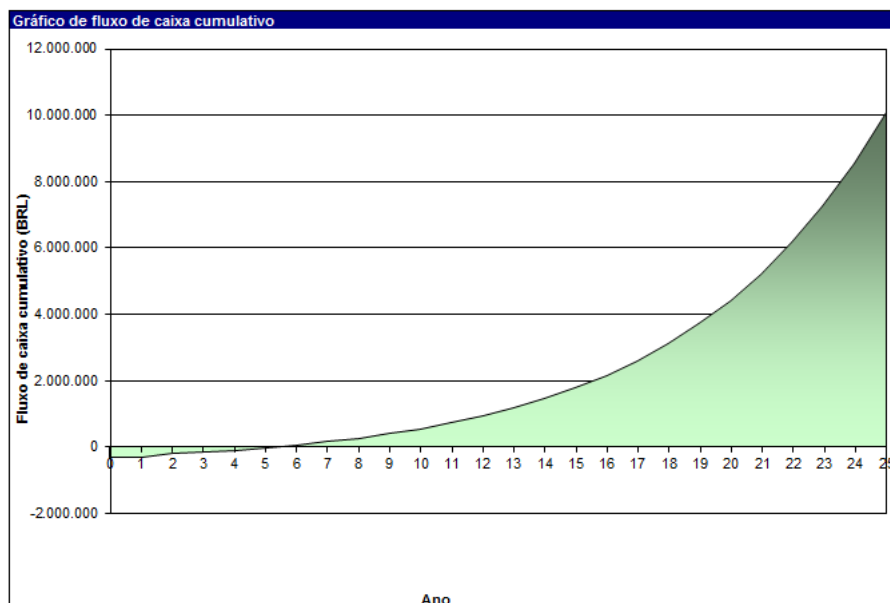
FONTE: O próprio autor

Tabela 7 - Viabilidade Financeira Caso 2

<b>TIR antes impostos-capital próprio</b>	%	28,4%
<b>TIR antes impostos - ativos</b>	%	28,4%
<b>TIR após impostos - capital</b>	%	28,4%
<b>TIR após impostos - ativos</b>	%	28,4%
<b>Retorno simples</b>	ano	8,9
<b>Retorno do capital próprio</b>	ano	5,3
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	BRL	1.346.507
<b>Economia anual no ciclo de vida</b>	BRL/an	159.885
<b>Razão custo benefício (C-B)</b>		5,58
<b>Custo da Geração de energia</b>	BRL/MWh	72,39
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	32.957

FONTE: O próprio autor

Gráfico 5 - Fluxo de Caixa Cumulativo (Caso 2)



FONTE: O próprio autor

Para o caso 3 (tabela 8 e gráfico 6), a análise financeira apresentou os seguintes indicadores:

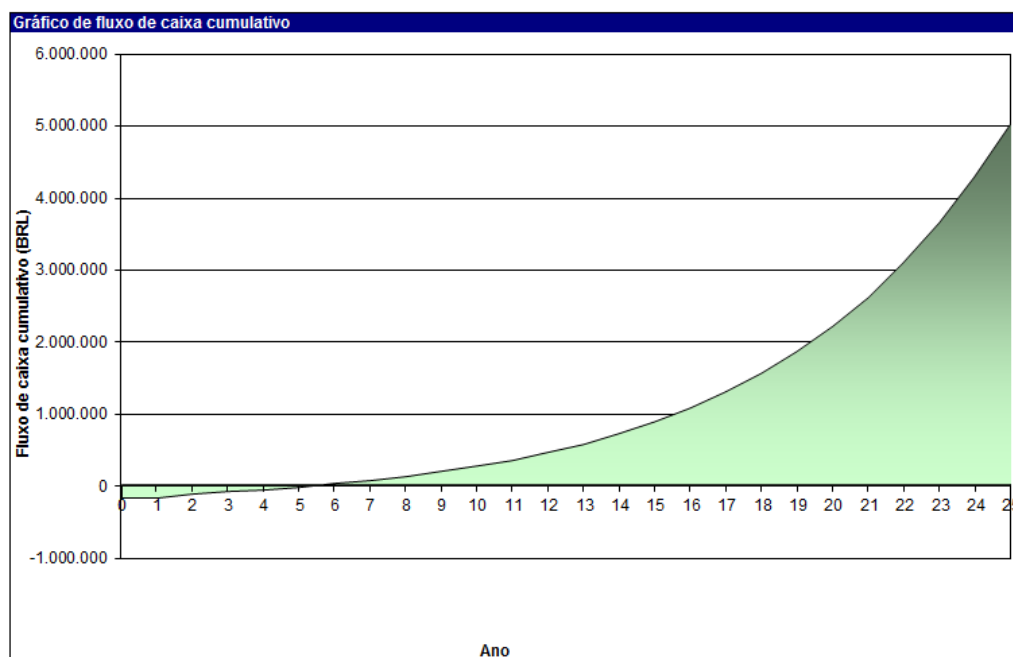
- TIR de 27,1% a.a.,
- Payback de 9,8 anos com fluxo de caixa positivo a partir de 5,7 anos, uma razão custo benefício de 5,11;
- VPL positivo de R\$ 663.098.

Tabela 8 - Viabilidade Financeira Caso 3

<b>TIR antes impostos-capital próprio</b>	%	27,1%
<b>TIR antes impostos - ativos</b>	%	27,1%
<b>TIR após impostos - capital</b>	%	27,1%
<b>TIR após impostos - ativos</b>	%	27,1%
<b>Retorno simples</b>	ano	9,8
<b>Retorno do capital próprio</b>	ano	5,7
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	BRL	663.098
<b>Economia anual no ciclo de vida</b>	BRL/an	78.736
<b>Razão custo benefício (C-B)</b>		5,11
<b>Custo da Geração de energia</b>	BRL/MWh	79,09
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	16.565

FONTE: O próprio autor

Gráfico 6- Fluxo de Caixa Cumulativo (Caso 3)



FONTE: O próprio autor

A diferença dos indicadores entre o caso 3 e os casos 1 e 2 é consequência dos maiores custos envolvidos no investimento inicial do caso 3, dado pela diferença do valor dos kits FV para faixa de potência adotada conforme apontado pelo gráfico 3.



## 6. CONCLUSÕES

Com o uso do *software* RETScreen, uma ferramenta didática e de fácil uso, foi possível fazer a análise financeira e ver que os resultados obtidos apontam a viabilidade do projeto para os três casos pois a TIR é maior do que a taxa mínima de atratividade, o VPL é positivo e a razão custo benefício é maior do que 1. Assim, outros aspectos devem ser levados em consideração para definição do modelo a ser adotado. Avaliando os três casos, verifica-se que os casos 1 e 2 apresentam menor tempo de retorno do investimento e melhor razão custo benefício do que o caso 3. Tendo em vista que os casos 1 e 2 apresentam a mesma viabilidade financeira, o valor do investimento inicial e os aspectos técnicos (sombreamento, layout dos módulos e outros) devem ser considerados na decisão de qual caso será adotado com solução para o empreendimento.

O *software* SketchUp possibilitou a realização da modelagem do prédio em estudo para ser realizada a análise de sombreamento. Os resultados obtidos nessa análise mostram que os casos 1 e 2 ocupam uma área aproximada de 514 m<sup>2</sup> e 341 m<sup>2</sup>, respectivamente. Na simulação feita observando o sombreamento no local é possível ver que o caso 1 ocupa áreas sombreadas o que ocasiona uma redução da eficiência do sistema. Assim, é possível concluir que o caso 2 é a melhor opção de acordo com aspectos financeiros e técnicos.

A eficiência da metodologia usada é comprovada ao final do estudo, pois com a junção dos resultados obtidos pelo RETScreen e SketchUp é possível definir o caso mais eficiente para o IPREDE.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2016. 34 p.

ÁVILA, Rafael. **3 Indicadores de viabilidade essenciais para seu novo negócio dar certo**. Disponível em: <<https://blog.luz.vc/o-que-e/3-indicadores-de-viabilidade-essenciais-para-seu-novo-negocio-dar-certo/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. **Dimensionamento de planta FV conectada à rede elétrica**. Fortaleza: UFC, 2017. 18 slides, color.

ENERGIA FOTOVOLTAICA: MANUAL SOBRE TECNOLOGIAS, PROJECTO E INSTALAÇÃO. MANUAL SOBRE TECNOLOGIAS, PROJECTO E INSTALAÇÃO. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2004. 368 p.

LISITA JÚNIOR, Orlando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso - 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP**. 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MEYER, Rodolfo; MORAES NETO, Siqueira de. **Energia Solar Fotovoltaica: a revolução energética já começou no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-a-revolucao-energetica-ja-comecou-no-brasil.html>>. Acesso em: 16 out. 2017.

NOVA ELETRÔNICA. **Painéis Solares: Efeito Sombra ou Sombreado**. Disponível em: <<http://blog.novaeletronica.com.br/paineis-solares-efeito-sombra-ou-sombreado/>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

PHB SOLAR. **Catálogo Inversor Monofásico**. Disponível em: <<http://www.energiasolarphb.com.br/tutoriais.php/#downloads>>. Acesso em: 09 nov. 2017.

PORTAL SOLAR. **O INVERSOR SOLAR: O INVERSOR SOLAR**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>. Acesso em: 08 nov. 2017.