

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL SOPRAN ROCHA
ODINEY SILVA RODRIGUES

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA PELO EFEITO FOTOVOLTAICO**

ANÁPOLIS / GO

2019

GABRIEL SOPRAN ROCHA
ODINEY SILVA RODRIGUES

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA PELO EFEITO FOTOVOLTAICO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: LEANDRO DANIEL PORFIRO

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

ROCHA, GABRIEL SOPRAN/ RODRIGUES, ODINEY SILVA

Estudo de Viabilidade de um Sistema de Geração de Energia Através do Efeito Fotovoltaico
64P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| 1. Energia Fotovoltaica | 2. Viabilidade |
| 3. Fontes Renováveis | 4. Sustentabilidade |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10º) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, Gabriel Sopran; Rodrigues, Odiney Silva. Estudo de Viabilidade de Sistema de Geração de Energia Elétrica Através do Efeito Fotovoltaico. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 62p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriel Sopran Rocha

Odiney Silva Rodrigues

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de Viabilidade de um Sistema de Geração de Energia Elétrica Através do Efeito Fotovoltaico

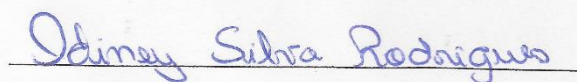
GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Gabriel Sopran Rocha

E-mail: gabrielsopranrocha@gmail.com



Odiney Silva Rodrigues


E-mail: odiney@gmail.com

GABRIEL SOPRAN ROCHA
ODINEY SILVA RODRIGUES

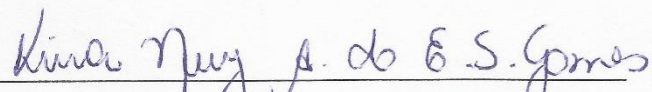
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:



LEANDRO DANIEL PORFIRO, Doutor (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)



KÍRIA NERY ALVEZ DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 04 de DEZEMBRO de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me abençoado dando forças e oportunidades de chegar até aqui. Aos meus pais pelo incentivo e apoio incondicional, me apoiando nos momentos de dificuldade, me fazendo ser capaz de seguir em frente sem me abalar.

Gabriel Sopran Rocha

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido a oportunidade de realizar este curso. Agradeço a minha família pela paciência e compreensão nas horas que estive ausente, empenhado meu tempo no aprendizado.

Odiney Silva Rodrigues

RESUMO

O crescimento constante do consumo de energia elétrica na sociedade faz com que ocorra a busca por novas fontes de sua produção, e associadas a preocupação com a preservação do meio ambiente faz com que as fontes de energia sustentável ganhem cada vez mais espaço no mercado. O aproveitamento da luz solar para a geração de energia elétrica é uma delas, esse processo ocorre através dos sistemas fotovoltaicos. O Brasil é um país muito propício para o aproveitamento da luz solar, pois recebe altas taxas de incidência solar durante todo ano, mas mesmo assim apenas uma pequena parte de sua matriz energética é formada por sistemas fotovoltaicos. Mas o país apresenta um cenário otimista de crescimento desse tipo de tecnologia: o desenvolvimento de módulos solares, que vem apresentando melhor rendimento, os incentivos governamentais, e a diminuição dos custos desses sistemas trouxeram uma boa projeção de crescimento. Muitos ainda não sabem o quão rentável um sistema fotovoltaico pode ser, por isso acabam optando pela não instalação do mesmo, mas o sistema é muito viável. Através deste estudo verificasse a viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, utilizando como local de estudo uma edificação localizada na cidade de Goiânia. O resultado foi muito satisfatório, pois com a análise constatasse que o sistema se custearia em cerca de quatro anos, e fica ativo por cerca de vinte e cinco anos com custos de manutenção muitos baixos, trazendo um retorno financeiro de cerca de seis vezes o valor investido no sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar. Sistemas Fotovoltaicos. Fontes Renováveis. Radiação Solar. Potência de Sistemas Fotovoltaicos.

ABSTRACT

The constant growth of electricity consumption in society causes the search for new sources of its production, and associated with the concern with the preservation of the environment makes the sources of sustainable energy gain more space in the market. The use of sunlight for the generation of electricity is one of them, this process occurs through photovoltaic systems. Brazil is a very suitable country for the use of sunlight, as it receives high rates of solar incidence throughout the year, but still only a small part of its energy matrix is made up of photovoltaic systems, but the country presents an optimistic scenario of The growth of this type of technology, the development of solar modules, which have been presenting better performance, the government incentives, and the reduction of the costs of these systems brought a good growth projection. Many still do not know how profitable a photovoltaic system can be, so end up opting not to install it, but the system is very viable, through our study we show the viability of a photovoltaic system connected to the power grid, using as a place of study a building located in the city of Goiania, the result was very satisfactory, because with our analysis we found that the system would cost in about four years, and is active for about twenty-five years with very low maintenance costs, bringing a financial return of about six times the amount invested in the system.

KEYWORDS: Solar Energy. Photovoltaic systems. Renewable sources. Solar radiation. Power of Photovoltaic Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região pn de um semicondutor de silício.....	177
Figura 2 - Célula Fotovoltaica de Silício	199
Figura 3 – Modelo Sistema Fotovoltaico Isolado	20
Figura 4 – Modelo Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede.....	21
Figura 5 - Composição do Módulo Fotovoltaico.....	233
Figura 6 - Associação em Série.....	233
Figura 7 - Associação em Paralelo	244
Figura 8 – Diagrama Esquemático de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	255
Figura 9 - Potência Instalada (MW) de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica por UF.....	288
Figura 10 – Comparativos de Classe	2828
Figura 11 - Geração de Créditos.....	298
Figura 12 - Níveis de Irradiação Solar no Mundo	322
Figura 13 - Tipos de Irradiação	322
Figura 14 - Total Diário da Irradiação Global Horizontal.....	333
Figura 15 - Projeção de unidades de microgeradores instalados que receberiam créditos até 2024	344
Figura 16 - Projeção de Potência instalada para microgeradores até 2024.....	344
Figura 17 - Localização do Condomínio na cidade de Goiânia-GO.	366
Figura 18 - Localização Geográfica.	377
Figura 19 - Cobertura do Edifício	377
Figura 20 - Dados da Unidade Consumidora	388
Figura 21 - Cinturão do Sol	40
Figura 22 - Média anual de irradiação solar.....	41
Figura 23 - Módulo Solar Q. Power L-G5 335W	422
Figura 24 - Posicionamento do Sol em Relação a Edificação	444
Figura 25 - Áreas de Instalação dos Módulos Solares	444
Figura 26 - Disposição dos Módulos Solares na Tampa do Reservatório	455
Figura 27 - Disposição dos Módulos Solares na Cobertura.....	455
Figura 28 - Inversor Trifásico Grid-Tie Fronius Symo Brasil 12.0 – 220 V (12000 W).....	488
Figura 29 - Caixa de Proteção CC - String Box - Proauto Dehn - 1000V	499
Figura 30 - Processos para regularização.....	555
Figura 31 - Componentes do Sistema Fotovoltaico	566

Figura 32 - Medidor Bidirecional.....	577
Figura 33 - Preparação do local.....	588
Figura 34 - Fixação dos suportes e impermeabilização do furo no telhado.....	588
Figura 35 - Montagem dos trilhos de alumínio	599
Figura 36 - Fixação dos painéis a estrutura.....	599
Figura 37 - Cabeamento passando pelo String Box e Inversor	60

LISTA DE TABELA

Tabela 1 -Matriz Energética Brasileira	277
Tabela 2 - Custo de Disponibilidade	399
Tabela 3 - Valor Kit Energia Solar	51
Tabela 4 - Valor Produtos no Varejo	51
Tabela 5 - Variação de Perdas em Sistemas Fotovoltaicos	522
Tabela 6 - Retorno Financeiro Kit Energia Solar	544
Tabela 7 - Prazo em dias por processo.....	555

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIG	Banco de Informações de Geração
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
GD	Geração Distribuída
HSP	Horas de Sol Pleno
kWh	Kilo Watt Hora
kWp	Kilo Watt Pico
MME	Ministério de Minas e Energia
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	133
1.1 JUSTIFICATIVA.....	133
1.2 OBJETIVOS.....	144
1.2.1 Objetivo geral.....	144
1.2.2 Objetivos específicos	144
1.3 METODOLOGIA	144
2 ENERGIA FOTOVOLTAICA	166
2.1 CELULA FOTOVOLTAICA	166
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	199
2.2.1 Sistema Fotovoltaico Isolado	20
2.2.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	20
2.2.3 Comparação Entre os Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	21
2.3 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	222
2.3.1 Módulos Fotovoltaicos	222
2.3.2 Inversores	244
2.3.3 Controladores de Carga	255
3 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL	266
3.1 CENÁRIO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	266
3.2 RESOLUÇÕES NORMATIVAS - ANEEL	299
3.3 INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS	30
3.3.1 Incidência de Irradiação	31
3.3.2 Projeções	333
4 ESTUDO DE CASO	366
4.1 ANÁLISE DO EMPREENDIMENTO.....	366
4.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	388
4.3 INCIDÊNCIA SOLAR LOCAL	40
4.4 ESCOLHA DO PAINEL FOTOVOLTAICO	422
4.5 KIT DE ENERGIA SOLAR	466
4.5.1 Modulo Solar Q. Power L-G35 335W	477
4.5.2 Inversor Trifásico Grid-Tie Fronius Symo Brasil 12.0 – 220 V (12000 W)	488
4.5.3 Caixa de Proteção CC - String Box - Proauto Dehn - 1000V	499

4.5.4	Conectores, cabos solares e suportes.....	50
4.5.5	Demais custos.....	50
4.6	CUSTOS DO SISTEMA.....	51
4.7	PRODUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	522
4.8	RETORNO FINANCEIRO.....	533
4.9	REGULARIZAÇÃO JUNTO A DISTRIBUIDORA.....	544
4.10	INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	566
4.10.1	Instalação do Sistema.....	588
4.10.2	Riscos e Cuidados.....	60
4.10.3	Manutenção do sistema fotovoltaico.....	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	622

1 INTRODUÇÃO

A preocupação da sociedade com o meio ambiente tem crescido com o passar dos anos, o combate a agentes poluentes se tornou um grande desafio, um deles é a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, dentre outros. Isso fez com que a preocupação com a pesquisa e desenvolvimento de fontes de energia alternativa ganhasse destaque na sociedade, sendo uma delas a geração de energia fotovoltaica.

A radiação solar é uma fonte energética totalmente limpa, a energia que o sol irradia sobre a terra chega a ser maior que a demanda dos habitantes do planeta (VILLALVA, 2012). Essa energia pode ser convertida em eletricidade através dos painéis solares, que quando expostos à luz solar provocam a movimentação dos elétrons gerando eletricidade.

Mesmo o Brasil sendo um país propício a utilização dessa fonte de energia, esse recurso ainda é pouco utilizado, a energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos é de cerca de 1,2% do total produzido no país, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019).

Atualmente a maior fonte de geração de energia elétrica no Brasil são as usinas hidrelétricas que segundo a ANEEL corresponde a pouco mais de 60% da potência total instalada no país, isso se deve pela abundância hídrica que o país possui, e com o processo de evaporação as águas dos rios sempre estão se renovando, tornando assim a energia hidrelétrica uma fonte inesgotável (VILLALVA, 2012).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) no ano de 2019 a energia solar no Brasil deve ter um aumento de sua capacidade em cerca de 44%, grande parte desse crescimento se deve à chamada Geração Distribuída (GD), que é um sistema no qual o consumidor se torna um micro gerador de energia. Este modelo de geração de energia tem sido mais acessível financeiramente e têm atraído diversos setores da sociedade inclusive faculdades. A grande vantagem é que este tipo de sistema se auto sustenta e ainda contribui com a geração de energia para o município onde estiver instalado.

1.1 JUSTIFICATIVA

O aumento da demanda de energia elétrica no planeta e a necessidade do desenvolvimento de fontes de energia renováveis se faz necessário para a preservação ambiental, o estudo de empreendimentos voltados para essa área é de suma importância,

buscando averiguar os verdadeiros resultados, tanto ambientais quanto financeiros, que os investimentos nessa área podem trazer.

O Brasil possui um grande potencial em relação a produção de eletricidade utilizando como fonte a energia solar, a análise de empreendimentos nessa área traz o desenvolvimento dos sistemas solares, gerando assim maior rendimento e rentabilidade dos mesmos.

Portanto o trabalho propõe um estudo de viabilidade de um sistema fotovoltaico, para o aproveitamento dessa fonte de energia que é abundante e limpa, que comparado ao seu potencial é pouco aproveitada, principalmente no Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede para um edifício na cidade de Goiânia.

1.2.2 Objetivos específicos

- Discutir o desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil;
- Analisar o cenário da energia fotovoltaica no Brasil;
- Calcular o custo e a viabilidade financeira de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para alimentar a área comum de um prédio localizado na cidade de Goiânia.

1.3 METODOLOGIA

Na primeira fase será realizado um estudo de revisão bibliográfica voltado para a célula fotovoltaica e o seu desenvolvimento tecnológico discutindo sua evolução e importância para a geração de energia elétrica no Brasil.

No segundo momento serão apresentados os tipos de sistemas fotovoltaicos e seus principais componentes, as vantagens e desvantagens de cada um deles.

Na terceira etapa será realizada uma análise da viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, para um edifício na cidade de Goiânia, observando seu histórico de

consumo, para ter uma estimativa de quantos módulos solares seriam necessários para alimentar o prédio, discutindo seu custo e quantidade de potência gerada, bem como sua viabilidade.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

- Capítulo 1 – Irá contemplar a introdução, objetivos gerais e específicos, bem como a metodologia e a estrutura do trabalho.
- Capítulo 2 – Será apresentado o funcionamento de uma célula fotovoltaica, seu desenvolvimento ao longo dos anos. Também trará os tipos de sistemas fotovoltaicos e seus principais componentes.
- Capítulo 3 – Abordará o panorama da energia fotovoltaica no Brasil.
- Capítulo 4 – Nesse capítulo será realizado um estudo de viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado a rede para o condomínio de uma edificação, bem como seus custos.
- Capítulo 5 – Considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos de energia e célula fotovoltaica, discutindo seu desenvolvimento tecnológico e suas aplicações, vantagens e desvantagens.

2.1 CELULA FOTOVOLTAICA

No ano de 1839 o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Alexandre Edmund Becquerel. Ele percebeu que uma pequena diferença de potencial era gerada quando placas metálicas, de platina ou prata, estavam mergulhadas em um eletrólito, eram expostas a luz. No início a energia solar era vista como algo futurista, como possuía um alto custo inicial, seu uso era restrito para cientistas e suas pesquisas, não acreditando que a mesma seria utilizada de maneira geral (SOLAR, 2018).

Após se passar décadas, em 1873, Willoughby Smith, que era um engenheiro eletricitista britânico, descobriu que propriedade fotocondutiva estava presente no selênio. Smith descobriu que quando exposto a luz o selênio se tornava um condutor, sua descoberta foi feita ao colocar o selênio em caixas escuras de baixo da água, assim ele conseguiu provar que não era o calor do sol que fazia o material reagir, mas sim a luz. No ano de 1877 o primeiro dispositivo sólido de geração de eletricidade com exposição a luz foi criado. Os responsáveis pela criação desse dispositivo foram William Grylls Adams e Richard Evans Day. Porém, tinha uma baixa eficiência de conversão, em torno de 0,5% (FERNANDES, 2014).

As primeiras células fotovoltaicas viriam a ser criadas no ano de 1883. O responsável pelo seu desenvolvimento foi o inventor americano Charles Fritts. Ele utilizou uma fina camada de ouro para cobrir o selênio, formando assim junções, essa célula tinha uma eficiência de cerca de 1% (VALLÊRA, 2006).

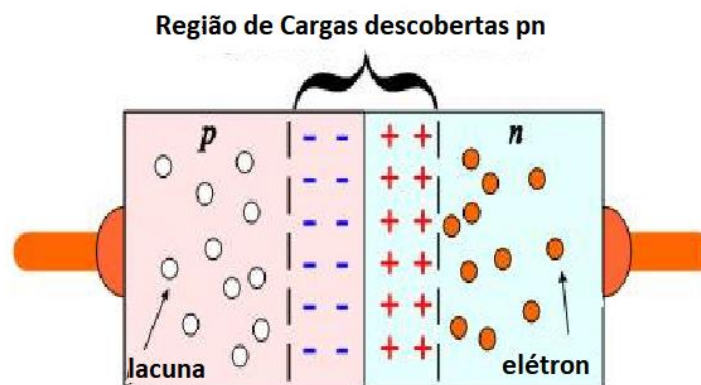
No ano de 1887 foi descoberto o efeito fotoelétrico, Heinrich Hertz estudava a produção de faíscas, estas eram produzidas pela diferença de potencial entre duas superfícies metálicas. Analisando a situação Hertz pode observar que a primeira faísca criava uma segunda faísca. Com o intuito de observar melhor a segunda faísca ele construiu uma proteção no sistema para evitar a dispersão da luz, porem ao contrário do que espera a segunda faísca diminuiu. Com o decorrer de seus experimentos Hertz observou que não importava com qual material a proteção era feita, sendo ela condutora ou isolante, com isso constatou que o evento não era de

natureza eletrostática. Com mais experimentos ele confirmou que as faíscas podem ser geradas pela luz, e chegou à conclusão que apenas a luz ultravioleta poderia realizar esse fenômeno.

A primeira célula fotovoltaica moderna começou em 1953, quando o químico Calvin Fuller utilizou uma baixa concentração de gálio para criar uma barra de silício dopada, o que fez com que ela se tornasse um condutor, que é chamado de silício “tipo p”, pois suas cargas móveis são positivas. Gerald Pearson, orientado por Fuller, mergulhou a barra criada em um banho quente de lítio, isso fez com que a barra possuísse em sua superfície uma zona com excesso de elétrons, que é chamado silício “tipo n”. Quando o silício desses dois tipos entra em contato ocorre o surgimento de um campo elétrico permanente na região, esse contato se denomina “junção p-n”. Pearson verificou que uma corrente elétrica era formada quando a amostra era exposta a luz (RODRIGUES, 2015).

A Figura 1 representa essa região pn irradiada pela luz.

Figura 1 - Região pn de um semiconductor de silício.



Pearson juntamente com Daryl Chapin, que era seu colega e de Fuller no Bells Labs, verificaram que a nova célula possuía cerca de 4% de eficiência de conversão, valores superiores as células de selênio já conhecidas e ensaiadas por Chapin. Os estudos nas novas células continuaram, logo verificaram a dificuldade de soldagem dos contatos, o que ocasionou em uma grande resistência-serie (IPUENERGY, 2019).

Foi então que Fuller tentou utilizar fósforo, para criar uma dopagem tipo n, com isso ele obteve uma maior estabilidade na junção p-n, porém não resolveu o problema dos contatos. Fuller então substituiu o gálio por arsênio formando um substrato tipo n, em seguida ele fez uma difusão de boro, isso fez com que uma zona tipo p, fosse criada na superfície. Assim uma nova célula era criada, essa podia ser facilmente soldada e tinha uma eficiência que chegava a 6%.

Foi em 25 de abril de 1954, em Washington, na reunião anual da Nacional Academy of Sciences, que a primeira célula solar foi apresentada e patenteada. A célula foi utilizada para alimentar um sistema de rádio portátil que realizou uma transmissão (VALLÊRA, 2006).

Em Americus, na cidade da Georgia, foi onde ocorreu a primeira aplicação das células solares, uma rede telefônica local foi alimentada por um painel com nove células com 30mm de diâmetro. O sistema foi montado em outubro de 1955 e removido em março do ano seguinte (AMBIENTE BRASIL, 2019).

Mesmo com resultados promissores na primeira aplicação das células, entenderam que os custos eram elevados, e eram economicamente viáveis em situações especiais, como a geração de energia no espaço.

Em 1958 o Vanguard I, foi o primeiro satélite a utilizar energia solar, inicialmente a NASA teve grande relutância em utilizar as células solares e as usou como um back-up de uma pilha química, que era comumente usada, porém a pilha falhou, e o painel de cerca de 100 cm² surpreendeu, mantendo o transmissor do satélite em funcionamento, que se manteve operacional durante oito anos. Após isso as células solares foram adotadas como fonte de energia no programa espacial norte-americano (VEISSID, 2012).

A corrida espacial foi um dos motivadores do desenvolvimento das células solares, isso aumentou a eficiências das mesmas, porém seus custos ainda não eram viáveis. Porém isso mudou, em 1973 ocorreu a crise petrolífera, que quadruplicou o preço do petróleo, trazendo grande preocupação. O medo trazido pela crise fez com que houvesse um súbito investimento nos programas que buscavam reduzir o custo das células solares (VALLÊRA, 2006).

Em 1982 a primeira usina fotovoltaica foi construída na Califórnia, sua potência era de 1 MW. Programas de telhados solares eram lançados na Alemanha e Japão. Tais iniciativas se davam pela preocupação que a queima de combustíveis fosseis trazia, ameaçando causar preocupações climáticas. Os poderes políticos perceberam que para tornar a energia solar mais acessível não bastava pesquisas para aumentar sua eficiência ou para reduzir seus custos, era necessário produzi-las em larga escala, assim o preço unitário da célula cairia.

Graças a estímulos ao mercado fotovoltaico, como o da Alemanha com a lei de tarifas garantidas¹, houve grande crescimento do mesmo no final dos anos noventa. Em 1999 os painéis solares atingiam seu primeiro Giga watt, e após três anos seu valor acumulado dobrou.

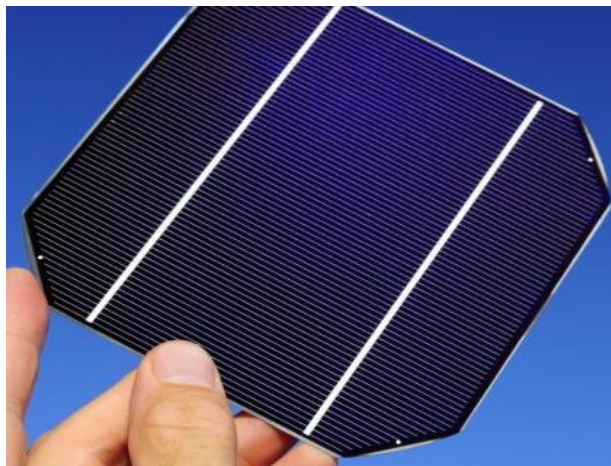
¹ A Lei de tarifas era garantiam ao investidor em fontes de energia renováveis um retorno financeiro, a partir da quantidade de energia produzida (COUTURE; GAGNON, 2010).

Contudo, as células fotovoltaicas através do efeito fotovoltaico são as responsáveis por transformar em energia elétrica a energia emanada pela radiação solar, as células são produzidas com material semicondutor, sendo a grande maioria feita com silício, este que passa por um processo de dopagem para obter dois tipos de materiais, um deles é eletricamente positivo, o silício tipo P, geralmente dopada com Boro (B), e um material com cargas negativas, o silício tipo N, geralmente dopada com Fósforo (P) (NASCIMENTO, 2004).

A junção dos materiais tipo P-N, criam um campo elétrico, quando a luz solar incide sobre a célula fotovoltaica, o silício se torna um condutor, pois os fótons são absorvidos pelos elétrons e ganham energia de cinética e são acelerados devido ao campo elétrico formado na junção P-N, os elétrons são orientados a ir da camada “P” para a “N”. Com o auxílio de condutores elétricos as duas camadas são ligadas, e assim é gerada uma corrente elétrica, que aumenta conforme a intensidade da luz solar sobre a célula e se mantém enquanto houver incidência do sol (NASCIMENTO, 2004).

Na Figura 2 é possível observar uma célula fotovoltaica de silício.

Figura 2 - Célula Fotovoltaica de Silício



Fonte: BLUESOL, 2017.

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

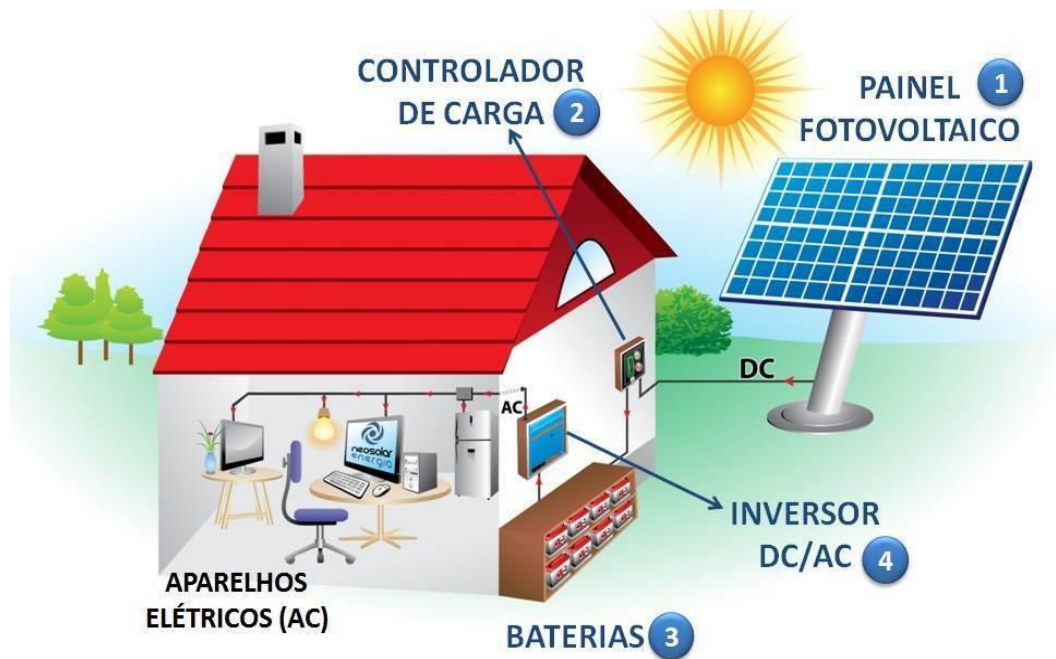
Os sistemas Fotovoltaicos podem ser classificados em dois modos: o isolado, que não estão integrados à rede e os conectados, que estão integrados à rede.

2.2.1 Sistema Fotovoltaico Isolado

Os sistemas fotovoltaicos isolado (SFI) ou *off-grid* (desconectados da rede), como também são conhecidos, é o sistema no qual, como o próprio nome já diz, funciona isolado da rede elétrica, utilizando baterias para armazenar a energia elétrica produzida (NEOSOLAR, 2018).

O funcionamento desse tipo de sistema ocorre da seguinte forma, o painel solar gera a energia elétrica, que passa por um controlador de carga antes de chegar à bateria, a carga passa da bateria para um inversor, após esse processo os equipamentos eletroeletrônicos poderão ser alimentados pelo sistema.

Figura 3 – Modelo Sistema Fotovoltaico Isolado



Fonte: NEOSOLAR, 2018.

Ou seja, o sistema é independente da rede elétrica, sendo ideal para locais isolados.

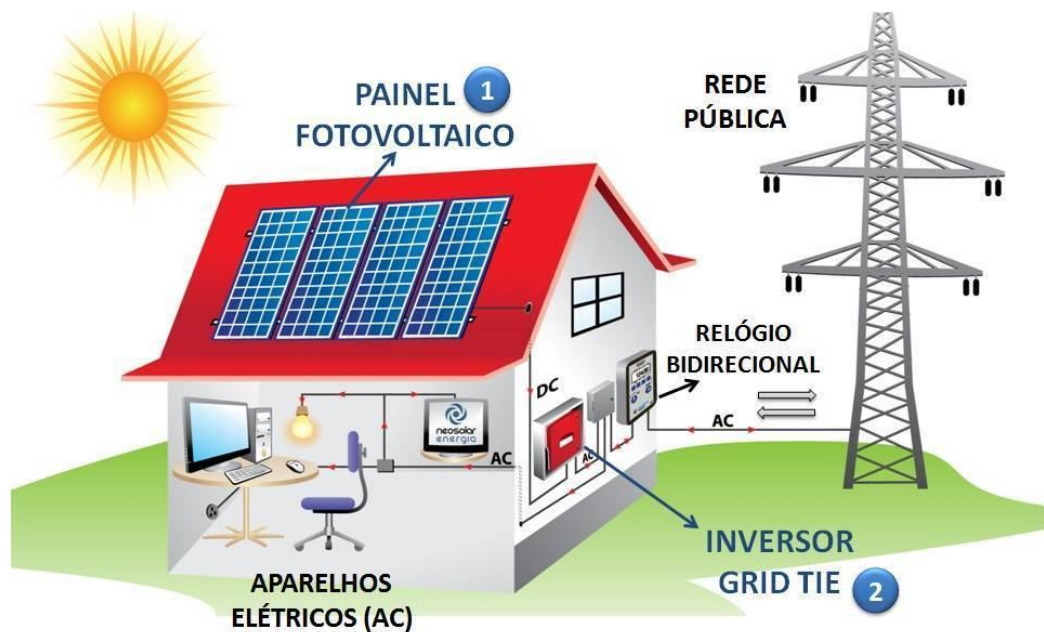
2.2.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), são aqueles que como o nome já diz tem seu trabalho juntamente com a rede elétrica, ou seja, a energia produzida é enviada ao inversor e posteriormente enviada a rede elétrica. Enquanto seu sistema está produzindo mais energia do que consome, o que seria o caso em períodos diurnos, seu sistema estará fornecendo

energia a rede elétrica, em função disso a energia excedente produzida pelo sistema será um crédito que será consumido nos momentos que não houverem produção de pelo sistema, ou que está produção seja menos que o consumo (RUTHER, 2004).

Para esse tipo de sistema deve ser utilizado um medidor bidirecional que é capaz de ler a energia consumida e injetada no sistema, a instalação desse equipamento é feita pela própria distribuidora de energia.

Figura 4 – Modelo Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Fonte: NEOSOLAR, 2018.

Ou seja, o consumidor também torna-se um micro produtor de energia.

2.2.3 Comparação Entre os Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

O Quadro 1 irá mostrar as principais diferenças entre os sistemas fotovoltaicos conectados à rede e os sistemas fotovoltaicos isolados.

Quadro 1 - Comparação Sistemas Fotovoltaicos

Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede	
Vantagens	Desvantagens
Custo reduzido	Não é completamente independente
Dispensa a utilização de baterias e sistema de cargas	
Mais eficiência	
Projeto mais equilibrado	
Sistema de compensação de créditos	Pagamento do custo de disponibilidade (o mínimo pelo uso da rede)
Possibilidade de utilizar os créditos em outra unidade consumidora do mesmo proprietário	
Tem os riscos técnicos reduzidos por contar com a rede da Distribuidora	
Sistema Fotovoltaico Isolado	
Vantagens	Desvantagens
Pode ser utilizado em regiões remotas	Custo mais elevado
Possui sistema de armazenamento de energia	Menos eficiente
Não há custo de disponibilidade	Depende de baterias e sistemas de carga

Fonte: Portal Solar, 2019.

2.3 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

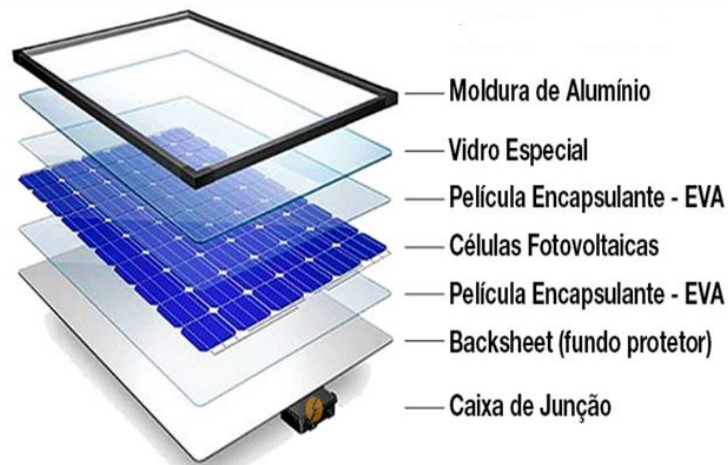
Alguns exemplos desses componentes são os módulos fotovoltaicos, a estrutura que irá receber os painéis, a fiação, os inversores, baterias para sistemas que não são ligados à rede.

2.3.1 Módulos Fotovoltaicos

O componente mais importante de um sistema fotovoltaico é o painel fotovoltaico. Esse é o componente responsável por gerar energia elétrica através da radiação solar. Os painéis fotovoltaicos ou módulos fotovoltaicos, como também são conhecidos, são formados por várias células que sozinhas tem uma baixa capacidade de gerar energia (VILLALVA, 2015). O fator que irá determinar a tensão em corrente contínua (CC) de operação do sistema é o número de painéis que estarão conectados entre si (RÜTHER, 2014).

Para a montagem de um painel solar, se utiliza uma fina faixa condutora, que liga uma célula fotovoltaica na outra, as tiras são feitas de modo a formar um circuito elétrico. Então um vidro temperado e tratado com substâncias antirreflexos e antiaderentes cobrem a série de células formadas. Na parte inferior do módulo fotovoltaico são colocados dois condutores, que se originam da caixa de junção e servem para ligar um módulo em outro, formando assim uma série, conforme demonstrado na Figura 5. (PORTAL SOLAR, 2017).

Figura 5 - Composição do Módulo Fotovoltaico

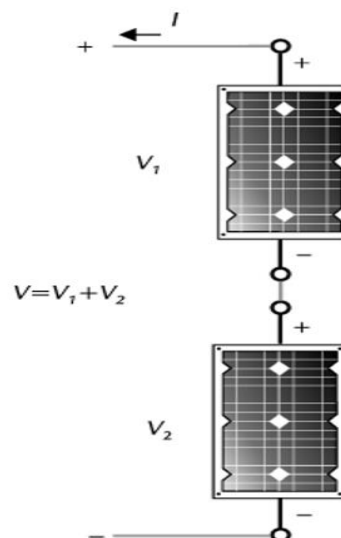


Fonte: PORTAL SOLAR, 2017.

Os módulos fotovoltaicos podem ser associados em série ou em paralelo, dependendo do que se deseja realizar com eles.

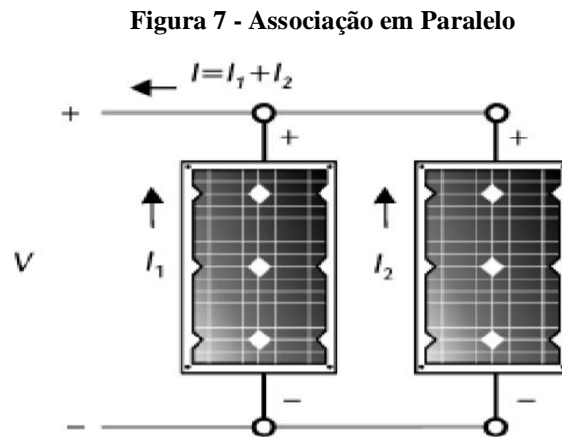
- Em série: as conexões em série os módulos são conectados uns nos outros em seus terminais opostos, ou seja, o terminal negativo de um módulo se liga ao positivo do outro e vice-versa, conforme Figura 6. Esse tipo de associação faz com que a tensão de saída total seja a soma das tensões de cada módulo, já a corrente da associação será igual a de um módulo. O cuidado com o sombreamento nesse sistema é fundamental pois a corrente do conjunto será igual à do menor módulo (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 6 - Associação em Série



Fonte: VILLALVA, 2012.

- Em Paralelo: nesse tipo de associação ocorre o inverso, os módulos são conectados com seus polos positivos ligados uns nos outros e o mesmo acontece com os negativos, ver Figura 7. Nessa associação a tensão do sistema é a mesma da de um único módulo, enquanto a corrente total será a soma da corrente de cada módulo (PINHO; GALDINO, 2014).



Fonte: VILLALVA, 2012.

Porém, além do formato da ligação (série ou paralelo) é necessário que o sistema seja conectado a um inversor, pois na medida em que as placas associadas começam a gerar corrente contínua (CC), elas necessitam de um sistema que absorva essa energia e a transforme em corrente alternada (CA), estes sistemas são chamados de inversores.

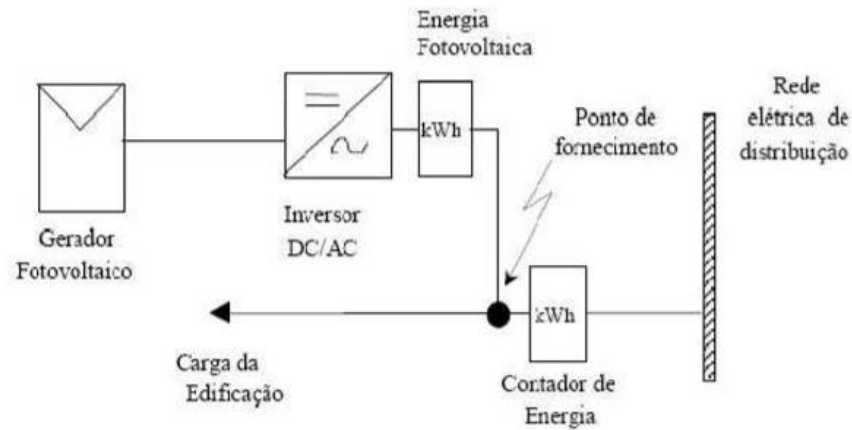
2.3.2 Inversores

O inversor é um componente que é responsável por converter a corrente CC, que é produzida pelos painéis fotovoltaicos, para CA, que é a fornecida pela rede elétrica e consequentemente possibilitar o funcionamento dos eletrodomésticos que trabalham nessa tensão (VILLALVA, 2012).

Os inversores podem ser *off-grid* (desconectado da rede), que são aqueles usados em sistemas fotovoltaicos autônomos, ou *grid-tie* (conectado à rede) que são os mais utilizados no mundo que são usados em conjunto com a rede elétrica, caso haja uma queda na rede elétrica esse tipo de inversor vem a cair (PORTAL SOLAR, 2017).

A figura 8 representa o esquema de sistema fotovoltaico com inversor.

Figura 8 – Diagrama Esquemático de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Fontes: LAMBERTS et al, 2010.

Além dos inversores o sistema de produção de energia fotovoltaica também necessita de controladores de carga, para controlarem a quantidade de carga ideal para as baterias.

2.3.3 Controladores de Carga

A função das baterias vai além de apenas armazenar a carga para o consumo quando não existe a produção de energia fotovoltaica, ela também é necessária para estabilizar a tensão que será enviada ao inversor e aos equipamentos que serão alimentados pelo sistema, mantendo constante, isso ocorre porque a tensão produzida pelos módulos fotovoltaicos não é constante. Logo os controladores de carga são utilizados de forma obrigatória nos sistemas fotovoltaicos que utilizam baterias, pois contribuem para a preservação da vida útil da bateria, pois ele é responsável por desconectar a bateria dos painéis fotovoltaicos quando ela atinge sua capacidade máxima, evitando sobrecargas que eventualmente podem até culminar em explosões, ele também evita que haja uma descarga excessiva da bateria fazendo com que ela se desconecte do consumo quando sua carga atingir um nível crítico (VILLALVA, 2012).

No próximo capítulo será apresentado o panorama da energia fotovoltaica no Brasil.

3 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O Brasil apresenta no momento um cenário ideal para implementação de novas fontes energéticas; isso devido principalmente ao tradicional modelo de geração de energia, que se utiliza basicamente de hidrelétricas e termoelétricas, não estar suprindo a demanda crescente por eletricidade da sociedade brasileira; ocasionando em aumentos nas tarifas de energia elétrica, que servem para manter os grandes empreendimentos do atual modelo.

Segundo à ABSOLAR (2019), dentre muitos benefícios que a Energia Fotovoltaica apresenta ao Brasil, destacam-se :

- Benefícios Socioeconômicos:

- Redução dos gastos com energia elétrica para a população empresas e governos, trazendo economia para a sociedade;
- Geração de empregos locais, adicionando 25 a 30 empregos por MW/ano;
- Atração de capital externo e novos investimentos privados.

- Benefícios Ambientais:

- Geração de eletricidade limpa, renovável e sustentável, sem emissão de gases de efeito estufa.
- Não precisa de água para operar, aliviando a pressão por recursos hídricos;
- Baixo impacto ao meio ambiente.

- Benefícios Estratégicos:

- Diversificação da matriz elétrica brasileira, aumentando o suprimento da energia elétrica;
- Redução de perdas e postergação de investimentos em transmissão e distribuição;
- Alívio da demanda elétrica em horário diurno, reduzindo custos aos consumidores.

3.1 CENÁRIO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Para complementar a geração de eletricidade no Brasil, a energia solar fotovoltaica representa uma ótima alternativa, porque o país que recebe uma alta taxa de irradiação solar, entretanto segundo o Banco de Informações de Geração, até fevereiro de 2019, apenas cerca de

1,2% do total matriz energética do Brasil é produzida por sistemas fotovoltaicos, o que equivale a pouco mais de 2 GW de potência instalada.

Na tabela 1 é possível observar as diferentes formas de geração de energia e sua correlação com suas respectivas capacidades de geração em termos da potência instalada.

Tabela 1 -Matriz Energética Brasileira

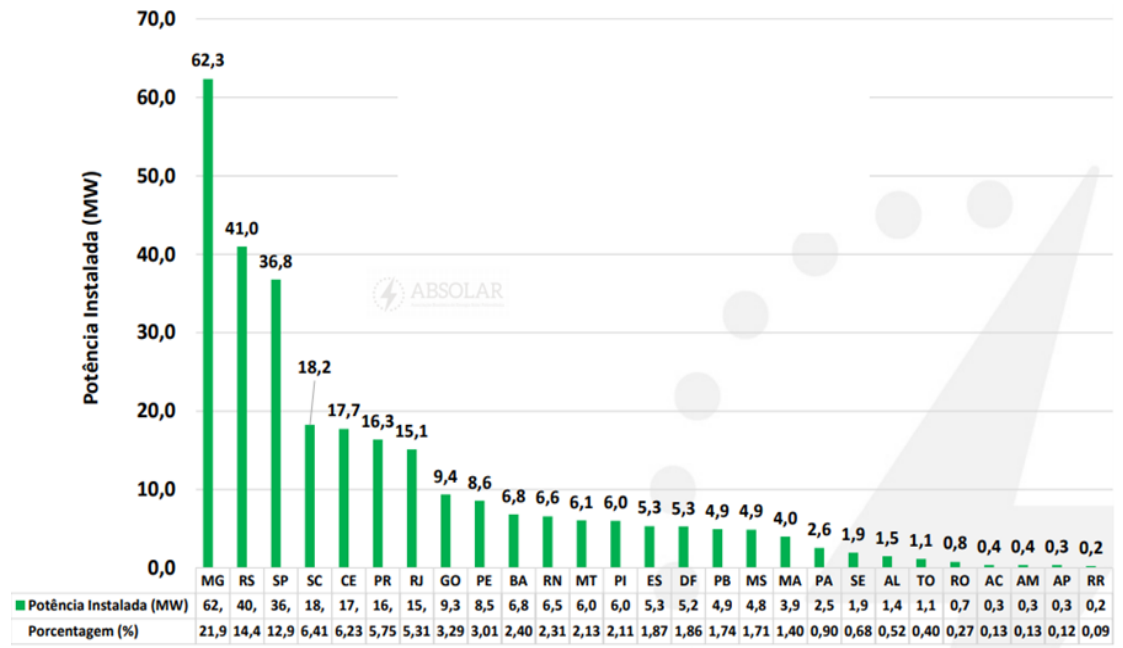
Matriz de Energia Elétrica			
Origem	Fonte	Capacidade Instalada	Representação
	Fonte Nivel 1	(KW)	%
Biomassa	Agroindustriais	11.432.386	8,6 %
	Biocombustíveis líquidos	4.670	
	Floresta	3.189.350	
	Resíduos animais	4.481	
	Resíduos sólidos urbanos	142.985	
Eólica	Cinética do vento	14.775.293	8,6 %
Fóssil	Carvão mineral	3.251.830	1,9 %
	Gás natural	13.369.419	7,8 %
	Outros Fósseis	152.950	0,1 %
	Petróleo	8.876.473	5,2 %
Hídrica	Potencial hidráulico	104.463.109	60,8 %
Nuclear	Urânio	1.990.000	1,2 %
Solar	Radiação solar	2.066.469	1,2 %
Undi-Elétrica	Cinética da água	50	0,00003 %
Importação	Importação	8.170.000	4,8 %

Fonte: ANEEL, 2019 (adaptado).

Porém o mercado de energia solar no Brasil vem se desenvolvendo muito, e estima-se um crescimento de 1,7 GW de potência instalada em poucos anos. Esses valores somados incluem empreendimentos que estão em construção e outros que ainda não tiveram início, mas serão construídos (ANEEL, 2019).

Embora o potencial para geração de energia fotovoltaica seja praticamente igual em todo o país, a expansão da tecnologia não ocorre na mesma proporcionalidade, a seguir uma representação da potência instalada em MW de geração distribuída por estados brasileiros. No gráfico da Figura 9, fica evidenciado que os três primeiros estados pertencentes as regiões Sul e Sudeste lideram o ranking e possuem quase 50% do potencial instalado no Brasil:

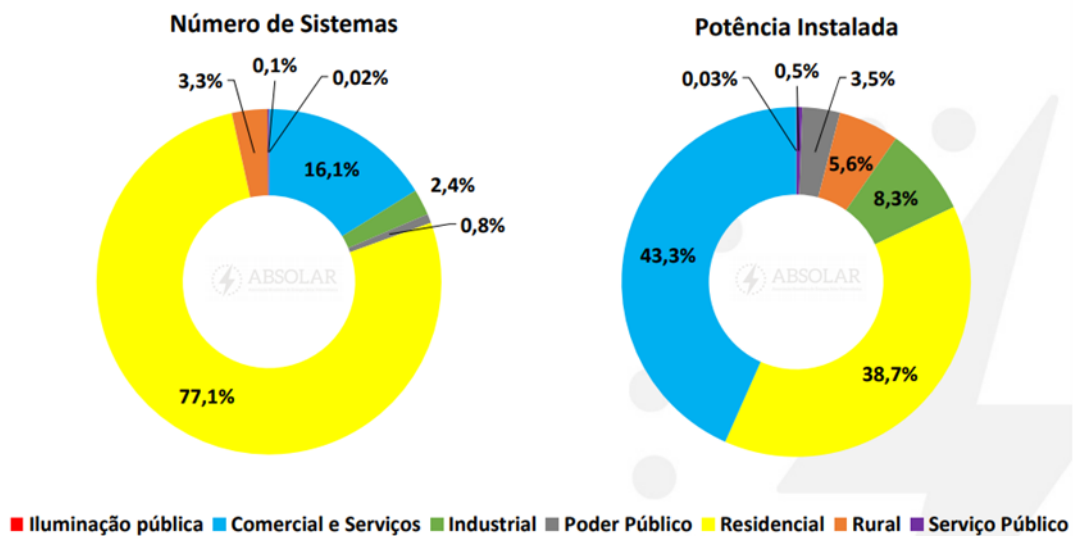
Figura 9 - Potência Instalada (MW) de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica por UF



Fonte: ANEEL, 2018.

A maior parte dos proprietários de sistemas fotovoltaicos no Brasil são consumidores de energia residencial, e por tal motivo cerca de 72% dos equipamentos instalados tem potência igual ou inferior a 5kW, devido ao perfil do consumidor; conforme ilustram os gráficos da figura 10 (ANEEL, 2017).

Figura 10 – Comparativos de Classe

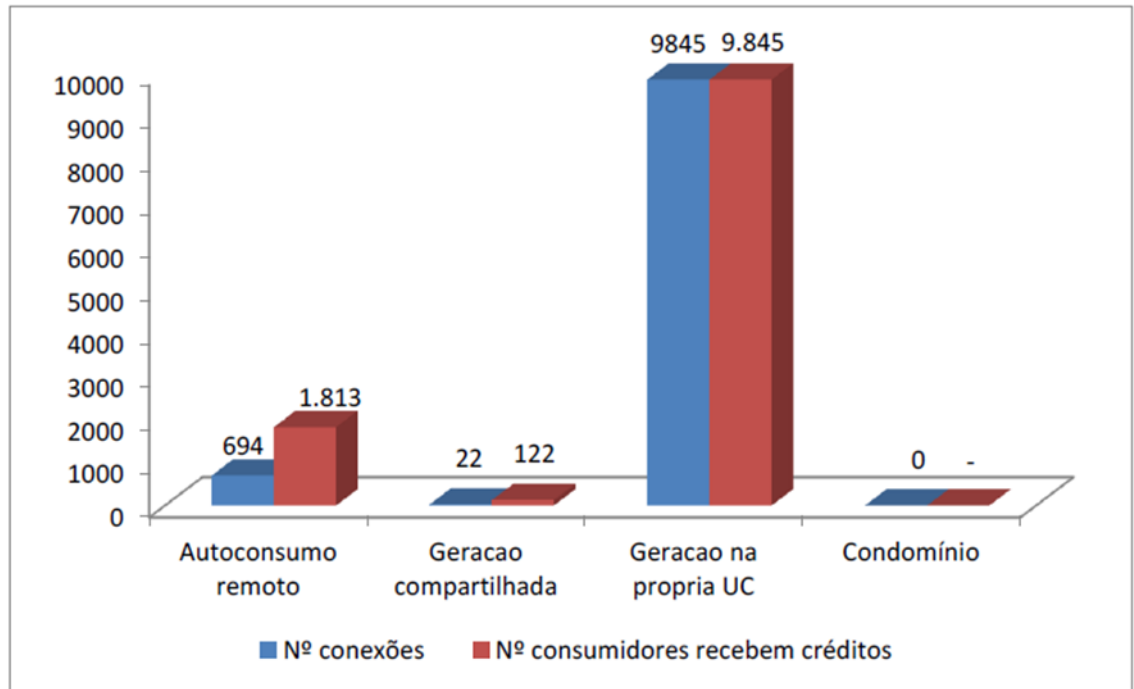


Fonte: ANEEL, 2018.

Nota-se que mesmo a classe residencial possuindo maior número de sistemas instalados; a classe comercial possui a maior potência instalada.

Com relação as modalidades de geração de distribuída (Figura 11) é possível observar a quantidade de conexões e de consumidores que geram créditos a partir do sistema de compensação de energia;

Figura 11 - Geração de Créditos



Fonte: ANEEL, 2017.

3.2 RESOLUÇÕES NORMATIVAS - ANEEL

Contudo a geração de energia fotovoltaica somente ganhou força no Brasil a partir de 2012, quando foi estabelecida a Resolução Normativa Nº 482 da ANEEL, que dispõe sobre o acesso de microgeração e minigeração de energia e do sistema de compensação de energia elétrica; tal resolução despertou o interesse da sociedade, visto que, pode-se gerar a energia elétrica necessária para suprir as necessidades de uma empresa, condomínio, residência dentre outros; e o excedente de energia gerada ser redirecionada a rede elétrica da concessionária que atende a região, para que ocorra a compensação de créditos. Este sistema de compensação e conhecido mundialmente como *net-metering*; por ser o primeiro ato regulatório é considerado o marco da geração solar no Brasil. A Resolução de 2012 precisou de algumas implementações,

como o aperfeiçoamento através da Resolução Normativa N° 687 de 2015, resolução complementar a N° 482; entre os principais objetivos da revisão estão:

- Reduzir os custos e tempo para conexões de microgeração e minigeração;
- Compatibilizar o Sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento;
- Aumentar o público alvo;
- Melhorar as informações na fatura (AMAZONAS, 2018).

A ANEEL define microgeração distribuída como unidade geradora de energia elétrica, com potência instalada de até 75kW; define minigeração distribuída como unidade geradora com potência superior a 75kW e menor ou igual a 5MW.

O sistema de compensação de energia elétrica torna possível através da Resolução de 2015, a ratificação de créditos por meio do autoconsumo remoto, que consiste, o excedente de energia de uma unidade geradora que gere créditos, pode ter os créditos concedidos em outra unidade, um exemplo seria uma pessoa com dois imóveis sendo que um gere crédito e este seja aproveitado em outra residência; deste que as unidades consumidoras estejam cadastradas com o CPF ou CPNJ e pertençam a mesma concessionária energética.

3.3 INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS

Para que se obtenha um melhor resultado na geração de energia solar, o país precisa fazer com o que o empreendimento seja rentável não somente no aspecto social e ambiental, é necessário que seja também no âmbito econômico, principalmente para a sociedade, com isso algumas iniciativas foram realizadas desde 2012, para incentivar a energia fotovoltaica, dentre estas:

- a) Descontos nas Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) e Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD); desconto de 50% para empreendimentos que iniciaram sua operação a partir de 1° de janeiro de 2018 (SILVA, 2015).
- b) Sistema de compensação de energia elétrica para microgeração e minigeração distribuída (ANEEL, 2012).
- c) A criação do ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica); com o intuito de fomentar o mercado e defender o interesse desta indústria;
- d) O Programa social SOLCIAL, que pretende dar acesso a todos a energia renovável;

- e) Instituto IDEAL, Instituto para o Desenvolvimento de Energia Alternativa na América Latina, com o objetivo de divulgar o uso da energia solar;
- f) A criação do Portal Solar, responsável por juntar as empresas de energia solar e clientes, em um mesmo lugar de comunicação, incentivando a tecnologia.
- g) Linhas de Financiamento para aquisição de sistemas de energia solar; contando com aportes do Governo Federal, com prazos e taxas de juros atrativos; apoio do BNDES – Fundo Clima com prazos de até 10 anos, e carência de 02 anos; financiando até 100% dos itens financiáveis (BNDES, 2019).
- h) Incentivos Fiscais concedidos pelo Governo, convênio nº101, de 1997 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ); isenta o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), sobre vários produtos destinados à geração de energia fotovoltaica e eólica (SILVA, 2015).
- i) Leilões de Energia Solar; foram realizados três Leilões, em outubro de 2014, agosto de 2015 e novembro 2018, contratando 2.653 MW; obtendo o preço da energia um dos valores mais baixos do mundo; o Ministério de Minas e Energia já estabeleceu as agendas para realização de novos leilões de energia renovável (BRASIL, 2019).
- j) Isenção do PIS/Pasep e Confins, incidentes sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora referente ao sistema de compensação de energia elétrica (LEI Nº 13.169, 2015; art. 8º).
- k) Financiamento pela Caixa Econômica Federal em 2015 de equipamentos de energia fotovoltaica no financiamento Construcard (Blog Solar, 2017).

Contudo, o desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil depende de políticas públicas consistentes e que promovam a equalização da distribuição da energia de forma a atingir a toda sociedade, pois este é um fator que impacta no índice de desenvolvimento humano de uma nação.

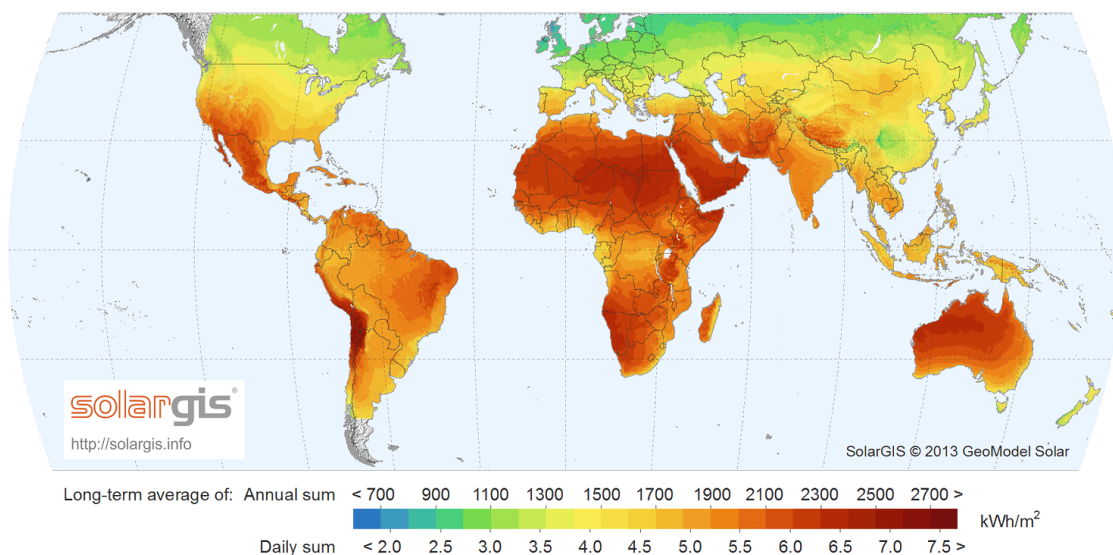
Considerando as discussões realizadas até aqui é importante salientar que o Brasil possui uma grande faixa territorial irradiada pelo Sol muitos dias do ano.

3.3.1 Incidência de Irradiação

O Potencial Brasileiro para a energia fotovoltaica é enorme; há durante todo o ano, condições climáticas que conferem um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar. A irradiação média brasileira varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, bem

acima da média da Europa (observa-se na Figura 12), havendo no mundo regiões com valores acima de 3.000, como Austrália, norte e sul da África, Oriente Médio, parte da Ásia Central, parte da Índia, sudoeste dos Estados Unidos, além de México, Chile e Peru. (MME, 2017).

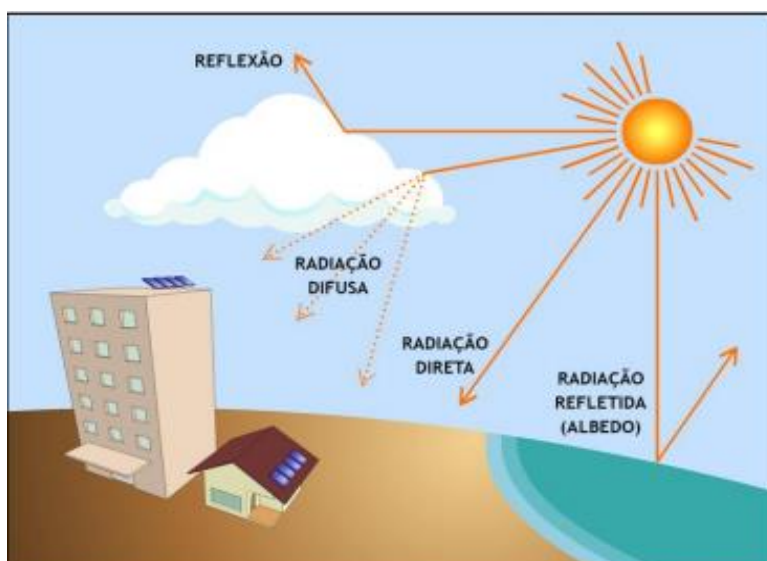
Figura 12 - Níveis de Irradiação Solar no Mundo



Fonte: SolarGis 2013 GeoModel Solar

A irradiação horizontal global é a irradiância total do sol em uma superfície horizontal na terra, ela é a soma da irradiação direta (que incide sobre a Terra sem espalhamento pela atmosfera) e a irradiação horizontal difusa (radiação na superfície da Terra proveniente da luz espalhada no ambiente); sendo estes dois tipos de irradiação direta e difusa (Figura 13) convertidas em energia pelos painéis fotovoltaicos (ENERGIA SOLAR, 2019).

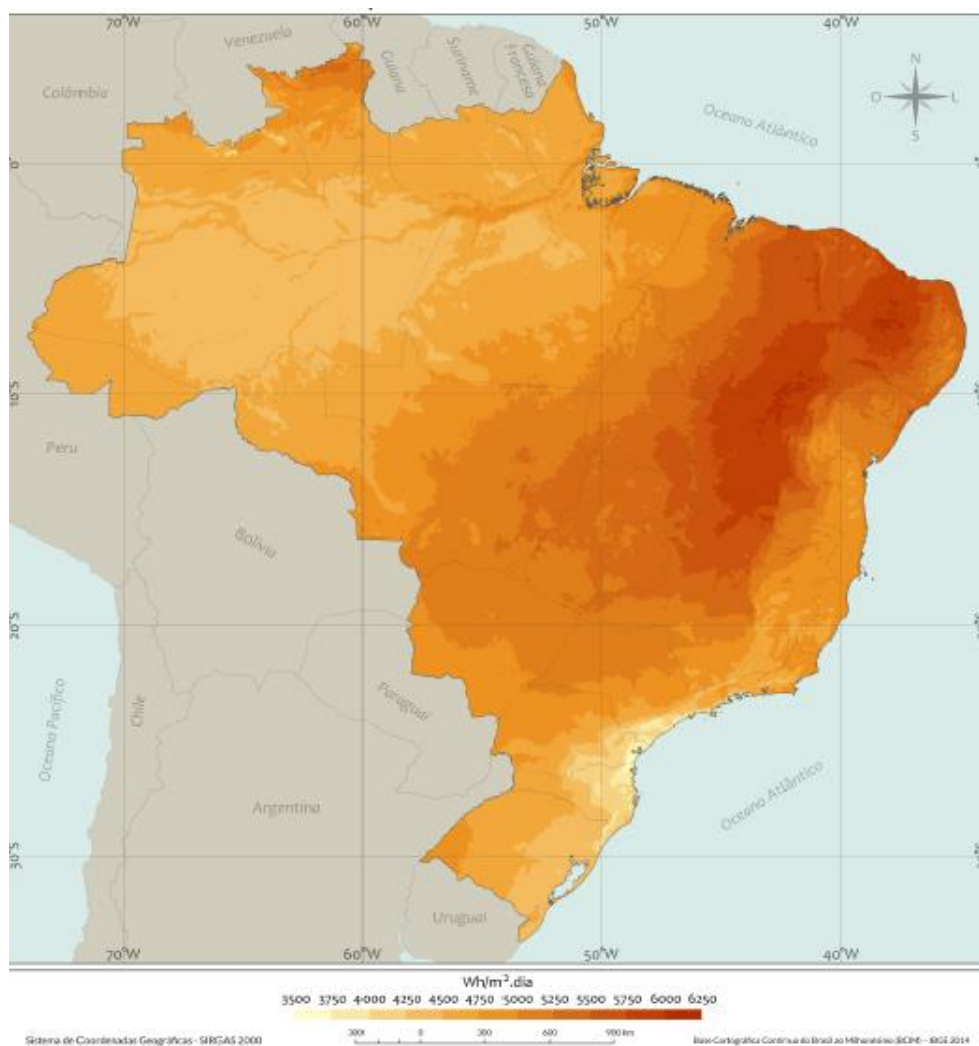
Figura 13 - Tipos de Irradiação



Fonte: Junior, 2014.

No Brasil a Região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global (Figura 14), com maior média e menor variabilidade anual, os valores máximos de irradiação solar são observados na região central da Bahia com 6,5 kWh/m²/dia, incluindo parcialmente o noroeste de Minas Gerais (MME, 2017).

Figura 14 - Total Diário da Irradiação Global Horizontal



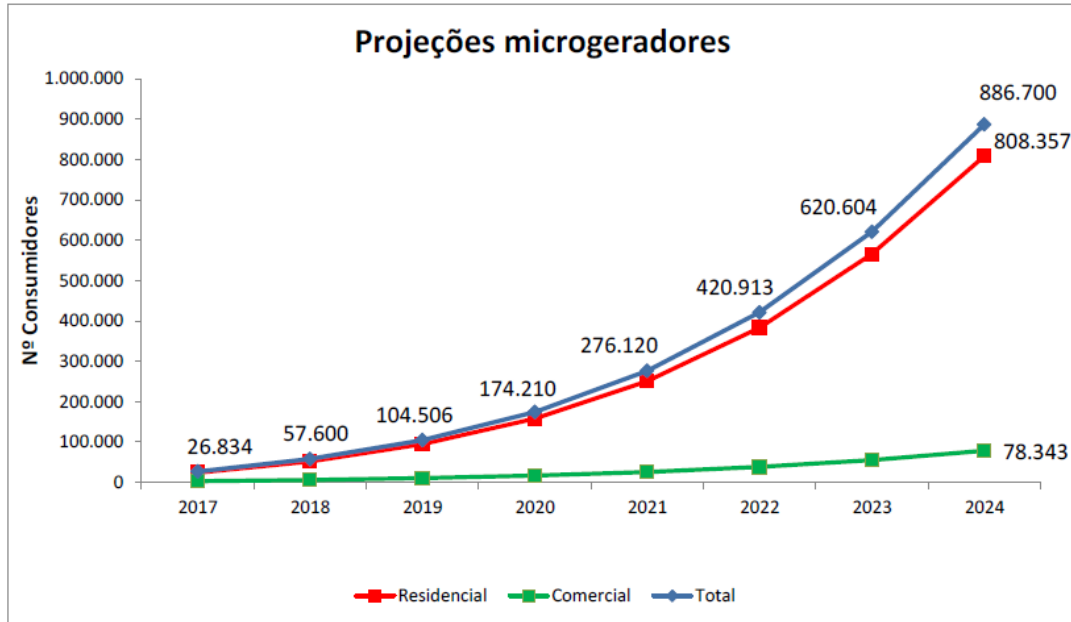
Fonte: SIRGAS, 2000.

3.3.2 Projeções

Devido as iniciativas e a regulamentação da geração de energia solar, nos últimos anos a instalação de sistemas solares cresceu no país; até dezembro de 2018 o Brasil possuía 48.613 sistemas fotovoltaicos instalados; as previsões apontam que em 2024, no território brasileiro estejam instalados 886.700 mil sistemas solares *OnGrid* (ligados à rede).

Em maio de 2017 a Aneel emitiu a Nota Técnica nº 0056/2017, que é a atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaica, o documento apresenta estimativas até o ano de 2024, observar Figura 15.

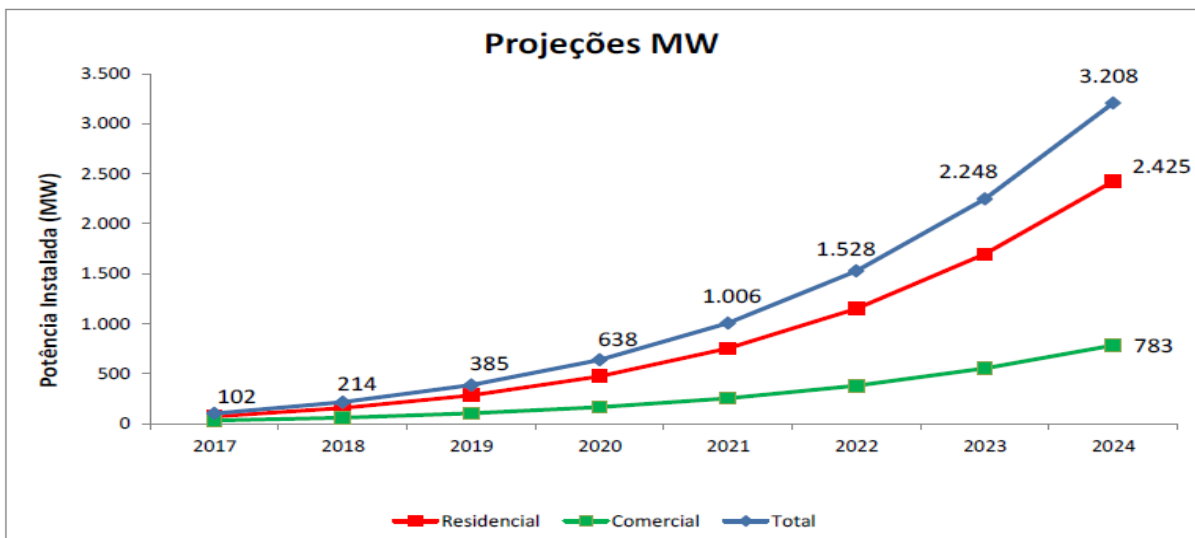
Figura 15 - Projeção de unidades de microgerados instalados que receberiam créditos até 2024



Fonte: Nota Técnica 0056/2017, SRD/Aneel.

A Nota Técnica apresenta também estimativa em relação a potência instalada para microgeradores residenciais e comerciais, que deverão totalizar uma potência instalado de aproximadamente 3,2GW, conforme Figura 16.

Figura 16 - Projeção de Potência instalada para microgeradores até 2024.



Fonte: Nota Técnica 0056/2017, SRD/Aneel.

Contudo, apesar das projeções, ainda é uma discussão insipiente na sociedade e pouco difundida no mercado de trabalho, devido a diversos fatores entre eles a falta de conhecimento desses modelos de geração de energia, a implementação e regulamentação das normas. Neste sentido, apresentamos no próximo capítulo um estudo de caso visando discutir a implementação de um sistema fotovoltaico em um edifício de Goiânia.

4 ESTUDO DE CASO

O Sistema Solar Fotovoltaico pode alimentar não apenas apartamentos e compartimentos comerciais, mas também as áreas comuns de um edifício. O recurso faz toda diferença em questões financeiras em relação aos envolvidos, pois seus custos são devidamente divididos e a economia de energia impacta a conta mensal de cada um individualmente (NOVOMUNDOADM, 2018).

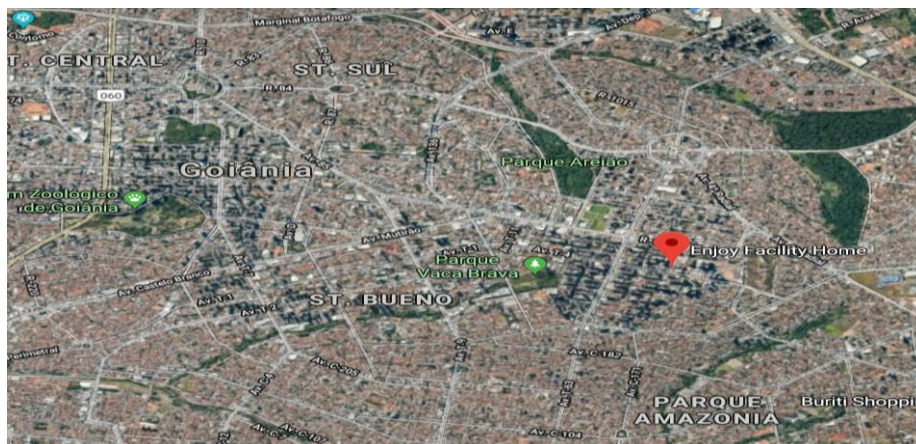
Neste capítulo será apresentado a implementação de um sistema fotovoltaico em um edifício localizado na cidade de Goiânia, analisando sua localização, consumo de energia através da conta da unidade consumidora, e observando suas características para observar questões como sombreamento.

4.1 ANÁLISE DO EMPREENDIMENTO

Para garantir a identidade do empreendimento, neste trabalho ele será chamado de EFH. Este edifício está localizado na Avenida T-4, e ocupa uma área de dois lotes, no Setor Bueno, Goiânia-GO; o edifício é composto por uma torre de 29 pavimentos, sendo subsolo, térreo, mezanino e 26 pavimentos Tipo, com área de terreno de 2.180,00 m² e área total construída de 17.044,39 m², contando com 156 unidades residenciais.

Goiânia localizada na região central do Brasil, com clima predominante tropical com estação seca, estando numa região de alta altitude, 760 metros, com temperatura amena durante todo o ano, variando em média de 18,1 °C a 32,3 °C sendo a média anual de 24,1 °C (CIDADE-BRASIL, 2018). A cidade possui uma população estimada em 1.516.113 pessoas (IBGE, 2019); e está a 174 km da capital nacional Brasília (CIDADE-BRASIL, 2018).

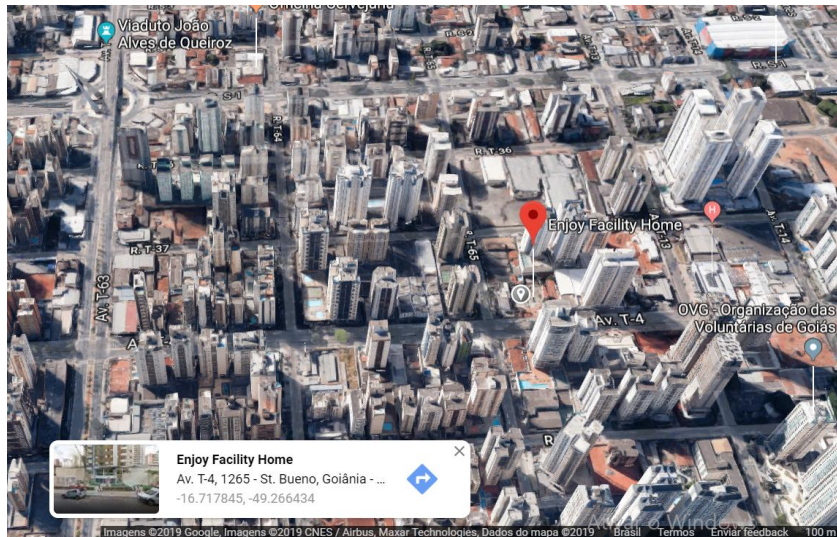
Figura 17 - Localização do Condomínio na cidade de Goiânia-GO.



Fonte: Google Maps, 2019.

Foi utilizado o Google Maps para buscar informações geográficas do local do empreendimento (Figura 17 e 18); nota-se que como o empreendimento é novo, sua construção foi iniciada em agosto de 2014 e finalizado em julho de 2018, na imagem apresentada o mesmo está na fase de fundação da construção.

Figura 18 - Localização Geográfica.



Fonte: Google Maps, 2019.

A seguir é demonstrada imagem aérea da cobertura do condomínio (Figura 19), que é a área de interesse deste estudo de caso.

Figura 19 - Cobertura do Edifício



Fonte: Época Construtora, 2019.

Como é possível observar o edifício é alto e bem iluminado pelo Sol.

4.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A demanda de energia elétrica, juntamente com o recurso solar disponível no local, que irão determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para suprir o consumo do estabelecimento desejado, serão utilizados os dados da unidade consumidora para obter o histórico de consumo, disponibilizados pela ENEL.

Através das informações obtidas pela ENEL, conforme demonstra a Figura 20, será calculado uma média para obter a quantidade de energia elétrica que o sistema fotovoltaico deverá gerar, seria ideal utilizar uma média do consumo durante um ano completo, porém neste caso o empreendimento ainda não era habitado, por isso serão utilizados como referências os meses de maio a setembro.

Analisando o consumo entre os meses de maio a setembro obtivemos um consumo médio mensal de 7432 kWh, porém existe um custo de disponibilidade da rede elétrica que mesmo que o sistema produza energia suficiente para suprir toda demanda do estabelecimento esse valor mínimo será cobrado, esse custo é baseado no tipo de rede disponível do estabelecimento, conforme indicado na Tabela 3.

Figura 20 - Dados da Unidade Consumidora

ATIVIDADE		
100	RESIDENCIAL	
CLASSE / TIPO DE LIGAÇÃO		
01 01	RESIDENCIAL NORMAL	TRIFÁSICO (26 kW EM DIANTE)
VENCIMENTO BASE	BANCO	AGÊNCIA
03/10/2019		CONTA CORRENTE
DADOS DA MEDIÇÃO		
LEITURA ATUAL	1018	
LEITURA ANTERIOR	000877	
DIFERENÇA LEITURA	5640	
FM	40,000	
TOTAL CONSUMO	5640	
MEDIDOR kWh	10772997-1	
MÊS DE REFERÊNCIA	09/2019	
DATA DE LEITURA ATUAL	16/09/2019	
DATA DA LEITURA ANTERIOR	14/08/2019	
DATA DA PRÓXIMA LEITURA	15/10/2019	
DATA DA APRESENTAÇÃO	16/09/2019	
NÚMERO DE DIAS FATURADO	33	
MÉDIA / DIA	170,9091	
MÉDIA TRIMESTRAL	6826,6670	
MÉDIA ANUAL	0,0000	
HISTÓRICO DE CONSUMO		
	HISTÓRICO	
REFERÊNCIA	CONSUMO	ENERGIA FATURADA
SET / 2019	5640,00	LIDA
AGO / 2019	6760,00	LIDA
JUL / 2019	8080,00	LIDA
JUN / 2019	8960,00	LIDA
MAI / 2019	7720,00	LIDA
ABR / 2019	3651,20	LIDA
MAR / 2019	182,00	LIDA
FEV / 2019	198,00	LIDA
JAN / 2019	184,00	LIDA
DEZ / 2018		
NOV / 2018		
OUT / 2018		
SET / 2018		

Fonte: ENEL, 2019.

Tabela 2 - Custo de Disponibilidade

Tipo de Ligação	Custo de Disponibilidade
Monofásico	30 kWh/mês
Bifásico	50 kWh/mês
Trifásico	100 kWh/mês

Fonte: ANEEL, 2016.

Com base nos dados obtidos na unidade consumidora podemos ver que o tipo de ligação de rede elétrica é trifásico, então para encontrar o valor que o sistema deve produzir devemos subtrair o custo disponibilidade pelo consumo médio mensal:

$$GTM = CM - CD \quad (1)$$

$$GTM = 7432 - 100 \quad (2)$$

$$GTM = 7332 \text{ kWh} \quad (3)$$

Onde:

- GTM : Geração total mensal;
- CM : Consumo médio mensal;
- CD : Custo de disponibilidade;

Após encontramos a quantidade de energia elétrica que o sistema deve produzir mensalmente, vamos encontrar o consumo diário, para fazer isso basta dividir o valor de geração total mensal:

$$C_d = \frac{GTM}{30} \quad (4)$$

$$C_d = \frac{7332}{30} \quad (5)$$

$$C_d = 244,5 \text{ kWh/dia} \quad (6)$$

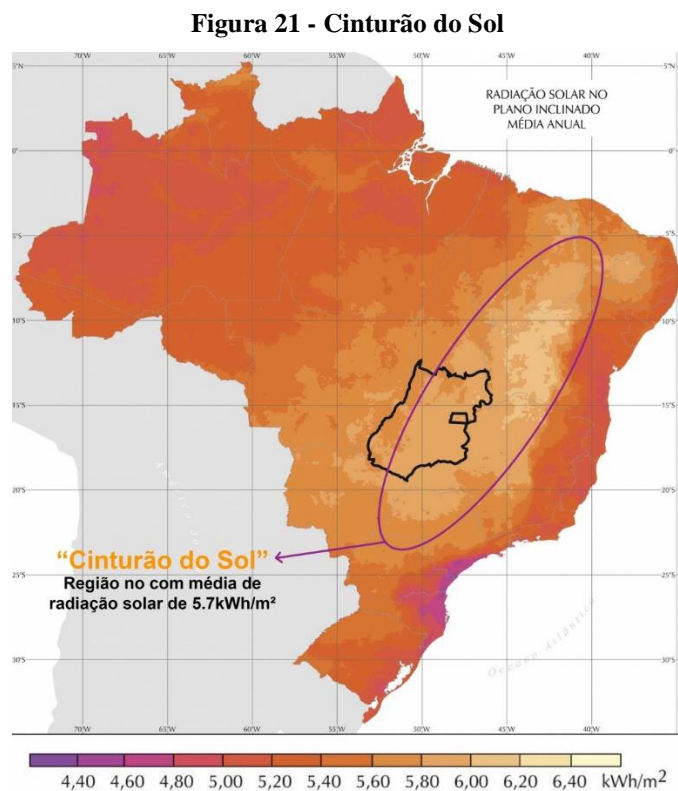
Onde:

- C_d : Consumo diária;
- GTM: Geração total mensal;

O valor do consumo diário representa a quantidade de energia que o prédio consome em um dia.

4.3 INCIDÊNCIA SOLAR LOCAL

O Município de Goiânia, assim como todo o estado de Goiás oferece um potencial enorme para geração de energia elétrica através da luz do sol. Isso porque o estado está localizado no chamado “cinturão do sol” (Figura 21), a faixa do Brasil com as regiões que mais recebem índices de radiação solar anual. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, essa faixa concentra os valores máximos de irradiação solar (média de 5.7 kWh/m²) e engloba o oeste da região Nordeste, incluindo parcialmente o norte de Minas Gerais, nordeste de Goiás e o Sul de Tocantins (BLUESOL, 2018).

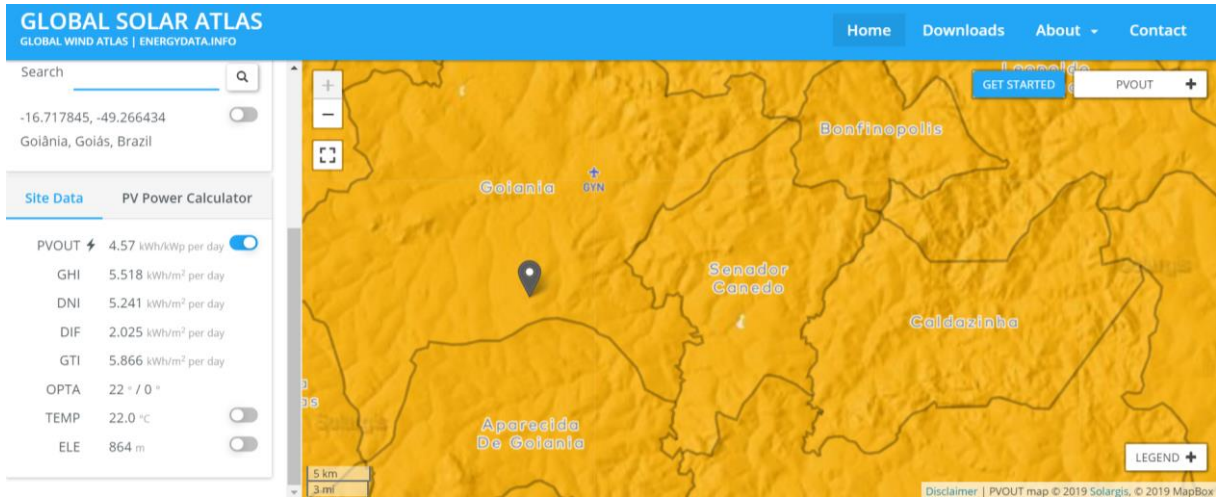


Fonte: Portal Solar, 2015.

O sol brilha a maior parte do ano nesta região, um sistema de energia solar em Goiânia custa a mesma coisa que em qualquer outro lugar do Brasil, mas gera mais energia elétrica pois existe mais disponibilidade de radiação solar (PORTAL SOLAR, 2015).

Com as coordenadas retiradas do Google Maps foi realizada a pesquisa no sistema Global Solar Atlas, obtendo-se o valor da irradiação solar no plano horizontal, no valor de 5.518 kWh/m² por dia, como mostra a Figura 22. Este valor será utilizado nos próximos cálculos.

Figura 22 - Média anual de irradiação solar.



Fonte: Global Solar Atlas, 2019.

Como a irradiação solar sofre alterações ao longo de um dia existe uma grandeza chamada Horas de Sol Pleno (HSP), que nada mais é um intervalo de tempo em que se considera que a irradiação solar se mantém constante no valor de 1 kW/m² (SIQUEIRA, 2015). Esse valor pode ser encontrado dividindo a irradiação diária no local de estudo por 1 kW/m².

$$HSP = \frac{5.518}{1} \quad (7)$$

$$HPS = 5,518 \text{ h/dia} \quad (8)$$

Onde:

- HSP: Horas de Sol Pleno;

Após identificados a consumo diário que o sistema necessita produzir para alimentar o estabelecimento, devemos encontrar a potência pico que o sistema deve produzir. Para isso devemos fazer a divisão do consumo diário pelo HSP:

$$P_p = \frac{C_d}{HSP} \quad (9)$$

$$P_p = \frac{244,5}{5,518} \quad (10)$$

$$P_p = 44,31 \text{ kWp} \quad (11)$$

Onde:

- P_p : Potência Pico;
- C_d : Consumo Diário;
- HSP : Horas de Sol Pleno;

Portanto para alimentar o estabelecimento o sistema deve ter uma potência pico de 44,31 kWp.

4.4 ESCOLHA DO PAINEL FOTOVOLTAICO

A escolha de um bom painel fotovoltaico é muito importante e vários fatores devem ser observados ao fazer escolha, é necessário observar a ficha técnica do material para o observar suas características e funcionalidades, observando questões como eficiência, custo benefício relacionado a sua capacidade de carga e ao valor do produto, garantia dada pelo fabricante, tanto em questões de defeitos, quanto na perda de carga que o painel tem no decorrer no anos, seu coeficiente de temperatura, que nada mais é de como o painel se comporta em temperaturas elevadas. E claro sempre escolher um bom fornecedor, buscando informações com quem já adquiriu seus produtos (PORTAL SOLAR, 2017).

Para este estudo foi escolhido o módulo solar Q. Power L-G5 335W (335Wp) da empresa QCELLS.

Figura 23 - Módulo Solar Q. Power L-G5 335W



Fonte: GCELLS, 2019.

Para encontrar a quantidade de painéis solares necessários para alimentar o prédio devemos dividir a potência pico que encontramos pela potência pico do modulo fotovoltaico:

$$N = \frac{P_p}{W_p} \quad (12)$$

$$N = \frac{44310}{335} \quad (13)$$

$$N = 132,3 \cong 133 \text{ módulos} \quad (14)$$

Onde:

- N: Número de módulos fotovoltaicos;
- P_p : Potência pico que o sistema necessita;
- W_p : Potência pico do modulo fotovoltaico;

Portanto com os cálculos realizados verificou-se que a necessidade de cerca de 133 módulos solares para alimentar o prédio, como cada módulo do modelo selecionado possui dimensões de 1960 mm x 991 mm, com isso verificamos que os módulos ocupariam uma área total de 258,33 m², o que se tornou um problema pois ao analisarmos o estabelecimento verificamos que o prédio é muito afetado por sombreamento em grande parte do dia. Até mesmo a região da cobertura é afetada por conta do reservatório, diminuindo muito a área útil para o melhor desempenho dos painéis.

Com o auxílio do Suns Earth Tools, que é um site que disponibiliza ferramentas para a área da energia solar, podemos verificar como o sol atinge a edificação durante o dia, para escolher o melhor local para o posicionamento dos painéis solares. O posicionamento do sol em relação a edificação pode ser observado na Figura 24.

O sombreamento em nos módulos fotovoltaicos podem causar uma grande queda de rendimento, pois mesmo que apenas uma célula seja afetada pelo sombreamento, ela pode prejudicar todo o sistema, pois como as células de um módulo estão conectadas em série, quando uma é afetada, afeta a produção de corrente da outra (VILLALVA, 2012).

Além da redução da produção de energia elétrica o sombreamento dos módulos solares pode acarretar a danificação dos mesmos, pois quando sombreados eles dissipam a energia em forma de calor, agindo como um resistor, sobreaquecendo os módulos (PORTAL SOLAR, 2016).

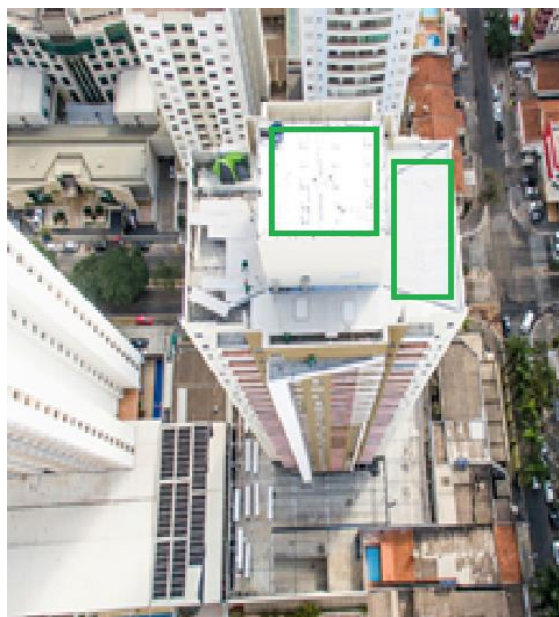
Figura 24 - Posicionamento do Sol em Relação a Edificação



Fonte: Suns Earth Tools, 2019.

Portanto com base na análise do local, observando as áreas que são afetadas por sombreamento decidimos fazer o estudo de viabilidade deduzindo a instalação das placas nos pontos que não são afetadas por sombreamento, essas áreas correspondem ao topo do reservatório e a região da cobertura que é voltada para a região norte, como indicado na Figura 25.

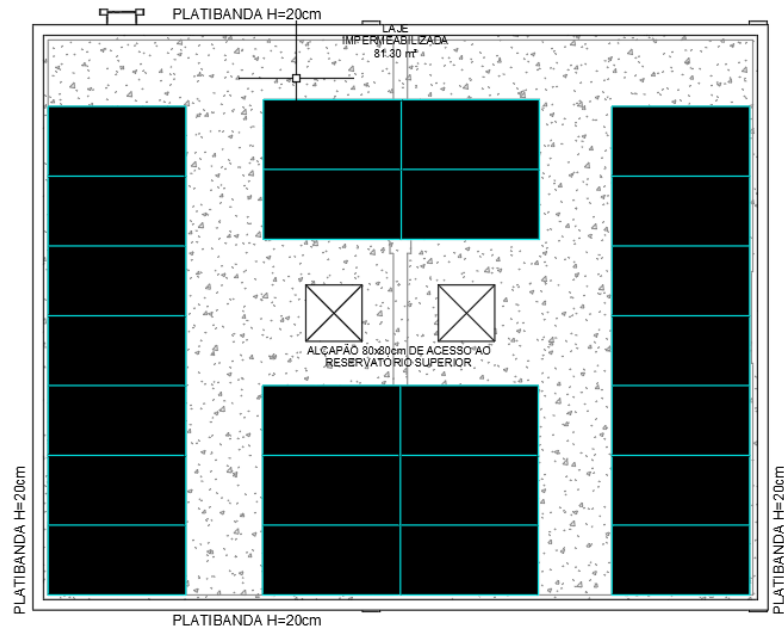
Figura 25 - Áreas de Instalação dos Módulos Solares



Fonte: Época Construtora, 2019.

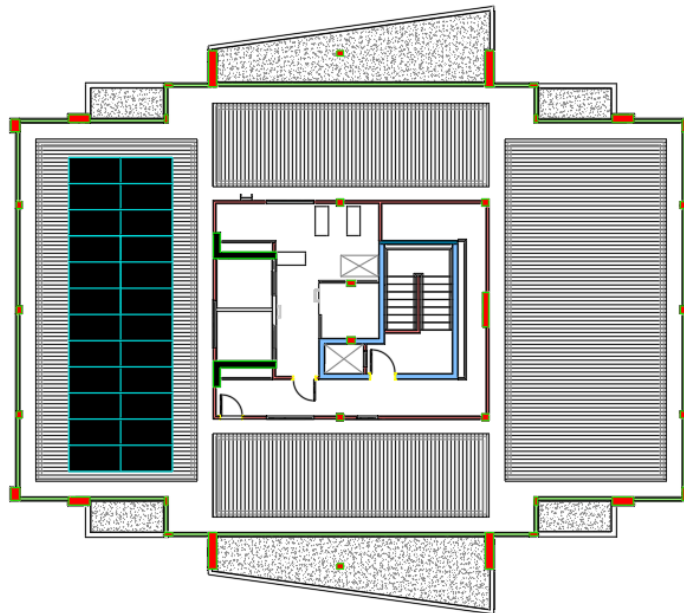
Com isso verificou-se a área propícia a instalação seria de cerca de 160 m², optou-se então pela utilização de 48 módulos solares, que iriam ocupar uma área de 93,23 m², que ficariam dispostos conforme as Figuras 26 e 27.

Figura 26 - Disposição dos Módulos Solares na Tampa do Reservatório



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Figura 27 - Disposição dos Módulos Solares na Cobertura



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Para o melhor aproveitamento dos raios solares os painéis fotovoltaicos devem ser posicionados de forma que eles recebam a luz solar da forma mais perpendicular possível, esse posicionamento depende da latitude do local de instalação, no caso de Goiânia o melhor posicionamento é com uma inclinação 16° voltados para o norte geográfico (PORTAL SOLAR, 2018). Com isso os módulos que serão instalados sobre a laje terão essa inclinação de 16° , enquanto os instalados sobre as telhas seguirão sua inclinação de 10% .

4.5 KIT DE ENERGIA SOLAR

Muitas vezes um fator que impede a instalação de sistemas de energia fotovoltaica são os altos valores de investimento, porém com o passar do tempo com os incentivos na área os valores estão caindo e aparecendo novas formas de adquirir seu sistema, um deles são os kits de energia solares, que nada mais são que um conjunto completo de um sistema solar que acabam saindo mais em conta, pelo fato dos fornecedores conseguirem dar maiores descontos no produto final. Esses Kits podem ser obtidos na loja virtual Atacado Solar, dentre outras lojas que também oferecem esse tipo de produto. Para este estudo utilizara-se um Kit (conforme Tabela 3) que corresponde a quantidade de módulos que desejamos implantar na edificação, tendo uma potência de 16,08 kWp.

Tabela 3 - Componentes do Kit Energia Solar

Componentes do Kit
48 x Paine Solar Fotovoltaico Q-Cells Q.Power L-G5 335W (335Wp)
1 x Inversor Trifásico Grid-tie Fronius Symo 12.0 – 220 V (12000 W) com módulo Wifi para monitoramento remoto
2 x Caixa de Proteção Fotovoltaico de Corrente Contínua Proauto Denh (3 entrada + 1 saída)
4 x Pares de Conectores tipo MC4 Multi-Contact (Macho + Fêmea)
150 metros de cabo solar 6mm2 Nexans Energyflex com proteção UV preto
150 metros de cabo solar 6mm2 Nexans Energyflex com proteção UV vermelho
Conjunto completo de estruturas de fixação para montagem dos painéis FV em telhado
Valor: R\$ 51.750,00

Fonte: Atacado Solar, 2019.

Agora será realizado um comparativo dos preços unitários dos componentes do kit de energia solar, para mostrar a compensação de adquiri-lo. Lembrando que todos os valores a seguir serão considerados preços reais encontrados em revendedores, e com os mesmos materiais, para que a comparação seja na mesma qualidade.

4.5.1 Módulo Solar Q. Power L-G35 335W

Verificou-se esses módulos solares à venda na empresa FIBRASNET a um preço unitário de R\$ 897,75 logo 48 unidades sairiam a um valor de R\$ 43.092,00. Esse módulo solar possui as seguintes especificações:

- Dados elétricos:

Potência no ponto máximo de potência - 335W;

Corrente de Curto Circuito - 9,40A;

Tensão em Circuito Aberto - 46,3V;

Corrente no ponto máximo de potência - 8,87A;

Tensão no ponto máximo de potência - 37,8V;

Eficiência =17,2%;

Tolerância de potencias +5W;

Desempenho mínimo sob condições de teste padrão STC (1000 W/m², 25 °C, espectro AM 1,5 G).

- Características de temperatura:

Coefficiente de temperatura (Pmax) -0.40% / °C;

Coefficiente de temperatura (Voc) -0.31 % / °C;

Coefficiente de temperatura (Isc) 0.05 % / °C;

Temperatura nominal da célula (NOCT) 45±3°C;

Temperatura Admissível para o Módulo em Operação Contínua -40 °C até +85 °C;

- Dados mecânicos:

Tensão Máxima do Sistema 1000V;

Corrente Inversa Máxima 20^a;

Formato 1960 mm × 991 mm × 35 mm (estrutura incluída);

Peso 22,5 kg ± 5 %;

Cobertura frontal Vidro temperado 3,2 mm com tecnologia antirreflexo;

Cobertura traseira Chapa multicamada composta;

Estrutura Alumínio anodizado;

Célula 6 × 12 células fotovoltaicas policristalinas;

Caixa de junção Classe de proteção IP67 ou IP68, com diodos by-pass;

Cabo fotovoltaico 4 mm²; (+) = 1200 mm, (-) = 1200 mm;

Conector acoplável com H4, MC4;

Este produto tem seu desempenho aprovado pelo INMETRO e está em conformidade com o programa Brasileiro de etiquetagem; N° Registro: 004344/2017.

4.5.2 Inversor Trifásico Grid-Tie Fronius Symo Brasil 12.0 – 220 V (12000 W)

O Inversor Trifásico Grid-Tie Fronius Symo Brasil 12.0 – 220 V (12000 W) foi encontrado no valor de R\$ 19.210,00 na loja atacado solar, foi encontrado também na empresa FIBRASNET a um preço similar.

Figura 28 - Inversor Trifásico Grid-Tie Fronius Symo Brasil 12.0 – 220 V (12000 W)



Fonte: Atacado Solar, 2019.

O produto possui as seguintes especificações:

- Especificações Elétricas:

Dados de entrada:

Max. Corrente de Entrada: 25.0 A / 16.5 A;

Max. Corrente de Curto Circuito: 37.5 A / 24.8 A;

Mín. Tensão de Entrada: 200 V;

Tensão de Inicialização: 200 V;

Máx. Tensão de Entrada: 600 V;

Faixa de Tensão MPP: 300 a 500 V;

Números de Rastreadores MPP: 2;

Número de Conexões CC: 3 + 3;

Máx. Potência do Gerador FV: 15.5 kWp;

Dados de saída:

Potência Nominal de Saída: 11995 W;
Máx. Potência de Saída: 11995 VA;
Máx. Corrente de Saída: 35.0 A;
Conexão à rede: 3~NPE 208 / 240 V;
Frequência: 60 Hz;
Distorção Harmônica: 1.75%;
Fator de Potência: 0 a 1 (indutivo – capacitivo);

- Especificações Mecânicas:

Disjuntor DC: Integrado;
Umidade Permitida: 0 a 100%;
Faixa de Temperatura: -40°C a +60°C;
Instalação: Montagem interna e externa;
Resfriamento: Refrigeração de ar comprimido;
Design do Inversor: Sem Transformador;
Grau de Proteção: IP66;
Dimensões (mm): 725 x 510 x 225;
Peso (kg): 29;

4.5.3 Caixa de Proteção CC - String Box - Proauto Dehn - 1000V

A Caixa de Proteção CC - String Box - Proauto Dehn - 1000V foi encontrada na loja virtual PRO COMPUTER, o preço unitário do produto é de R\$ 1.151,18, como são necessárias duas unidades custando um valor de R\$ 2.302,36.

Figura 29 - Caixa de Proteção CC - String Box - Proauto Dehn - 1000V



Fonte: Pro Computer, 2019.

O produto possui as seguintes especificações:

- Especificações Elétricas:

Chave Seccionadora CC: 1;

Corrente Máxima de Saída: 25 A;

Tensão Nominal: 1000 DC;

Tensão Nominal Impulsionada: 8 kV;

Sistema de Aterramento: Positivo e Negativo Flutuante;

Número de Entradas DC: 3;

Monitoramento Contra Surto: Visual;

Acionamento: Chave Seccionadora;

- Especificações Mecânicas:

Grau de Proteção: IP65;

Dimensões (mm): 215 x 310 x 110;

Peso (kg): 2,6;

4.5.4 Conectores, cabos solares e suportes

Os conectores tipo MC4 Multi-Contact (Macho + Fêmea), foram encontrados na loja Minha Casa Solar, no valor de R\$ 18,51 cada par, logo um valor de 4 pares será de R\$ 74,04. Os cabos solares de 6 mm² Nexans Energyflex com proteção UV, foram encontrados no melhor valor na própria loja Atacado Solar, saindo a R\$ 10,00 o metro, como o kit nos oferece 300 m, divididos entre vermelho e preto, o custo será de R\$ 3000,00.

As estruturas para suporte dos painéis solares foram divididas da seguinte forma, 24 módulos estão sobre telha fibrocimento, sendo o conjunto de suporte para quatro módulos R\$ 350,00, sendo assim serão necessários seis conjuntos, sendo equivalente a um valor de R\$ 2100,00. Os outros 24 módulos estarão dispostos na laje da tampa do reservatório superior, o custo do conjunto para quatro módulos custa R\$ 960,00, portanto o custo de seis conjuntos que comportam quatro módulos solares terá um valor de R\$ 5760,00.

4.5.5 Demais custos

Existem outros custos para a implantação do sistema fotovoltaico que não estão inclusos no kit de energia solar, sendo eles: instalação, transporte, projeto elétrico e matérias elétricos complementares, para ter uma noção mais precisa destes valores, a empresa VOLTAX

ENGENHARIA SUSTENTAVEL, apresentou as condições de instalação do sistema, referente ao kit, e informou que os custos adicionais dos itens acima geram uma despesa aproximada de R\$ 17.000,00. Portanto será utilizado este valor, tanto para compor o kit energia solar, quanto os preços a varejo.

4.6 CUSTOS DO SISTEMA

Com todo o levantamento dos valores dos produtos obtidos, temos os custos totais do sistema fotovoltaico, tanto o preço do kit energia solar completo (Tabela 3), quando com os custos dos itens a varejo (Tabela 4). Lembrando que os custos dos serviços que o kit energia solar não contemplam foram adicionados ao mesmo.

Tabela 3 - Valor Kit Energia Solar

Valor Final Estimado Kit Energia Solar	
Produto	Valor (R\$)
KIT ENERGIA SOLAR	51.750,00
Estrutura de fixação em lajes	5.760,00
Custos Adicionais	17.000,00
Total	74.510,00

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Tabela 4 - Valor Produtos no Varejo

Valor Final Estimados Instalação a Varejo	
Produto	Valor(R\$)
Módulos Fotovoltaicos	43.092,00
Inversor	19.210,00
String Box	2.302,96
Cabos Solares	3.000,00
Conectores	72,04
Estrutura de fixação para telhado	2.100,00
Estrutura de fixação para laje	5.760,00
Custos Adicionais	17.000,00
Total	92.537,00

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Como pode-se observar existe uma diferença considerável na aquisição do kit de energia solar completo, essa diferença chega a ser um pouco mais de 19%.

4.7 PRODUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Como já foi definido a quantidade de placas solares que serão utilizadas no sistema, e como verifica-se que será possível abater apenas parte da quantidade de energia consumida pelo estabelecimento, vamos calcular a quantidade estimada que o sistema deverá produzir, utilizando os dados já apresentados anteriormente de irradiação e com as placas a serem utilizadas.

Para chegar a um valor mais próximo da produção desejada do sistema fotovoltaico é necessário considerar as possíveis perdas que podem ocorrer no sistema. Para o cálculo da produtividade do sistema será considerado as perdas (Tabela 5) propostas por MIRANDA, 2014.

Tabela 5 - Variação de Perdas em Sistemas Fotovoltaicos

Perda	Valor Considerado	Variação mínima e máxima da Perda
Desvio no rendimento nominal do módulo (dados de placa) e da radiação de 1000W/m ²	2,5 %	- 5% à 10%
Temperatura no módulo	3,5 %	-3% à 6%
Perdas nos condutores no lado DC	2 %	1% à 3%
Perdas nos condutores no lado CA	1 %	0,7% à 2%
Eficiência do Inversor na conversão	1,5 %	1% à 15%
<i>Mismatch</i> no MPPT	2 %	1,5% à 3%
Sombreamento	0 %	0% à 100%
Diodos e conexões	0,5 %	0,3% à 1%
Transformadores (como os de isolamento no inversor, por exemplo)	2 %	2% à 4%
Sistema <i>Solar-Tracking</i>	0 %	0% à 2%
Degradação na incidência solar inicial	1 %	1% à 10%
Indisponibilidade do sistema	0 %	0% à 0,5%
Sujeira nos módulos	2 %	2% à 25%
Total	18 %	

Fonte: Miranda, 2014.

Para calcular a produção do sistema, utilizar-se a seguinte fórmula:

$$Pm = \frac{N * Wp * HSP * (1 - P) * 30}{1000} \quad (15)$$

$$Pm = \frac{48 * 335 * 5,518 * (1 - 0,18) * 30}{1000} \quad (16)$$

$$Pm = 2185,5 \frac{kWh}{mês} \quad (17)$$

Onde:

- P_m : Potência estimada de geração;
- N: Número de Módulos Solares;
- HSP: Horas de Sol Pleno;
- P: Perdas do sistema;
- 30: Considerando 30 dias no mês;
- 1000: Fator de conversão para kW;

4.8 RETORNO FINANCEIRO

Quando um investimento desse gênero é feito, além dos benefícios ambientais que o sistema fotovoltaico traz, por gerar energia limpa, a grande questão que o consumidor deseja saber é quando esse sistema irá trazer de retorno para ele. Para calcular esse retorno serão utilizados os valores das tarifas atuais.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a perda de produção dos módulos, que segundo a QCELLS, fabricante dos módulos escolhidos, seu produto teria uma perda crítica de 0,7% anualmente, até um total de 25 anos, onde as placas começam a ter uma perda considerável em sua capacidade geradora, consideraremos esse valor para realizar os cálculos.

Os cálculos serão realizados da seguinte forma, utilizaremos o valor de energia produzido anualmente, multiplicados pelo valor da fatura, subtraindo o valor economizado anualmente pelo valor investido, para saber em quanto tempo o investimento seria pago, e continuar até um total de 25 anos, onde seria recomendado a troca dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 6 - Retorno Financeiro Kit Energia Solar

Ano	Produção Anual (kWh)	Tarifa (kWh)	Economia Anual	Valor Total do Sistema	Fluxo de Caixa
1	26226	0,86938	R\$ 22.800,36	74.510,00	-R\$ 51.709,64
2	26042,418	0,86938	R\$ 22.640,76		-R\$ 29.068,88
3	25860,12107	0,86938	R\$ 22.482,27		-R\$ 6.586,61
4	25679,10023	0,86938	R\$ 22.324,90		R\$ 15.738,29
5	25499,34652	0,86938	R\$ 22.168,62		R\$ 37.906,91
6	25320,8511	0,86938	R\$ 22.013,44		R\$ 59.920,35
7	25143,60514	0,86938	R\$ 21.859,35		R\$ 81.779,70
8	24967,59991	0,86938	R\$ 21.706,33		R\$ 103.486,03
9	24792,82671	0,86938	R\$ 21.554,39		R\$ 125.040,42
10	24619,27692	0,86938	R\$ 21.403,51		R\$ 146.443,92
11	24446,94198	0,86938	R\$ 21.253,68		R\$ 167.697,61
12	24275,81339	0,86938	R\$ 21.104,91		R\$ 188.802,51
13	24105,88269	0,86938	R\$ 20.957,17		R\$ 209.759,68
14	23937,14151	0,86938	R\$ 20.810,47		R\$ 230.570,16
15	23769,58152	0,86938	R\$ 20.664,80		R\$ 251.234,96
16	23603,19445	0,86938	R\$ 20.520,15		R\$ 271.755,10
17	23437,97209	0,86938	R\$ 20.376,50		R\$ 292.131,60
18	23273,90629	0,86938	R\$ 20.233,87		R\$ 312.365,47
19	23110,98894	0,86938	R\$ 20.092,23		R\$ 332.457,70
20	22949,21202	0,86938	R\$ 19.951,59		R\$ 352.409,29
21	22788,56754	0,86938	R\$ 19.811,92		R\$ 372.221,22
22	22629,04756	0,86938	R\$ 19.673,24		R\$ 391.894,46
23	22470,64423	0,86938	R\$ 19.535,53		R\$ 411.429,99
24	22313,34972	0,86938	R\$ 19.398,78		R\$ 430.828,77
25	22157,15627	0,86938	R\$ 19.262,99		R\$ 450.091,75

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Através da Tabela 6 pode-se observar o que o sistema é bastante viável, mesmo que a quantidade de energia elétrica produzida abata apenas uma parte do consumo do prédio, ele irá se custear em menos de quatro anos, e no final dos vinte e cinco anos, tempo que há a garantia da garantia linear de desempenho dos módulos, o sistema irá gerar de retorno financeiro um valor de R\$ 450.091,75.

4.9 REGULARIZAÇÃO JUNTO A DISTRIBUIDORA

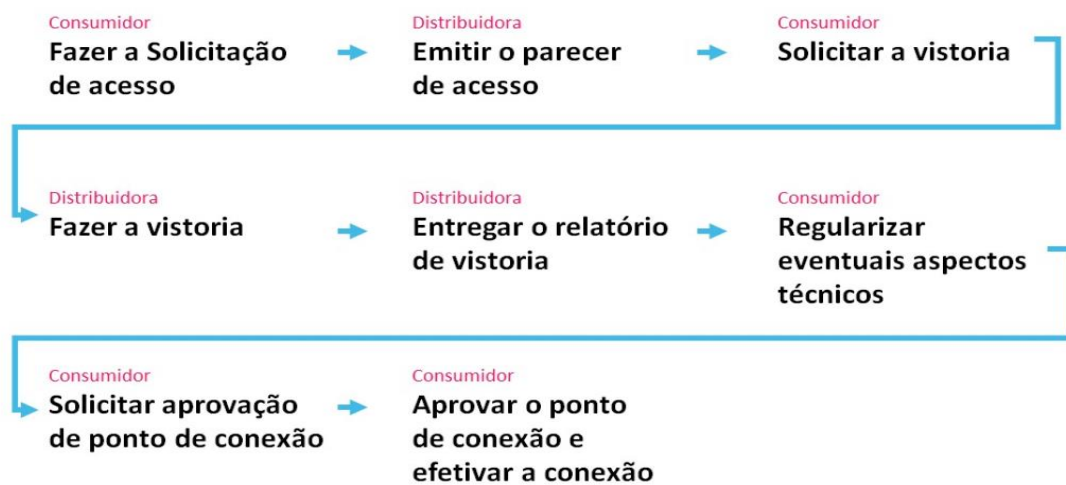
Todas as unidades consumidoras com fornecimento de energia elétrica, seja de baixa, média, ou alta tensão, podem participar do sistema de compensação de energia por micro ou minigeração distribuída (ENEL, 2019).

O consumidor titular da unidade consumidora é quem deverá solicitar à distribuidora local o acesso a rede; entre os documentos necessários, estão o certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro, lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação e a ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e pela instalação do sistema de microgeração. A solicitação de acesso deve

conter o Formulário de Solicitação de Acesso para micro e minigeração distribuída, disponíveis nos Anexos II, III e IV da seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, determinados em função da potência instalada da geração (ELYSIA, 2019).

Segue na Figura 30 os procedimentos com os processos necessários para a regularização e participação do sistema de compensação de energia, por parte do consumidor e da distribuidora.

Figura 30 - Processos para regularização



Fonte: ENEL, 2019.

Em relação ao tempo necessário para a Distribuidora realizar as etapas do processo de regularização, a Tabela 9 demonstra o prazo em dias:

Tabela 3 - Prazo em dias por processo.

Processos	Microgeração sem Obras	Minigeração sem Obras	Microgeração com Obras	Minigeração com Obras
Emitir Parecer	15	30	30	60
Solicitar Vistoria	120			
Realizar Vistoria	7			
Entregar Relatório	5			
Aprovação conexão	7			

Fonte: ENEL, 2019 (adaptado).

Para avaliação das condições de acesso e requisitos técnicos são utilizados pela equipe técnica da distribuidora e responsáveis pela implementação do sistema fotovoltaico as seguintes Normas (ENEL, 2019):

- Resolução Normativa N° 414 (Condições Gerais de fornecimento de energia elétrica), com atualização da Res. 670 de 2016.
- Resolução Normativa N° 482 (Acesso de microgeração e minigeração distribuídas ao sistema de distribuição de energia elétrica), com atualização da Res. 687 de 2015.
- PRODIST Módulo 3 seção 3.7 (Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional).
- Portaria N° 004 de 2016 (Requisitos de Avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica) com atualização das portarias 357, 271 e 17.
- Resolução Coema 03/2016 (Critérios e procedimentos simplificados para implantação de sistema de micro e mini geração distribuída).
- Norma Técnica NT-Br 010/2016 Coelce (conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico).

4.10 INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A realização do projeto de um sistema fotovoltaico requer o estudo do local de instalação, de sombreamento, incidência de radiação, entre outros fatores. Um projeto bem realizado pode significar uma diminuição no investimento e uma expectativa correta de funcionamento do sistema e geração de energia. Sistema com a instalação correta e equipamentos de qualidade têm uma vida útil muito maior, durando no mínimo 25 anos (SOLSTICIO, 2019).

Segue-se na Figura 31 os equipamentos necessários para a instalação do sistema fotovoltaico.

Figura 31 - Componentes do Sistema Fotovoltaico



Fonte: PORTAL SOLAR, 2019.

- Estruturas de Fixação: os painéis solares são fixados nas coberturas das construções, em estruturas dimensionadas especialmente para esses equipamentos; essas estruturas são os trilhos de composição metálica que são fabricados para suportar agentes naturais, como ventos e chuva de granizo. Devem estar bem presos e se ajustam a qualquer tipo de telhado.

- Painéis solares: os módulos fotovoltaicos são feitos de material semicondutor e são conectados entre si, formam uma fileira que é conhecida como *String*. Essa fileira é ligada através de cabos e conectores até a *String Box*.

- *String Box*: dispositivo que realiza a segurança de toda a parte de corrente contínua do sistema; é um quadro elétrico que contém o Dispositivo de proteção contra surtos (DPS), os fusíveis e a chave seccionadora; agem evitando que anomalias, como surtos e curtos elétricos, se espalhem.

- Inversor Solar: o uso do inversor de frequência é essencial, pois realiza a transformação da corrente contínua produzida pelos painéis solares, para a corrente alternada utilizada pelas concessionárias de energia, permitindo a utilização pelas funcionalidades elétricas.

- Medidor Bidirecional: para sistemas que são conectados à rede, quando a energia é produzida a mais do que é consumida, o excedente é enviado à concessionária e é registrado como crédito; o medidor bidirecional é responsável por registrar toda a energia que sai e chega (SOLARPRIME, 2018).

Figura 32 - Medidor Bidirecional



Fonte: ELETRAENERGY, 2019.

4.10.1 Instalação do Sistema

Sequencial de processos para instalação do sistema solar; descritos no PORTAL SOLAR:

Preparar o local de instalação das placas solares (Figura 33): com base no layout desenhado para o sistema.

Figura 33 - Preparação do local



Fonte: PORTA-ENERGIA, 2019.

Instalar os suportes “estruturas metálicas” dos painéis solares (Figura 34): a depender do tipo do telhado, se necessário a perfuração do telhado, efetuar a impermeabilização.

Figura 34 - Fixação dos suportes e impermeabilização do furo no telhado



Fonte: PORTA-ENERGIA, 2019.

Instalar os trilhos para fixação dos painéis solares (Figura 35): encaixar perfeitamente nos suportes e prover um local perfeito para prender os painéis.

Figura 35 - Montagem dos trilhos de alumínio



Fonte: PORTA-ENERGIA, 2019.

Instalar as placas sobre os trilhos e conectar os cabos (Figura 36): as placas devem ser bem fixadas.

Figura 36 - Fixação dos painéis a estrutura.



Fonte: PORTA-ENERGIA, 2019.

Conectar os painéis solares através dos cabos ao *String Box* e posteriormente ao Inversor: este processo somente pode ser realizado por um electricista, esta é a parte final da instalação; após instalação conectar inversor a rede elétrica. O medidor bidirecional é instalado pela concessionária de energia.

Figura 37 - Cabeamento passando pelo *String Box* e Inversor



Fonte: MMCENERGIA, 2019.

4.10.2 Riscos e Cuidados

O sistema fotovoltaico que siga todas as normas de segurança, oferece baixíssimos riscos ao consumidor; contudo quando as instalações não são realizadas de forma correta, podem ocorrer:

- Incêndios: erros no dimensionamento do sistema e de seus componentes elétricos podem causar sérios acidentes devido à sobrecarga do sistema.
- Diminuição da vida útil: equipamentos de baixa qualidade podem diminuir a validade do sistema, e sobrecargas diminuem consideravelmente a vida útil.
- Baixa Eficiência: orientação, inclinação, sombras nos painéis, podem trazer grande diferença na geração de energia (SOLSTÍCIO, 2019).

4.10.3 Manutenção do sistema fotovoltaico

A manutenção do sistema é mínima e de baixo custo, consiste basicamente em limpar as placas solares periodicamente, ou quando o sistema apresentar queda de produção; a limpeza é simples e consiste em retirar a poeira, e sujeira provocada por folhas e fezes de animais; com auxílio de um pano e água.

Outra parte da manutenção é relacionada ao Inversos solar, que dependendo do fabricante, deve ser verificado a cada 5 anos. O custo da manutenção é mínimo e não representa mais do que 1% por ano no custo total do sistema. (PORTALSOLAR, 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas fotovoltaicos no Brasil ainda são pouco utilizados, porém se comparado a anos anteriores há uma boa projeção de crescimento, que se deve aos incentivos governamentais que fizeram com que esse tipo de investimento se tornasse mais atrativo, e o desenvolvimento da tecnologia fez com que os equipamentos desses sistemas tivessem preços mais acessíveis.

O intuito inicial, desse estudo era de analisar a viabilidade de um sistema fotovoltaico que fosse capaz de suprir todo consumo da área comum do prédio. Porém como mostrado no decorrer do estudo, a edificação não comportaria a quantidade suficiente de painéis solares necessários para isso, pois os locais onde os painéis poderiam ser instalados seriam muito afetados por sombreamento, uma maneira de solucionar isso seria a utilização da fachada voltada para o norte, para se instalar mais módulos solares, porém nem todos moradores estariam satisfeitos com a modificação estética do prédio. Poderiam também ser feitas estruturas metálicas a fim de evitar as áreas atingidas por sombreamento, mas em contrapartida o custo do sistema teria um aumento considerável, que não foi considerado nesse estudo.

Por outro lado, foi possível observar que o sistema de energia fotovoltaico é bastante viável trazendo um retorno financeiro final de cerca seis vezes o valor de investimento, e observando que o prédio possui 156 unidades residenciais, o valor de investimento por unidade seria da ordem de R\$ 466,62, tornando o investimento completamente possível. Isso sem contar os benefícios ambientais que o sistema traz, gerando energia limpa.

Contudo, acredita-se que estudos dessa natureza poderão contribuir com a discussão em torno da temática da energia fotovoltaica, bem como auxiliar aos profissionais da área sobre os conhecimentos básicos para se empreender neste setor.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Infográfico Absolar**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em 17/05/2019.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa n. 482 de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br>. Acesso em: 05/03/2019.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica Nº 0056 - Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. SRD/ANEEL. 2017.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração distribuída solar fotovoltaica: Benefícios líquidos ao Brasil**. Seminário Internacional de Micro e Minigeração Distribuída. Brasília(DF). 20/06/2018.

AMAZONAS ECO SOLAR. **Energia solar: Autoconsumo remoto**. Disponível em: <<https://medium.com/@amazonasecosolar/energia-solar-autoconsumo-remoto>>. Acessado em 26/05/2019.

AMBIENTE BRASIL. **Histórico das células fotovoltaicas e a evolução da utilização de energia solar**. Disponível em <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_fotovoltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html> Acessado em 17/05/2019.

ATACADO SOLAR. **Kit Gerador de Energia Solar 16,08 kWp (220V)**. Disponível em: <<https://atacadosolar.com.br/loja/kits-energia-solar/kits-conectados-a-rede-gridtie/kit-gerador-de-energia-solar-13-20-kwp-380v-produz-o-de-ate-1813-kwh-mes-332.html>>. Acesso em: 10/10/2019.

BLOG SOLAR. **Incentivos Governamentais**. Disponível em: <<https://blog-solar.engie.com.br/incentivos-governamentais-energia-solar>>. Acesso em: 26/05/2019.

BLUESOL. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou isolados?**, 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>>. Acesso em: 20/05/2019.

BLUESOL. **Energia Solar em Goiânia**. 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-goiania/>>. Acesso em: 20/08/2019.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Energia Renovável**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-energia-renovavel>>. Acesso em: 25/05/2019.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Panorama das Cidades** Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>>. Acesso em 12/08/2019.

CIDADE BRASIL. **Município de Goiânia**. Disponível em < <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-goiania.html>>. Acesso em 12/08/2019.

COUTURE, T.; GAGNON, Y. **An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment**. Energy Policy, v. 38, n. 2. Guildford: Elsevier, 2010.

IBGE. **Panorama das cidades**. < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>> Acesso em 12/08/2019.

IPUENERGY. **Painel Solar Fotovoltaico, uma invenção, uma revolução, da era moderna? Qual sua história?** Disponível em < <http://www.ipuenergy.com/painel-solar-fotovoltaico-uma-invencao-uma-revolucao-da-era-moderna-qual-sua-historia/>> Acesso em 17/05/2019.

ENERGIA SOLAR. **Irradiação Solar**. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar/irradiacao-solar>>. Acesso em 15/05/2019.

FERNANDES, ANTÔNIO DE ALMEIDA. **Desenvolvimento de um rastreador de baixo custo para sistemas de energia Fotovoltaicos**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia. 2014.

GIMO, Daniel Berequeto. Blog Eletrobere. Disponível em: <<https://2.bp.blogspot.com/-PhQ8parIvyo/W9MkXNhbEzI/AAAAAAAAABcU/1kejqEih7CYIBF7ebqVWWzdhCaxoIWbSwCLcBGAs/s1600/bareira.jpg>>. Acesso em: 25/05/2019.

JUNIOR, JAIR URBANETZ. **Introdução a energia solar fotovoltaica e o SFVCR do escritório verde da UTFPR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR; 2014.

LAMBERTS, ROBERTO. **Casa Eficiente: Consumo e geração de energia**. Editores: Roberto Lamberts... [et al.] – Florianópolis: UFSC / LabEEE; 2010.

LGL SOLAR. **Você conhece a historia da energia solar?**, 2018. Disponível em: <https://lglsolar.com.br/blog/energia-solar/voce-conhece-historia-da-energia-solar>. Acesso em: 20/04/2019.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Acesso em: 20/05/2019.

NASCIMENTO, Cássio Araújo. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Curso de Pós-Graduação em Fontes Alternativas de Energia. Lavras, 2004.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar e seus componentes**, 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 25/05/2019.

NOVOMUNDOADM. **Como Funciona a energia solar em prédios e condomínios**, 2018 Disponível em: <<http://novomundoadm.com.br/blog/2018/05/14/como-funciona-a-energia-solar-em-predios-e-condominios>>. Acesso em: 22/08/2019.

PINHO; GALDINO, JOÃO TAVARES; MARCO ANTONIO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Cepel – Cresesb, 2014.

PORTAL SOLAR. **Como Funciona o Painel Fotovoltaico-Placas Fotovoltaicas**. São Paulo - SP, 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 20/05/2019.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar em Goiânia**, 2015 Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar-nas-cidades/energia-solar-em-goiania--go.html>>. Acesso em: 20/08/2019.

PORTAL SOLAR. **A Melhor Direção do Painel Solar Fotovoltaico**. São Paulo - SP, 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solarfotovoltaico.html>. Acesso em: 10/09/2019.

QCELLS. **Painel Solar Q. Power L-G 335W**. Disponível em: <<https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto41114IdArquivo19040.pdf>>. Acesso em: 10/09/2019.

RODRIGUES, Douglas dos Anjos. **Análise de Viabilidade Econômica para instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede na região norte de Mato Grosso**. Universidade de Mato Grosso. 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Florianópolis. UFSC/LABSOLAR, 2004.

SILVA, R. M. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios**. Texto para discussão nº 166. Brasília. Senado Federal, 2015.

SUN EARTH TOLLS. **Suns Position**, 2019. Disponível em: <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt>. Acesso em: 20/09/2019.

VALLÊRA, ANTÔNIO M; BRITO, MIGUEL CENTENO. **Meio Século de História Fotovoltaica**. REVISTA GAZETA DA FÍSICA, v. 29, p. 10 - 15, 2006.

VEISSSID, Nelson. **Energia solar e sua aplicação em Satélites**. SindCT, 2012.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.