



**Maykon Willian Tura**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NA  
FACULDADE HORIZONTALINA**

**Horizontalina - RS  
2018**

**Maykon Willian Tura**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NA  
FACULDADE HORIZONTINA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Jonathan Felipe Camargo, Me. Eng.

**Horizontina - RS  
2018**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**"VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NA  
FACULDADE HORIZONTALINA"**

**Elaborada por:**

**Maykon Willian Tura**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 03/12/2018  
Pela Comissão Examinadora



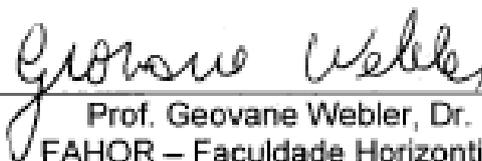
---

Prof. Jonathan Felipe Camargo, Me. Eng.  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



---

Prof. Cassia Bordim Santi, Me.  
FAHOR – Faculdade Horizontina



---

Prof. Geovane Weblar, Dr.  
FAHOR – Faculdade Horizontina



## **AGRADECIMENTO**

Dedico este trabalho ao mundo inteiro, assim como farei na minha carreira, comprometendo-me em usar os conhecimentos adquiridos, para contribuir para a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

## **EPÍGRAFE**

“Só existem dois dias no ano que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e principalmente viver.”

Dalai Lama

## RESUMO

Devido ao crescer da popularidade dos sistemas fotovoltaicos por conta do aumento de sua utilização e seguindo a linha de sustentabilidade já inserida na construção do novo Centro Administrativo da FAHOR, viu-se a possibilidade de realizar um estudo de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos na faculdade. Para a realização do estudo, verificou-se o consumo de energia para ser suprido taxas e encargos reais de investimentos. Simulou-se 8 cenários usando sistemas com diferentes potências em conjunto com o sistema de bandeiras tarifárias regulamentado pela ANEEL. Usando de métodos de cálculos de engenharia econômica, como o *Payback*, *Payback* Descontado, TIR e VPL que são ferramentas que indicam o tempo de retorno, atratividade e lucro do investimento. Também utilizou-se o método de medição de custo de geração de energia LCOE. A partir destes destas análises, verificou-se que todos os cenários obtiveram valores viáveis para a realização do investimento. A solução mais atrativa teve uma TIR de 1,26% e um VPL de R\$59.180,29.

**Palavras-chave:** Energia Renovável. Sistemas Fotovoltaicos. Engenharia Econômica.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Média anual de radiação solar no Brasil .....	19
Figura 2 - Mapa de irradiação solar no mundo.....	19
Figura 3 - Evolução da Capacidade Instalada de Energia Solar Fotovoltaica .....	20
Figura 4 - Funcionamento de um sistema de energia Solar Fotovoltaico Off-Grid ....	25
Figura 5 - Componentes de um Sistema Fotovoltaico Isolado .....	33
Figura 6 - Exemplo de Sistema Gerador de Energia Híbrido .....	35
Figura 7 - Componentes de um Sistema Fotovoltaico conectado à rede .....	36
Figura 8 - Critério de estudo de engenharia econômico.....	38
Figura 9 - TIR e TMA.....	40
Figura 10 - Centro Administrativo Campus FAHOR .....	44
Figura 11 - Consumo de Energia – Centro Administrativo FAHOR.....	46
Figura 12 - Infiltração solar no Centro Administrativo da FAHOR .....	47
Figura 13 - Cobertura do Centro Administrativo FAHOR .....	50
Figura 14 - Centro Administrativo da FAHOR – imagem de satélite .....	51
Figura 15 - Relação VPL e LCOE .....	61
Figura 16 - Taxa Interna de Retorno por Equipamento .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronologia da evolução da energia fotovoltaica.....	27
Tabela 2 - Comparativo entre vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaicos .....	32
Tabela 3 – Exemplo de Representação <i>Payback</i> Descontado em Fluxo de Caixa...	42
Tabela 4 - Dados climáticos .....	45
Tabela 5 - Histórico de reajustes de tarifa de energia elétrica .....	48
Tabela 6 - Histórico do valor da tarifa de energia elétrica sem tributos pagos pela FAHOR.....	48
Tabela 7 - Sistema de Bandeiras Tarifárias .....	49
Tabela 8 - Ficha Técnica dos Sistemas Fotovoltaicos .....	52
Tabela 9 - Frequência e Custo de Manutenção .....	53
Tabela 10 - Caderneta de Poupança no Brasil - Percentual acumulado.....	54
Tabela 11 - Histórico e meta da inflação no Brasil .....	55
Tabela 12 - Resultados obtidos sob a bandeira verde .....	57
Tabela 13 - Resultados obtidos sob a bandeira amarela .....	57
Tabela 14 - Resultados obtidos sob a bandeira vermelha patamar 1 .....	58
Tabela 15 - Resultados obtidos sob a bandeira vermelha patamar 2 .....	59
Tabela 16 - Valor de LCOE para cada sistema fotovoltaico.....	59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	TEMA	12
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.4	HIPÓTESES	13
1.5	JUSTIFICATIVA	13
1.6	OBJETIVOS	14
1.6.1	Objetivo Geral	14
1.6.2	Objetivos Específicos	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	15
2.2	ENERGIA SOLAR	16
2.2.1	Instrumentos Solarimétricos	21
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E SUAS APLICAÇÕES	22
2.3.1	História e evolução dos sistemas fotovoltaicos	26
2.3.2	Vantagens e Desvantagens	28
2.3.2.1	Benefícios	29
2.3.2.2	Obstáculos e dificuldades	29
2.3.2.3	Perspectiva de mercado	30
2.3.3	Tipos de Sistemas fotovoltaicos	31
2.3.3.1	Sistemas Isolados ( <i>Off Grid</i> )	32
2.3.3.2	Sistemas Conectados à Rede ( <i>On Grid ou Grid Tie</i> )	35
2.4	ENGENHARIA ECONÔMICA	37
2.4.1	Análise de Investimento	37
2.4.2	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	38
2.4.3	Método do Valor Presente Líquido (VPL)	39
2.4.4	Método da Taxa Interna do Retorno (TIR)	40
2.4.5	Método do Payback Simples (PBS)	40
2.4.6	Método do Payback Descontado (PBD)	41
2.4.7	The Levelized Cost of Energy	42
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>44</b>
3.1	DADOS GEOGRÁFICOS	44
3.2	CONSUMO DE ENERGIA	45
3.3	TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA	48
3.4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	50

3.5	TAXA DE JUROS DO INVESTIMENTO E INFLAÇÃO .....	53
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
4.1	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	56
4.2	LCOE .....	59
4.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO A – DADOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE HORIZONTINA .....</b>	<b>68</b>
	<b>ANEXO B – IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA HORIZONTAL EM HORIZONTINA....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Quando fala-se em produção de energia solar, não entende-se apenas como uma deficiência brasileira, mas também global. Em 2050, segundo a *Annual Energy Outlook 2018* (AEO), a geração de energia através de sistemas fotovoltaicos dos Estados Unidos da América, conseguirá alcançar apenas 14% do total de energia gerada no país. Já no Brasil, a estimativa para 2050 segundo o site do Ministério de Minas e Energia (MME), é de que apenas 13% da demanda residencial será suprida pela geração fotovoltaica. Isso significa que até as grandes potências mundiais não possuem esse setor de atuação consolidado, abrindo espaço para um mercado e ramo de atuação gigantesco para o futuro.

A Faculdade Horizontina (FAHOR), no dia 24 de outubro de 2017, inaugurou seu novo Centro Administrativo, para acomodar sua secretaria, coordenações e demais departamentos da instituição. Este prédio, juntamente com os outros, são alimentados com energia do concessionário e um gerador de motor ciclo diesel para horários de pico de demanda.

Devido ao crescer da popularidade dos sistemas fotovoltaicos por conta do aumento de sua utilização e seguindo a linha de sustentabilidade já inserida na construção do novo prédio, viu-se a possibilidade de realizar um estudo de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos na faculdade.

### 1.1 TEMA

Realizar um estudo de viabilidade econômica para a implementação e uso de sistemas de captação de energia solar na Faculdade Horizontina, através de sistemas fotovoltaicos eficientes e economicamente compatíveis com a instituição.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A delimitação do presente estudo reside nos aspectos econômicos dos sistemas fotovoltaicos. O estudo de viabilidade econômica de captar energia solar, será realizado através da coleta de dados, geração de informações, utilização de históricos de consumo e taxa de juros e a análise dos resultados encontrados.

Serão utilizados métodos de cálculos de engenharia econômica, como o *Payback*, *Payback* Descontado, TIR, VPL e LCOE que são ferramentas que indicam o tempo de retorno, atratividade, lucro do investimento e custo da energia.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Dentre os diversos ramos de geração de energia, os sistemas fotovoltaicos destacam-se por ser uma energia totalmente limpa.

Atualmente a FAHOR é abastecida por uma concessionária de energia, tendo como suporte para horário de ponta, um gerador movido à diesel. Este é utilizado por conta da alta tarifa de energia cobrada durante o período do dia em que as cidades mais demandam de energia.

Entendendo o cenário atual, precisa-se saber: Qual é a viabilidade econômica, da instalação de um sistema de captação de energia solar?

### 1.4 HIPÓTESES

Analisar a viabilidade econômica da utilização de um sistema de captação de energia solar, utilizando sistemas fotovoltaicos, contribuindo para uma diminuição significativa no consumo de energia proveniente do concessionário e consequentemente nos custos de operação da faculdade.

### 1.5 JUSTIFICATIVA

A energia solar fotovoltaica, a cada ano que passa, vem ganhando mais espaço no cenário energético brasileiro. O Brasil tem um potencial energético solar aproximado de 2500MW, muito superior se comparado a maioria dos países do primeiro mundo, cujo parte deles possuem maior afastamento com a linha do Equador e menores taxa de irradiação solar. Devido a isso são inúmeras as possibilidades de aproveitamento da energia proveniente do Sol (FARRET, 2014).

Além de ser uma forma limpa de gerar energia, o aproveitamento da energia solar, tem um custo de manutenção muito baixo e não gera ruídos, quando comparada aos demais métodos de geração de energia (LACCHINI, 2017).

A utilização de um sistema de captação de energia em uma faculdade, não só traria redução no consumo de energia do concessionário, mas também poderia instigar estudos futuros neste assunto, incentivando os acadêmicos a otimizar e criar novos sistemas e métodos.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste projeto é analisar a viabilidade econômica de sistemas de captação de energia solar através de módulos fotovoltaicos, utilizando métodos de cálculos de engenharia econômica.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

Complementando o objetivo geral pode-se elencar os seguintes objetivos específicos para a realização do estudo:

- Coletar dados de consumo de energia da faculdade
- Dimensionar o sistema fotovoltaico
- Calcular o custo do investimento total para a execução
- Analisar o tempo de retorno do investimento
- Avaliar os resultados obtidos

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Nos dias atuais, a energia elétrica é imprescindível para o bem estar e para a realização de atividades, além de ser fundamental para o funcionamento de empresas e indústrias, que geram riquezas e empregos. Com os avanços tecnológicos e a modernização de indústrias e da sociedade, tornou-se necessário identificar novos métodos de geração energia que permitam garantir a sustentabilidade, reduzindo a poluição, utilizando energias renováveis e que possam ter um custo-benefício positivo à sociedade.

Não imagina-se vida humana sem energia elétrica, as pessoas não se adaptariam facilmente. Junto com a eletricidade, surgiu também a tecnologia, a engenharia e um dos mais importantes recursos da ciência, as pesquisas. Com isso surgiu imensas alternativas de produção de energia elétrica.

O referencial teórico do presente estudo traz quatro diferentes abordagens. A primeira explana a matriz energética brasileira, a segunda fala de energia solar de maneira geral, a terceira se atém aos sistemas fotovoltaicos de forma mais específica, enquanto a quarta refere-se à engenharia econômica.

### 2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Com uma infinidade de recursos naturais, o Brasil, ao contrário de muitos outros países do Primeiro Mundo, possui uma matriz energética diversificada. De acordo com o Plano Nacional de Energia, publicado pelo Ministério de Minas e Energia, intitula a matriz energética brasileira, como a mais renovável do mundo industrializado, isto justifica-se pela parcela de 45,3% da produção de energia, provenientes de fontes como recursos hídricos, etanol, biomassa, seguidos de eólica e solar, não menos importantes, porém com menor participação. Mundialmente este número cai para 13% apenas. Os recursos hídricos, são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade, ou seja a base da produção de eletricidade, é renovável e hídrica. (MME, 2007).

Por outro lado, o crescimento acelerado da demanda de energia, exige que o país continue aumentando e consolidando seus métodos de geração, para assegurar o suprimento da população. (MME, 2007).

Em relação à hidroeletricidade, o Brasil tem o segundo maior potencial do mundo, perdendo apenas para o Canadá. O sistema de energia de origem hídrica desempenhou um importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país (ANEEL, 2005).

Tratando-se de biomassa, o Brasil é líder mundial nas aplicações industriais de energia da biomassa e tem um dos maiores potenciais ainda a ser explorado do mundo. O país tem as maiores reservas naturais de florestas, das quais uma enorme quantidade poderia ser explorada de maneira sustentável (ESPARTA, 2004).

Já a energia eólica possui 22 MW de potência instalada e forte crescimento previsto nos próximos anos com 1.110 MW previstos pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia, PROINFA (MME, 2004). O maior potencial localiza-se no Nordeste, coincidentemente a região mais pobre em outros potenciais energéticos do país.

## 2.2 ENERGIA SOLAR

O Sol é a maior e principal fonte de energia para a Terra e responsável pela vida no nosso planeta. Além disso, sua radiação é uma fonte natural e inesgotável e que possui elevado potencial de exploração para diversas finalidades. A energia do Sol chega ao nosso planeta através de calor e luz. Assim como recebe-se essa energia, o seu aproveitamento, no ponto de vista de engenharia, também pode ser processado de duas maneiras. Existe a componente térmica, proveniente do calor e a componente luminosa proveniente da luz. A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão da luz solar em eletricidade, dando origem ao Efeito Fotovoltaico. Este processo é intermediado através da célula fotovoltaica, construída com um material semicondutor, o principal responsável por esse processo de transformação, (Galdino; Pinho, 2014). Esse material semicondutor tão importante nesse processo, é o silício, sendo responsável por mais de 95% da produção mundial de painéis solares, segundo JARDIM (2007).

Segundo a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2005), o aproveitamento da energia solar pode ser realizado diretamente para iluminação, aquecimento de fluidos e ambientes ou ainda para geração de potência mecânica ou elétrica, como fonte de energia térmica. A energia solar pode ainda ser convertida

diretamente em energia elétrica por meio de efeitos sobre materiais, dentre os quais o termoelétrico e fotovoltaico.

O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Dessa forma, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção (NASCIMENTO, 2017).

Ainda conforme Nascimento (2017), a utilização da fonte solar para aquecimento de fluidos realiza-se com coletores ou concentradores solares, sendo os coletores utilizados para aquecimento de água, em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes).

A conversão direta da energia solar em energia elétrica, principal foco deste estudo, resulta dos efeitos da radiação sobre determinados materiais semicondutores, sobressaindo-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O efeito termoelétrico caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial provocada pela junção de dois metais em condições específicas (NASCIMENTO, 2017). Já o efeito fotovoltaico caracteriza-se pela conversão de energia solar em eletricidade através das células fotovoltaicas.

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra variam com as estações do ano, devido principalmente à inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do Sol. Variam também com a região, devido principalmente às diferenças de latitude, condições meteorológicas e altitudes. (FADIGAS, 2012, pg. 25)

O Brasil apresenta diferenças climáticas muito grandes no seu território, tanto pela sua extensão, quanto pelas correntes de ar úmidas provenientes da Amazônia e frias provenientes da Argentina e pelo fenômeno das queimadas, que produz particulado fino e pelos aerossóis, que determinam aumento da turbidez da atmosfera. Por causa disso, diferentes fenômenos climáticos podem ser constatados no território brasileiro (MARTINS *et al.*, 2007):

- A Região Amazônica apresenta grandes precipitações e nuvens permanentes durante os meses de verão, causadas pela influência da zona de

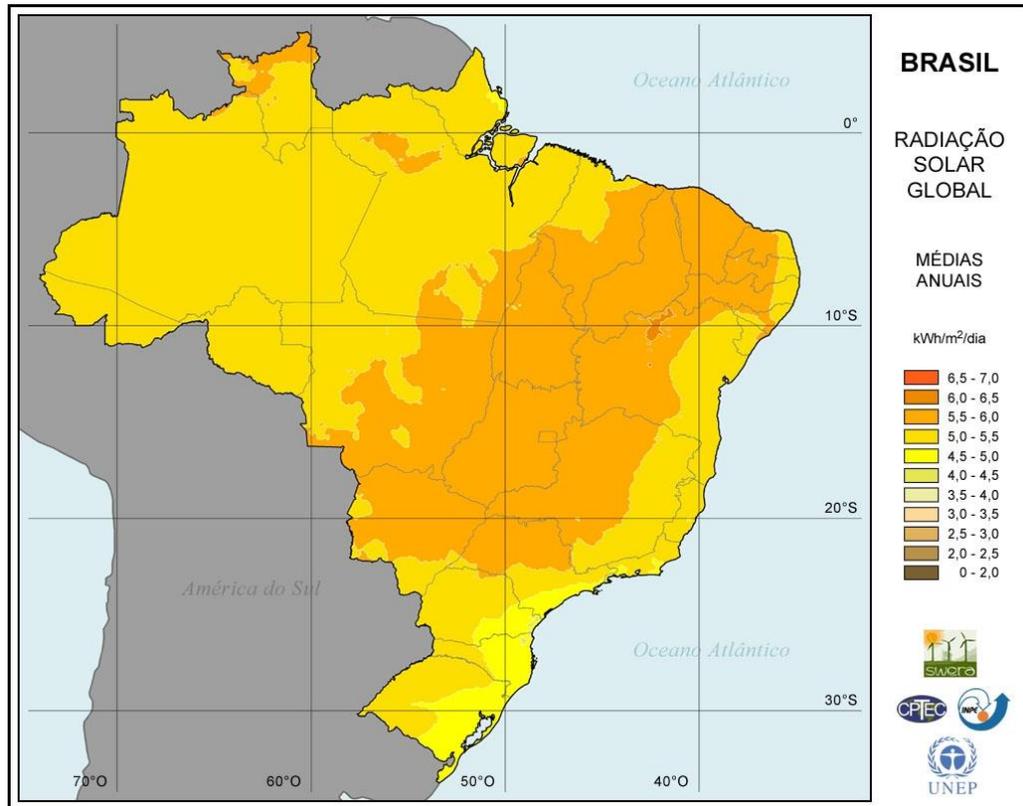
convergência intertropical, junto com a entrada dos ventos alísios provenientes do atlântico. Esta situação determina baixa irradiação nas áreas costeiras da região norte e na área ocidental da região amazônica;

- As Regiões Nordeste e Centro são sujeitas às maiores irradiações na estação seca de julho a setembro;
- As Regiões Sul e Sudeste estão sujeitas a grandes variabilidades de irradiação ao longo do ano por causa de frentes frias originadas na Região Antártica, sobretudo no outono e inverno, provocando grandes nebulosidades.

Para Fadigas (2012), a transmissão da energia do Sol para a Terra se dá através da radiação eletromagnética, sendo que 97% da radiação solar está contida entre comprimentos de onda de 0,3 a 3,0  $\mu\text{m}$ , o que caracteriza como uma radiação de ondas curtas. Para a análise da radiação na superfície terrestre é importante o conhecimento da intensidade da radiação e de sua composição. A radiação solar incidente no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até o solo devido as flutuações climáticas.

O Brasil é um país que possui uma grande incidência de radiação solar durante o ano. Este fato nos leva a identificar um país com grande potencial de exploração de energia solar para projetos comerciais e residenciais. A Figura 1 ilustra a radiação solar global no Brasil. Percebe-se que as regiões centrais e nordeste do país são as que possuem maiores incidências de radiações solares, enquanto somente a faixa litorânea da região sul que apresenta os menores índices. Na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, a intensidade da radiação é média e, portanto, possui bom potencial energético.

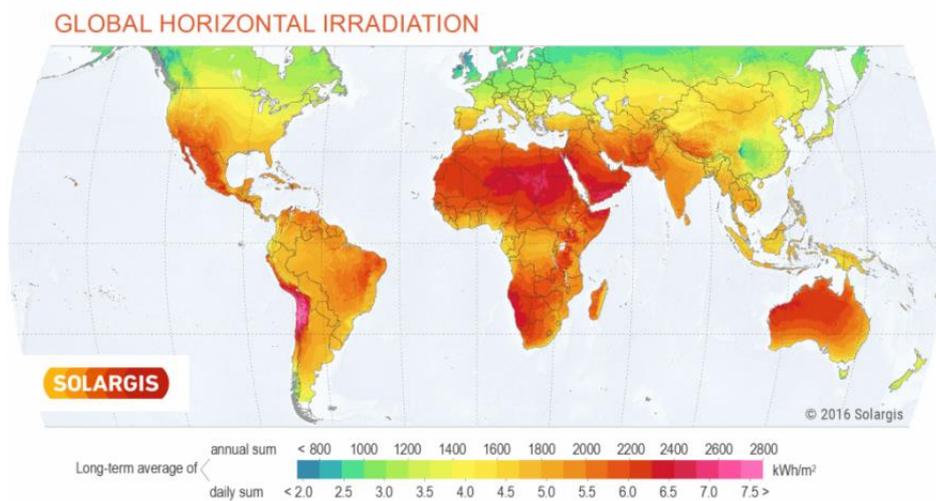
Figura 1 - Média anual de radiação solar no Brasil



FONTE: SOLARPACES, 2010.

Com relação às radiações solares a nível mundial, a Figura 2 demonstra o mapa global com os índices de incidências solares.

Figura 2 - Mapa de irradiação solar no mundo

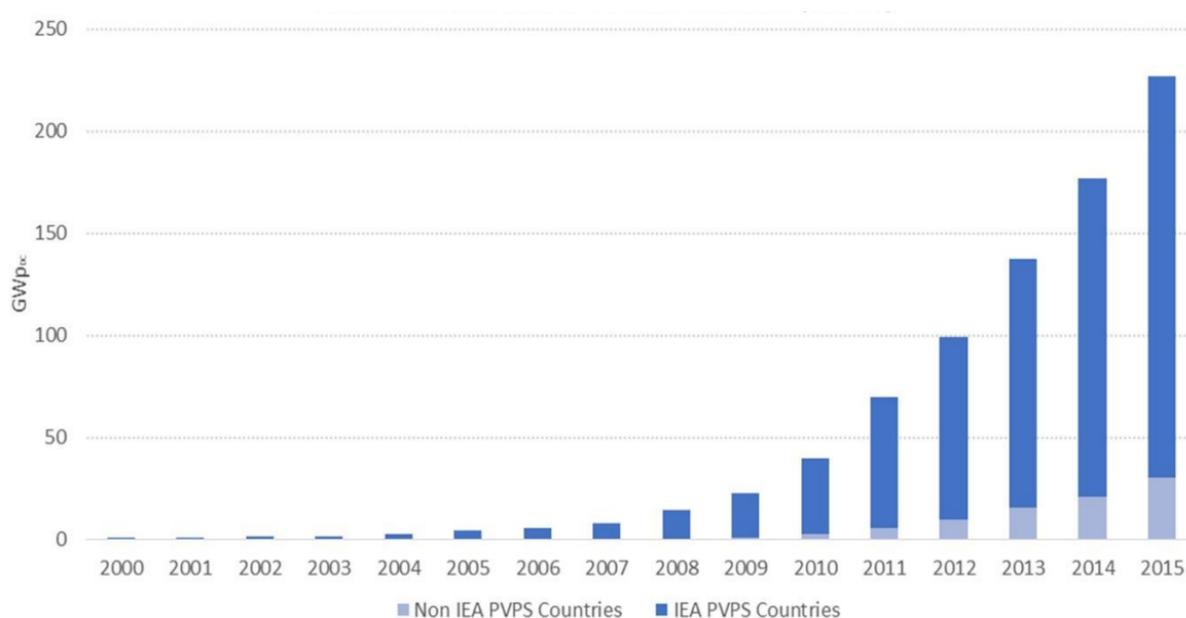


FONTE: SOLARGIS, 2016

Através da Figura 2, é possível verificar que o Brasil possui uma média de radiação solar diária entre 4,5 a 6,1 KWh/m<sup>2</sup> e destaca-se também a região do Nordeste do país, que é uma das regiões com maior nível de irradiação do mundo.

A Figura 3 demonstra a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica e é possível notar que este tipo de energia vem sendo muito explorado nos últimos anos, especialmente de 2005 a 2015.

Figura 3 - Evolução da Capacidade Instalada de Energia Solar Fotovoltaica



FONTE: IEA, 2016.

Através da Figura 3, percebe-se que a taxa de crescimento de 2000 a 2015 foi de 41% e, conforme os avanços tecnológicos e as pesquisas recentes, o potencial de crescimento futuro continua elevado devido aos incentivos governamentais, o uso de tecnologias, utilização de novos materiais e rápido *payback* do capital investido.

Em 2015, a China é o país de maior capacidade total instalada de energia solar fotovoltaica com 43,5 GWp, seguido por Alemanha e Japão com 39,7 GWp e 34,4 GWp respectivamente (IEA, 2016)

Segundo o Ministério de Minas e Energia - MME (2017), o Brasil possuía 81 MW de energia solar fotovoltaica instalados no final de 2016. Deste total, 24 MWp de

geração centralizada (através de leilões de energia) e 57 MWp de geração distribuída.

De acordo com Pereira; Oliveira (2011), a média anual de irradiação global apresenta uma boa uniformidade no Brasil, com médias relativamente altas em todo o território. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2.500) são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 Wh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 Wh/m<sup>2</sup>), locais onde projetos de aproveitamentos solares são amplamente disseminados (Nascimento, 2017).

### **2.2.1 Instrumentos Solarimétricos**

Segundo Pinho; Galdino (2014), a medição da radiação solar na superfície terrestre para os estudos das influências climáticas e atmosféricas, como também para o desenvolvimento de projetos que visam a captação e conversão de energia solar.

Os instrumentos solarimétricos medem a diferença de temperatura entre duas superfícies. Para isso, tais instrumentos utilizam sensores que são termopilhas, que tem como vantagem principal a resposta uniforme em relação ao comprimento da onda. (MME, 2007)

O conhecimento do recurso solar é importante para desenvolver projetos de aproveitamento de energia fotovoltaica, e a medição correta dos dados possibilita identificar locais adequados para implementação destes sistemas, além de dimensionar corretamente o gerador fotovoltaico, calcular a produção de energia e estabelecer estratégias operacionais e de armazenamento de energia.

O objetivo da medição dos dados solares é a obtenção experimental do valor instantâneo do fluxo energético solar (irradiância) ou integrado (radiação) ao longo de tempo (minuto, hora, dia ou ano). (PINHO; GALDINO, 2014, pg. 85)

Existem alguns instrumentos solarimétricos que são utilizados para medir a potência incidente na superfície terrestre como o heliógrafo, piranômetro, piroheliômetro e actinógrafo.

O heliógrafo tem por objetivo medir a duração da insolação, ou seja, o período de tempo em que a radiação solar supera um dado valor de referência. Este instrumento opera a partir da focalização da radiação solar sobre uma carta que, como resultado da exposição, é enegrecida. O comprimento desta região mede o chamado número de horas de brilho de Sol (FADIGAS, 2012).

O piranômetro mede a radiação total, ou seja, a radiação que vem de todas as direções no hemisfério. Podem ser fotovoltaicos e termoeletrônicos (FADIGAS, 2012).

O piroheliômetro é utilizado para medir a radiação direta. Ele se caracteriza por possuir uma pequena abertura de forma a “ver” apenas o disco solar e a região vizinha, denominada circunsolar (FADIGAS, 2012).

Os actinógrafos são utilizados para medição da radiação total ou sua componente difusa, possuindo o sensor e registrador na mesma unidade. Consiste essencialmente em um receptor com três tiras metálicas, a central de cor preta e as laterais brancas. As tiras brancas estão fixadas e a preta está livre em uma extremidade, e irão se curvar, quando iluminadas, em consequência dos diferentes coeficientes de dilatação dos metais que as compõem (FADIGAS, 2012).

### 2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E SUAS APLICAÇÕES

De acordo com Ferreira *et al.*, 2017, um sistema fotovoltaico é um conjunto de dispositivos, composto por células fotovoltaicas com o objetivo de produzir energia elétrica através da conversão da radiação solar.

O sistema de energia solar fotovoltaica pode ser implementado em qualquer local onde haja radiação solar suficiente e também é considerado um sistema de alta confiabilidade, pois já são utilizados em desertos, selvas, locais remotos e até mesmo no espaço.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser considerados elementos ideais de uma vasta rede distribuída, complementada por subsistemas de armazenamento de energia, igualmente distribuídos, satisfazendo os picos de demandas. (LACCHINI, 2017, pg. 35)

Segundo CEMIG (2012), em busca de novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos estão em crescente utilização. Com isso, tem-se explorado novos materiais e realizado pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica. O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo.

Segundo Pinho; Galdino (2014), existem três tecnologias de células fotovoltaicas que são classificadas de acordo com o material utilizado e as suas especificidades.

A primeira é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidada e de confiança. A segunda é conhecida como filmes finos, é subdividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).

A terceira, é definida pelo IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos como:

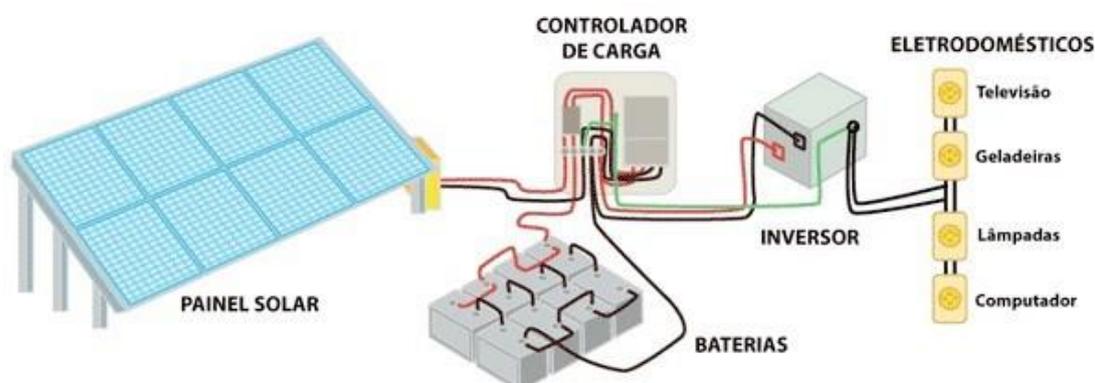
Células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade. (IEEE, 2016, pg. 139)

Ainda existe uma outra categoria em fase de pesquisa e desenvolvimento, que são as células orgânicas ou poliméricas.

Os sistemas de energia fotovoltaica são constituídos por painéis solares, controladores de carga, baterias de armazenamento e inversores. A energia elétrica produzida é distribuída aos equipamentos residenciais, comerciais ou industriais, e a

energia excedente é encaminhada à rede elétrica. A Figura 4 ilustra o sistema completo.

Figura 4 - Funcionamento de um sistema de energia Solar Fotovoltaico Off-Grid



FONTE: PINHO; GALDINO, 2014.

O funcionamento do sistema fotovoltaico ocorre da seguinte maneira: Primeiramente, as células fotovoltaicas dos painéis solares captam a energia solar e a transformam em eletricidade encaminhando a mesma até o controlador de carga que, por sua vez, evita sobrecargas ou descargas exageradas nas baterias de armazenamento. A energia chega até o inversor que transforma a corrente contínua em corrente alternada, ou seja, semelhante à rede pública. Com isso, o sistema utiliza a energia solar produzida nos equipamentos domésticos e o excedente é direcionado à rede pública

O recente desenvolvimento em materiais, design de dispositivos, tecnologias de produção e de novos conceitos afim de aumentar a eficiência global das células, demonstram o potencial desse setor energético, (SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017). Neste contexto, devido as várias vantagens que estes sistemas oferecem, muitos projetos têm sido analisados com intuito de aproveitar esta matriz energética. Afim de difundir a tecnologia fotovoltaica no país, o governo brasileiro apresentou algumas ações para estimular esta área. Exemplos são a revisão da Resolução Normativa Número 482/2012, a Resolução Normativa Número 687/2015, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o programa criado pelo governo brasileiro o ProGD, que possibilita a expansão de linhas de crédito e financiamento para projetos de sistemas de geração distribuída. Isso potencializa o crescimento desta tecnologia no Brasil, (VALE *et al.*, 2017).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia - MME (2007), a tecnologia fotovoltaica é um processo em que um material semicondutor é adaptado para liberar elétrons, que são as partículas negativamente carregadas que formam a base da eletricidade. O material semicondutor mais comum é o silício. Todas as células fotovoltaicas possuem, pelo menos, duas camadas de semicondutores, sendo uma positiva e outra negativamente carregada. Quando a luz solar atinge o semicondutor, o campo elétrico entre a junção das duas camadas inicia um fluxo de energia, gerando corrente contínua. Quanto maior a intensidade de luz, maior o fluxo de eletricidade. Um sistema fotovoltaico não precisa do brilho do sol para operar, pois ele também gera eletricidade em dias nublados, portanto, a quantidade de energia gerada depende da densidade das nuvens. Devido à reflexão da luz do sol, dias com poucas nuvens podem resultar em mais produção de energia do que dias completamente claros.

Apesar de a geração de energia solar fotovoltaica ainda ser incipiente no Brasil, existem diversos incentivos governamentais para o aproveitamento da fonte, sendo que alguns dos incentivos são aplicados também para outras fontes renováveis de geração de energia elétrica (NASCIMENTO, 2017).

É de suma importância os incentivos governamentais para o desenvolvimento e implementação de projetos de energia fotovoltaica, pois o custo de implantação é elevado e a mão de obra necessitada é especializada.

### **2.3.1 História e evolução dos sistemas fotovoltaicos**

O efeito fotovoltaico não é uma descoberta recente, fazem quase 200 anos que Edmond Becquerel descobriu-o. A Tabela 1 resume de forma cronológica o histórico de avanços e descobertas neste ramo de atividade.

Tabela 1 - Cronologia da evolução da energia fotovoltaica

<b>ANO</b>	<b>FATO</b>
1839	Edmond Becquerel conseguiu converter energia luminosa em energia elétrica por meio de um eletrodo mergulhado em uma solução de eletrólito
1876	O mesmo que em 1839, usando-se Selênio
1883	Produziu-se a primeira célula solar, com selênio e com eficiência de conversão de quase 1%
1941	Surgiu a primeira fotocélula de silício monocristalino
1954	Foi criada a fotocélula de silício com eficiência em torno de 6%
1956	Iniciou-se a produção industrial dos sistemas fotovoltaicos, impulsionados pela indústria eletrônica.
1958	Ocorreu a utilização de fotocélulas em programas espaciais, ou seja, estas células eram o meio mais adequado e seguro para fornecer energia por longos períodos de tempo a equipamentos eletrônicos no espaço
1973	Com a crise do petróleo houve interesse em aplicações terrestres deste tipo de energia e as empresas passaram a analisar estes sistemas de uma maneira diferente e perceberam os benefícios que esta proporcionava
1978	Os índices de produção de células fotovoltaicas já estavam altos e espalhados por grande número de países do mundo
1998	A produção mundial de células fotovoltaicas foi de 150 MWp e o silício era o principal material utilizado

FONTE: FADIGAS, 2012.

Atualmente, a energia solar para produção de energia elétrica ainda é pouca explorada. Em países desenvolvidos, existem muitos incentivos que auxiliam na implementação destes sistemas. Mesmo assim, pesquisadores continuam buscando alternativas de novos materiais e métodos para aumentar a eficiência deste sistema, além de proporcionar redução de custos em seus projetos de implementação.

### 2.3.2 Vantagens e Desvantagens

De acordo com Pinto *et al* (2015), a energia solar fotovoltaica, apesar de não necessitar de qualquer tipo de manutenção, e de ser uma energia limpa, não poluente, tem vantagens e desvantagens na sua utilização. Pode-se considerar como vantagens a alta fiabilidade, não tem peças móveis, o que é muito útil em aplicações em locais isolados; o fácil manuseio dos módulos permite montagens simples e adaptáveis; o custo de operação é reduzido, não necessita manutenção, combustível ou transporte; a tecnologia fotovoltaica apresenta qualidades ecológicas, pois o produto final é não poluente, silencioso e não perturba o ambiente.

Segundo Melo *et al* (2015), as vantagens destes sistemas são: a energia solar é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois a sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão; em países tropicais a sua utilização é viável em praticamente todo o território, e, em locais longe dos centros de produção energética; o seu uso ajuda a diminuir a demanda energética nestes e conseqüentemente as perdas associadas à transmissão e à distribuição de energia; tem uma elevada aceitação pública por não ser um produto sintético; a radiação solar, produto da energia solar, é gratuita e abundante.

Em contrapartida, estes sistemas também possuem algumas desvantagens, como o elevado custo de fabricação dos módulos fotovoltaicos; o rendimento real de conversão de um módulo é reduzido face ao custo do investimento; os geradores fotovoltaicos raramente são competitivos do ponto de vista económico, comparados a outros tipos de geradores, como os geradores a gásóleo, por exemplo (Pinto *et al*, 2015).

De acordo com Melo *et al* (2015), as desvantagens dos sistemas fotovoltaicos são: o painel solar consome uma quantidade enorme de energia para ser fabricado; a energia para a fabricação de um painel solar pode ser maior do que a energia gerada por ele; existe variação nas quantidades produzidas de acordo com a situação atmosférica (nuvens, chuva, neve), além de que durante a noite não existe produção, o que obriga a que existam meios de armazenamento da energia produzida durante o dia em locais onde os painéis solares não estejam ligados à

rede de energia; em locais de latitudes médias e altas (Ex: Finlândia, Islândia, Nova Zelândia e Sul da Argentina e Chile) ocorrem quedas bruscas de produção durante os meses de inverno devido à menor disponibilidade diária de energia solar; em locais com frequente cobertura de nuvens, tendem a ter variações diárias de produção de acordo com o grau de nebulosidade; as formas de armazenamento da energia são pouco eficientes quando comparadas, por exemplo, aos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), a energia hidroelétrica (água) e a biomassa (bagaço da cana ou bagaço da laranja); requer um sistema de armazenamento eficiente ou e sistemas de segurança de modo que tenha um fornecimento constante.

Portanto, existem diversas vantagens e desvantagens oriundas de um sistema de energia fotovoltaico e, para elaboração de um projeto bem estruturado e economicamente viável, todos estes fatores devem ser cuidadosamente analisados.

#### 2.3.2.1 Benefícios

A utilização da fonte solar para gerar energia elétrica proporciona diversos benefícios, tanto do ponto de vista energético como ambiental e socioeconômico.

Do ponto de vista energético, contribui para diversificação da matriz, aumento da segurança no fornecimento, redução de perdas e alívio de transformadores e alimentadores. Sob o aspecto ambiental, há a redução da emissão de gases do efeito estufa, da emissão de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. Com relação a benefícios socioeconômicos, a geração de energia solar fotovoltaica contribui com a geração de empregos locais, o aumento da arrecadação e o aumento de investimentos (NASCIMENTO, 2017).

#### 2.3.2.2 Obstáculos e dificuldades

O principal obstáculo para incrementar o uso de painéis de geração solar fotovoltaica em unidades consumidoras, principalmente residenciais e comerciais de pequeno porte, consiste no alto investimento inicial associado à aquisição dos sistemas de geração (NASCIMENTO, 2017).

A geração de energia elétrica através da conversão fotovoltaica é menos agressiva ao meio ambiente, devido ao fato de eliminar etapas importantes do

processo de geração de eletricidade por usinas termelétricas como as relacionadas à produção, transporte e armazenamento do combustível (Tolmasquim, 2003).

Segundo o MME (2007), existem impactos ambientais importantes associados ao aproveitamento fotovoltaico. Tais impactos normalmente são tratados por meio do método da análise do ciclo de vida. Esta análise consiste em uma metodologia que avalia a totalidade dos impactos ambientais através da vida de um produto, serviço ou setor, neste caso, o energético fotovoltaico. Na tecnologia de conversão fotovoltaica consideram-se impactos ambientais na fase da produção dos módulos, que é uma tecnologia intensiva em energia, e no fim da vida útil, após 30 anos de geração, no momento do descomissionamento da planta, quando parte é reciclada e o restante disposto em algum aterro sanitário.

### 2.3.2.3 Perspectiva de mercado

De acordo com Fadigas (2012), a Ásia, o Pacífico e o Japão são as regiões com maior mercado. Já em 1993 o consumo estimado nessa região foi de 20 MWp. Neste mercado existe um significativo mercado para a eletrificação rural, projetos de bombeamento d'água, iluminação e para serviços de saúde básica como tratamento de água e refrigeração de vacinas.

A Europa é o segundo maior consumidor e vem crescendo devido a programas financiados pelos governos para sistemas conectados à rede (*On Grid*) em residências e em centrais fotovoltaicas (FADIGAS, 2012).

Na África, o mercado interno está dividido em sistemas rurais isolados (saúde, iluminação residencial, bombeamento de água), e por aplicações profissionais remotas (telecomunicações, sinalização), ambas financiadas por entidades internacionais (FADIGAS, 2012).

Ainda para Fadigas (2012), a China e a Índia possuem mercados menos expressivos e são abastecidos praticamente em sua totalidade por produtores nacionais.

A América do Sul também possui participação pouco expressiva do mercado mundial. Em 1993 a participação foi de 6%. Este mercado é composto basicamente, como na África, de sistemas rurais e aplicações profissionais remotas.

O potencial brasileiro para a exploração da energia solar é enorme. A região Nordeste é a que apresenta as maiores incidências de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual entre todas as regiões geográficas. A região Sudeste e Centro Oeste também possui elevados índices e estão investindo em energias renováveis para fortalecer as suas economias. Outro estado que vem desenvolvendo projetos de energia fotovoltaica é o Rio Grande do Sul, que, apesar de possuir sazonalidades diferentes, possui um bom potencial gerador destes sistemas.

### **2.3.3 Tipos de Sistemas fotovoltaicos**

Os sistemas de energia solar fotovoltaica são utilizados para transformação de energia solar em eletricidade e existem dois tipos básicos que apresentam a mesma finalidade, porém com componentes e especificações distintas. São conhecidos como Sistemas Isolados (*Off Grid*) e Sistemas Conectados à Rede (*On Grid*).

Cada sistema possui vantagens e desvantagens, conforme a Tabela 3 a seguir. Vale ressaltar que antes de elaborar um projeto de instalação, deve ser realizado um levantamento de dados e um estudo dos objetivos do projeto que se deseja elaborar, bem como analisar a viabilidade do mesmo de acordo com as condições climáticas do local.

Tabela 2 - Comparativo entre vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaicos

<b>Sistema</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Off-Grid</b>	Pode ser utilizado em regiões remotas, por ser independente da rede de distribuição de energia	Necessita da utilização de baterias e controladores de carga
	Não há necessidade de pagar conta de luz	Custo mais elevado
	Possui sistema de armazenamento de energia	Menos eficiente
<b>On-Grid</b>	Dispensa a utilização de baterias e controladores de carga	Necessita do acesso à rede de distribuição
	Possibilita ao consumidor adquirir créditos de energia	Não há sistema de armazenamento de energia
	Créditos podem ser usados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário	Necessidade de pagar conta de luz quando a demanda for maior que a produção e não houverem créditos disponíveis

FONTE: ECYCLE, 2013

Através da Tabela 2, pode-se verificar as diferenças de cada sistema fotovoltaico, onde cada um possui características positivas e negativas e que devem ser consideradas e analisadas pelo gestor de um projeto para proporcionar a eficiência ideal no projeto e tornar o mesmo viável financeiramente.

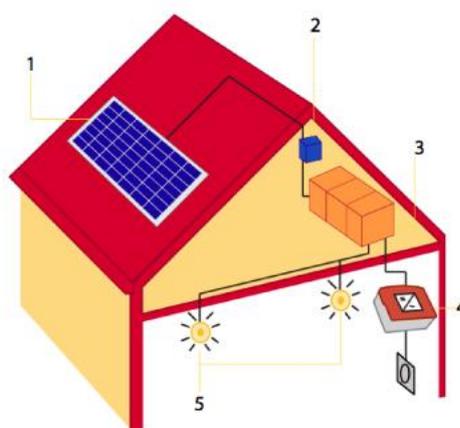
#### 2.3.3.1 Sistemas Isolados (*Off Grid*)

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Já o segundo, que pode ser utilizado em

bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, pois não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Os sistemas isolados, ou também chamados de autônomos, são aqueles que não possuem contato com a rede de distribuição elétrica, ou seja, não dispõem de armazenamento ou podem armazenar energia em baterias. Estes sistemas geralmente possuem alguns componentes, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Componentes de um Sistema Fotovoltaico Isolado



FONTE: BLUESOL, 2018

Como pode ser visualizado na Figura 5, existem 5 componentes constituintes deste sistema, onde: o número 1 representa o painel fotovoltaico; o 2 é o controlador de carga e descarga da bateria; o 3 são as baterias de armazenamento; o 4 é o inversor para cargas em correntes alternadas; o 5 são as cargas em correntes contínuas ou alternadas.

Os sistemas isolados são mais comumente utilizados em locais onde o custo para se conectar à rede elétrica é mais elevado. Por esta razão, são utilizados em casas de campo, refúgios, iluminação, telecomunicações, bombeio de água. Além disso, estes sistemas são subdivididos em Híbridos ou Autônomos.

Os sistemas híbridos utilizam mais de um único sistema de geração de energia, ou seja, trabalha associado a outro gerador que pode ser oriundo de outra fonte como aerogerador ou moto gerador de combustível líquido. A Figura 6 ilustre um exemplo de sistema híbrido.



Figura 6 - Exemplo de Sistema Gerador de Energia Híbrido



FONTE: COEMA, 2018

O maior benefício deste sistema é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa ou nenhuma geração. Porém, é considerado um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

#### 2.3.3.2 Sistemas Conectados à Rede (*On Grid* ou *Grid Tie*)

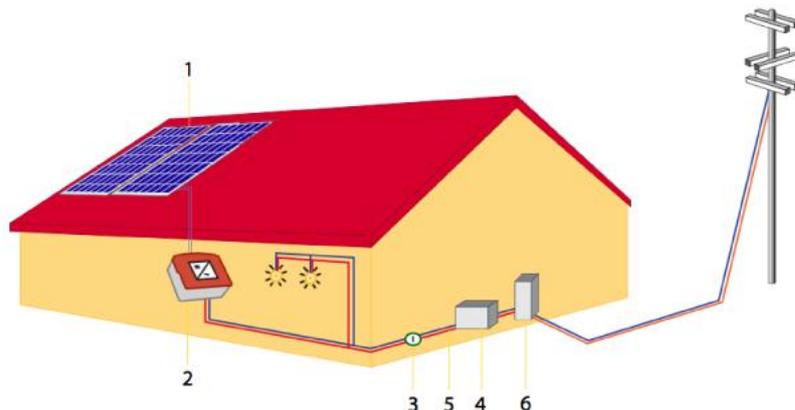
De acordo com Pereira e Oliveira (2011), os sistemas *On Grid* trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica.

Os sistemas ligados à rede são aqueles que, como o próprio nome diz, estão ligados à rede elétrica. Neste caso, os inversores realizam a conversão da corrente contínua para corrente alternada e, toda a energia excedente produzida, retorna à rede de distribuição. Este sistema não possui nenhum tipo de dispositivo de armazenamento de energia, pois está constantemente conectado à rede pública.

Além disso, são mais eficientes que o sistema *Off Grid* e o custo de instalação é mais baixo.

Os componentes que constituem estes sistemas podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7 - Componentes de um Sistema Fotovoltaico conectado à rede



FONTE: BLUESOL, 2018.

Conforme a Figura 7, este sistema é composto por 6 componentes, onde: o número 1 representa o painel fotovoltaico; o 2 é o inversor que converte a corrente contínua em alternada; o 3 é o interruptor de segurança; o 4 é quadro de luz que distribui a energia pela residência; o 5 é a eletricidade que alimenta os equipamentos domésticos; o 6 é o excedente que retorna à rede elétrica através do medidor.

É importante ressaltar que este excedente de energia que retorna à rede pública movimenta o medidor de energia no sentido contrário, ou seja, acaba reduzindo a tarifa de energia elétrica.

Em 2015 a Agência Nacional de Energia Elétrica, (ANEEL), fez-se valer a Resolução Normativa Número 687, alterando o artigo 2º da Resolução Normativa Número 482/2012, permitindo o abatimento da injeção e consumo de energia na rede elétrica. Dessa forma, para as unidades geradoras de energia, toda a energia produzida é injetada livremente na rede de energia do concessionário local, para posteriormente ser abatido quando fazer-se necessário o uso da energia. Os créditos de energia são válidos e podem ser utilizados por um período de até 5 anos.

O presente trabalho utiliza o sistema de energia fotovoltaica *On Grid* para realizar o estudo de viabilidade financeira, pois é aquele que mais se adequa às condições climáticas e às especificidades do sistema.

## 2.4 ENGENHARIA ECONÔMICA

Segundo AVILA (2013), a Engenharia Econômica engloba os conhecimentos de modelos ou métodos, que quando aplicados em fatores sociais, técnicos e financeiros, permitem um julgamento imparcial de opções de propostas para a aplicação de algum tipo de recurso.

Para BLANK e TARQUIN (2012), a engenharia econômica é o campo especializado, que incorpora o conhecimento de engenharia e microeconomia. Sua principal função é facilitar a decisão baseada na comparação de diferentes alternativas tecnológicas para investimento.

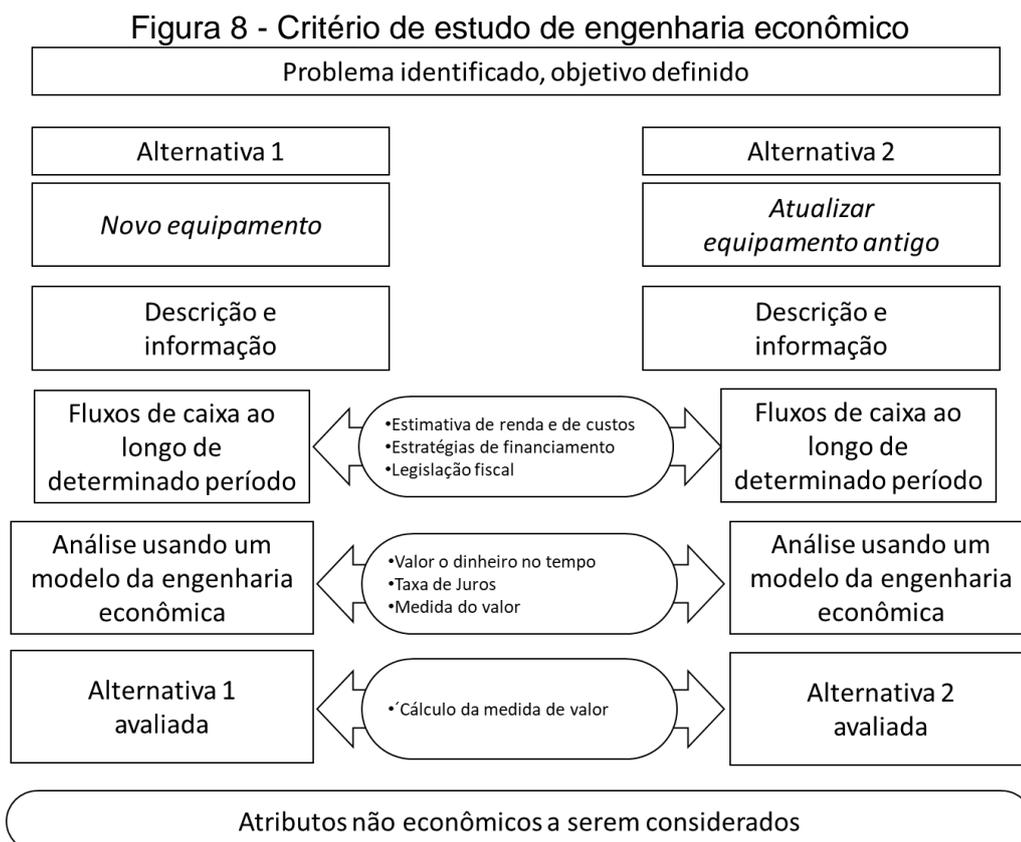
Ambos os conceitos se aplicam nas indústrias, tendo a ideia de que ambos analisam mais de uma proposta e escolhe uma como a mais rentável.

### 2.4.1 Análise de Investimento

Conforme o método de conhecimento, proposto pelo filósofo e matemático DESCARTES (1979), a investigação de um assunto deve seguir quatro princípios, sendo resumidamente tornar apenas aquilo reconhecido como verdadeiro; analisar e resolver sistematicamente os problemas encontrados; propor considerações partindo do simples para o mais complexo e rever o processo, de início ao fim, buscando garantir todos os aspectos importantes para o conhecimento desse assunto.

Há um procedimento importante que é utilizado para tratar do desenvolvimento e da escolha de alternativas. Comumente chamado de critério de solução de problemas ou processo de tomada de decisão. As etapas desse procedimento são as seguintes: 1. entender o problema e definir o objetivo; 2. coletar dados relevantes; 3. definir as soluções alternativas viáveis e fazer estimativas realistas; 4. identificar os critérios para a tomada de decisões usando um ou mais atributos; 5. avaliar cada alternativa por meio da análise de sensibilidade para melhorar a avaliação; 6. selecionar a melhor alternativa; 7. implementar a solução e 8. monitorar os resultados. (BLANK, TARQUIN. 2008. pg. 8)

E para serem tomadas decisões, BLANK e TARQUIN (2008) definem os critérios de estudo de engenharia econômica, ilustrados na Figura 8 através do fluxograma comparativo entre as alternativas de interesse e os aspectos econômicas que são de interesse da análise econômica.



FONTE: adaptado de BLANK e TARQUIN, 2008. pg. 10.

#### 2.4.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Na decisão de fazer um investimento em um projeto, a TMA corresponde ao mínimo que um investidor deseja ganhar, ou ao valor máximo de financiamento que alguém propõe-se a pagar.

Para que qualquer investimento seja lucrativo, o investidor (corporativo ou individual) espera receber mais dinheiro do que o capital investido. Em outras palavras, uma justa taxa de retorno, ou retorno do investimento, deve ser realizável. As alternativas de engenharia são avaliadas em função do prognóstico de que uma taxa de retorno (TR) pode ser esperada. Portanto, certa taxa razoável deve ser estabelecida na etapa de definição dos critérios para o estudo de engenharia econômica. (BLANK, TARQUIN. 2008. pg. 28)

“Se investidor, a TMA é definida em seu talante como a taxa de remuneração desejada para o capital disponível a ser investido.” (AVILA, 2013, pg. 102)

“Se empresa: no caso das empresas, a TMA corresponde à remuneração desejada pelos acionistas, sendo expressa pelo custo médio ponderado do capital da empresa.” (AVILA *et al*, 2013, pg. 102)

AVILA (2013) fornece também a Equação 1, a qual é possível calcular o valor da taxa mínima de atratividade.

$$TMA = i = \frac{Lucro}{PL + FLP} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde  $PL$  é o patrimônio líquido e  $FLP$  representa o valor total dos financiamentos de longo prazo registados em contas do exigível de longo prazo

### 2.4.3 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

“O VALOR PRESENTE LÍQUIDO de um ativo, ou de qualquer projeto de investimento, é equivalente à quantidade de riqueza que ele poderá gerar, expressa em valores monetários e medida na data de sua análise”. (AVILA, 2013, pg. 98)

Esse valor pode ser calculado considerando as equações de caixa único ou múltiplo, seguindo as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$VP = VF \frac{1}{(1 + i)^n} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde  $VF$  é o valor futuro,  $i$  a taxa e  $n$  o número de períodos.

$$VP = F_0 + \sum_{k=1}^n \frac{F_k}{(1 + i)^k} \quad \text{Eq. 3}$$

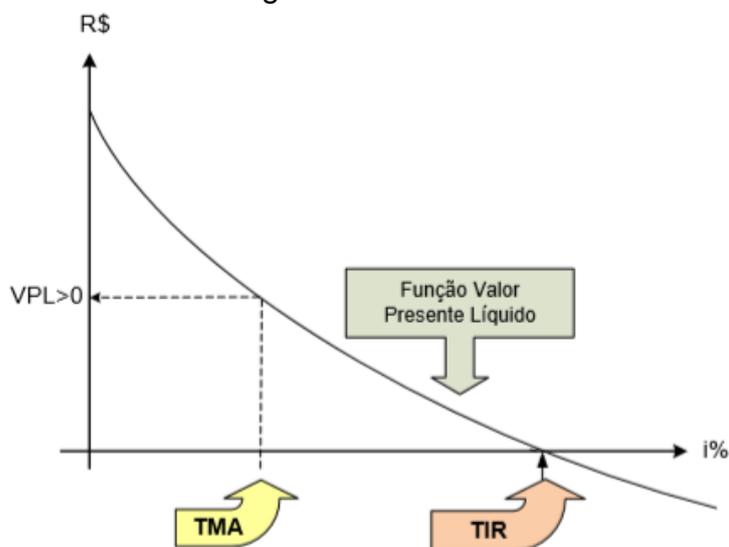
Onde  $F_0$  é o fluxo de caixa inicial e  $F_k$  é o fluxo de caixa no índice ou linha  $k$

#### 2.4.4 Método da Taxa Interna do Retorno (TIR)

Esta representa a taxa a qual o valor presente de um investimento se iguala a zero, e pode ser comparada na Figura 9 com a TMA, cujo VPL é sempre superior a 0 e sua taxa é inferior à da taxa interna de retorno.

A taxa interna de retorno – TIR pode ser definida sob duas ópticas: a) Matematicamente, corresponde àquela taxa que zera a função Valor Presente Líquido. Logo, é a raiz da função Valor Presente Líquido. b) Financeiramente, ela indica a maior rentabilidade que um projeto pode oferecer. (AVILA, 2013, pg. 103)

Figura 9 - TIR e TMA



FONTE: AVILA, 2013. pg. 102.

#### 2.4.5 Método do Payback Simples (PBS)

Empregado de maneira a encontrar o tempo necessário ao investidor recuperar seu capital investido, o *Payback* simples retorna um valor que possibilita a comparação dentre os investimentos e opções a disposição, medindo sua atratividade, porém, conforme MOTTA e CALÔBA (2002, pág. 96) deve ser interpretado como um indicador e não servindo, sozinho, para a seleção entre alternativas de investimento.

O método do Período de Recuperação de Capital, MRC, é utilizado quando se deseja decidir a hierarquização de alternativas usando como parâmetro de decisão o menor tempo de retorno do capital investido. O método também é conhecido como Método de Recuperação da Capacidade de Investimento ou sob a terminologia inglesa, *pay-back*. (AVILA, 2013, pg. 140)

A Equação 4 define o tempo necessário para o retorno do investimento através do PBS e é apresentada abaixo.

$$PBS = \frac{FC_0}{FC_{média}} \quad \text{Eq. 4}$$

onde  $FC_0$  é o fluxo de caixa inicial (investimento) e  $FC_{média}$  é o fluxo de caixa médio de todos os períodos.

Se desejada uma tomada de decisão, com base nesse indicador, GITMAN (2004) propõe aceitação/rejeição da seguinte forma:

- **O investimento será aceito se:**  $PBS < \text{período máximo estipulado/aceitável}$ ;
- **O investimento será rejeitado se:**  $PBS > \text{período máximo estipulado/aceitável}$ .

#### 2.4.6 Método do Payback Descontado (PBD)

Diferentemente do **PBS**, **PBD** ou *Payback* Descontado faz uso da taxa mínima de atratividade **TMA**, a qual estará sendo relacionada junto ao cálculo para constar o período necessário para recuperação tanto do capital investido quando do capital de retorno proveniente dessa taxa. Segundo KASSAI et al. (2000) é possível calcular o PBD, também chamado de *payback-duration* através da Equação 5.

Como forma de se calcular o *payback-duration* PBD quando os fluxos de caixa são variáveis são utilizadas tabelas. A Tabela 3 dispõe a organização das informações.

Tabela 3 – Exemplo de Representação *Payback* Descontado em Fluxo de Caixa

TMA: 15% a.a.			
FC: R\$20.000,00		Investimento: R\$50.000,00	
Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Saldo
0	-R\$50.000,00	-R\$50.000,00	-R\$50.000,00
1	R\$20.000,00	R\$17.391,30	-R\$32.608,70
2	R\$20.000,00	R\$15.122,87	-R\$17.485,82
3	R\$20.000,00	R\$13.150,32	-R\$4.335,50
4	R\$20.000,00	R\$11.435,06	R\$7.099,57
5	R\$20.000,00	R\$9.943,53	R\$17.043,10

FONTE: Autor, 2018.

$$0 = \sum_{t=1}^n \left( \frac{FC_t}{(1+i)^t} \right) - FC_0 \quad \text{Eq. 5}$$

Onde o fluxo de caixa descontado corresponde a  $FC_t(1+i)^t$  e sendo feitos os cálculos do saldo de cada período é possível identificar o retorno do capital investido dentre os períodos do terceiro e quarto ano do exemplo dado na Tabela 3. Para se obter a fração do período que torna positivo o saldo basta dividir-se o fluxo de caixa descontado do período já positivo pelo saldo do último período negativo, tal valor multiplicado por doze retorna o número de meses em que o investimento tem retorno após o terceiro período (ano).

#### 2.4.7 The Levelized Cost of Energy

De acordo com Pawel (2014), a definição o custo de energia nivelado ou LCOE, da sigla em inglês, mede-se dividindo o custo de vida útil pela produção de energia. Tal valor apresenta o custo total de edificação e da planta de geração sob vida útil predefinida.

Para determinar os valores do LCOE para a instalação de sistemas fotovoltaicos necessita-se o cálculo do fator de recuperação do capital (CRF – sigla em inglês para Capital Recovery Factor) para o período analisado, obtido pela Equação 6 descrita por (RAMADHAM; NASEEB, 2011).

$$CRF = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{[(1 + i)^n - 1]} \quad \text{Eq. 6}$$

Como indicador, calculado por meio da Equação 7, ele serve ainda para comparar diferentes tecnologias de geração de energia (solar, eólica, gás natural, etc.) que diferem em tamanho de projeto, vida útil, custo de capital, risco, retorno e capacidades.

$$LCOE = \frac{(CI \cdot CRF) + \sum_n CM}{\sum_n PT} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:  $CI$  é o custo de instalação [R\$];  $CRF$  é o fator de recuperação do capital;  $n$  é o número de períodos [períodos];  $CM$  é o custo de manutenção ao longo do período [R\$]; e  $PT$  é a produtividade total [KWh]. (RAMADHAM; NASEEB, 2011).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia do presente estudo divide-se em 5 partes: coletar os dados de posição geográfica do objeto de estudo; medir e calcular o consumo de energia; calcular os valores de tarifas de energia pagas pela faculdade; dimensionar os sistemas fotovoltaicos de acordo com os valores obtidos e encontrar constantes de cálculos para a análise econômica, baseado em dados históricos.

#### 3.1 DADOS GEOGRÁFICOS

É indispensável para a compreensão dos resultados obtidos nesta pesquisa, uma breve explicação sobre o panorama climático, geográfico e energético que o objeto de estudo está inserido. Dessa forma o Centro Administrativo da FAHOR encontra-se no bairro El Dorado em Horizontina, região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Centro Administrativo Campus FAHOR



FONTE: FAHOR, 2018.

Outro aspecto importante no cenário atual, são as condições climáticas em que o empreendimento está exposto, obtidos através do software RetScreen, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Dados climáticos

<b>Nome</b>	<b>Unidade</b>	<b>Localização dos dados Climáticos</b>
Cidade		Horizontina - RS
Latitude	°N	27,65
Longitude	°E	54,31
Zona Climática		2A - Quente e úmido
Elevação	M	281

FONTE: Adaptado de RETSCREN (2018, software)

Conforme o *Anexo B – Irradiação Solar Diária Horizontal de Horizontina*, pode-se perceber uma notável diferença de irradiação solar devido as mudanças de estações e instabilidades climáticas, pertinentes a cada período do ano.

Determinados os dados geográficos e climáticos, cujo tais ajudam a especificar o sistema fotovoltaico, é necessário a análise energética da região, com finalidade comparativa entre as tarifas cobradas em relação a produção gerada pelo sistema fotovoltaico. A distribuição de energia ocorre pela empresa RGE, principal distribuidora de energia da região norte-nordeste. Essa atende cerca de 255 municípios, representando 54% dos municípios gaúchos da energia consumida pelo estado do Rio Grande do Sul, de acordo com (RGE-RS, 2018).

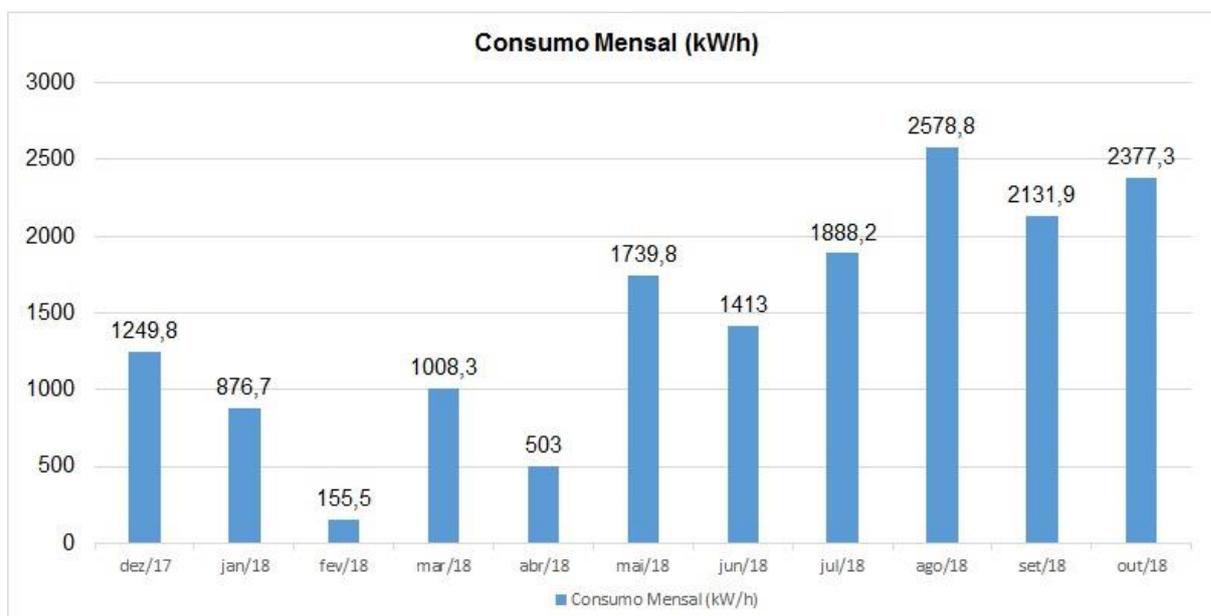
### 3.2 CONSUMO DE ENERGIA

Saber o consumo de energia do edifício, é relevante para a continuidade do estudo e assim poder mensurar a potência requerida para atender esta demanda. A partir dessa informação, faz-se possível o trabalho de dimensionamento do sistema fotovoltaico. Por outro lado, os dados de consumo, não influenciam a análise financeira, pois o sistema é dimensionado conforme o potencia solicitada, procura-se simular a geração de sistemas com potências diferentes, afim de encontrar o resultado mais coerente.

Para conhecer o consumo aproximado de energia da faculdade, usou-se as contas de energia, cedidas pelo NTI (Núcleo de Tecnologia e Informação) da FAHOR, dos meses entre nov/2016 e out/2018. Pelo fato da instituição receber apenas uma fatura de energia, ou seja há apenas um medidor de energia

registrando dados, para todo o campus, necessita-se calcular a diferença de consumo entre o período em que não existia o Centro Administrativo da faculdade e o período atual no qual o prédio está em operação. O produto deste cálculo é o valor de energia consumido pelo objeto de estudo. É sabido que durante o período da obra (dentro do período da análise) houve consumo de energia elétrica, porém conforme mencionado anteriormente, o consumo de energia não impacta no êxito do trabalho, apenas direciona para valores de potência dos sistemas fotovoltaicos. Os dados de consumo do mês de novembro não puderam ser obtidos devido a precoce construção do prédio e o prazo de entrega deste presente trabalho. Os valores obtidos são mostrados na Figura 11

Figura 11 - Consumo de Energia – Centro Administrativo FAHOR



FONTE: Autor 2018.

A média de consumo dos meses analisados é de 1.447,48 kWh. Estes valores ficam mais visíveis com o gráfico ilustrado na Figura 11

Nota-se uma expressiva diferença de consumo nos meses não letivos face aos letivos e também quanto a estação do ano. Os meses de outubro e setembro tiveram um alto consumo de energia em comparação a meses mais frios, como junho e julho. De acordo com as informações continadas no *Anexo A – Dados Climáticos da Cidade de Horizontina* gerados a partir software RETScreen usando

informações fornecidas pela NASA, os meses de Outubro e Setembro possuem temperaturas médias registradas, bem maiores que os meses de junho e julho, resultando em um significativo aumento no consumo de energia devida a utilização dos aparelhos de controle de temperatura. A infiltração solar, ocasionado devida a utilização abundante de vidros no prédio, visível na Figura 12, é um agravante notável no aumento de temperatura durante o dia. Por outro lado a toda essa infiltração permite a redução do uso da iluminação predial, porém não há um impacto expressivo no consumo, pois as lâmpadas são de LED, consideradas, em tempos atuais, energeticamente eficientes e geram pouco calor.

Figura 12 - Infiltração solar no Centro Administrativo da FAHOR



FONTE: FAHOR, 2018

### 3.3 TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA

A tarifa cobrada pela concessionária de energia é um dos principais dados, para que se possa dar sequência nos estudos. De acordo com as faturas emitidas pela RGE nos meses de outubro e maio de 2018, maio de 2017 e maio de 2016, constatou-se que a instituição é pertencente a tarifa verde, do subgrupo A4 (2,3 a 25kV). A Tabela 5, com dados gerados a partir das informações contidas no site da RGE, mostra o histórico de reajustes médio dos últimos 5 anos (RTA - Reajuste Tarifário Anual, RTE - Revisão Tarifária Extraordinária, RTP - Revisão Tarifária Periódica).

Tabela 5 - Histórico de reajustes de tarifa de energia elétrica

RGE	RTA	RTE	RTA	RTA	RTA	RTP
	jun/14	mar/15	jun/15	jun/16	jun/17	jun/18
<b>Resolução ANEEL</b>	1.739/2014	1.858/2015	1.896/2015	2.082/2016	2.252/2017	2.401/2018
<b>Varição</b>	22,34%	43,36%	-3,09%	-8,21%	3,81%	19,04%
<b>Média</b>	12,88%					

FONTE: Adaptado de CPFLEMPRESAS, 2018.

Os reajustes apresentados na Tabela 5, refletem parcialmente, com os valores pagos pela FAHOR, de acordo com as faturas de energia emitidas em maio/2016, maio/2017, maio de 2018 impostos pelo concessionário de energia da FAHOR desconsiderando a adição da tarifa da bandeira vigente, ICMS (30%), PIS (0,76%) e COFINS (3,51%), conforme a Tabela 6 indica.

Tabela 6 - Histórico do valor da tarifa de energia elétrica sem tributos pagos pela FAHOR

Tipo de tarifa	mai/16	mai/17	mai/18	out/18
Ponta (R\$/kwh)	1,17	1,049	1,196	1,395
Fora de ponta (R\$/kwh)	0,281	0,248	0,26	0,313

FONTE: Adaptado, Faturas RGE.

O valor atribuído ao kWh na análise é o da fatura do mês de outubro de 2018, R\$ 0,313 mais tributos. Este valor é a base do cálculo de viabilidade e tempo de retorno, uma vez que a partir dele que calcula-se as correções do valor da tarifa dos anos futuros. Os valores não podem estar com os tributos embutidos, pois não prevê-se reajustes nas alíquotas

Segundo consta na Resolução Normativa ANEEL - REN nº 414/2010, horário de ponta são as 3 horas consecutivas do dia, aonde possui a curva de demanda de energia mais crítica. Ele é definido pelo distribuidor de energia e necessita ser aprovado pela ANEEL. Aos sábados, domingos e feriados, não há horário de ponta. A empresa RGE (2018), define o horário de ponta o período entre 18 e 21 horas, justificando que além de chuveiros, iluminação pública e residencial, as fábricas também estão em funcionamento. Outrossim, explica que para suprir a demanda do horário de ponta, deveriam ser construídas novas usinas e linhas de transmissão, acarretando em impactos sociais ambientais muito elevados.

A CPFL explica em seu site o funcionamento do Sistema de Bandeiras Tarifárias, que sinalizam o custo real da energia gerada. Elas são classificadas em verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2, indicam e quantificam se haverá adição no valor da tarifa, devido as condições de geração de energia, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Sistema de Bandeiras Tarifárias

<b>Bandeiras</b>	<b>Cenário</b>	<b>Acréscimo (R\$)</b>
Verde	Favorável	Não há acréscimo
Amarela	Menos Favorável	R\$0,01
Vermelha Patamar 1	Custoso	R\$0,03
Vermelha Patamar 2	Mais Custoso	R\$0,05

FONTE: Adaptado de CPFL, 2018.

Usado desde março de 2015, esse sistema tem grande influência no estudo, aumentando as incertezas. Desse modo, quanto ao valor da tarifa de energia, deve-

se considerar um cenário para cada bandeira. Para bandeira verde que significa condições favoráveis para a geração de energia, não há custo adicional na tarifa. A bandeira amarela, por sua vez, apresenta um acréscimo de R\$ 0,01, a cada kWh consumido, caracterizando condições de geração menos favorável. Já a vermelha patamar 1 que representa condições mais custosas de geração, acresce R\$ 0,03. A mais severa de todas, a bandeira vermelha patamar 2, que reflete as condições ainda mais custosas de geração, acresce R\$ 0,05.

### 3.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Conforme o consumo médio mensal de energia definido anteriormente (1.447,48 kWh), pôde-se configurar e dimensionar os sistemas fotovoltaicos. Para incrementar a precisão do custo total, disponibilizou-se à empresa especializada no ramo, o cenário de acomodação dos módulos, como mostra a Figura 13 e Figura 14

Figura 13 - Cobertura do Centro Administrativo FAHOR



FONTE: FAHOR, 2018

Figura 14 - Centro Administrativo da FAHOR – imagem de satélite



FONTE: GOOGLE, 2018

Para não prejudicar a iluminação do prédio, optou-se em não utilizar a parte envidraçada da cobertura, apenas a parte metálica.

Visando que o estudo seja mais atrativo e flexível, decidiu-se criar duas opções de sistemas fotovoltaicos. Um que atenda à 69% e outro 111% da demanda média mensal. Dessa forma tem-se sistemas com 22 e 38 módulos fotovoltaicos, gerando uma média mensal de 1001,33kWh e 1614,28kWh respectivamente. Os dados foram fornecidos pela empresa Eleksolar de Santa Rosa. Com duas possibilidades de sistemas fotovoltaicos e 4 tipos diferentes de bandeiras tarifárias, obtém-se 8 possíveis cenários de análise quanto ao tempo de retorno do investimento.

Os componentes, taxa de instalação e demais custos para o funcionamento inicial dos sistemas, estão embutidos nos valores do orçamento fornecido pela empresa. A Tabela 8, mostra o resumo das informações passadas pela fornecedora do material.

Tabela 8 - Ficha Técnica dos Sistemas Fotovoltaicos

<b>Descrição</b>	<b>Sistema 1</b>	<b>Sistema 2</b>
Capacidade em relação ao consumo	66,66%	111%
Capacidade (Potência em kWp)	7,92	13,68
Area Aproximada Ocupada Pelo Sistema (m <sup>2</sup> )	52,8	91,2
Rendimento Anual Estimado (kWh/kWp)	1.517,18	1.416,03
Número de Módulos (360Wp)	22	38
Número de inversores Grid-Tie	2	3
Número de DPS	1	2
Preço do Wp (R\$)	5,91	5,64
Valor Total do Equipamento (R\$)	46.835,00	77.099,90

FONTE: Adaptado de ELEKTSOLAR,2018

Segundo a empresa contatada, a manutenção é algo indispensável para a eficiência e vida útil dos sistemas fotovoltaicos. Gerando custos, os valores de manutenção dos equipamentos são requeridos para o êxito dessa pesquisa. Troca dos inversores e dispositivos contra surtos (DPS) e a limpeza dos módulos, são basicamente os principais componentes que devem-se ter a devida atenção necessária. Quanto a manutenção dos módulos individualmente, há apenas a premissa que eles necessitam estar limpos, para uma longa vida útil e uma eficiência desejável. Sabendo que o local de acesso à limpeza das placas é considerado um local de fácil acesso e esse trabalho podendo ser executado pelo próprio zelador da instituição em um curto horário de forma mensal, não serão considerados custos de limpeza nos cálculos. Para que descargas elétricas e ou tensões transitórias não atinjam e danifiquem os equipamentos, é prudente que o DPS seja substituído a cada 5 anos, com custo médio de troca de R\$250,00, já os inversores de corrente, que possuem vida útil média de 10 anos em torno de R\$ 1.000,00 cada, segundo a empresa contata.

De acordo com as informações detalhadas do plano de manutenção, a Tabela 9 facilita a compreensão desses dados.

Tabela 9 - Frequência e Custo de Manutenção

<b>Manutenção</b>	<b>Frequência (Em anos)</b>	<b>Sistema 1</b>	<b>Sistema 2</b>
Substituição do DPS	5	R\$250,00	R\$500,00
Substituição dos inversores	10	R\$2.000,00	R\$3.000,00

FONTE: Adaptado da empresa contatada, 2018

As substituições dos inversores representam um valor expressivo em comparação aos valores de aquisição dos sistemas, 4,3% no sistema 1 e 3,8% no sistema 2. É economicamente prudente, levando em conta que a taxa de inflação média anual valorizaria os componentes, que estes sejam trabalhados como um investimento junto aos painéis. Portanto, no presente estudo, os valores dos componentes estão no valor presente e dentro do custo total do período inicial.

### 3.5 TAXA DE JUROS DO INVESTIMENTO E INFLAÇÃO

Conforme citado anteriormente, necessita-se que o investimento (valor gasto no material) tenha uma taxa mínima como limite inferior para o estudo. Dessa forma a taxa de juros, é calculada de acordo com esse limite previamente definido. Para referência de cálculo de viabilidade financeira, usa-se o juro da caderneta de poupança. O rendimento da poupança é calculado com base no valor da taxa Selic, no qual aquela sofreu alterações em 2012 conforme a Lei N°12.703 (BRASIL, 2012). Portanto:

Se a Selic estiver maior que 8,5%, o rendimento é o seguinte: 0,5% ao mês + TR (taxa referencial) ; Se a Selic estiver menor ou igual a 8,5%, o rendimento passa para: 70% da Selic + TR. (BTGPactual, 2018)

Devido as alterações citadas, o histórico de rendimento da caderneta de poupança considerado neste estudo, se restringira até 2012. Considerado um rendimento baixo pelo site Banco BTGPactual, o banco ainda cita em seu site, que em 2015 a poupança teve um rendimento negativo quando comparada a inflação. Ou seja, o dinheiro que ficou aplicado na caderneta, perdeu poder de compra.

Os dados da Tabela 10, mostram o percentual acumulado de cada ano, após a reforma.

Tabela 10 - Caderneta de Poupança no Brasil - Percentual acumulado

<b>Ano</b>	<b>% Acumulado</b>
2017	6,999
2016	8,348
2015	7,9448
2014	7,02
2013	6,3181

FONTE: Adaptado de BANCO CENTRAL, 2018

Se contabilizar os valores entre janeiro de 2013 até dezembro de 2017, tem-se 40,79% de rendimento de acordo a Calculadora do Cidadão do Banco Central, 2018.

Sabendo, o rendimento total, é possível calcular a Taxa de Juros usando a Equação 7. (BLANK e TARQUIN, 2008).

Eq. 7

$$i_a = (1 + i)^m - 1$$

Onde:  $m$  é o período de retorno;  $i_a$  é a taxa de juros equivalente {% ao período};  $i$  é a taxa do custo capital {% ao período}. Obtendo o resultado de rendimento mensal médio de 0,5718. Este valor é usado também como a Taxa Mínima de Atratividade TMA, para relações de cálculo.

Vilã do bolso de todo consumidor e um dos principais indicadores econômicos do país, a inflação, que é medida através do IPCA Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo, afeta o presente estudo de maneira direta. Dessa forma, destacam-se na Tabela 11, a média anual de inflação dos últimos 10 anos juntamente com as metas do governo, segundo o Banco Central, 2018.

Tabela 11 - Histórico e meta da inflação no Brasil

<b>Ano</b>	<b>Meta (%)</b>	<b>Inflação Efetiva (IPCA % a.a.)</b>
2017	4,5	2,95
2016	4,5	6,29
2015	4,5	10,67
2014	4,5	6,41
2013	4,5	5,91
2012	4,5	5,84
2011	4,5	6,5
2010	4,5	5,91
2009	4,5	4,31
2008	4,5	5,9

FONTE: Adaptado, BANCO CENTRAL, 2018.

Obtém-se, agora com auxílio da Calculadora do Cidadão usando os dados da Tabela 11 uma inflação total de aproximadamente 79,98%. Através da Equação 7 da Taxa de Juros Equivalente, encontrou-se uma taxa anual média de inflação de 5,74%.

Valor de inflação relativamente baixo se comparado a década de 1990 no Brasil, quando mesmo depois da implantação do Plano Real, o Banco Central registrava taxas de juros de até 45,9% a.a. em novembro de 1997 (Banco Central, 2018).

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo está dividido em 3 etapas. A primeira apresenta e aborda a análise dos valores de viabilidade econômica. A segunda parte apresenta os valores obtidos através do método de cálculo de LCOE. Por último é feita a análise do autor perante as informações obtidos através dos cálculos. Ambos os casos são descritos os sistemas de módulos fotovoltaicas utilizados na construção dos cenários desenvolvidos para a obtenção dos resultados.

Após a coleta e organização dos fatos, dados e informações, foi possível a a realização dos cálculos de engenharia econômica. Neste capítulo, boa parte dos resultados mostrados a seguir foram obtidos através do Microsoft Excel.

### 4.1 VIABILIDADE ECONÔMICA

Posteriormente a realização da coleta possibilitou-se a compilação e a geração de informações para influenciar em uma possível decisão. Com auxílio do Microsoft Excel, pode-se fazer a edição das planilhas, cálculos e gráficos que ilustram as possibilidades quanto ao investimento. De acordo com os dados de rendimento e custos de manutenção, viabilizou-se a construção de planilhas que calculam os métodos econômicos que aferem a efetividade do projeto. Assim sendo, o resultado do desempenho de cada sistema fotovoltaico é a multiplicação do rendimento mensal de cada sistema (produção em kWh) pela tarifa de energia elétrica acrescida da bandeira cobrada no mesmo período (R\$/kWh). Para que os valores de tarifa de energia e manutenção usados não fiquem defasados com o decorrer do tempo, usou-se como taxa de correção desses valores, a taxa anual média de inflação dos últimos 10 anos, conforme obtido.

Conforme comentado anteriormente, os cálculos de cada cenário econômico estão divididos de acordo a bandeira tarifária vigente, para que possa facilitar a compreensão das informações apresentadas. O valor atribuído ao kWh na análise é o da fatura do mês de outubro de 2018, R\$ 0,313 mais tributos. Este valor é a base do cálculo de viabilidade e tempo de retorno, uma vez que a partir dele calcula-se as

correções do valor da tarifa dos anos futuros. Os cenários calculados com a bandeira verde, que não sofrem adição, são apresentados na Tabela 12. Dessa forma obteve-se os valores através dos cálculos de *Payback* Descontado, *Payback* Simples, VPL e TIR, com relação a cada sistema orçado.

Tabela 12 - Resultados obtidos sob a bandeira verde

Cenário	Potência Instalada (KWp)	<i>Payback</i> (meses)	<i>Payback</i> descontado (meses)	TIR		VPL
1	7,92	102	142	1,10%	R\$	43.891,27
2	13,68	103	145	1,08%	R\$	69.230,45

FONTE: Autor, 2018.

De acordo com os dados apresentados pela Tabela 12, os dois cenários são economicamente viáveis, conforme os VPLs com saldos positivo encontrados. Os períodos de retorno do investimento, denominados *Payback* Simples e *Payback* Descontado, apresentam resultados valores razoáveis de retorno, levando em conta o pequeno valor de investimento. Os cenários 1 e 2 apresentaram *Payback* Simples no mês 102 (8 anos e 6 meses) e mês 103 (8 anos e 7 meses) respectivamente. Já o *Payback* Descontado, para os cenários 1 e 2, aparecem no mês 142 (11 anos e 10 meses) e 145 (12 anos e 1 mês) respectivamente.

A bandeira amarela tem custo adicional de R\$ 0,01. Ou seja o valor da tarifa de energia, sem tributos, sobe para R\$ 0,323 por kWh. Assim sendo, os valores obtidos apresentam diferenças mais significativas e o investimento fica mais atrativo. A Tabela 13 é responsável pela sintetização das informações quanto a bandeira amarela.

Tabela 13 - Resultados obtidos sob a bandeira amarela

Cenário	Potência Instalada (KWp)	<i>Payback</i> (meses)	<i>Payback</i> descontado (meses)	TIR		VPL
3	7,92	99	137	1,13%	R\$	46.949,07
4	13,68	101	139	1,12%	R\$	74.160,05

FONTE: Autor, 2018.

De acordo a Tabela 13, os cenários 3 e 4, são viáveis pois possuem VPL até maior que os cenários 1 e 2. Logo, possuem um *Payback* Simples nos períodos 99 (8 anos e 3 meses) e 101 (8 anos e 5 meses), respectivamente. Já o *Payback* Descontado, ocorre nos períodos 137 (11 anos e 5 meses) e 139 (11 anos e 7 meses) respectivamente.

Com taxa mais severa que a bandeira amarela, a bandeira vermelha patamar 1, adiciona, no valor do kWh, R\$ 0,03, resultando em uma tarifa no valor de R\$ 0,353, sem tributos. A Tabela Vermelha apresenta os valores obtidos através do cálculo de viabilidade econômica dos resultados com imposição da bandeira Vermelha.

Tabela 14 - Resultados obtidos sob a bandeira vermelha patamar 1

Cenário	Potência Instalada (KWp)	<i>Payback</i> (meses)	<i>Payback</i> descontado (meses)	TIR	VPL
5	7,92	94	128	1,19%	R\$ 53.064,68
6	13,68	96	130	1,18%	R\$ 84.019,24

FONTE: Autor, 2018.

Os valores obtidos, novamente são viáveis devido aos valores de VPL serem positivos. O *Payback* Simples, para os cenários 5 e 6 ocorrem nos períodos 94 e 96 respectivamente. Para o método de *Payback* Descontado, os períodos ficam nos meses 128(10 anos e 8 meses) e 130 (10 anos e 10 meses).

Para os cálculos dos valores da bandeira tarifária vermelha patamar 2, acrescentou-se o valor de R\$ 0,05 no custo da energia, tendo assim o valor de R\$ 0,373 por kWh. Dessa forma a Tabela 15 apresenta os valores de VPL, TIR, *Payback* Simples e *Payback* Descontado mais atrativos do presente estudo.

Tabela 15 - Resultados obtidos sob a bandeira vermelha patamar 2

Cenário	Potência Instalada (KWp)	<i>Payback</i> (meses)	<i>Payback</i> descontado (meses)	TIR	VPL
7	7,92	90	120	1,26%	R\$ 59.180,29
8	13,68	91	122	1,24%	R\$ 93.878,43

FONTE: Autor, 2018.

Conforme os dados apresentados pela Tabela 15, o *Payback* Simples dos cenários 7 e 8 ocorrem nos períodos 90 (7 anos e 6 meses) e 91 (7 anos e 7 meses), enquanto o *Payback* Descontado ocorre nos períodos 120 (10 anos) e 122 (10 anos e 2 meses) respectivamente.

Com uma TIR de 1,26%, e um tempo de retorno de 90 e 120 meses para *Payback* Simples e *Payback* Descontado, o cenário 7 apresentou valores mais viáveis que os demais. Porém todos os cenários são viáveis pois apresentaram VPLs positivos.

#### 4.2 LCOE

Para que possa-se descobrir o valor real da energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos, conforme mencionado anteriormente, é imprescindível usar o método de cálculo LCOE. Com auxílio da Equação 6 já estabelecida, é preciso encontrar o fator de recuperação de capital (CRF). Usando a taxa média de rendimento anual da poupança, também já estabelecida (0,5718%) e o tempo de vida útil dos sistemas fotovoltaicos (300 meses), obteve-se o valor de 0,006979702 para o CRF. Este valor é uma constante que é utilizada em ambos os sistemas, pois o tempo de vida útil dos equipamentos são iguais. Demais variáveis, como custo de instalação e manutenção e potência efetiva, podem ser observadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Valor de LCOE para cada sistema fotovoltaico

Potência Nominal (KWp)	Rendimento Mensal (KWh)	Manutenção (em reais - R\$)	Custo do Equipamento (em reais - R\$)	LCOE (R\$/kWh)
------------------------	-------------------------	-----------------------------	---------------------------------------	----------------

Sistema 1	7,92 kWp	1.001,33	2.950,35	50.835,00	0,0110
Sistema 2	13,68 kWp	1.614,28	5.900,71	83.099,90	0,0134

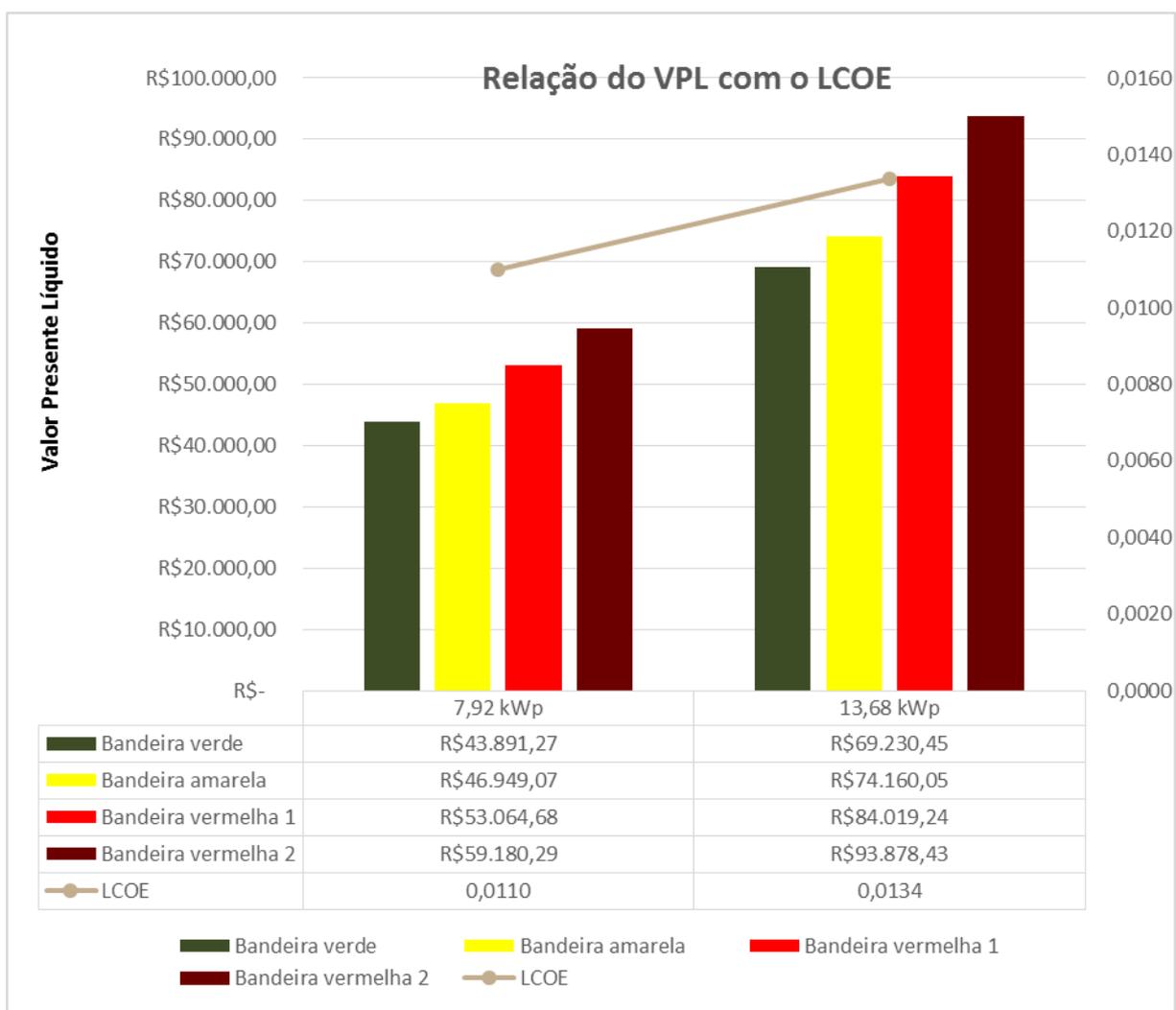
FONTE: Autor, 2018.

Ambos os sistemas fotovoltaicos apresentam resultados viáveis e eficientes com relação aos resultados obtidos através dos cálculos de LCOE. São valores razoavelmente parecidos, uma vez que o valor do equipamento e manutenção são relativamente proporcionais a potência nominal. Dessa forma, conforme a Tabela 16, o sistema de 7,92 kWp apresenta custo de R\$ 0,0110 por kWh gerado, enquanto que o sistema de 13,68 kWp apresenta um custo de R\$ 0,0134 por kWh gerado.

#### 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisou-se, através dos resultados obtidos anteriormente, a viabilidade econômica dos cenários durante um período de 300 meses (25 anos). Principal variável no cálculo de rendimento de energia, a degradação da capacidade de geração do equipamento de 0,8 % ao ano, provoca um decréscimo de 18,1% da potência efetiva média, no final do período. Por outro lado, considerando que o valor da TIR é superior que a TMA e os valores de VPL são positivos, conclui-se que todos os cenários são economicamente viáveis. A Figura 15 apresenta os valores de VPL e sua relação com o cálculo LCOE para cada bandeira tarifária. É possível verificar que tanto os valores de VPL quanto os valores de LCOE aumentam conforme ou aumento das bandeiras tarifárias em ambos os sistemas fotovoltaicos.

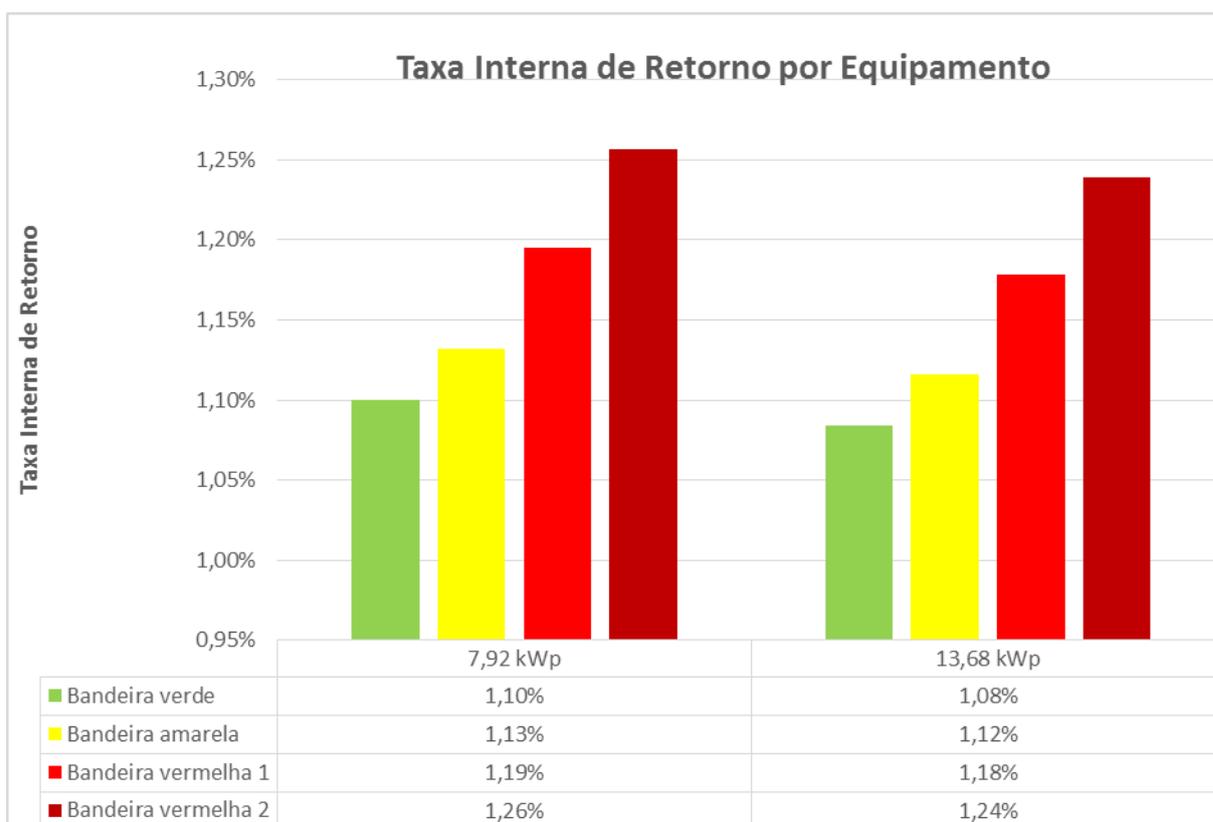
Figura 15 - Relação VPL e LCOE



FONTE: Autor, 2018.

A TIR influencia diretamente na viabilidade de um projeto. A Figura 16 apresenta os valores da TIR para sistemas fotovoltaicos orçados.

Figura 16 - Taxa Interna de Retorno por Equipamento



FONTE: Autor, 2018.

Os valores da TIR obtidos na Figura 16, são mais atrativos para o sistema de menor potência (7,92 kWp). Esse fato foi influenciado por conta da empresa contata cobrar um valor muito elevado para o sistema de 13,68 kWp.

## 5 CONCLUSÃO

Através do referencial teórico apresentado, a aplicação dos métodos de cálculos, uso de softwares de produtividade e geografia e auxílio de uma empresa especializada no ramo da energia solar fotovoltaica, foi elaborado o estudo de viabilidade econômica de utilizar sistemas fotovoltaicos na Faculdade Horizontina.

O estudo partiu devido à construção do novo Centro Administrativo da instituição, convergindo com uma linha de tendência sustentável que o prédio já tem empregado, tornando-o um objeto de estudo.

Ao final da pesquisa observou-se que devido aos resultados obtidos para os cenários estabelecidos neste estudo, devido ao custo inicial, custo de manutenção e bandeiras tarifárias, conclui-se que os cenários 7 e 8 apresentam maior eficiência econômica perante aos demais cenários, sendo que o cenário 7 apresenta a maior TIR, de 1,26% conquistando o título de melhor cenário, gerando um VPL de R\$ 59.180,29. Desse modo, o sistema de 7,2 kWp, atendendo a 66,66 % da demanda estipulada para o Centro Administrativo da FAHOR, dispõem-se como melhor solução economicamente possível.

Por fim, o trabalho atingiu o objetivo proposto inicialmente em relação a análise de viabilidade econômica. Com diferentes cenários com maior e menor grau de eficiência, sendo todos atrativos e viáveis podendo suprir a demanda energética, metodologicamente estipulada, de 66,66% e 111% do Centro Administrativo da FAHOR.

## REFERÊNCIAS

- AEO – **Annual Energy Outlook: with projections to 2050**. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO2018.pdf>. Acesso em: 30 de novembro de 2018
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. 2ª Edição. Brasília – DF, 2005;
- ANEEL. AGÊNCIA NAIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa N° 414. Brasília, 2010
- ANEEL. AGÊNCIA NAIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa N° 482. Brasília, 2012.
- ANEEL. AGÊNCIA NAIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa N° 687. Brasília, 2015.
- AVILA, A. **Matemática Financeira e Engenharia Econômica**. "Programa de Educação Tutorial da Engenharia Civil – UFSC", Florianópolis, 2013.
- BANCO CENTRAL DO DRASIL – **Calculadora do Cidadão** Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/calculadora/calculadoracidadao.asp> Acesso em: (27 de out. de 2018).
- BANCO CENTRAL DO DRASIL – **Metas**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/Pec/metas/TabelaMetaseResultados.pdf> Acesso em: (27 de out. 2018).
- BLANK, L; TARQUIN, A. **Engenharia Econômica** – Tradução José Carlos Barbosa dos Santos. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.
- BLANK, L; TARQUIN, A. **Engineering Economy**. 7. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2012
- BLUESOL. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. Livro digital de introdução aos sistemas solares. Ed. Bluesol Educacional, 2018.
- BRASIL. Decreto-lei nº. 12.703/2012. Taxa Selic. Planalto, Brasília, DF, de 07 de agosto de 2012.
- CAPRIGLIONE, P. S. **A energia renovável na matriz energética brasileira**. São Paulo: Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas – FGV – EESP, 2006.
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.
- COEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente, **Licenças Eólicas 2018**. Disponível em: <http://cearensidade.com.br/coema-pode-simplificar-licencas-para-eolicas-e-fotovoltaicas/>. Acesso em: 13 de out de 2018;
- COLAFERRO, Luis. **Energia Solar no Brasil: Um panorama para você entender tudo**. Ed. Bluesol Energia Solar, 2018. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>, Acesso em: 14 de out. de 2018.

CPFL. Bandeiras Tarifárias: São Paulo, 2017 Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/bandeira-tarifaria/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 10 novembro 2018.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

DESCARTES, R. **Discurso do método; Meditações; Objeções e respostas. As paixões da alma; Cartas**. Tradução de J. Guinsburg e Bento Prado Júnior. 2. Ed. São Paulo: Abril Cultural, 1979.

DOE - OFFICE OF INDIAN ENERGY. **Levelized Cost of Energy (LCOE)**. Disponível em: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>. Acesso em: (04 de nov. 2018.)

ECYCLE: **Tipos de sistemas fotovoltaicos: On Grid e Off Grid**, 2013. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3483-sistema-fotovoltaico-painel-solar-estrutura-suporte-inversor-controlador-carga-cabos-baterias-captacao-armazenamento-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagens-desvantagens-fontes-renovavel-meio-ambiente-sustentavel-onde-comprar.html> Acesso em: (11 de out. 2018).

ELEKTSOLAR. **Orçamento**. Disponível em: <https://elektsolar.com.br/solicite-aqui-seu-orcamento-personalizado/>. Acesso em (02 de nov. 2018)

ESPARTA, R. J.; LUCON, O. S.; UHLIG, A. Energia Renovável no Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 10, 2004, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CBE

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico-Econômica**. São Paulo: GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica, 2012.

FAHOR. **Álbum de Fotos**. Disponível em <http://albuns.fahor.com.br/>. Acesso em: (30 de out. 2018)

FARRET, F. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. 3. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2014.

FERREIRA, A. et al. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 81. 180-191, 2017.

GOOGLE. Google Earth. 2018. FAHOR. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em :10 novembro 2018

GITMAN, Lawrence. **Princípios de Administração Financeira**. 10. Ed. São Paulo. Pearson Education, 2004.

IEA - International Energy Agency. **Snapshot of global photovoltaic markets**. 2016 T1-29 ed. Paris: EA PVPS, 2016.

IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração**. 2014. Disponível em: <http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>. Acesso em: (15 de mar. 2016).

- JARDIM C. S. **A inserção da geração fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- KASSAI, Jose Roberto; KASSAI, Silvia; SANTOS, Ariovaldo dos; ASSAF NETO, Areovaldo. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial.** 2. ed. São Paulo. Atlas, 2000.
- LACCHINI, C. **Análise econômica de sistemas fotovoltaicos residenciais no contexto brasileiro, com foco nos indicadores financeiros e nas tarifas locais de energia elétrica.** 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. **Solar Energy**, v. 81, n. 4, p. 517-528, 2007;
- MATRIZ energética. Brasília: Governo do Brasil, 2010. Disponível: <http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente>. Acesso em 30 de out. 2018.
- MELO, A. et al. **Energia solar: Produção e utilização.** 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de computadores) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2015.
- MME - Ministério das Minas e Energia. **Governo regulamenta o PROINFA.** Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/noticias.asp?url>. Acesso em: 30 de out. 2018;
- MME - Ministério de Minas e Energia. **PNE - Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2007.
- MME - Ministério de Minas e Energia. **PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica,** 2004. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfa/o-programa/energias-renovaveis>. Acesso em 01 de nov. 2018.
- MME -Ministério de Minas e Energia. **Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico.** Brasília, 2017;
- MOTA R. R.; CALÔBA G. M. **Análise de investimentos.** 1.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: Situação e perspectivas.** Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2017. (Estudo técnico à Câmara dos Deputados, Brasília).
- PAWEL, I. The Cost Of Storage – How to Calculate the Levelized Cost of Stored Energy (LCOE) and applications to Renewable Energy Generation. **Energy Procedia**, Wiener Neudorf, v. 46, n 159, p.68-77, jan. 2014.
- PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica.** Porto: Publindústria, 2011.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014
- PINTO, C. et al. **Energia Solar.** Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP, 2015. (Projeto FEUP)

RAMADHAM, M.; NASEEB, A. **The cost benefit analysis of implementing photovoltaic solar system in the state of Kuwait.** *Renewable Energy*, v. 36, n. 4, p. 1272 – 1276, 2011.

RETSCREEN. Version 6.1.1.92. [S.l.]: Minister Of Natural Resorces Canada, 2018. 1 CD-ROM.

RGE-RS. **A RGE.** Disponível em: <https://www.rge-rs.com.br/institucional/quem-somos/a-rge/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 30 novembro 2018 .

SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Mossoró, v. 74, n. 81, p. 590-601, fev. 2017.

SOLARGIS – **Bankable Solar Data for Better Decisions.** Disponível em: <http://charlezine.com.br/niveis-de-irradiacao-solar>. Acesso em 10 de out. 2018.

SOLARPACES – **Solar Power and Chemical Energy Systems**, 2010. Disponível em:

<http://riosvivos.org.br/a/Noticia/Veja+o+mapa+da+radiacao+solar+no+Brasil/15589.>, Acesso em 15 de out. 2018.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil.** Rio de Janeiro: ENERGE/Eletróbrás, 2003.

VALE, M. A. et al. Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian housing program “Minha Casa Minha Vida”. **Energy Policy**. Niterói, v. 108, n. 1, p. 292-298, jun. 2017.

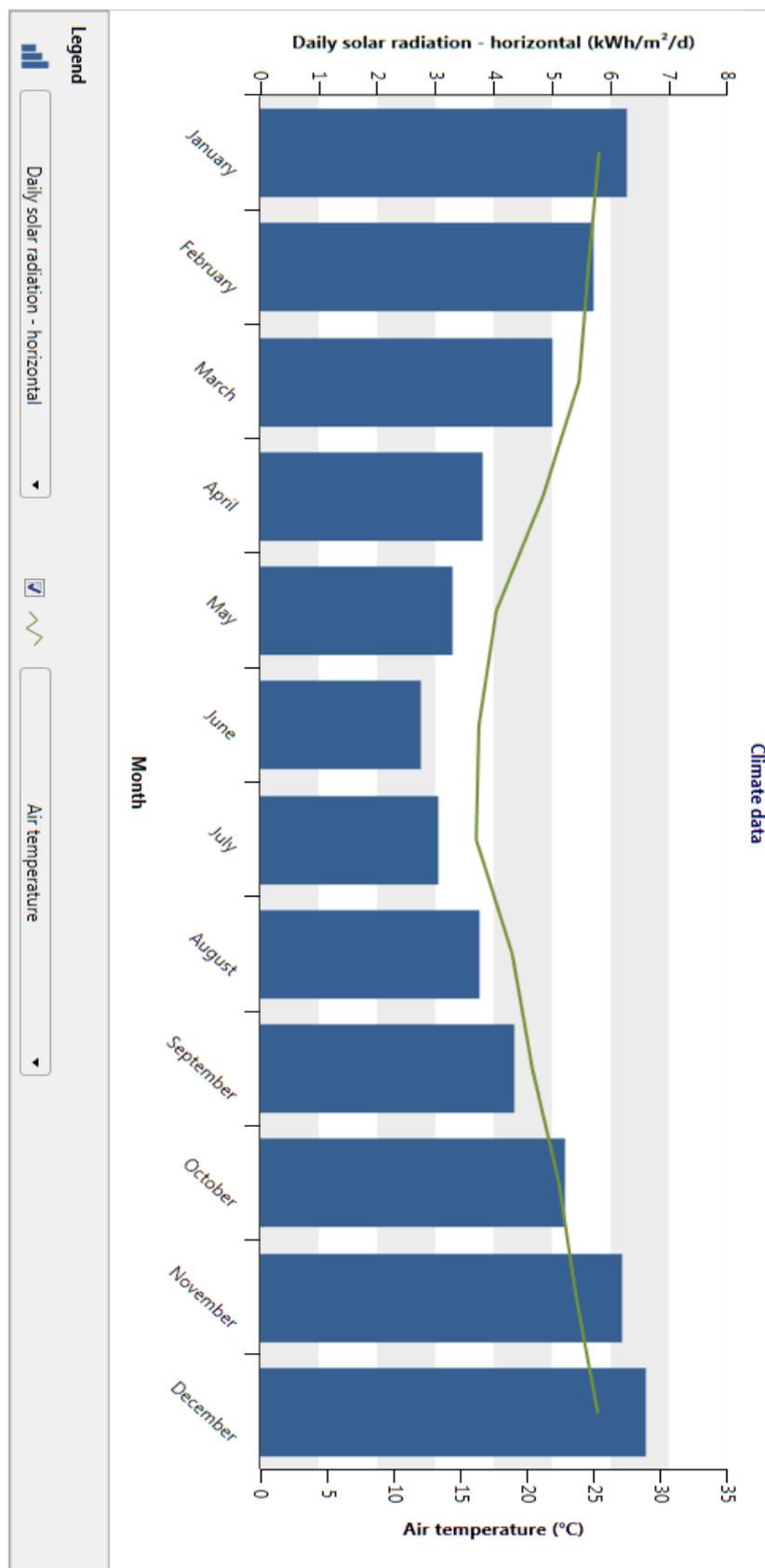
VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Erica, 2012.

## ANEXO A – DADOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE HORIZONTINA

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Precipitation mm	Daily solar radiation - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days 18 °C °C-d	Cooling degree-days 10 °C °C-d
January	25,4	68,2%	167,45	6,29	97,5	2,8	25,8	0	477
February	24,6	71,3%	160,30	5,71	97,6	2,9	24,8	0	409
March	23,9	71,5%	135,81	5,01	97,7	2,8	23,9	0	431
April	21,2	73,1%	186,17	3,82	97,9	2,8	20,8	0	336
May	17,7	71,4%	160,32	3,30	98,1	3,1	16,9	9	239
June	16,4	69,3%	137,22	2,76	98,2	3,2	15,3	48	192
July	16,2	63,2%	124,77	3,07	98,3	3,4	15,4	56	192
August	18,9	54,7%	113,55	3,77	98,2	3,3	18,6	0	276
September	20,4	56,7%	174,88	4,35	98,0	3,4	20,6	0	312
October	22,4	60,8%	286,17	5,22	97,8	3,3	22,6	0	384
November	23,7	60,7%	182,95	6,20	97,6	3,2	24,2	0	411
December	25,3	61,2%	179,70	6,61	97,4	3,0	25,8	0	474
<b>Annual</b>	<b>21,3</b>	<b>65,1%</b>	<b>2.009,29</b>	<b>4,67</b>	<b>97,8</b>	<b>3,1</b>	<b>21,2</b>	<b>113</b>	<b>4.134</b>
Source	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Measured at						10 m	0		

Fonte: (RetScreen, 2018)

## ANEXO B – IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA HORIZONTAL EM HORIZONTALINA



Fonte: (RetScreen, 2018)

