

ALLAN ALVES DE OLIVEIRA

**VIABILIDADE DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTÁICA NO BRASIL, SUA IMPORTÂNCIA COMO
SOLUÇÃO SOCIOAMBIENTAL E APLICAÇÃO EM UMA
UNIDADE CONSUMIDORA PRÉ-EXISTENTE**

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

ORIENTADOR: EDUARDO MARTINS TOLEDO

ANÁPOLIS / GO: 2019

ALLAN ALVES DE OLIVEIRA

**VIABILIDADE DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTÁICA NO BRASIL, SUA IMPORTÂNCIA COMO
SOLUÇÃO SOCIOAMBIENTAL E APLICAÇÃO EM UMA
UNIDADE CONSUMIDORA PRÉ-EXISTENTE**

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:



EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)



WILLIAM PEREIRA DOS SANTOS JÚNIOR, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



ROGÉRIO DOS SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

ANÁPOLIS/GO, 27 DE MAIO DE 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, ALLAN ALVES DE

Viabilidade da microgeração de energia fotovoltaica no brasil, sua importância como solução socioambiental e aplicação em uma unidade consumidora pré-existente.

71P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Perspectivas da Energia no Brasil
2. O Sistema Fotovoltaico
3. Panorama Brasileiro e Mundial da utilização do sistema
4. Estudo de Caso

I. ENC/UNI

II. Bacharel (10º)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, Allan Alves de. Viabilidade da microgeração de energia fotovoltaica no brasil, sua importância como solução socioambiental e aplicação em uma unidade consumidora pré-existente. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 71p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Allan Alves de Oliveira

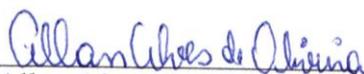
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Viabilidade da microgeração de energia fotovoltaica no brasil, sua importância como solução socioambiental e aplicação em uma unidade consumidora pré-existente.

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.



Allan Alves de Oliveira

allanalves1243@hotmail.com

RESUMO

A geração de energia, que foi sempre motivo de questionamentos, tem se tornado um assunto cada vez mais claro com a disseminação da energia fotovoltaica, esta que por sua vez permite a geração de energia pelo próprio consumidor de maneira prática e barata, quando comparamos valor investido com o retorno gerado por este. Além do atrativo do retorno de investimento, é também muito evidente o baixo impacto ambiental que sua aplicação ocasiona, o que eleva e muito a sua importância como força inovadora não só no cenário brasileiro, como no mundial. A microgeração fotovoltaica on-grid no Brasil, que é caracterizada pela geração em baixa escala - como aquela produzida por residências, pequenos comércios, etc. - conectados à rede elétrica é de longe a forma de geração que mais se intensificou, pois a facilidade de integração do sistema às edificações já existentes sem dúvidas também são um enorme facilitador e impulsionador, bem como os incentivos fiscais, a disponibilidade de recurso solar no país também o são. Gerar energia fotovoltaica é revolucionário quando a comparamos com quaisquer outras formas de geração de energia e desta forma, a análise e estudos acerca do assunto também o são de enorme importância pois comprovam e ressaltam a importância de se pensar nela não só como um bom investimento, mas como uma solução a nível mundial para um desenvolvimento sustentável. A partir de análise a respeito da geração de energia fotovoltaica, expomos a dependência do homem em relação ao recurso solar, a importância da pluralização da matriz energética brasileira utilizando-se da energia fotovoltaica, os principais componentes de um sistema, os fatores que impulsionam sua difusão e então foi verificada sua aplicabilidade a partir de um estudo de caso de dimensionamento de um sistema de microgeração para uma clínica com estrutura já existente onde foi obtido o tempo de retorno do investimento de 4 anos e ao final, as considerações acerca da instalação e procedimentos necessários para ser aprovada a instalação do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia fotovoltaica. Microgeração. Sustentabilidade. Inovação. Geração de energia.

ABSTRACT

Power generation, which has always been a cause for questioning, has become a subject increasingly clear with the dissemination of photovoltaics, which by your time allows the generation of energy by the practical and inexpensive consumer, when Compare value invested with the return generated by this. In addition to the attractive investment return, it is also very evident the low environmental impact that your application causes, which raises and your importance as innovative strength not only in the Brazilian scenario, as in the world. The PV on-grid Microgeneration in Brazil, which is characterized by low-scale generation as that produced by households, small businesses, etc. connected to the electrical network is by far the form of generation that more intensified because the ease of system integration to existing buildings without doubt are also a huge booster and facilitator, as well as tax incentives, solar resource availability. From the analysis regarding the photovoltaic power generation, we expose the dependence of man in relation to the solar resource, the importance of pluralization of the brazilian energy matrix using photovoltaic energy, the major components of a system, the factors that drive your broadcast and then checks your application from a case study of design of a grid system to a clinic with existing structure where it was retrieved from the return on investment of time 4 years and at the end, the installation considerations and procedures necessary to be approved the installation of the same.

KEYWORDS: Photovoltaics. Grid-connection. Sustainability. Innovation. Power generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Características dos solstícios e equinócios.....	21
Figura 2: Órbita da terra em torno do Sol.....	22
Figura 3: Variações na altura do Sol causam variações na quantidade de energia solar que atinge a Terra. Quanto maior a altura, maior a energia recebida, porém menor é a área de incidência.....	22
Figura 4: Componentes da Radiação Solar.....	23
Figura 5: Condutores, Semicondutores e Isolantes.	25
Figura 6: Componentes dos módulos Fotovoltaicos.....	27
Figura 7: Associação em série de painéis fotovoltaicos.	30
Figura 8: Associação em paralelo de painéis fotovoltaicos.....	30
Figura 9: Sistema fotovoltaico autônomo.....	32
Figura 10: Exemplo de sistemas que utilizam SPPM.	33
Figura 11: Emissões de Gases do Efeito Estufa no Brasil e no mundo entre 1990 e 2016.	35
Figura 12: Matriz Energética Brasileira e Mundial.	36
Figura 13: Composição da Matriz Elétrica Brasileira em 2017.	37
Figura 14: Matriz Elétrica Brasileira e Mundial.....	37
Figura 15: Demonstração de equivalência dos ângulos em análise.....	42
Figura 16: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores de energia fotovoltaica fixos e distribuição da população brasileira nas cidades.....	43
Figura 17: Sazonalidade do potencial de geração solar fotovoltaica para os 12 meses do ano, em termos de rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.mês no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos.	44
Figura 18: Posição do consultório no mapa de Anápolis.	48
Figura 19: Localização Geográfica.....	48
Figura 20: Arquitetura - Nova Odontologia	50
Figura 21: Planta de Cobertura - Nova Odontologia.	50
Figura 22: Informações de consumo da unidade consumidora nos últimos 12 meses.....	51
Figura 23: Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude (Média Anual).....	53

Figura 24: Inversor Fronius Primo 8.2-1.	58
Figura 25: Isométrico demonstrativo da disposição das placas na estrutura.	62
Figura 26: Vista Lateral da edificação, com detalhe das Stringboxes, Inversor e Caixa de Distribuição de Energia	63
Figura 27: Procedimentos e etapas de acesso.	64
Figura 28: Medidor Bidirecional.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Custos referentes aos componentes do módulo fotovoltaico.....	27
Quadro 2: Dados da Matriz Elétrica Brasileira, 2018.....	37
Quadro 3: Fatores de perda para sistemas fotovoltaicos.....	53
Quadro 4: Componentes e informações do kit fotovoltaico.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
ABES	Agência Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ADEME	Agência Francesa de Meio Ambiente e Gestão de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CAMEX	Câmara de Comércio Exterior
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cofins	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
ICMS	Imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação
IEA	Agência Internacional de Energia
IPI	Imposto sobre produtos Industrializados
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
RN	Resolução Normativa
SAS	Sistemas de Aquecimento Solar
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SFI	Sistemas Fotovoltaicos Isolados
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPPM	Seguimento do Ponto de Potência Máxima
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 METODOLOGIA	14
1.4 ORGANIZAÇÃO do trabalho	15
2 O SISTEMA FOTOVOLTAICO	16
2.1 O homem e o SOL.....	16
2.2 A ENERGIA SOLAR	20
2.3	
CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	24
2.4 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
2.5 Componentes do sistema fotovoltaico	26
2.5.1 Módulos Fotovoltaicos	26
2.5.1.1 Molduras de Alumínio Anodizado para Painel Solar.....	27
2.5.1.2 Vidros Especiais.....	27
2.5.1.3 Filme Encapsulante – EVA.....	28
2.5.1.4 Células Fotovoltaicas	28
2.5.1.5 BackSheet.....	28
2.5.1.6 Caixa de Junção.....	29
2.5.2 Módulos Fotovoltaicos em Associação	29
2.5.2.1 Módulos associados em série	29
2.5.2.2 Módulos associados em Paralelo.....	30
2.5.2.3 Efeito de Sombreamento	31
2.5.3 Baterias	31
2.5.4 Controladores de Carga	31
2.5.5 Inversores.....	32
2.5.6 Seguimento do Ponto de Potência Máxima (SPPM)	32

3	PANORAMA BRASILEIRO E MUNDIAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	33
3.1	PANORAMA SOCIOAMBIENTAL BRASILEIRO E MUNDIAL	33
3.2	mATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA BRASILEIRA	36
3.3	FATORES IMPULSIONADORES	39
3.3.1	Incentivos Governamentais	39
3.3.2	A incidência de radiação no Brasil	42
3.3.3	Carência mundial e brasileira por energia sustentável	44
3.3.4	Reflexos dos incentivos governamentais	45
3.4	Tipos de sistema fotovoltaico	45
4	ESTUDO DE CASO	47
4.1	Análise dos aspectos do Empreendimento	47
4.1.1	Introdução	47
4.1.2	Análise preliminar do local geográfico	47
4.1.3	Arquitetura e Cobertura	49
4.1.4	Demanda e consumo de energia elétrica	50
4.2	Estudos de Viabilidade	52
4.2.1	Disponibilidade de Recurso Solar	52
4.3	ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA	54
4.3.1	Escolha do Módulo fotovoltaico	54
4.3.2	Quantidade de placas	56
4.3.3	String-Box	57
4.3.4	Inversor	57
4.3.5	Preço Total do sistema e fluxo de caixa	59
4.3.6	Configuração dos módulos e inversor	62
4.3.7	Procedimentos para viabilização de Acesso e Contratação	63
4.3.8	Medidor Bidirecional	65
4.3.9	Instruções sobre a instalação e causas de redução no rendimento	65
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
5	Referências bibliográficas	68

1 INTRODUÇÃO

O elemento de insumo primordial para qualquer área e para o homem moderno é a energia e não é de hoje que o homem vem se tornando dependente da mesma, o que era praticamente inviável, a depender dos custos de implantação, há 40 anos, hoje está incomparavelmente mais próximo de se tornar realidade para alguns países. Estamos falando sobre a produção de enormes quantidades de energia proveniente da fonte mais abundante no nosso planeta, o sol, e para melhorar, esta é produzida de forma a causar impactos ambientais mínimos quando comparado a outras formas de geração de energia.

A China ultrapassou, em 2017, sua meta de capacidade de geração de energia solar que era prevista para 2020, representando no mesmo ano um total de 40% de toda a geração de energia fotovoltaica mundial (IEA, 2017), já o Brasil, prevendo investimento de R\$ 8 bilhões até 2021 (MME, 2018), representa menos de 10% do montante gasto na China apenas no ano de 2017.

Fora a China, países como Japão, Alemanha, Estados Unidos, Itália, Reino Unido, entre outros (ABSOLAR, 2017), compreenderam a grande necessidade de investimentos na geração de energia fotovoltaica, uma vez que os mesmos trazem numerosos benefícios para a nação como um todo. Um bom exemplo de aplicação é no setor industrial, possibilitando maior independência do mesmo, que, com o barateamento e a possibilidade de produção da própria energia, está livre para investir o que seria adicionado a custos em outros setores.

Por possuir grandiosa riqueza hídrica e pela mesma representar grande capacidade geradora, no Brasil o sistema hidrotérmico ganhou grandes proporções e chegou a compor 81% da matriz energética do país em 2011 (ABES, 2017) mas decaiu para menos de 61% em 2017 (ANEEL, 2017).

A homogeneidade da matriz energética pode acabar por representar um grave risco quando há inconstância climática como no caso da hidroeletricidade, e o que nos faz singulares pelo privilégio da riqueza hídrica pode ser o que nos fará reféns do mesmo em um período anormal de estiagem e isso é evidenciado pelas crises energéticas já ocorridas no país, onde o clima representa um agravante revelador da carência de maior atenção por parte do governo e da sociedade para a questão. Pelo fato de também ocasionar diversos impactos socioambientais negativos, a renovabilidade e a sustentabilidade da hidroeletricidade é um assunto amplamente questionado desde suas primeiras aplicações.

O Brasil é um dos países que compõem o *ranking* de incidência solar radioativa anual (SOLARGIS, 2018) e, com os incentivos governamentais, vem avançando na utilização desta disponibilidade de recurso de forma considerável, mas o seus desenvolvimentos e investimento ainda são poucos quando o comparamos com os países, que mesmo possuindo potenciais solares inferiores, representam os maiores incentivos no setor. O comparativo reforça a importância de maiores investimentos no setor do nosso país.

A capacidade de geração de energia elétrica por fonte solar, seguramente, será uma das principais realidades do setor de geração energética no futuro, apresentando um crescimento quase que exponencial de 577% de junho de 2017 ao mesmo período de 2018 no Brasil (ANEEL, 2018), a sua utilização se faz mais que necessária em um cenário de dependência de recursos hídricos e um crescimento da demanda de energia no país que pode chegar a mais de 42% até 2026 (EPE, 2017).

Em 2012, fora implantada a Resolução Normativa nº 482, que tornou possível a geração de energia elétrica por meios renováveis pelas próprias unidades consumidoras e também o fornecimento da mesma para a rede de distribuição a partir do sistema de créditos que podem ser utilizados pelo provedor conforme suas necessidades. O objetivo principal do normativo é pensado em grande parte na geração distribuída por esta apresentar grandes benefícios como a diminuição de custos, a praticidade dos processos de aplicação dos sistemas, a diminuição dos impactos ambientais, a minimização das perdas e a pluralização da matriz energética (ANEEL, 2015).

A redução dos custos para a implantação dos sistemas de geração, fazendo com que os usuários do mesmo tenham um retorno de investimento cada vez mais rápido, nos deu uma noção da tamanha importância desse tipo de incentivo por meio de políticas governamentais, que foram comprovados pela enorme intensificação da capacidade geradora no período de apenas um ano.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil, no início de 2018, passou a compor o grupo dos mais de 170 países participantes da Agencia Internacional de Energia Renovável, que é hoje o mais respeitado fórum internacional do setor, e obteve com isso maior renome no assunto devido à aplicação de melhores práticas no mesmo, fator norteador do projeto (ABSOLAR, 2018). Porém, por ainda não possuir a devida relevância de aplicação conjunta com a engenharia civil no país,

apesar de seu enorme potencial de geração, o tema me chamou atenção a fim de aprofundar o conhecimento na área para assim contribuir com profissionais e futuros profissionais, lançando assim mais uma luz sobre o assunto que é tão inovador e necessário.

O avanço tecnológico que fomentou o desenvolvimento na geração de energia fotovoltaica e engrandeceu a questão para o nível de preocupação mundial demonstra um pouco da magnitude de sua importância na busca por uma maior independência financeira a nível nacional bem como a melhoria na qualidade de vida populacional, isto torna a busca por maiores noções em relação ao assunto uma questão de preocupação nacional, pois tudo começa pela consciência, por parte da nação como um todo, sobre a relevância do mesmo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Reunir e articular informações acerca do cenário mundial e brasileiro de geração de energia para assim compreender a relevância de aplicação da energia fotovoltaica conjunta com a engenharia civil neste mesmo cenário e analisar, de forma prática, a viabilidade e pontos positivos dos diversos aspectos trazidos pelo uso desta nova tecnologia aplicada em uma edificação já existente.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Analisar a composição da matriz energética brasileira e a participação do sistema de geração fotovoltaico na mesma;
2. Compreender os princípios de funcionamento do sistema fotovoltaico, seu desempenho, as vantagens de sua utilização, seus pontos positivos e negativos e capacidade transformadora;
3. Elaborar e executar um estudo prático de viabilidade de aplicação de um sistema de microgeração distribuída em um consultório odontológico e expô-lo utilizando a ferramenta AutoCAD;

1.3 METODOLOGIA

A parte teórica será realizada embasada na coleta de informações a partir de fontes bibliográficas fidedignas e atuais, publicadas em parte por agências nacionais, parte por autores independentes, traçando assim duas linhas de raciocínio principais e as comparando para, a partir daí, gerar uma combinação e complementação das informações.

De início, será detalhada toda a história por trás do tema “energia fotovoltaica”, onde será abordada desde a descoberta de seus princípios até o panorama dos tempos atuais. Em seguida, a vinculação da geração independente de energia à engenharia civil terá seus aspectos evidenciados. E então, a matriz energética será pormenorizada para sua melhor análise, pois a mesma salienta e muito a necessidade de sua pluralização e pode nos auxiliar no entendimento sobre as crises energéticas já presenciadas no país.

Em seguida, a parte prática, que terá todo um embasamento teórico, será também realizada utilizando-se as mais recentes informações disponíveis, mas com o diferencial de uma análise real de viabilidade de aplicação do sistema em uma clínica odontológica que não possua o sistema fotovoltaico de produção elétrica e posteriormente, com os dados obtidos serão feitas as considerações finais acerca do estudo.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente monografia foi dividida em 5 capítulos, sendo que:

No capítulo 1, temos a introdução, justificativas, objetivos gerais e específicos, a metodologia e a própria estrutura.

No capítulo 2, serão enfatizados os princípios de funcionamento do sistema fotovoltaico e a história por trás do efeito fotovoltaico.

No capítulo 3, teremos então a análise do panorama energético no nosso país e mundo, os fatores impulsionadores e limitadores do emprego da tecnologia como incentivos fiscais, empregabilidade, rentabilidade, impactos ambientais, dentre outros.

No capítulo 4 será apresentado o estudo de caso abrangendo a simulação de um sistema fotovoltaico aplicado a uma clínica odontológica a partir de cálculos de dimensionamento, levantamento da arquitetura do local, posicionamento do sistema na estrutura já existente e conexão dos equipamentos do sistema.

O capítulo 5 e último será onde estarão presentes as referências bibliográficas utilizadas para a produção da presente monografia.

2 O SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.1 O HOMEM E O SOL

O planeta Terra é o nosso lar no espaço, é onde nos deparamos, desde sempre, com um céu azul até onde nossas vistas alcançam, que a um olhar parece se estender até o infinito, e é neste mesmo lar que nós humanos estamos, desde sempre, buscando evoluir e amadurecer. O que ocorreu, no início dos tempos, para que possamos estar neste presente, ninguém pode afirmar com total certeza, mas que o Sol teve e tem papel fundamental para que este mesmo presente onde vida e vida inteligente existam é comprovado e se tornou um fato no decorrer da história, devemos então, por humildade, reconhecê-lo como um dos nossos provedores e mesmo agradecer pelo enorme privilégio de nossas vidas (SAGAN, 1991).

Não bastasse isso, o Sol é apenas uma dentre uma esmagadora quantidade de estrelas existentes no oceano cósmico que é composto por uma estimativa de assustadores dez sextilhões (1 acompanhado de 21 zeros) de astros celestes segundo Laerte Sodré Júnior, astrônomo da Universidade de São Paulo. Diante disto, o que resta é aceitar que somos realmente privilegiados. A olho nu, se afirma que é possível vermos em média 5 mil estrelas, podemos então dar asas a nossa imaginação e, mesmo que não existam, podemos traçar verdadeiros desenhos no céu noturno unindo uma estrela a outra com traços imaginários, o que foi feito por nossos antepassados mais longínquos (SAGAN, 1991).

Desde sempre, o homem usufruiu dos astros celestes seja direta ou indiretamente e evoluiu muito neste sentido. Um dos exemplos de estudos práticos mais antigos datam de 3000 a.C., onde povos assírios, egípcios, babilônios e chineses faziam verdadeiros calendários, a fim de preverem as melhores épocas para seus plantios e colheitas, ou mesmo para fins astrológicos e, por não possuírem nenhum conhecimento sobre leis físicas, acreditavam em deuses dos céus e que os mesmos detinham poderes sobre a colheita, a chuva e até mesmo sobre a vida. Estes povos, mesmo vários séculos antes de Cristo, já utilizavam o calendário do ano com 365 dias e faziam previsões astronômicas (KEPLER; MARIA, 2016).

Mais tarde na história, o homem, por sucessivas evoluções, criava novas tecnologias que se adequariam a suas necessidades, descobriria um pouco mais sobre a natureza das coisas e mesmo que indiretamente estaria caminhando ao instante histórico que vivemos, onde se é possível e necessário produzir energia a partir daquele mesmo astro que tanto foi

admirado por nossos ancestrais, é como se o Sol nos prestasse mais um generoso favor e desta vez o favor viesse acompanhado de uma enorme quantidade de benefícios em diversos aspectos para todo o planeta.

As ocorrências históricas relevantes, a partir do primeiro momento registrado onde o efeito fotovoltaico foi observado, foram listadas e publicadas, de acordo com suas respectivas datas, pela empresa solar brasileira BlueSol, em 2011, e seguem evidenciadas na sequência cronológica a seguir:

- 1) 1800: Descoberta do Selênio (Se) feita por Berzelius;
- 2) 1820: Preparação do Silício (Si) por Berzelius;
- 3) 1839: Alexandre Edmond Becquerel, físico francês, é o primeiro – que se tem registros – a observar o efeito fotovoltaico;
- 4) 1860: Efeito fotocondutivo no Selênio, por Smith;
- 5) 1883: Com um desempenho de somente 1% de eficiência, a primeira ‘célula solar’ é construída por Charles Fritts;
- 6) 1887: A primeira célula solar baseada no efeito fotoelétrico externo é construída por Aleksandr Stoletov, físico russo;
- 7) 1900: Os Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) são usados pela primeira vez em residências nos Estados Unidos, que usavam de reservatórios pintados de preto nos telhados;
- 8) 1905: A física do efeito fotoelétrico é explicada por Albert Einstein;
- 9) 1920: A Flórida e o sul da Califórnia passam a contar com instalações de SAS em casas e também prédios de apartamentos;
- 10) 1921: A explicação do efeito fotoelétrico em 1905 por Albert Einstein lhe garantiu o Prêmio Nobel;
- 11) 1946: É registrada a primeira patente de uma moderna célula fotovoltaica, ‘junção-PN’, por Russel Ohl;
- 12) 1950: São produzidas as primeiras células fotovoltaicas para uso espacial pela Bell Labs;
- 13) 1954: É publicada uma notícia pelo extremamente bem-conceituado (e popular) jornal americano “The New York Times” que aponta que as células solares garantirão ao mundo uma fonte ilimitada de energia, sendo esta energia oriunda do sol;

- 14) 1955: Criada pela divisão de semicondutores da Hoffman Electronics, passa a ser comercializada no mercado norte-americano uma célula fotovoltaica com 2% de eficiência pelo preço de US\$ 25, ou US\$ 1,785.00 por Watt-pico;
- 15) 1957: Novamente a Hoffman Electronics lança produtos fotovoltaicos ao mercado norte-americano, sendo desta vez uma célula solar com 8% de eficiência;
- 16) 1958: O primeiro satélite artificial ‘movido’ por energia solar, o Vanguard I, é lançado a órbita carregando um painel solar de 100 cm², com 0,1 Watt-pico de potência;
- 17) 1959: Graças à ‘grade de contatos’, conseguiu-se que a resistência das células fosse reduzida e a Hoffman Electronics conseguiu produzir uma célula de eficiência aferida em 10% e passou a comercializá-la. A grade de contatos é utilizada até os dias de hoje e permite que os elétrons livres sejam captados;
- 18) 1961: Promovida pelas Nações Unidas, a conferência ‘Solar Energy in the Developing World’ é realizada;
- 19) 1962: O ‘Telstar’, satélite de comunicações, é movido por energia solar;
- 20) 1963: Um módulo fotovoltaico de silício cristalino é produzido no Japão pela Sharp Corporation. Seria este o marco da produção de um módulo economicamente viável;
- 21) 1967: A primeira espaçonave tripulada que era movida à energia solar foi lançada ao espaço, o Soyuz 1;
- 22) 1971: A estação espacial russa Salyut 1 é a primeira estação espacial de qualquer nacionalidade a ser alimentada por energia solar fotovoltaica;
- 23) 1973: O Skylab, dos Estados Unidos, é energizado com energia solar fotovoltaica e a crise do petróleo fomenta maior interesse por investimentos na energia solar;
- 24) 1974: Surge o primeiro ‘avião solar’, o ‘AstroFlight Sunrise’, avião não tripulado. O AstroFlight Sunrise realiza o primeiro voo utilizando energia solar fotovoltaica;
- 25) 1975: É construído na Inglaterra o primeiro barco solar;
- 26) 1977: São instalados painéis fotovoltaicos na Casa Branca, nos Estados Unidos, pelo presidente norte-americano Jimmy Carter, que passou a incentivar os sistemas de energia solar;
- 27) 1978: Durante a crise energética americana, Jimmy Carter introduz a primeira ‘Tarifa Feed-In’, que viria a ser uma tarifa prêmio para energia fotovoltaica. Futuramente a referida tarifa permitiria a venda de energia produzida em residências ou comércios às concessionárias de energia como uma forma de subsídio do governo;

- 28) 1979: Data de construção do primeiro veículo aéreo controlado e tripulado, e alimentado por energia solar. Tinha a aparência de um ultraleve. Foi produzido pela Solar Rizer;
- 29) 1980: Com a eficiência de 10%, a primeira célula fotovoltaica de película fina é criada pelo Instituto de Conversão de Energia da Universidade de Delaware;
- 30) 1981: ‘Solar Challenger’, um planador solar, cruza em julho o Canal da Mancha;
- 31) 1983: Em escala mundial, a geração de energia através dos sistemas fotovoltaicos ultrapassa a quantia de 21.3 Megawatts;
- 32) 1985: Célula fotovoltaica com 20% de eficiência é produzida pelo Centro de Engenharia Fotovoltaica da Universidade de New South Wales;
- 33) 1987: Uma competição bienal de carros solares é criada. Competem neste evento times formados tanto por universidades quanto por empresas. O percurso é na Austrália (de Darwin até Adelaide), totalizando uma corrida de 3.021 km. O nome da competição é ‘World Solar Challenger’;
- 34) 1989: Primeiro registro do uso de concentradores reflexivos em células fotovoltaicas;
- 35) 1990: A ‘Tarifa Feed-In’, já implantada nos Estados Unidos, passa a ser introduzida pela Alemanha em suas concessionárias de energia para que as energias renováveis fossem estimuladas;
- 36) 1992: Uma célula fotovoltaica de película fina fabricada pela Universidade de South Florida e afere 15,89% de eficiência;
- 37) 1998: O ‘Advanced Photovoltaics’ é exibido online pela Universidade de New South Wales (não está mais disponível);
- 38) 1999: Em escala mundial, a geração de energia através dos sistemas fotovoltaicos alcança 1.000 MegaWatts;
- 39) 2000: Um sistema fotovoltaico integrado à arquitetura de 9kWp é instalado pelo presidente norte-americano George W. Bush no setor do National Parks Service da Casa Branca;
- 40) 2000: Lei da ‘Tarifa Feed-In’ na Alemanha sofre grande reconstrução. A lei representa uma das políticas mais eficazes do mundo a acelerarem a implantação de energias renováveis;
- 41) 2004: A iniciativa ‘Solar Roofs Initiative’ incentiva a instalação de um milhão de telhados fotovoltaicos até 2017. A proposição da Solar Roofs Initiative foi feita pelo então governador da Califórnia, Arnold Schwarzenegger;

- 42) 2006: O uso de silício na indústria fotovoltaica ultrapassa o uso de silício em qualquer outra área;
- 43) 2007: O Vaticano decide instalar em seus edifícios sistemas fotovoltaicos;
- 44) 2008: A ‘Tarifa Feed-In’ é novamente implementada, desta vez pela Austrália;
- 45) 2009: Em escala mundial, a geração de energia através dos sistemas fotovoltaicos alcança a marca de 9.340 MegaWatts;
- 46) 2010: New South Wales, o maior estado da Austrália, introduz no país a mais generosa ‘Tarifa Feed-In’;
- 47) 2011: Redução frenética de preços dos dispositivos fotovoltaicos. Após a redução de vendas de sistemas fotovoltaicos na Europa, empresas passam a visar a inserção de seus produtos na América Latina, sendo o Brasil um forte alvo. A primeira usina fotovoltaica do Brasil é construída pelo empresário Eike Batista. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) faz consulta pública e minuta para nota técnica regulamentadora dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede da concessionária, sendo estes sistemas residenciais ou comerciais. Acontece também um Start-up dos sistemas fotovoltaicos no Brasil, aumentando as pesquisas de desenvolvimento por parte de várias instituições. As concessionárias de energia elétrica do Brasil passam a agregar conhecimentos acerca dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede e se preparam para a regulamentação da ANEEL, que sairia em 2012;
- 48) 2012: É publicada a regulamentação dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) pela ANEEL, normas NBR para os sistemas fotovoltaicos e normas técnicas individuais para conexão à rede por parte de cada concessionária de energia;
- 49) 2012: Implementação da ‘Tarifa Feed-In’ no Japão;
- 50) 2015: A ANEEL publicou a atualização da NR 482, que rege a aprovação de SFCR por qualquer concessionária do país, aumentando os benefícios e melhorando os prazos.

2.2 A ENERGIA SOLAR

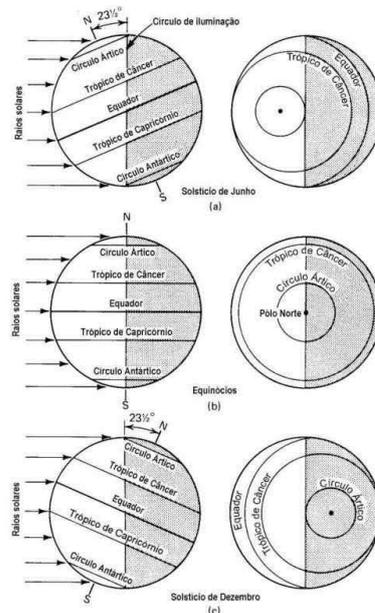
Sabe-se hoje que o sol é uma gigantesca esfera de plasma incandescente, ainda jovem se comparado a outras estrelas no calendário cósmico, em cujo núcleo intensas reações termo-nucleares dão origem à energia que o mantém e nos mantém. Sua energia, em metros quadrados por segundo manteria, em média, sete computadores ligados, é 80 mil vezes maior

que a energia consumida por todas as fontes renováveis do mundo, em um mesmo período de tempo e isso demonstra a grande riqueza disponível e a qual somos potencialmente capazes de usufruir (KEPLER; MARIA, 2018).

Um dos principais fatores que influenciam diretamente nos níveis de incidência de energia solar sobre determinada superfície é a posição do planeta em relação ao sol, sendo que se a Terra estiver inclinada devida sua rotação ou mais próxima do Sol devido seu movimento orbital elíptico, isso levará a uma variação na distribuição de radiação sobre o planeta, assim certas localidades podem ter maiores ou menores incidências solares, o que por sua vez contribui positiva ou negativamente na capacidade de geração da mesma (UFPR, 2017).

Os movimentos de translação e rotação são os responsáveis pelas maiores variações em nosso planeta. A rotação é definida pelo giro da Terra em torno do seu próprio eixo, sendo então a determinante dos períodos diurnos e noturnos e também das inclinações em relação ao próprio eixo, onde os seus máximos são denominados solstícios e equinócios (UFPR, 2017).

Figura 1: Características dos solstícios e equinócios.



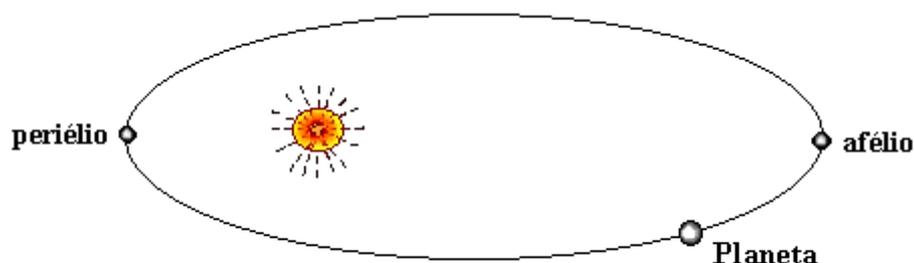
Fonte: UFPR, 2017.

Os solstícios são definidos como as inclinações máximas (em torno de 23°) da Terra em relação ao seu próprio eixo durante certa época no ano e tem como consequência a variação de incidência dos raios solares em determinadas localidades, em especial nos hemisférios norte e sul, representados na figura 1 (a,c). Os equinócios são definidos pela

incidência dos raios solares paralelos aos trópicos e linha do Equador e é caracterizado pela igualdade de duração de dias e noites em todo o planeta e está representado na figura 1 (b).

A translação se refere ao movimento elíptico que a terra faz em torno do sol e este apresenta um pico onde a terra está mais distante do Sol e um onde está mais próximo do mesmo e são respectivamente denominados afélio e periélio e são representados na figura 2.

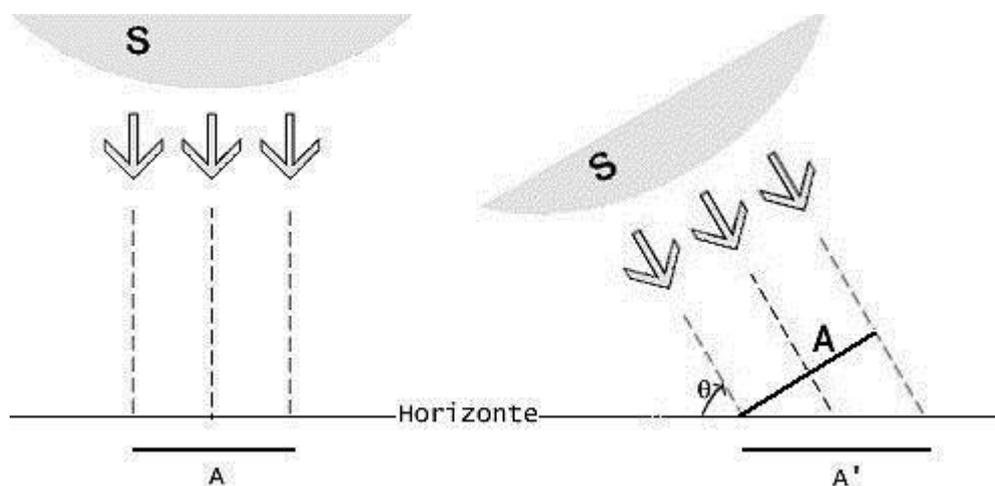
Figura 2: Órbita da terra em torno do Sol.



Fonte: GOMES, JAIRO, 2016.

A intensidade de radiação que chega em determinada superfície depende também, como já citado, da relação entre a posição ou altura solar com relação a esta mesma superfície, sendo mais efetiva ou mais incisiva quando estão mais próximas da perpendicularidade, sendo assim, 90° a posição onde há maior índice radioativo em qualquer superfície como na figura 3 (UFPR, 2017).

Figura 3: Variações na altura do Sol causam variações na quantidade de energia solar que atinge a Terra. Quanto maior a altura, maior a energia recebida, porém menor é a área de incidência.



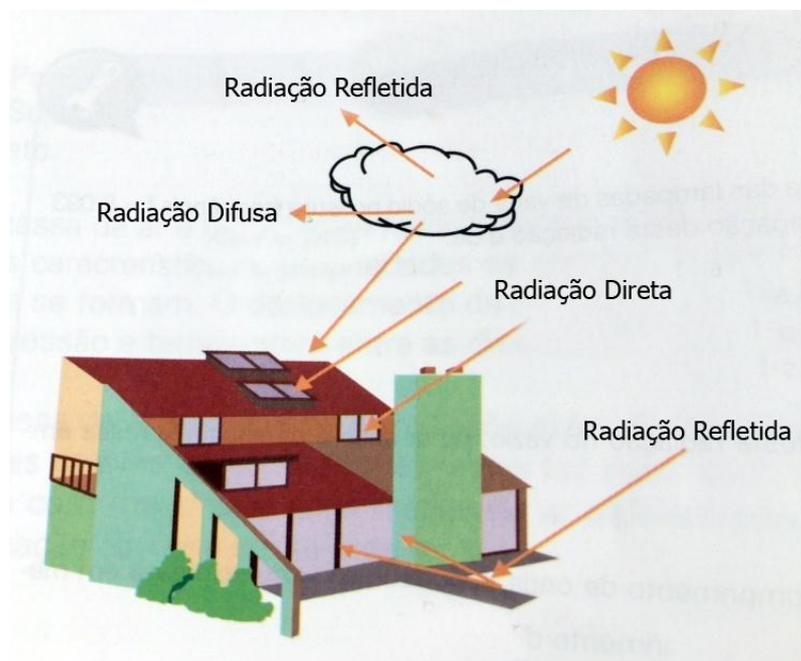
Fonte: UFRGS, 2015.

A energia oriunda do Sol chega até nós por meio da radiação eletromagnética e 97% desta apresenta comprimentos de onda caracterizados como curtos. Para analisarmos a incidência total da radiação no solo, devemos somar três componentes, que são os de radiação direta, difusa e refletida. Os componentes resultam do fato que toda a radiação, antes de chegar ao solo, sofre uma sequência de reflexões, dispersões e absorções em seu percurso e até mesmo desde as camadas mais externas às mais internas da terra (APARECIDA; ELIANE, 2016).

A radiação denominada direta é a que provém diretamente do sol e que não tenha sofrido qualquer tipo de alteração em sua direção além daquela provocada pela refração a nível atmosférico. A difusa é a incidida sobre um corpo após ocorrer a mudança de direção do raio inicial e pode ocorrer devido aos efeitos de reflexão ou espalhamento na atmosfera. A refletida varia conforme os atributos do corpo receptor bem como sua inclinação em relação aos raios recebidos (APARECIDA; ELIANE, 2016).

O esquema é representado na imagem a seguir:

Figura 4: Componentes da Radiação Solar



Fonte: ADEME, 2015.

2.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A energia fotovoltaica é oriunda da conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico. As células fotovoltaicas são de enorme importância e fabricadas utilizando-se, essencialmente, materiais semicondutores, que são sólidos normalmente cristalinos e possuem condução elétrica entre o grupo dos materiais condutores e o grupo dos materiais isolantes (ZILLES, 2012).

E então, existem tecnologias que auxiliam na produção destas células semicondutoras e tais tecnologias são classificadas em três etapas ou módulos. A primeira produção é separada em duas cadeias de produção, que são: utilizando-se silício monocristalino (m-Si) e silício poli-cristalino (p-Si), os dois compõem juntos mais de 80% do mercado de placas fotovoltaicas por serem já estáveis no mesmo, representarem maior confiança por serem alguns dos mais eficientes dispostos no mercado atual (JOÃO; MARCO, 2014).

A segunda produção é separada em três cadeias produtivas, sendo utilizadas nelas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Estas produções representam uma eficiência menor se comparadas às primeiras e também são pouco expressivas no mercado e competem com a tecnologia c-Si³ e essa dificuldade em ser mais representativo se justifica pelas indisponibilidade dos materiais, suas vidas úteis, o rendimento de suas células e até sua toxicidade, que é o caso do Cádmio, o que são coisas que limitam sua maior presença no mercado (JOÃO; MARCO, 2014).

O terceiro método produtivo, apesar de ainda estar em fase de pesquisa e desenvolvimento, é separado em três cadeias produtivas, sendo: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas (OPV). As células de tecnologia, por exemplo, apesar de ainda serem inviabilizadas comercialmente, representam alta eficiência (ZILLES, 2012).

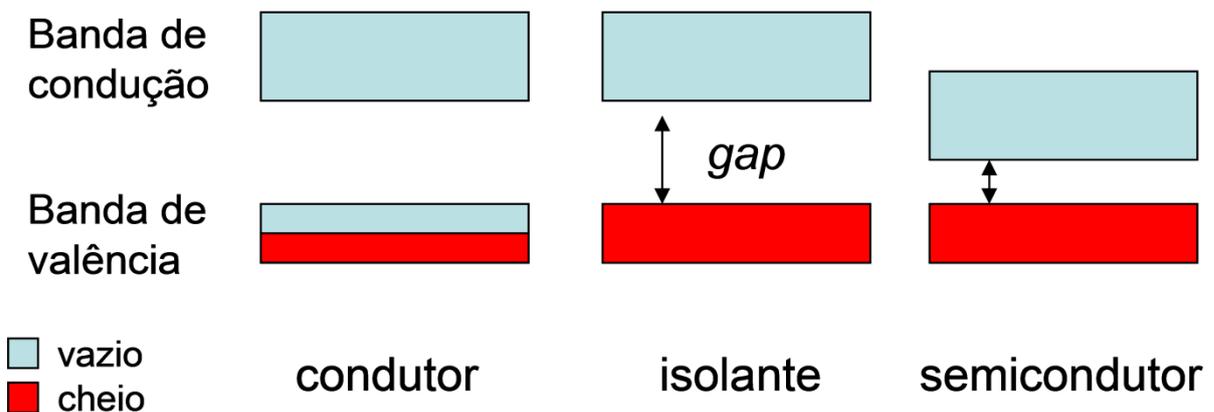
2.4 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Na natureza, existem os mais diversos materiais e dentre eles os materiais denominados semicondutores, que se distinguem dos demais por possuírem uma banda de

valência (última camada nuclear preenchida por elétrons) e outra banda de condução (camada parcialmente preenchida por elétrons) que é o próximo nível energético permitido, seguido da banda de valência. Na banda de condução é onde ocorre a produção da corrente elétrica devido à livre movimentação dos elétrons no material, porém, a condições de temperaturas próximas do zero absoluto fica totalmente vazio (sem elétrons), ou seja, isso determina o material como sendo maior condutor conforme se aumenta sua temperatura, e isolante quando a diminui (JOÃO; MARCO, 2014).

Entre as bandas de condução e valência, temos a banda proibida, que representa a diferença de energia das mesmas. As características elétricas de determinado material são dependentes da configuração de suas bandas de energia (valência e condução) e do tamanho da banda proibida (gap), como demonstrado na figura 5.

Figura 5: Condutores, Semicondutores e Isolantes.



Fonte: PERON, 2016

A característica principal que permite a produção e a utilização de células fotovoltaicas é possuir fótons incidentes que geram pares, a depender de certo nível de energia a que são expostos, ou seja, quanto maior a absorção de fótons pelo semicondutor, maior a liberação de energia pelo mesmo. Logo, o efeito fotovoltaico pode ser definido como a conversão direta da energia luminosa para a energia elétrica vinculada a uma corrente elétrica e a uma diferença de potencial, podendo acontecer em qualquer diodo semicondutor submetido à radiação, logo, podemos entender as células fotovoltaicas como diodos expandidos e aprimorados com o objetivo de aproveitar o efeito fotovoltaico (JOÃO; MARCO, 2014).

Para o completo funcionamento da célula fotovoltaica, é preciso ainda um contato elétrico frontal do tipo malha metálica na sua região frontal e outro na traseira, sendo estes interligados externamente utilizando-se um condutor, ocorrerá então a circulação de elétrons.

As células fotovoltaicas que apresentam maior eficiência hoje são produzidas utilizando-se diversos e distintos materiais e tecnologias, sendo denominadas *multijunção*. A combinação de materiais diferentes entre si apresentou a possibilidade de se absorver fótons de grande parte do espectro solar e isto tornou possível a eficiência das células alcançar os 44,5%, em estudo realizado na Universidade George Washington, pelo Dr. Matthew Lumb, ressaltando que: *“O nosso novo dispositivo é capaz de desbloquear a energia armazenada nos fótons de longa duração, perdidos nas células solares fotovoltaicas convencionais e, portanto, fornece um caminho para a realização da célula solar de multi-junção final”* (PORTAL ENERGIA, 2017).

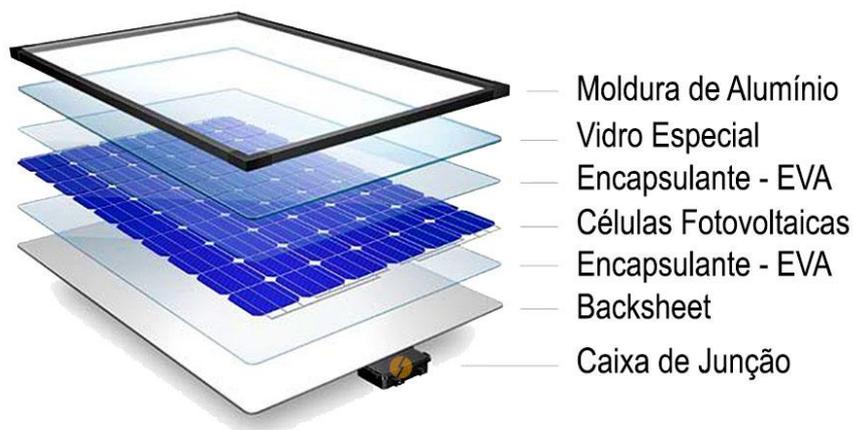
2.5 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico é composto por três principais grupos de elementos, sendo um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e um bloco de armazenamento. O bloco gerador é responsável pelas combinações fotovoltaicas, é composto pelos diferentes arranjos dos módulos fotovoltaicos, das ligações elétricas que os une e a estrutura suporte destes. O bloco de condicionamento pode possuir conversores de corrente contínua para corrente contínua de diferentes amplitudes, um seguidor de ponto de potência máxima, inversores, controladores de carga (em casos onde há armazenamento de carga), bem como dispositivos de proteção, supervisão e controle. Por fim, o bloco de armazenamento é composto por baterias ou outras formas de conservação de energia (ZILLES, 2012).

2.5.1 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é definido como sendo uma unidade composta por um grupo de células fotovoltaicas encapsuladas e interligadas eletricamente com a função única de geração de energia elétrica (NBR 10899, 2013). A figura 6 destaca os componentes principais do módulo fotovoltaico.

Figura 6: Componentes dos módulos Fotovoltaicos.



Fonte: PORTAL SOLAR, 2017.

O quadro 1 apresenta a relação dos preços de cada elemento do módulo fotovoltaico, em exemplo, o módulo tradicional feito em silício.

Quadro 1: Custos referentes aos componentes do módulo fotovoltaico.

Componente	Custo Médio (%)
Moldura de Alumínio Anodizado	8%
Vidros Especiais	10%
Filme Encapsulante (EVA)	8%
Células Fotovoltaicas	60%
BackSheet	8%
Caixa de Junção	6%
Total	100%

Fonte: PORTAL SOLAR, 2017.

2.5.1.1 Molduras de Alumínio Anodizado para Painel Solar

É acoplada ao painel uma moldura, feita em alumínio anodizado, com o objetivo de adicionar robustez ao painel, garantindo assim sua integridade em condições anormais de intempéries, transporte, instalação, torção, que possam causar quaisquer avaria em suas células. Com isso, a espessura da moldura deve ser observada com cautela, não devendo ser inferior a 4 centímetros, e sua anodização também deve ser aplicada a esmero para que o módulo possa garantir uma durabilidade satisfatória (PORTAL SOLAR, 2017).

2.5.1.2 Vidros Especiais

O vidro utilizado na fabricação dos módulos fotovoltaicos é especial por ser ultra-puro, com baixo teor de ferro em sua composição, produzido com os principais objetivos de refletir o mínimo possível de luz incidente sobre ele e também ser atravessado pelo máximo possível de luz. Além disto, é um vidro temperado, resistente, com espessura que varia de 3,2 a 4 mm, revestido de substância antirreflexiva. Tudo isso é fundamental para a garantia de boa qualidade, pois ele deve resistir até às mais fortes chuvas de granizo (PORTAL SOLAR, 2017).

2.5.1.3 Filme Encapsulante – EVA

O filme encapsulante para painéis solares, conhecido como EVA (acetato-vinílico de etileno), foi desenvolvido especialmente para os módulos fotovoltaicos, e é um material selante de cura rápida, garantindo maior durabilidade e integridade às células fotovoltaica, protegendo-as do envelhecimento causados pela radiação ultravioleta, pelas temperaturas extremas, umidade, e asseguram assim que o máximo de luz visível incida sobre as células (PORTAL SOLAR, 2017).

2.5.1.4 Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica representa o “coração” do sistema fotovoltaico, é nela que ocorrem as reações físico-químicas que tornam possível a transformação da luz solar em energia elétrica. São finas, possuem menos de 2 mm de espessura, e podem ser compostas por diversos materiais distintos, o que acaba por amplificar e muito sua eficiência. As células mais comuns são produzidas a partir de cristais de silício ultra-puro e, devido sua espessura, devem ser manuseadas com extremo cuidado, pois rompem facilmente (PORTAL SOLAR, 2017).

2.5.1.5 BackSheet

É um “filme plástico branco” que possui três robustas camadas, situado na parte inferior ou traseira do painel solar e tem como objetivo manter a integridade dos componentes

internos do painel, em especial, as células fotovoltaicas. Também tem a função de isolar as células eletricamente (PORTAL SOLAR, 2017).

2.5.1.6 Caixa de Junção

Componente importante do conjunto painel solar, a Caixa de Junção, se localiza na parte de trás do painel solar, e é onde as células interligadas em série são conectadas. São elas que garantem a segurança e boa funcionalidade do painel solar (PORTAL SOLAR, 2017).

2.5.2 Módulos Fotovoltaicos em Associação

A associação dos módulos fotovoltaicos se faz necessária quando há a necessidade de se elevar a potência do sistema. Para isso, é necessário observar atentamente a tensão desejada, como serão associados os módulos, como será feita sua instalação, quais componentes serão instalados, pois as tensões e as correntes finais devem estar em total concordância com estes mesmos componentes para garantirem a vida útil e qualidade de instalação (JOÃO; MARCO, 2014).

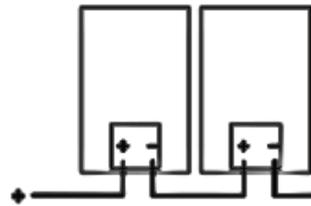
E então, teremos três tipos de conexão a serem feitas nos módulos, são elas a ligação em série, a ligação em paralelo e a mista, que é a união da ligação em série com a em paralelo em um mesmo sistema. As Caixas de Junção são importantes nesses processos de ligação por manterem a integridade do sistema, proporcionando maior segurança na instalação. O cabeamento utilizado no processo de interligação deve ser específico para o uso em sistemas fotovoltaicos, sendo protegidos à radiação ultravioleta e contra efeitos de intempéries (JOÃO; MARCO, 2014).

2.5.2.1 Módulos associados em série

A ligação em série é resultado da interligação do terminal positivo de um módulo voltaico ao terminal negativo do módulo próximo e assim para os módulos subsequentes, como ilustrado na figura 7. Nesse tipo de associação, a tensão final resulta na soma das tensões, enquanto que a corrente (para módulos com as mesmas características) não é afetada (ZILLES, 2012).

A partir do momento em que se utiliza a ligação em série, as correntes que passam por cada módulo serão sempre iguais entre si, porém, para a corrente total não ser prejudicada em relação às correntes individuais de cada módulo, é necessário considerar os módulos como iguais, em condições equivalentes de radiação e temperatura. Havendo dispersão de qualquer característica elétrica ou ensombramento de alguma parte, a corrente do sistema automaticamente se limita pelo módulo que tiver menor corrente individual, ou seja, é gerada menor quantidade de energia. Com isso, a atenção com esse tipo de ligação é necessária, pois no caso de um dos painéis ser prejudicado, todo o sistema será (RACHEL, 2017).

Figura 7: Associação em série de painéis fotovoltaicos.

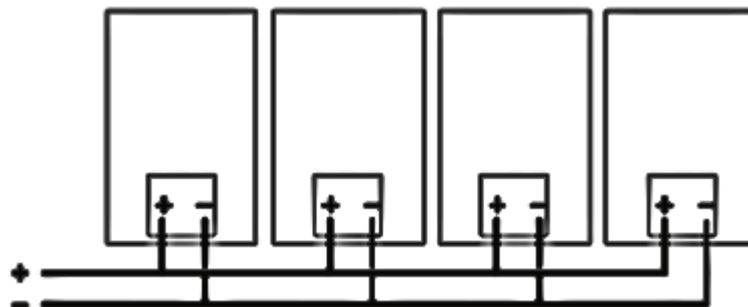


Fonte: SOLAR BRASIL, 2016.

2.5.2.2 Módulos associados em Paralelo

A conexão em paralelo é feita interligando-se terminais de mesma polaridade dos módulos, ou seja, positivo-positivo e negativo-negativo, como é mostrado na figura 8. O resultado da ligação, que é contrário ao da associação em série, é a soma de todas as correntes do sistema, mas a constante tensão do mesmo (JOÃO; MARCO, 2014).

Figura 8: Associação em paralelo de painéis fotovoltaicos.



Fonte: SOLAR BRASIL, 2016.

2.5.2.3 Efeito de Sombreamento

Quando temos um conjunto de células fotovoltaicas conectadas em série e alguma de suas células recebe menor quantidade de radiação se comparada às outras que formam o mesmo conjunto, a corrente elétrica do sistema irá ser limitada pela corrente produzida pela célula que está recebendo menos radiação. Este efeito se dá pelo sombreamento parcial deste módulo, resultante de sujeira sobre o vidro, algo que caiu sobre o módulo, dentre outras possibilidades, e provoca a redução de todos os módulos conectados em série (ZILLES, 2012).

Além desta diminuição de potência, o sombreamento pode causar danos ao módulo sombreado, de forma que a potência gerada não atendendo o consumo, é dissipada no módulo parcialmente sombreado e acarreta no aquecimento do mesmo, podendo causar ruptura de suas células ou fusão dos polímeros (JOÃO; MARCO, 2014).

2.5.3 Baterias

Durante períodos chuvosos, de tempo nublado, período noturno ou qualquer outra situação onde o sistema não tenha sobre si uma incidência de radiação mínima para absorver e assim alimentar a rede de energia elétrica, as baterias (representadas na figura 9) teriam grande importância em outros sistemas de geração de energia, por poderem resguardar aquela energia produzida em momentos em que a demanda de energia é muito baixa. Com isso, parte da energia que fosse produzida em excesso durante os momentos de incidência solar seria armazenada em casos de falta de energia por parte da concessionária ou fornecedora de energia. Porém, na prática, apesar de apresentarem vantagens, elas apresentam vida útil de curta duração, o que acaba por inviabilizar economicamente a sua utilização em sistemas fotovoltaicos (RACHEL, 2017).

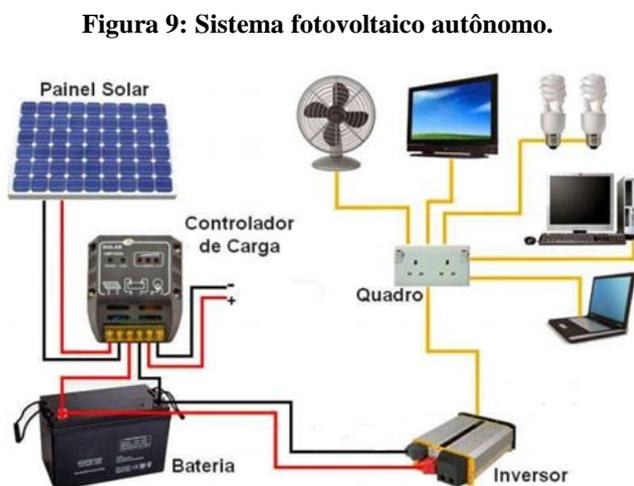
2.5.4 Controladores de Carga

A grande importância dos controladores de carga (representado na figura 9) se deve à inconstância de cargas e descargas elétricas em um sistema ligado à rede representar um risco à integridade do sistema fotovoltaico, podendo gerar danos às baterias. Logo, os controladores geram maior segurança ao sistema por impedir tais danos, que podem ser irreversíveis às

mesmas. Os mesmos devem ser desenvolvidos atentando-se às características das baterias a serem utilizadas no sistema (RACHEL, 2017).

2.5.5 Inversores

O inversor (figura 9) é o dispositivo capaz de transformar uma corrente elétrica alternada fixa em uma variável, por meio do controle da potência consumida pela carga por meio da inconstância da frequência da carga obtida pela rede alimentada pela concessionária. A sua utilização acrescenta maleabilidade da velocidade com segurança e precisão ao sistema, o que representa um ótimo custo benefício ao sistema fotovoltaico.



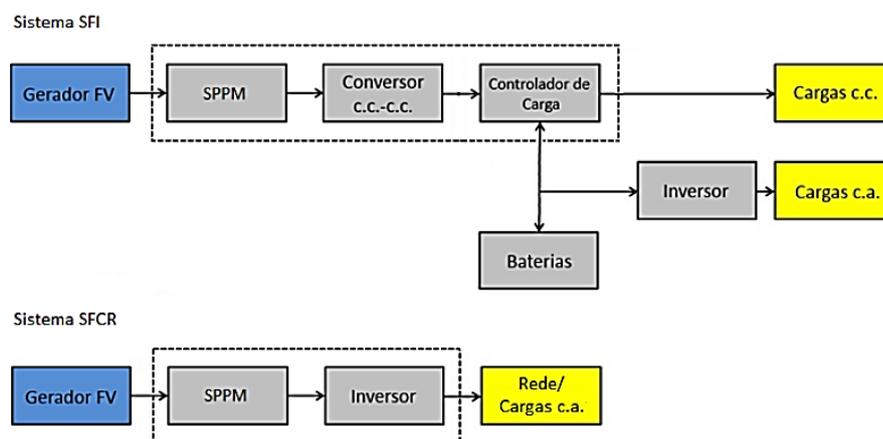
Fonte: ENERGIA SOLAR ALFA, 2017.

2.5.6 Seguimento do Ponto de Potência Máxima (SPPM)

Um sistema ideal de geração com módulos iguais, submetido a uma incidência constante de irradiação e mesmas condições de temperatura, apresenta um ponto máximo do produto da potência pela corrente. Logo, para um sistema real - onde o aumento da temperatura afeta a tensão máxima, e conseqüentemente diminui a potência gerada pelo sistema, e efeitos como o sombreamento afetam a corrente - é necessária a existência de um sistema ou mecanismo de controle eletrônico onde tais interferências sejam observadas de forma contínua para melhor aproveitamento do sistema. Tal mecanismo age em conjunto com inversores e conversores e tem o objetivo de maximizar a utilização do sistema fotovoltaico, utilizando-se como referência o ponto de potência máximo já alcançado pelo sistema em

momentos de proximidade às condições ideais de um sistema. Há então o que é instalado, agindo diretamente nos inversores (SFCR), e também o que é instalado agindo diretamente nos conversores (SFI), ambos são representados no esquema da figura 10 (JOÃO; MARCO, 2014).

Figura 10: Exemplo de sistemas que utilizam SPPM.



Fonte: Manual de Engenharia Fotovoltaica, 2014.

3 PANORAMA BRASILEIRO E MUNDIAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A utilização da energia fotovoltaica pode representar o fim de todo um histórico cíclico de agressão ao planeta terra, podemos então considerar vários fatores agravantes dentro da produção atual de energia no país e no mundo que contribuem direta ou indiretamente para tal. A necessidade urgente de disseminação da consciência da importância de utilização, do conhecimento e informação sobre esta energia que pode ser a solução mais inteligente e capaz de frear esse ciclo histórico de degradação dos recursos naturais como exemplo pela alteração do uso do solo e pela poluição em massa que refletem o descaso com a saúde do planeta que é lar de nossa própria existência, esses e muitos outros aspectos essenciais para as considerações sobre o assunto serão devidamente tratados.

3.1 PANORAMA SOCIOAMBIENTAL BRASILEIRO E MUNDIAL

A emissão mundial de gás CO₂ na atmosfera bateu seu recorde em abril de 2018, alcançando a marca de mais de 410 partes por milhão, estudos demonstram que 91% do gás emitido tem origem nos combustíveis fósseis, sendo 41% originado do carvão, 33% de óleos,

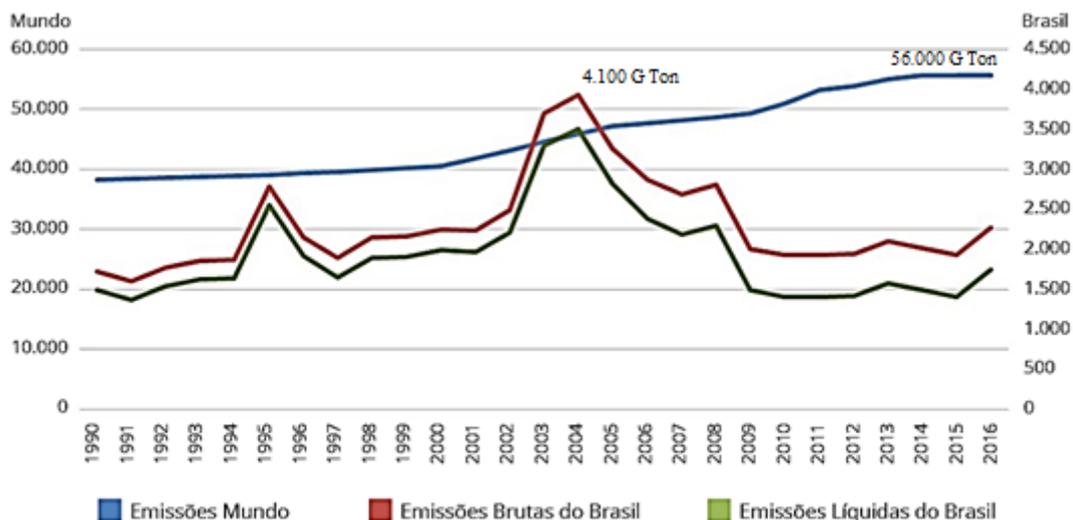
19% de gasolina, e 1% de gases. Os outros 9% são causados pelas mudanças provocadas no uso da terra ou desmatamento florestal. De todo o CO₂ presente no planeta, em torno de 44% fica acumulado na atmosfera, 26% nos oceanos e 30% na terra (JOÃO, 2017).

A emissão mundial no período de 1990 a 2016 teve o Brasil como um de seus contribuintes protagonistas, chegando este a compor 4% em emissão líquida e a 5% em emissão bruta de gás durante todo o período, o ápice de sua contribuição ocorreu no ano de 2003 a 2004, onde neste período o país foi gerador de 8% de todo o despejo de gases estufa na atmosfera (SEEG, 2018).

O Brasil está entre o *ranking* dos maiores emissores per capita de CO₂ do mundo no período, liderando-o de 1990 a 2010, chegando a representar o triplo em alguns anos, já a partir de 2010, as emissões se equilibraram com as mundiais, que representavam em média 7,5 t/habitante/ano, e até a caírem para 6,9 t/habitante/ano em 2015, o que foi um avanço e tanto na redução da poluição. O país ocupou a 7ª posição no *rank*, segundo dados de 2016, o que representa quase 2,3 bilhões de gás carbônico despejados na atmosfera somente no mesmo ano. Deste total, 74% tem origem nas mudanças no uso da terra (desmatamento ou agropecuária) (JOÃO, 2017).

A emissão de gases do efeito estufa no país com relação à emissão global teve quatro pontos marcantes entre 1990 e 2016. O primeiro ocorreu entre 1990 e 1997, onde o Brasil teve um crescimento na emissão anormal e até superior ao global; entre 1998 e 2004 a emissão ocorreu a ritmo semelhante ao global e próximo de 2004 há um acréscimo também anormal. De 2005 a 2008, há uma queda brusca na taxa de emissão e ao mesmo tempo a taxa mundial apresenta aumento contínuo. Já após 2009, após a implantação da Política Nacional de Mudanças Climáticas, as emissões cessam sua queda e se mantém quase que constantes até 2016. Com isso, a emissão líquida de CO₂ no Brasil em 2015 foi menor que a emissão em 1990 de 1,5 Giga-Toneladas, como representado na figura 11 (SEEG, 2018).

Figura 11: Emissões de Gases do Efeito Estufa no Brasil e no mundo entre 1990 e 2016.



Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2018.

Como vimos, o fator energético está muito relacionado ao quantitativo de emissões dos gases do efeito estufa na atmosfera, o que torna a busca por um desenvolvimento sustentável uma questão urgente a nível mundial. Um dos principais pontos a serem melhorados dentro desse sistema então, sem dúvidas, seria o desenvolvimento de tecnologias que busquem substituir o método convencional de produção energético devido às principais fontes energéticas serem as maiores inimigas do desenvolvimento sustentável e consequentemente do planeta como um sistema vivo (JOÃO, 2017).

No Acordo de Paris, que foi adotado em 2015, o Brasil firmou compromisso de tentar reduzir as emissões de gás para manter a temperatura global em no máximo 1,5° a mais que a anterior à revolução industrial. Para isto, o país se propôs a fazer uma série de medidas em diversos setores para o cumprimento da meta e as mesmas foram citadas no documento de análise publicado em 2018 pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e são evidenciadas a seguir as propostas para o setor de energia do país:

- 1) Aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030;
- 2) Assegurar 45% de renováveis na matriz energética – incluindo energia hidrelétrica – em 2030;
- 3) Assegurar 28% a 33% de renováveis não-hidrelétricas – solar, eólica, biomassa, etanol – na matriz energética brasileira até 2030;

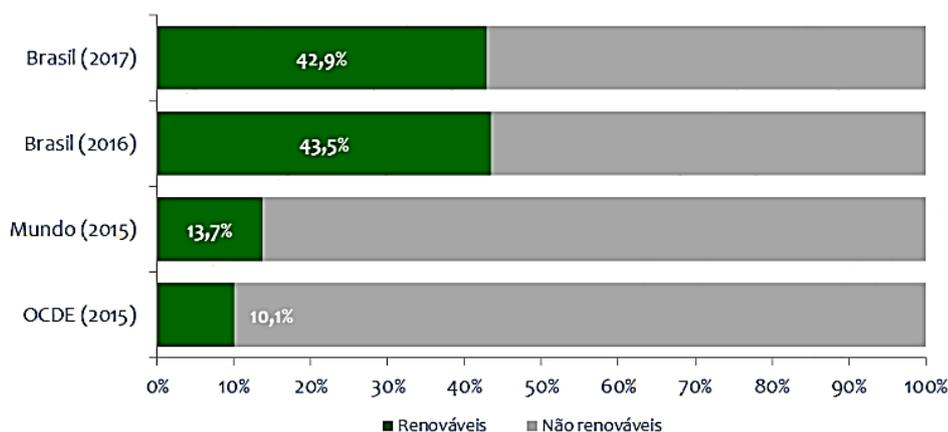
- 4) Aumentar o uso sustentável de energias renováveis, excluindo energia hidrelétrica, para ao menos 23% da geração de eletricidade do Brasil até 2030.

3.2 MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA BRASILEIRA

Há uma diferença entre matriz elétrica e matriz energética. São termos parecidos, porém possuem significados distintos. Matriz energética representa todo e qualquer recurso energético disponível para transformação, distribuição e consumo, é então a quantidade de energia que se pode aproveitar em determinada região de forma direta, um exemplo seria a gasolina utilizada para abastecer carros e motos. É a partir da avaliação dos pontos positivos e dos pontos negativos dentro da matriz energética que então podemos buscar a melhoria nos mesmos e com isso aliarmos a capacidade elétrica do nosso país com sua necessidade energética e resultarmos em melhorias a nível nacional (EPE, 2017).

De toda essa energia, 42,9% provêm de fontes renováveis, enquanto os outros 57,1% não são renováveis, como é apresentado na figura 12. Podemos observar que, em comparação com os mesmos dados a nível mundial, o Brasil está avançado se comparado à média dos países do mundo, mas isto deve ser enxergado como um incentivo por busca de melhorias e ampliação do setor de energias renováveis (ANEEL, 2018).

Figura 12: Matriz Energética Brasileira e Mundial.



Fonte: Agência Internacional de Energia, 2018.

A matriz elétrica é representada pelo quantitativo de fontes para geração direta de energia elétrica, ou seja, a eletricidade é produzida separadamente para após ser então

distribuída e consumida em residências, indústrias, etc (ANEEL, 2018) e é, majoritariamente, composta pela produção de energia advinda de fonte hidráulica, como podemos observar na figura 13 e quadro 2, e parte disso se deve ao contexto em que estamos inseridos, onde a abundância de recursos hídricos é uma realidade para o país e, em tese, seria capaz de suprir a maior parte da demanda brasileira de energia (ANEEL, 2018).

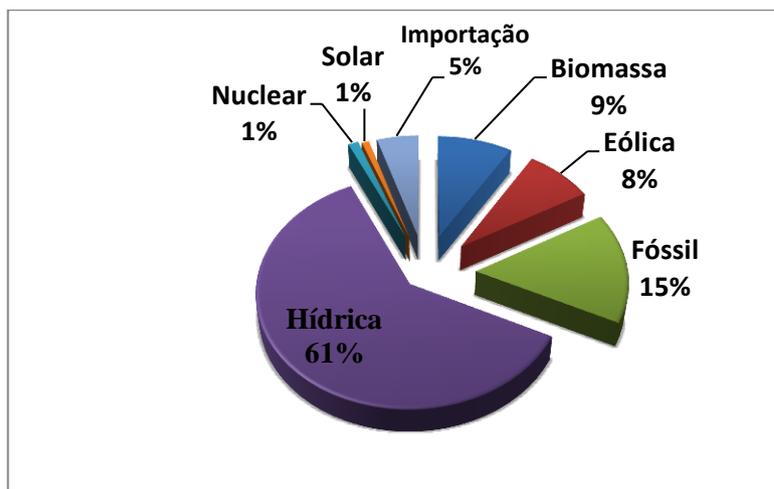
A seguir, a energia fóssil, eólica, biomassa e até a importação representam quase toda a outra parcela do total consumido no Brasil.

Quadro 2: Dados da Matriz Elétrica Brasileira, 2018.

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA		
Origem	Capacidade Instalada Total (KW)	Capacidade Instalada Total (%)
Biomassa	14.719.116,00	8,71
Eólica	13.427.343,00	7,95
Fóssil	26.340.063,00	15,59
Hídrica	102.895.821,00	60,90
Nuclear	1.990.000,00	1,18
Solar	1.426.773,00	0,84
Importação	8.170.000,00	4,84
Total	168.969.116,00	100,00

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018.

Figura 13: Composição da Matriz Elétrica Brasileira em 2017.

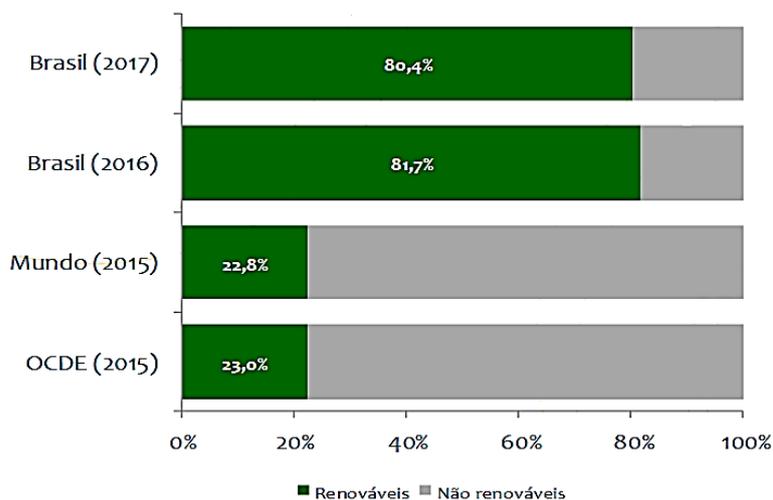


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2018.

A energia matricial é produzida por 80,4% de fontes renováveis (como é mostrado na figura 14), o que nos garante certo destaque ao se falar em energias renováveis. Muito dessa

renovabilidade é graças ao grande potencial de geração através do recurso hídrico e ao compararmos o Brasil ao restante do mundo, em questão de recursos renováveis, estamos à frente (PEREIRA, et al., 2017).

Figura 14: Matriz Elétrica Brasileira e Mundial.



Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia, 2018.

Ainda que o país tenha grande potencial hídrico, a necessidade de pluralidade na matriz energética é de suma importância, pois a hidroeletricidade se mostrou bastante vulnerável às variações climáticas mais extremas. Buscar apoiar-se em uma fonte vulnerável como a hídrica nos torna também vulneráveis caso essa energia venha a falhar sistematicamente, como em períodos de estiagem, e todos pagamos por isso. Segundo dados do Balanço Energético Nacional, no período de 2011 a 2015, que fora então um período de estiagem e consequente escassez energética a nível nacional, ficou claro que a estratégia primeira a ser tomada foi utilizarmos de combustíveis fósseis para suprir a necessidade energética no país, havendo então um crescimento em quantidade de usinas termoelétricas, o que vai contra os princípios de sustentabilidade necessários para um bom desenvolvimento (EPE, 2017).

Em momentos assim nós devemos partir para um segundo plano e, que na maioria das vezes gera impactos muito negativos em diversos aspectos como o econômico, a nível patrimonial de natureza também sofremos devido a maiores necessidades de combustível, ocasionando em um aumento na taxa de desmatamentos que também têm como consequência maiores emissões de gases estufa e redução da taxa de absorção dos mesmos devido à redução das áreas florestais.

As matrizes energética e elétrica nos proporciona uma visão das necessidades de mudança no país e grande parte delas depende de maior atenção por parte dos governantes para tal assunto. Com base nessa visão histórica de mais baixos que altos, podemos considerar que o planejamento do desenvolvimento do setor energético é de suma importância em um país em crescimento constante de demanda de energia. Apostar em energias mais limpas, tais como as energias eólica e solar, são alternativas bastante seguras para um crescimento consciente e coerente com a demanda. A energia solar teve avanço muito significativo após incentivos governamentais e foi a que apresentou aumento quase que exponencial em todo o mundo também, por ser capaz de unir eficiência a sustentabilidade. (PEREIRA, et al., 2017)

3.3 FATORES IMPULSIONADORES

3.3.1 Incentivos Governamentais

A grande redução dos preços de implantação da tecnologia fotovoltaica ocorrida no período de dez anos entre 2006 a 2016, refletiu em uma competitividade de viabilidade entre o sistema de minigeração e o de macrogeração fixa (usinas fixas). O cenário de custos da implantação da tecnologia centralizada ou macrogeração no Brasil evoluiu de forma considerável e foi apresentado na segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2017 (PEREIRA, et al., 2017). O Ministério de Minas e Energia, em 2017, publicou também uma cartilha intitulada “Energia Solar no Brasil e Mundo” e em um de seus importantes apontamentos elencou alguns dos mais importantes incentivos para a expansão da energia fotovoltaica no Brasil e os principais pontos de ambos são apresentados a seguir:

- 1) O preço dos módulos solares fotovoltaicos sofreu queda de mais de dez vezes nestes dez anos (de cerca de US\$ 3,90/Wp em 2006 para menos de US\$ 0,39 em 2016);
- 2) Esta redução de preços mudou o foco da instalação de geradores fotovoltaicos, que se transferiu da Europa para a China, EUA e vários países mais ensolarados da África, Oriente Médio, América Latina, Austrália;
- 3) Houve uma transição das pequenas instalações residenciais para as grandes usinas centralizadas e em 2016 mais de 75% das instalações solares fotovoltaicas foram usinas de porte superior a 20 MWp;

- 4) No Brasil, a publicação da REN 482/2012 e os leilões específicos para a fonte solar promovidos pelo Governo Federal a partir de 2014 deram início à integração desta fonte no planejamento e na expansão do sistema elétrico nacional, que vem experimentando crescimento exponencial nos últimos anos;
- 5) Chamada Pública (CP) ANEEL – De 2014 a 2016 entraram em operação as plantas FV da CP nº 013/2011 - Projetos Estratégicos: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” (24,6 MW contratados, ao custo de R\$ 396 milhões).
- 6) Isenção de IPI - De acordo com o Decreto nº 7.212, de 15/06/2010, são imunes à incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados, a energia elétrica, derivados de petróleo, combustíveis e minerais.
- 7) Isenção de ICMS - Pelo Convênio ICMS 101/97, celebrado entre as secretarias de Fazenda de todos os estados, há isenção do imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) para as operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica, válido até 31/12/2021.
- 8) Desconto na TUST/TUSD - A RN ANEEL 481/2012, ampliou para 80% o desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD) para empreendimentos com potência inferior a 30 MW.
- 9) Isenção de ICMS, PIS e Cofins na Geração Distribuída – Praticamente todos os estados isentam o ICMS sobre a energia que o consumidor gera. O tributo se aplica apenas sobre o excedente que ele consome da rede, e para instalações inferiores a 1 MW. O mesmo vale para o PIS e Cofins (Lei 13.169, de 6/10/2015).
- 10) Redução do Imposto de Importação – A Resolução CAMEX 22, de 24/03/2016, prorroga até 31/12/2017 a manutenção de 2% para a alíquota incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica.
- 11) Inclusão no programa “Mais Alimentos” - A partir de novembro de 2015, os equipamentos para produção de energia solar e eólica passaram a fazer parte do programa “Mais Alimentos”, o que possibilita financiamentos a juros mais baixos.
- 12) Apoio BNDES: pela Lei 13.203, de 8/12/2015, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, foi autorizado a financiar, com taxas diferenciadas, os projetos de geração distribuída em hospitais e escolas públicas.
- 13) Plano Inova Energia – Fundo de R\$ 3 bilhões, criado em 2013, pelo BNDES, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ANEEL, com foco na empresa privada

e com o objetivo de pesquisa e inovação tecnológica nas áreas de: redes inteligentes de energia elétrica, linhas de transmissão de longa distância em alta tensão; energias alternativas, como a solar; e eficiência de veículos elétricos.

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), validou as resoluções normativas nº 482 e nº 517, ambas definem as condições para todas as etapas de uso e aplicação da microgeração e minigeração de energia elétrica. A resolução normativa nº 687/15, que é complementar à nº 482, determina que a geração abaixo de 75kW é considerada microgeração e entre 75kW e 5MW é considerada minigeração (IZIDORO; ORSI; CORDEIRO, 2014).

Fora também implantado um sistema de compensação de energia elétrica, que define que a energia excedente do sistema de geração é concedido para à concessionária regional como forma de créditos que posteriormente serão compensados em outras tarifas da mesma unidade consumidora ou então unidade consumidora distinta, porém de mesma titularidade. Esses créditos gerados em excesso são válidos pelo período de 60 meses, podendo ser utilizados durante esse período pelo titular de forma a compensar quaisquer gastos que ultrapassem o valor gerado (IZIDORO; ORSI; CORDEIRO, 2014).

A partir de 2012, a ANEEL firmou as regras e a regulamentação para as nomeadas minigeração e microgeração e com a Resolução Normativa 482/2012 ficou ainda mais viável produzir a própria energia, pois a com a resolução foi implantado o sistema de compensação energética, onde sistema de geração em um telhado, é conectado à rede pública de energia através da Unidade Consumidora e, a partir daí, injetar a energia produzida em excesso pelo sistema na própria rede, o que gera créditos para a unidade injetora, funcionando então como se fosse uma bateria – com validade de 60 meses - que pode ser utilizada posteriormente na mesma unidade consumidora ou em outra unidade de mesmo proprietário (IZIDORO; ORSI; CORDEIRO, 2014).

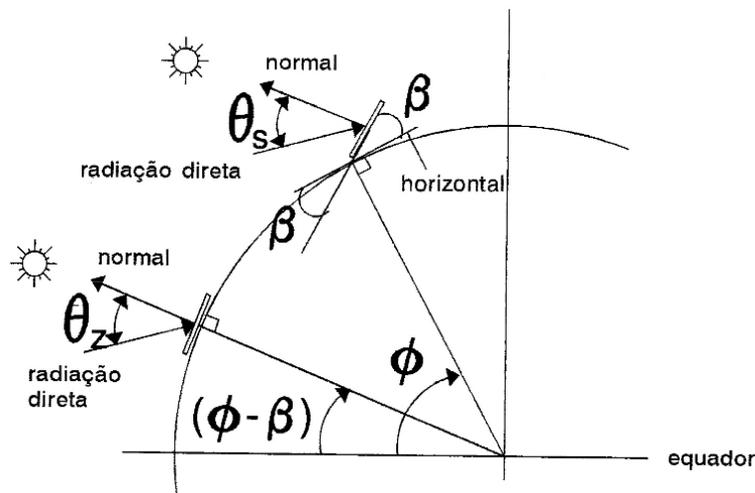
Com a Resolução Normativa 687/2015, o limite de potência de 1000 kWp por Unidade Consumidora foi alterado para 5000 kWp, o que correspondem a mil residências de classe média; os conceito de telhados solares se estendeu e passou a abranger os telhados em condomínios, consórcios, cooperativas e também o autoconsumo remoto. Tornou-se viável então para um residente de apartamento gerar sua energia em uma chácara ou qualquer outro local e utilizar esses créditos para as contas de energia do apartamento (ANEEL, 2016).

A ANEEL estimou que até 2024, o Brasil possua mais de 1,2 milhões de geradores fotovoltaicos instalados apenas dentro das classes de microgeração e minigeração distribuída, o que é uma visão um tanto quanto otimista sobre o setor e que representaria um grande avanço da tecnologia.

3.3.2 A incidência de radiação no Brasil

Um dos muitos fatores positivos - em se tratando de potencial solar - do Brasil é sua extensão territorial. Quanto maior o território de um país, maiores as quantidades de radiação sobre ele e então, a análise da irradiação solar será analisada sob três ópticas, sendo elas o total diário de irradiação horizontal, o total diário de irradiação normal e o total diário de irradiação no plano inclinado (figura 15), somadas elas representam o total de irradiação em determinado período.

Figura 15: Demonstração de equivalência dos ângulos em análise.

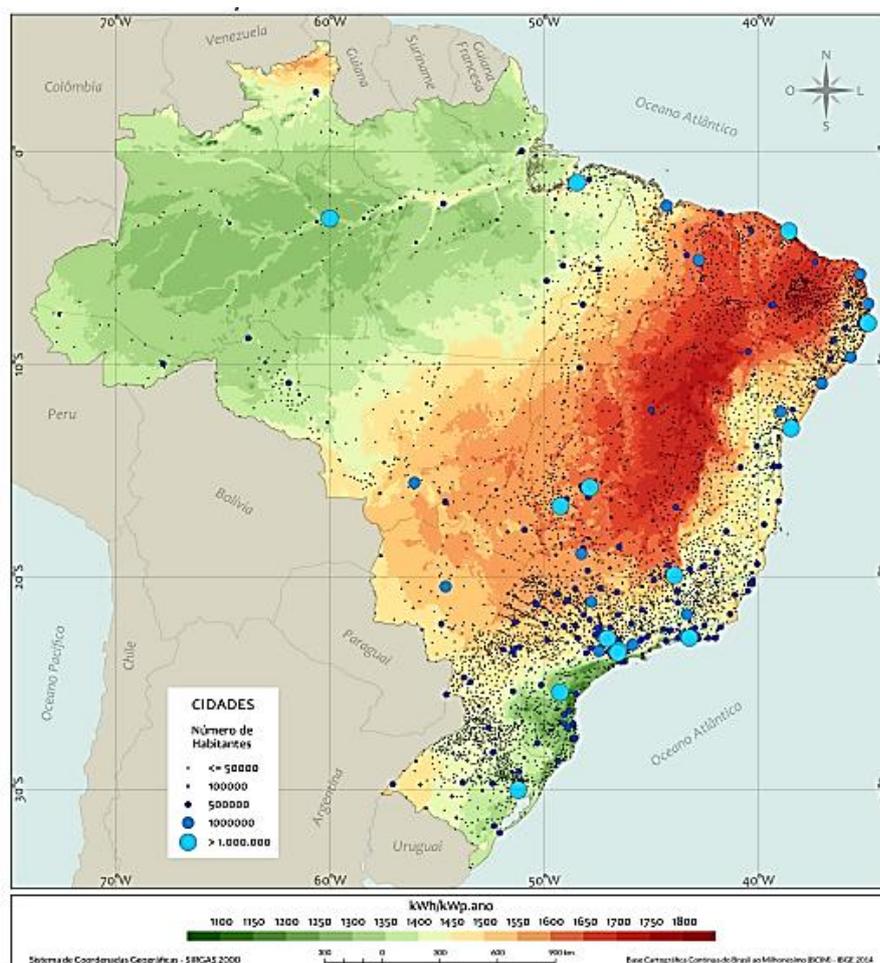


Fonte: Mario H. Macagnan, 2010.

O Brasil possui enorme potencial de geração de energia por sistema fotovoltaico, um exemplo disso é que, no lugar com menor incidência de radiação, é possível produzir mais energia que no lugar de maior incidência na Alemanha. O mapa da figura 16 representa o rendimento energético anual máximo no território brasileiro, tendo como base quaisquer tipos de geração, desde usinas a geração distribuída. Os círculos azuis representam os quantitativos de concentração populacionais em cada região do território.

A partir do mapa da figura 16 podemos perceber que as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste brasileiros possuem a maior irradiância anual, logo, nessas mesmas regiões, estão sendo realizados os maiores investimentos para implantação de sistemas de geração fotovoltaicos, como a implantação de usinas de grande porte fixas.

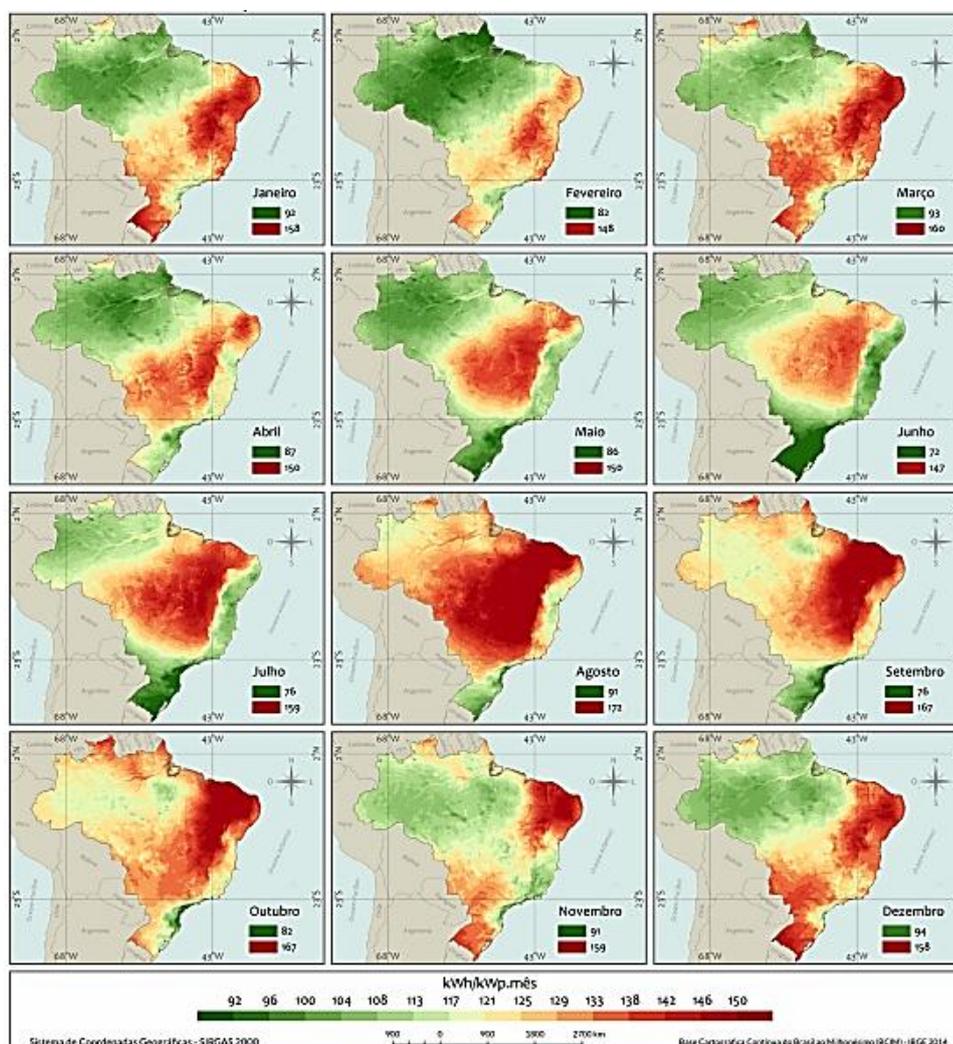
Figura 16: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores de energia fotovoltaica fixos e distribuição da população brasileira nas cidades.



Fonte: SIRGAS 2000, 2015.

Nos mapas da figura 17, são apresentadas a sazonalidade ou variância da distribuição do potencial de geração fotovoltaico em médias dos 12 meses do ano e os segrega de mesma forma para assim facilitar a visualização do comportamento da incidência no país.

Figura 17: Sazonalidade do potencial de geração solar fotovoltaica para os 12 meses do ano, em termos de rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.mês no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos.



Fonte: SIRGAS 2000, 2015.

3.3.3 Carência mundial e brasileira por energia sustentável

A energia solar, intrinsecamente, é uma das soluções mais eficientes para o desenvolvimento sustentável. A mesma representa a conversão direta da luz solar – uma fonte inesgotável de energia - em energia totalmente limpa, o que eram as duas questões mais amplamente discutidas dentro do fator energético – fator esse fundamental para o desenvolvimento de qualquer país – por terem representado, durante muito tempo, questões de difícil integração, sendo quase que opostas entre si.

O cenário de desenvolvimento brasileiro gera uma carência de ampliação crescente e contínua da oferta de energia sustentável. Com o aumento da população representando maior necessidade de se investir em energia como solução para questões de infraestrutura básica, a ampliação do uso da energia fotovoltaica se faz necessária para o desenvolvimento do país e maior disponibilidade de necessidades básicas à sua população.

3.3.4 Reflexos dos incentivos governamentais

Desde o início da utilização de sistemas de geração distribuída – própria para áreas urbanas sendo integrada nos telhados e coberturas prediais - no Brasil, vem se tornando cada vez mais disseminada dentro do território. A crescente demanda por energia elétrica devido à modernização do mundial representa picos nos horários de 12 às 15 horas, o que coincide com os picos de disponibilidade e maiores possibilidades de aproveitamento dos sistemas solares (ZILLES, 2012).

A diminuição acentuada dos preços de geradores fotovoltaicos recentemente viabilizou muito a adoção do sistema, o que representou um crescimento exponencial do setor no país. É fato que a microgeração e minigeração distribuída nunca competiram com os preços oferecidos pelas concessionárias ou distribuidoras locais como têm competido atualmente. Alguns dos países que já têm a energia fotovoltaica com grande participação em suas matrizes elétricas e energéticas nos fornecem essa resposta e por mais estranho que pareça, ela é bastante otimista e vantajosa para todos pois as distribuidoras, ao invés de enxergarem a geração de energia como um risco para suas receitas, viram nela uma aliada a partir de então passaram a abranger, em seus contratos com o consumidor final, os serviços de instalação, operação e manutenção de geradores. O mercado brasileiro no setor fotovoltaico tem se mostrado bastante otimista, com crescimentos muito significativos no mesmo e em sabendo das posições dessas concessionárias de países já mais evoluídos no setor, temos em vista um horizonte de grandes oportunidades (PEREIRA, ENIO, et al., 2017).

3.4 TIPOS DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os sistemas são divididos em sistemas fotovoltaicos isolados de rede (SFI) e sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). Para o dimensionamento SFI é de suma importância uma boa precisão no levantamento da demanda energética para que a energia

produzida supra a demanda sem faltas. Já para o SFCR, a precisão no levantamento da demanda é menos importante devido qualquer excesso de demanda poder ser suprido pela energia provinda da rede de distribuição. O dimensionamento dos SFI e SFCR têm bastantes pontos em comum. O escopo do presente trabalho se dá pelo dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

As diferenças entre os sistemas conectados à rede e o sistema isolado são:

- Em sistemas conectados diretamente na rede, não se faz necessário o uso de sistemas de armazenamento de energia;
- Os sistemas conectados à rede operam em corrente alternada e na mesma frequência e tensão da rede local;
- O sistema fica inoperante quando não há tensão na rede, mesmo com incidência luminosa atuante;
- Os inversores integram os dispositivos seguidores de potência máxima (SPPM);
- A rede local deve necessariamente ser capaz de hospedar a energia elétrica gerada;
- A qualidade da energia da rede pode comprometer a transferência de energia para do sistema;
- O gerador fotovoltaico pode ser incorporado à estrutura pré-existente, sendo necessária a análise da resistência mecânica e carga máxima admissível, dentre outros requisitos;
- Em sistemas urbanos, é mais possível que aconteça interferências por sombreamento, sombreamento parcial e de superfícies reflexivas próximas;
- Para estruturas fixas, o posicionamento do painel é de suma importância para o desempenho dos mesmos;

4 ESTUDO DE CASO

4.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS DO EMPREENDIMENTO

4.1.1 Introdução

Dimensionar um sistema fotovoltaico corresponde em um ajuste entre a energia luminosa incidente nos módulos e a necessidade de suprir a demanda de energia do local a ser instalado o mesmo. Este será feito com base na Resolução Normativa nº482 criada em 2012 com o objetivo de estabelecer diretrizes para a utilização dos sistemas fotovoltaicos (JOÃO e MARCO, 2014).

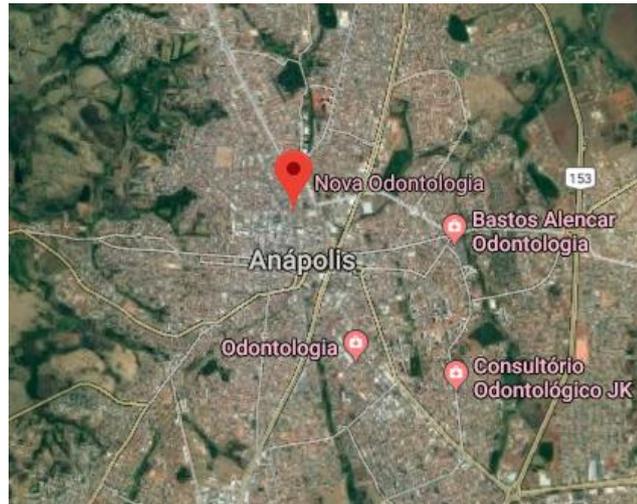
No local de análise atualmente funciona um consultório odontológico sendo um edifício antigo, possibilitando assim demonstrar a aplicação do sistema de geração fotovoltaico mesmo em construções já antigas.

4.1.2 Análise preliminar do local geográfico

A clínica odontológica Nova Odontologia, localizada na Rua Xavier de Almeida, nº 148 (Sobreloja), centro de Anápolis, Goiás, que será objeto de análise para a aplicação do sistema fotovoltaico, se trata de um edifício que possui 22 anos segundo informações do proprietário, a clínica funciona no local há 13 anos.

Anápolis está localizado no Centro-Oeste Brasileiro, a uma latitude de 1017,0 metros (GEOGRAFOS, 2019), a uma distância de 50Km da capital de Goiás (Goiânia) e a 140Km de distância da capital do país, Brasília. A cidade possui pouco mais de 380.000 habitantes (IBGE, 2018), é muito conhecida por possuir o maior polo agro-industrial do centro-oeste, o que impulsiona sua economia, além de estar localizada no centro das principais rodovias do país (CONTEXTO, 2012).

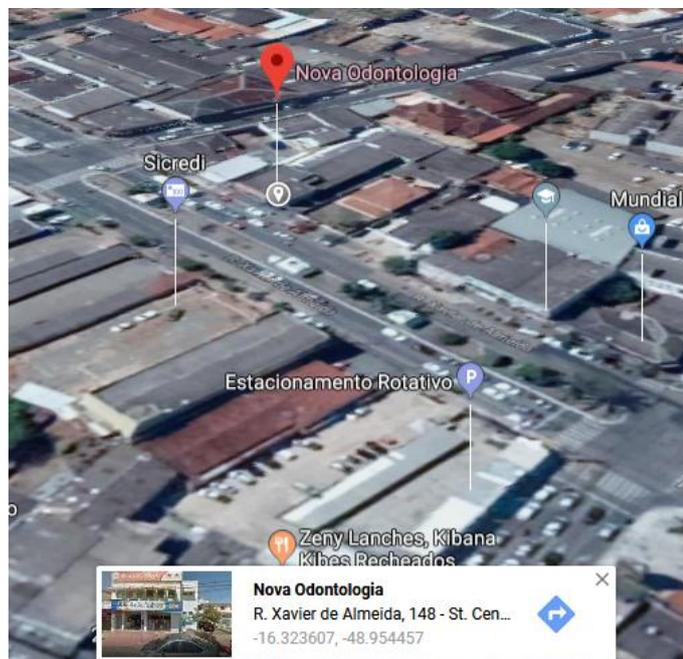
Figura 18: Posição do consultório no mapa de Anápolis.



Fonte: Google Earth, 2019.

A partir do endereço do consultório, foi utilizado o Google Earth para a busca das informações geográficas do mesmo (figura 19).

Figura 19: Localização Geográfica.



Fonte: Google Earth, 2019.

Com isso, como mostrado na figura 20, foi observado que:

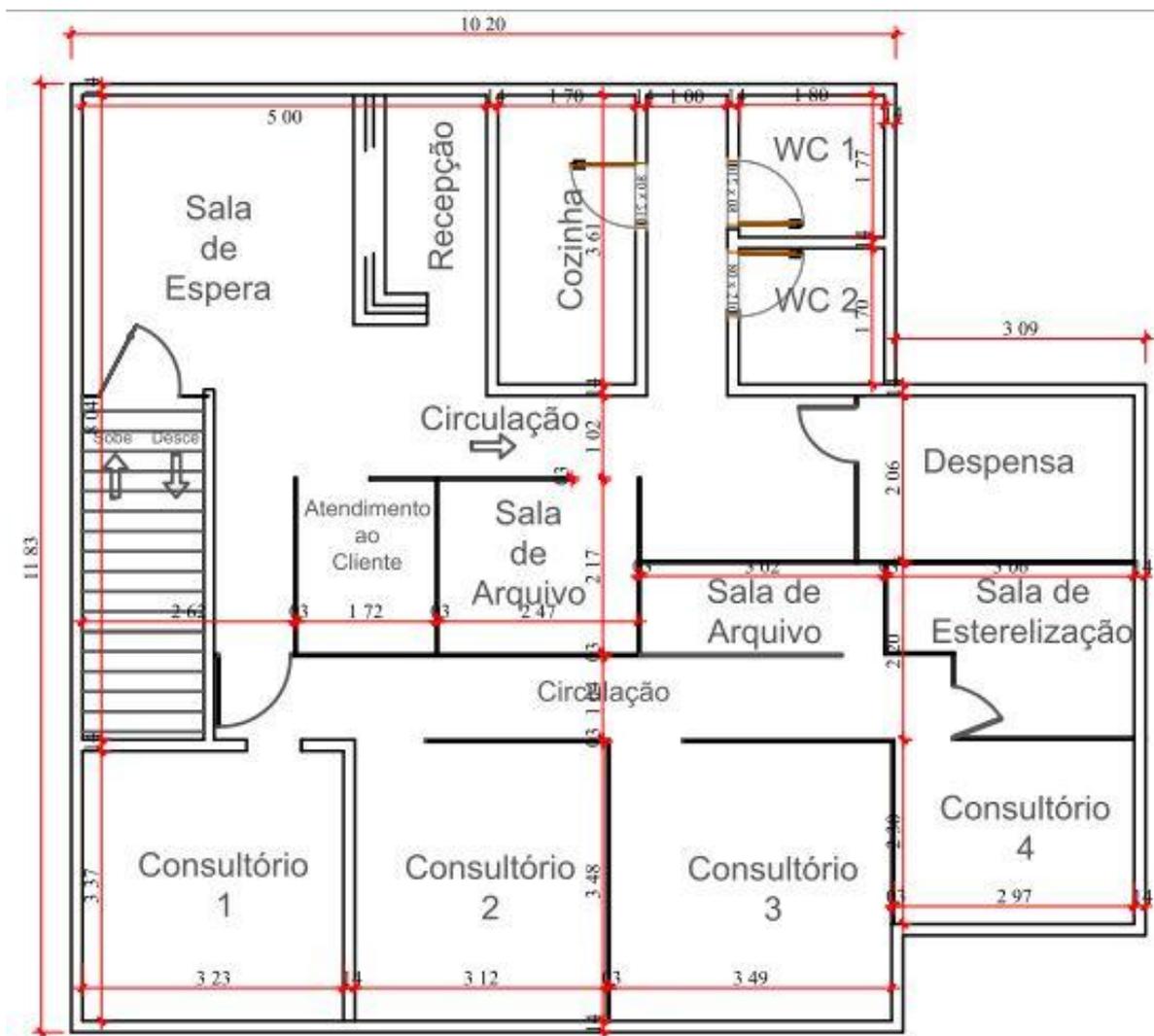
- Sombreamento: Não há edificações que possam sombrear o telhado;
- Coordenadas Geográficas do local: -16.323607, -48.954457;

- Informações sobre o telhado: possui duas águas, com pequena inclinação para o leste e oeste geográficos, o que facilita no posicionamento dos painéis e gera maior aproveitamento;
- Os painéis devem ter inclinação de 16°, acompanhando a inclinação na latitude (PORTAL SOLAR, 2018);

4.1.3 Arquitetura e Cobertura

A arquitetura do local é apresentada na figura 20, de forma a demonstrar os ambientes da clínica:

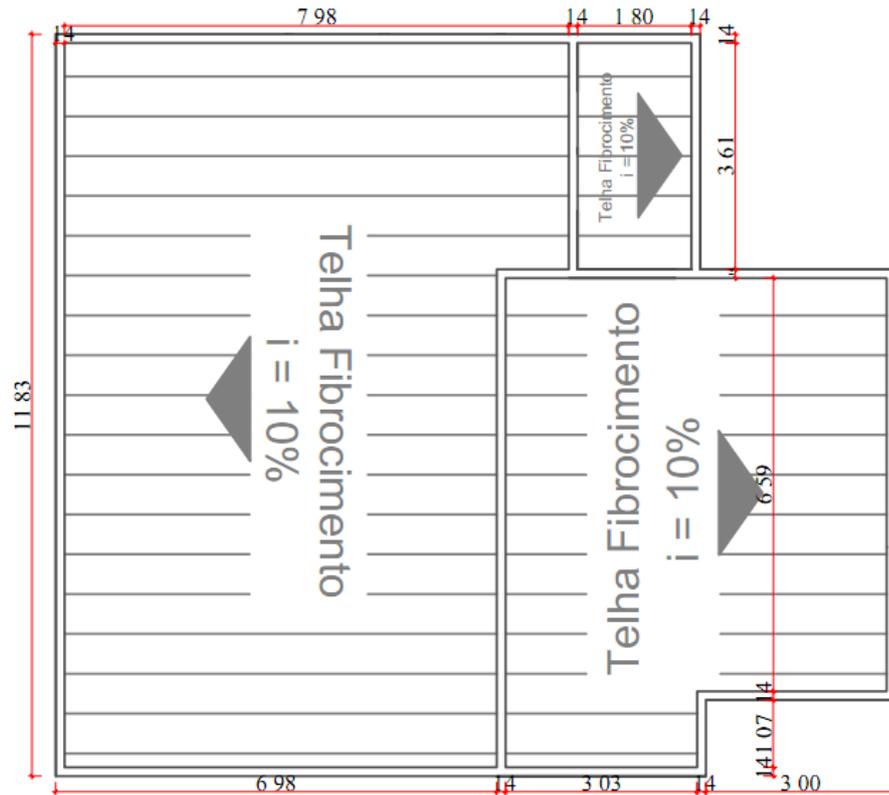
Figura 20: Arquitetura - Nova Odontologia



Fonte: Próprio Autor, 2019.

A planta de cobertura, demonstrando a inclinação do telhado existente é apresentada pela figura 21 a seguir:

Figura 21: Planta de Cobertura - Nova Odontologia.



Fonte: Próprio autor, 2019.

4.1.4 Demanda e consumo de energia elétrica

Ainda que o consumidor não consuma energia, o mesmo deve pagar pelo custo de disponibilidade da mesma, conforme a tabela 1:

Tabela 1: Custo de Disponibilidade

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

Fonte: ANEEL, 2016.

As formas mais comuns de se determinar a demanda de uma unidade consumidora são: somando-se a energia gasta por cada equipamento conectado à rede ou utilizando-se o histórico de consumo da unidade consumidora, sendo o último método, o adotado para os cálculos e análises (APARECIDA; ELIANE, 2016).

Utilizando-se dados da unidade consumidora, fora obtido também o consumo elétrico da mesma durante os últimos 12 meses (figura 22) para a utilização na análise, no site da concessionária ENEL.

Figura 22: Informações de consumo da unidade consumidora nos últimos 12 meses.

**DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA
FATURAMENTO / FORNECIMENTO**

ATIVIDADE

8630-5/04 ATIVIDADE ODONTOLOGICA COM RECURSOS PARA REALIZACAO

CLASSE / TIPO DE LIGAÇÃO

03 04 SERVIÇOS E OUTRAS ATIVIDADES **MONOFASICO (0 a 12 kW)**

VENCIMENTO BASE BANCO AGÊNCIA CONTA CORRENTE

02/03/2019

DADOS DA MEDIÇÃO

LEITURA ATUAL	18471
LEITURA ANTERIOR	17211
DIFERENÇA LEITURA	1260
FM	1,000
TOTAL CONSUMO	1260
MEDIDOR kWh	2837874-1
MÊS DE REFERÊNCIA	02/2019
DATA DE LEITURA ATUAL	14/02/2019
DATA DA LEITURA ANTERIOR	16/01/2019
DATA DA PRÓXIMA LEITURA	18/03/2019
DATA DA APRESENTAÇÃO	14/02/2019
NÚMERO DE DIAS FATURADO	29
MÉDIA / DIA	43,4483
MÉDIA TRIMESTRAL	1038,6670
MÉDIA ANUAL	934,5000

HISTÓRICO	
REFERÊNCIA	CONSUMO
FEV / 2019	1260,00
JAN / 2019	1002,00
DEZ / 2018	854,00
NOV / 2018	785,00
OUT / 2018	1126,00
SET / 2018	888,00
AGO / 2018	708,00
JUL / 2018	854,00
JUN / 2018	756,00
MAI / 2018	899,00
ABR / 2018	1105,00
MAR / 2018	977,00

Vencimento	Valor Pago
02/03/2019	R\$ 1.125,14
02/02/2019	R\$ 890,11
02/01/2019	R\$ 752,90
02/12/2018	R\$ 710,19
02/11/2018	R\$ 939,68
02/10/2018	R\$ 747,58
02/09/2018	R\$ 606,95

Fonte: ENEL, 2019.

A partir da análise dos dados fornecidos pela ENEL, podemos observar que:

- Tipo de Ligação monofásica, de 0 a 12 kW, caracterizando um sistema de microgeração, segundo a REN 482/2012;
- O valor pago quase dobrou comparando fevereiro de 2019 a agosto de 2018;
- Consumo médio anual de 934,5 kWh/mês;

Utilizaremos o consumo médio anual como o valor a ser gerado pelo sistema. Devemos então subtrair o Custo de Disponibilidade do valor médio anual, pois esse valor não é gerado, somente adicionado à conta, logo:

$$\text{Geração total} = \text{Consumo médio anual} - \text{Custo de Disponibilidade} \quad (1)$$

O consumo médio anual é de 934,5kWh/mês e a partir da Tabela 1, um sistema monofásico tem um Custo de Disponibilidade de 30kWh por mês, logo:

$$\text{Geração total} = 934,5 \text{ kWh} - 30 \text{ kWh} \quad (2)$$

$$\text{Geração total} = 904,5 \text{ kWh} \quad (3)$$

Para a geração diária, dividimos a Geração total pela média de dias dos meses, equivalente a 30, logo temos:

$$E_{CD} = \frac{\text{Geração total}}{30} \quad (4)$$

$$E_{CD} = \frac{904,5}{30} = 30,15 \text{ kWh/dia} \quad (5)$$

Onde:

- E_{CD} : Potência-pico ideal do Sistema Fotovoltaico – em kWp (quilowatts-pico – relacionado à potência em situação ideal em laboratório dos módulos);
- Gt : Geração Total por mês – em kWp;

Com isso, o sistema deverá ser dimensionado de forma a produzir pouco mais de 30,15 kWh por dia, devido às perdas naturais do sistema.

4.2 ESTUDOS DE VIABILIDADE

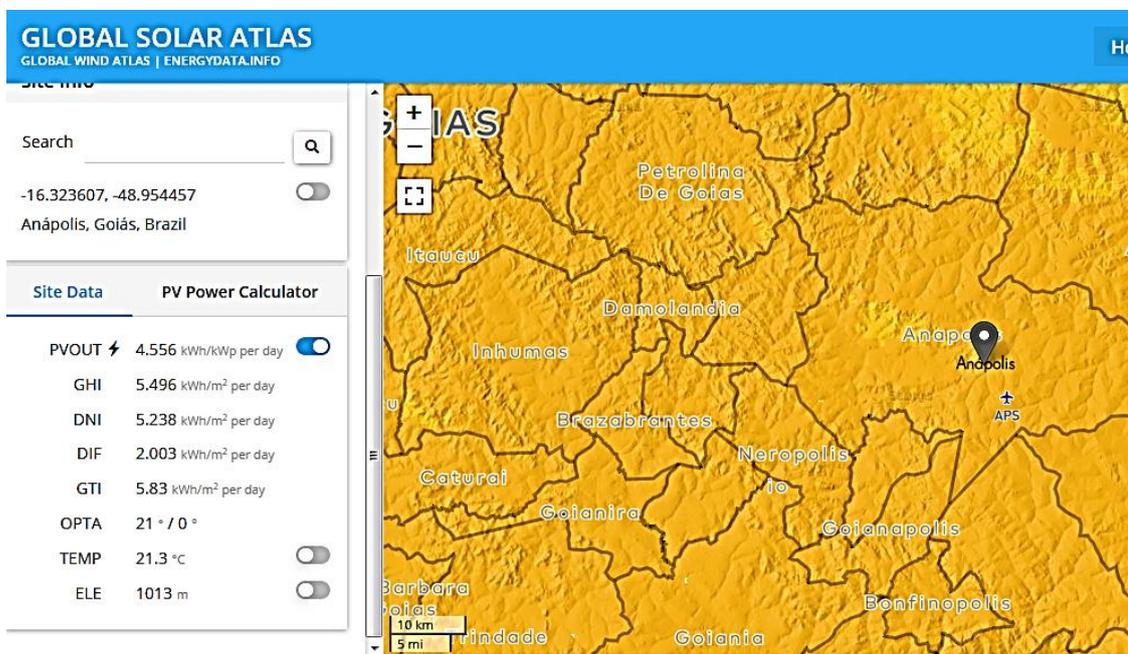
4.2.1 Disponibilidade de Recurso Solar

O Brasil possui grande potencial geracional, como já observado anteriormente. O Centro-Oeste é a segunda região com maiores índices de incidência de radiação por metro quadrado. A irradiação média diária em Anápolis, de acordo com a segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, é a segunda maior por região, no país (ABES, 2017).

Aplicando as coordenadas obtidas pelo Google Earth no site Global Solar Atlas, obtemos que a média diária de irradiância horizontal (GHI), ou Horas de Sol Pico (HSP), para

o local das coordenadas é de 5,496 kWh/m², como mostrado na figura 23, logo, este será o valor adotado.

Figura 23: Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude (Média Anual)



Fonte: Global Solar Atlas, 2016.

Contudo, existem perdas em qualquer sistema de geração de energia e as mesmas não podem ser deixadas de lado na hora de dimensionar um sistema. A Bluesol, empresa especializada em fotoeletricidade, após uma série de análises, chegou aos principais valores de perda para os sistemas em geral, mostrados no quadro 3.

Quadro 3: Fatores de perda para sistemas fotovoltaicos.

Tipo de Perda	%
Por temperatura	12,65
Por conversão (CC-CA)	2,27
Por sujeira e sombreamento	8,05
Cabeamento	2,3
Total	25,27

Fonte: BLUESOL, 2018.

Logo, utiliza-se o valor de perda total para efetuação do cálculo do Recurso Solar da Localidade, que é encontrado subtraindo-se do valor de Horas de Sol Pico (HSP) a perda total (PT) do sistema.

$$RSL = HSP * (1 - PT) \quad (6)$$

$$RSL = 5,496 * (1 - 25,27\%) \quad (7)$$

$$RSL = \frac{4,1072 \frac{kWh}{m^2}}{dia} \quad (8)$$

Onde:

- RSL : Recurso Solar;
- HSP : Média anual de radiação solar – em kWh/m²/dia;
- PT : Perda Total;

Um módulo, quando submetido à irradiância de 1000 W/m², atinge o seu pico de produção, o que é representado pela Hora de Sol Pico, que é, de certa forma, um método empírico de representação da incidência total diária (JOSÉ, 2013). Assim, ao ser submetido à radiação solar, o sistema gerará sua potência-pico dividindo-se a potência-pico ideal pelo recurso solar disponível, da seguinte forma:

$$P_{pico} = \frac{E_{CD}}{RSL} \quad (9)$$

$$P_{pico} = \frac{30,15}{4,1072} \quad (10)$$

$$P_{pico} = 7,345 \text{ kWp} \quad (11)$$

Com isso, temos que a potência ideal para o sistema é de 7,345 kWp (quilowatts-pico) para auto sustento.

4.3 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA

4.3.1 Escolha do Módulo fotovoltaico

A escolha do gerador fotovoltaico depende principalmente da irradiância e da temperatura nos módulos. A irradiância pode variar de forma significativa em intervalos de tempo pequenos (da ordem de segundos), sobretudo em dias nublados e influi de forma mais significativa se comparada à temperatura, que pode ser absorvida pela capacidade térmica dos módulos. Para efeito de cálculos, é importante desconsiderar os efeitos de variação da

incidência solar a cada instante e considerar a energia em sua totalidade convertida em intervalos de horários (APARECIDA; ELIANE, 2016).

A forma mais acertada de se expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia é denominada Número de Horas de Sol Pleno (HSP), que nada mais é que a quantidade de horas em que a irradiância deve ser constante e igual a 1 kW/m^2 (1.000 W/m^2), de modo que a energia resultante seja equivalente à energia disponível pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de determinado dia (APARECIDA; ELIANE, 2016).

As placas solares comercializadas no país têm são diversas, porém, ao escolhê-las, deve ser observado se as mesmas possuem certificação INMETRO e também a IEC 61215, pois só o INMETRO não garante a segurança e durabilidade da placa solar. O IEC 61215 é uma certificação utilizada mundialmente, logo, sua validade chega a ser até mais importante. Desta premissa, foi escolhido o modelo CS6U-325P– 320 Watts, produzida pela CanadianSolar, empresa produtora de materiais solares de alta qualidade (CANADIAN SOLAR, 2018).

O modelo escolhido foi o seguinte, considerando-se as condições ideais de operação, com uma irradiância de 1000 W/m^2 e temperatura ambiente de 25°C :

- Empresa Produtora: CANADIAN SOLAR INC.;
- Marca: Canadian Solar;
- Especificações Elétricas:

Potência Nominal P_m (Wp) = 325

Tensão MPP V_m (V) = 37.0

Corrente MPP I_m (A) = 8.78

Tensão em Circuito Aberto V_{oc} (V) = 45.5

Corrente de Curto Circuito I_{sc} (A) = 9.34

- Eficiência = 16.72%
Tensão Máxima do Sistema (V) = 1000

- Especificações Mecânicas:

Vidro Frontal Temperado 3.2 mm

Grau de Proteção IP67

Díodos de Bypass 3 Díodos

Moldura em Alumínio Anodizado

Coefficientes de Temperatura -40°C a $+85^\circ\text{C}$

Carga Máxima Suportada 2400 Pa

- Células

Células Policristalinas 156 mm x 156 mm

Número de Células = 72 (6 x 12)

Dimensões (mm) = 1960 x 992 x 40

Peso (kg) = 22.4

- Coeficientes de Temperatura:

NOCT (°C) Temperatura Nominal de Funcionamento da Célula = 43 ± 2

4.3.2 Quantidade de placas

Com os dados anteriores, podemos então descobrir o número de placas a ser utilizado no sistema, com a seguinte fórmula:

$$N_m = \frac{P_{pico}}{\left(\frac{Wp}{1000}\right)} \quad (12)$$

Onde:

- N_m : Número de módulos fotovoltaicos a serem utilizados no sistema;
- P_{pico} : Potência-pico do Sistema Fotovoltaico;
- Wp : potência-pico do modelo de módulo fotovoltaico – em Wp (watt-pico);
- 1000: constante para ajuste de unidade de medida;

Logo, para o sistema com módulo de capacidade de 325Wp, temos:

$$N_m = \frac{7,345 \text{ kWp}}{\left(\frac{325 \text{ Wp}}{1000}\right)} \quad (13)$$

$$N_m = 22,6 \cong 23 \text{ unidades} \quad (14)$$

Área de ocupação dos módulos:

$$Atm = Nm * Am \quad (15)$$

$$Atm = 23 * (1,96 * 0,992) \quad (16)$$

$$Atm = 44,92 \text{ m}^2 \quad (17)$$

Onde:

Atm: Área total dos módulos;

Nm: Número de placas;

Am: Área de um módulo;

4.3.3 String-Box

A String-Box é, basicamente, um dispositivo de segurança para o sistema, que isola o sistema de geração de energia do restante das instalações do imóvel, impedindo assim o risco de propagação de incidentes elétricos diversos como por exemplo o curto-circuito ou mesmo surto (GABRIEL, 2016).

Ele deve ser instalado próximo ao inversor e conectada nele; também deve ser conectado ao sistema distribuição de energia proveniente da rede pública para garantir que a energia produzida pelo sistema não seja injetada na rede quando a mesma não possui tensão ou mesmo que, sendo a energia de ruim qualidade, esta não afete o sistema ou equipamentos da residência. Existe, portanto, a recomendação de utilização de uma String-Box extra para sistemas onde os módulos são instalados a uma distância superior a 10m dos inversores. Deve então uma ser instalada próxima às placas e a outra no lugar pré-determinado (GABRIEL, 2016).

4.3.4 Inversor

O tipo de inversor mais utilizado no mundo é o inversor *grid tie*, capaz de transformar uma corrente elétrica contínua (CC) para uma alternada (CA), e são usados para conectar o sistema fotovoltaico à rede elétrica (*on-grid*). Mais especificamente, utilizaremos o inversor *string-inverter*, que são os mais utilizados em redes de pequeno porte pois têm capacidade para comportar até algumas dezenas de módulos fotovoltaicos (BLUESOL, 2017).

A escolha de um bom inversor reflete diretamente na qualidade e segurança do sistema, o INMETRO atualiza e regulamenta, anualmente, a lista de modelos de inversores testados no Brasil e que deverão ser utilizados. Utilizando então a “Tabela de Consumo/Eficiência Energética” disponibilizada pelo INMETRO e a informação de potência-pico calculada anteriormente, que é de 7,345 kW, foi escolhido o inversor da marca Fronius, modelo Primo 8.2-1, com potência nominal de 8,2 kW, mostrado na imagem 24 (BLUESOL, 2017).

Figura 24: Inversor Fronius Primo 8.2-1.



Fonte: NEOSOLAR, 2018.

Características do Inversor:

Entrada

- Voltagem máxima de entrada: 1000Vcc
- Faixa de Voltagem do MPP: (270Vcc a 800Vcc)
- Voltagem mínima de entrada: 80Vcc
- Voltagem para inicialização: 80Vcc
- Corrente máxima de entrada: 18A / 18^a

Saída

- Potência nominal de saída: 6000W
- Voltagem de saída (faixa): 180Vca a 270Vca
- Frequência de saída: 60Hz
- Corrente máxima de saída: 35,7A

Outras Características

- Eficiência Máxima: 98,1%
- Consumo interno (noite): <1W

Temperatura de Operação: -40°C a +55°C

Frequência de saída: 60Hz

Especificações Mecânicas:

Dimensões (L x A x P)mm: (645 x 431 x 204)

Peso: 21,5Kg

IP65

Observações sobre a instalação:

- Por ser parte de uma instalação elétrica, o inversor deve estar em local de fácil acesso para manutenção, de preferência não estar em local com acesso de pessoas que não foram instruídas sobre os riscos de eletricidade, especialmente as crianças.
- Quanto mais próximo do quadro geral de distribuição, melhor.
- Deve ser instalado em local arejado, para que não acumule muito calor e de maneira a não se ter excesso de cabeamento pendurado.

4.3.5 Preço Total do sistema e fluxo de caixa

Atualmente, a aquisição de kits de geração fotovoltaica tem sido uma opção mais viável devido a possibilidade de maiores descontos por parte das fornecedoras e eventual barateamento no valor do sistema. Após uma pesquisa de preço desses kits, foi encontrado um kit compatível com a necessidade do sistema dimensionado. Este kit é fornecido pela empresa Atacado Solar e é facilmente adquirido no site da mesma (ATACADO SOLAR, 2018). A composição do kit é a seguinte, conforme quadro 4:

Quadro 4: Componentes e informações do kit fotovoltaico.

Informações do Kit	
Produção	7,92 kWp por dia ou 1088 kWh/mês
Módulo Fotovoltaico	24 x Pannel Solar Fotovoltaico Canadian Solar CS6U-325P (325 Wp)
Inversor	1 x Inversor Monofásico Grid-tie Fronius Primo 8.2 – 220 V (8200 W) com módulo Wifi para monitoramento remoto (mais detalhes)
String Box CC	2 x Caixa de Proteção Fotovoltaico de Corrente Contínua Ecosolys (1 entrada + 1 saída)
Conectores	4 x Pares de Conectores tipo MC4 Multi-Contact (Macho + Fêmea)
Cabo Solar	50 metros de cabo solar 6mm2 Nexans Energyflex com proteção UV preto
	50 metros de cabo solar 6mm2 Nexans Energyflex com proteção UV vermelho
Suportes de Fixação	Conjunto completo de estruturas de fixação para montagem dos painéis FV em telhado
Garantias:	A garantia de fábrica do painel solar fotovoltaico é de 10 anos, além de garantia de performance de 25 anos com eficiência de 80% .
	A garantia de fábrica do inversor é de 2 anos e pode ser ampliada para mais 5 anos.
Informações Adicionais:	Peso bruto estimado: 749Kg
Dimensões estimadas:	113cm x 110cm x 200cm (Altura x Largura x Comprimento)
Valor total do Kit:	R\$ 27.700,00

Fonte: ATACADO SOLAR, 2019.

Utilizando como referência o estudo feito pela empresa Portal Solar, com mais de 600 profissionais do setor, em 2018, o custo da instalação de um sistema gerador de 7,30 kWp tem o preço médio de R\$ 10.200,00, logo, utilizaremos o mesmo como referência valor da instalação e obteve-se a tabela 2, a seguir (PORTAL SOLAR, 2018).

Tabela 2: Valor Total do Sistema.

Descrição	Fornecedor	Quantidade	Preço
Kit Gerador	Atacado Solar	1	R\$ 27.700,00
Transporte	Atacado Solar	1	R\$ 1.654,00
Material Elétrico Complementar	-	-	R\$ 2.000,00
Projeto Elétrico e Aprovação	-	-	R\$ 2.500,00
Instalação	-	1	R\$ 10.200,00
Total	-	-	R\$ 44.054,00

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Logo, utilizando uma tarifa, no primeiro ano de 91,47 centavos por kW no primeiro ano com reajuste de 2% ao ano, redução de 0,8% de capacidade de geração do sistema ao ano, considerando a garantia dos instaladores, temos a tabela 3, que representa o fluxo de caixa a partir da instalação do sistema, que os cálculos são realizados da seguinte forma:

Onde:

$$Energia Gerada_i (KW) = Produção Mensal_{i-1} - Produção Mensal_{i-1} * 0,08 \quad (18)$$

$$Valor Tarifa (R\$) = Valor_{i-1} (R\$) * 1,02 \quad (19)$$

$$Retorno Mensal_i (R\$) = Energia Gerada_i(KW) * Valor Tarifa_i (R\$) \quad (20)$$

$$Economia Anual (R\$) = Retorno Mensal * 12 \quad (21)$$

$$Fluxo de Caixa Anual_i = Preço Sistema - \Sigma Economia Anual \quad (22)$$

Tabela 3: Análise de geração, custos e retorno de investimento.

Ano Índice	Energia Gerada (kW)	Valor do kW	Preço Total do Sistema	Retorno Mensal	Economia Anual	Fluxo de Caixa Total
1	13056,00	0,9147	R\$ 46.554,00	R\$ 995,24	R\$ 11.942,94	-R\$ 34.611,06
2	12925,44	0,9147	-	R\$ 985,29	R\$ 11.823,51	-R\$ 22.787,56
3	12796,19	0,9147	-	R\$ 975,44	R\$ 11.705,27	-R\$ 11.082,28
4	12668,22	0,9147	-	R\$ 965,68	R\$ 11.588,22	R\$ 505,94
5	12541,54	0,9147	-	R\$ 956,03	R\$ 11.472,34	R\$ 11.978,27
6	12416,13	0,9147	-	R\$ 946,47	R\$ 11.357,61	R\$ 23.335,89
7	12291,96	0,9147	-	R\$ 937,00	R\$ 11.244,04	R\$ 34.579,93
8	12169,05	0,9147	-	R\$ 927,63	R\$ 11.131,60	R\$ 45.711,52
9	12047,35	0,9147	-	R\$ 918,36	R\$ 11.020,28	R\$ 56.731,81
10	11926,88	0,9147	-	R\$ 909,17	R\$ 10.910,08	R\$ 67.641,88
11	11807,61	0,9147	-	R\$ 900,08	R\$ 10.800,98	R\$ 78.442,86
12	11689,54	0,9147	-	R\$ 891,08	R\$ 10.692,97	R\$ 89.135,83
13	11572,64	0,9147	-	R\$ 882,17	R\$ 10.586,04	R\$ 99.721,87
14	11456,91	0,9147	-	R\$ 873,35	R\$ 10.480,18	R\$ 110.202,05
15	11342,35	0,9147	-	R\$ 864,61	R\$ 10.375,38	R\$ 120.577,42
16	11228,92	0,9147	-	R\$ 855,97	R\$ 10.271,62	R\$ 130.849,05
17	11116,63	0,9147	-	R\$ 847,41	R\$ 10.168,91	R\$ 141.017,95
18	11005,47	0,9147	-	R\$ 838,93	R\$ 10.067,22	R\$ 151.085,17
19	10895,41	0,9147	-	R\$ 830,55	R\$ 9.966,55	R\$ 161.051,71
20	10786,46	0,9147	-	R\$ 822,24	R\$ 9.866,88	R\$ 170.918,59
21	10678,59	0,9147	-	R\$ 814,02	R\$ 9.768,21	R\$ 180.686,81
22	10571,81	0,9147	-	R\$ 805,88	R\$ 9.670,53	R\$ 190.357,33
23	10466,09	0,9147	-	R\$ 797,82	R\$ 9.573,82	R\$ 199.931,16
24	10361,43	0,9147	-	R\$ 789,84	R\$ 9.478,09	R\$ 209.409,24
25	10257,81	0,9147	-	R\$ 781,94	R\$ 9.383,30	R\$ 218.792,55

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O fluxo nos mostra que o tempo de retorno do investimento é de, mais ou menos, quatro anos. Este retorno é reduzido devido ao barateamento do sistema adquirindo-se um kit de geração.

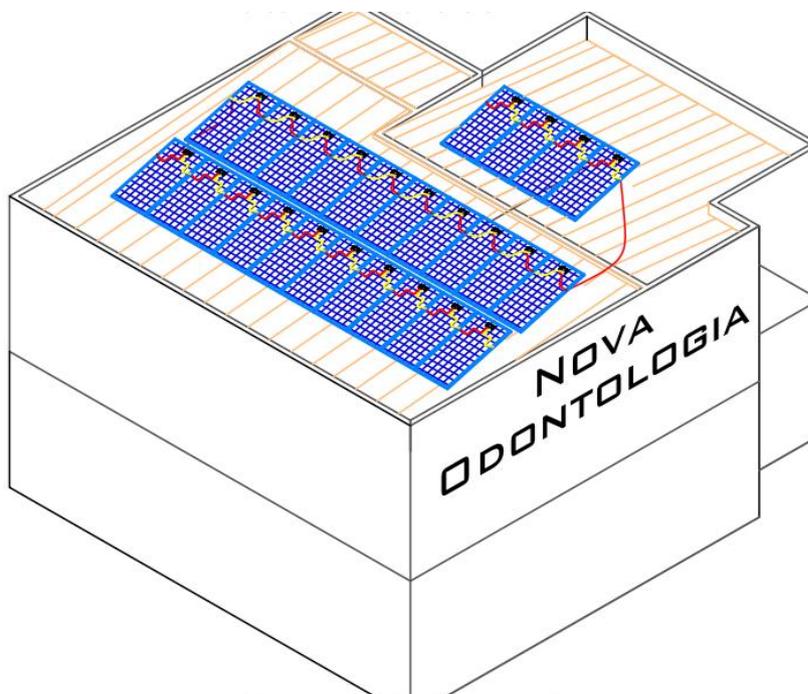
4.3.6 Configuração dos módulos e inversor

A determinação do local onde os painéis serão instalados será determinante para seu desempenho. A sua disposição com relação a elementos arquitetônicos, a presença de possíveis elementos que venham a sombrear e superfícies reflexivas nas proximidades podem influenciar de forma negativa a eficiência dos painéis fotovoltaicos, a projeção do local previsto para instalação se faz necessária desta forma.

Deve também ser considerados aspectos como a resistência mecânica do telhado e também o efeito dos ventos, pois estes são fundamentais para se evitar risco de danos no sistema ou na estrutura do local.

A figura 25 demonstra a posição das placas vista do plano Leste, direção do Sol nascente. As placas estão posicionadas na angulação de 16° para o Leste.

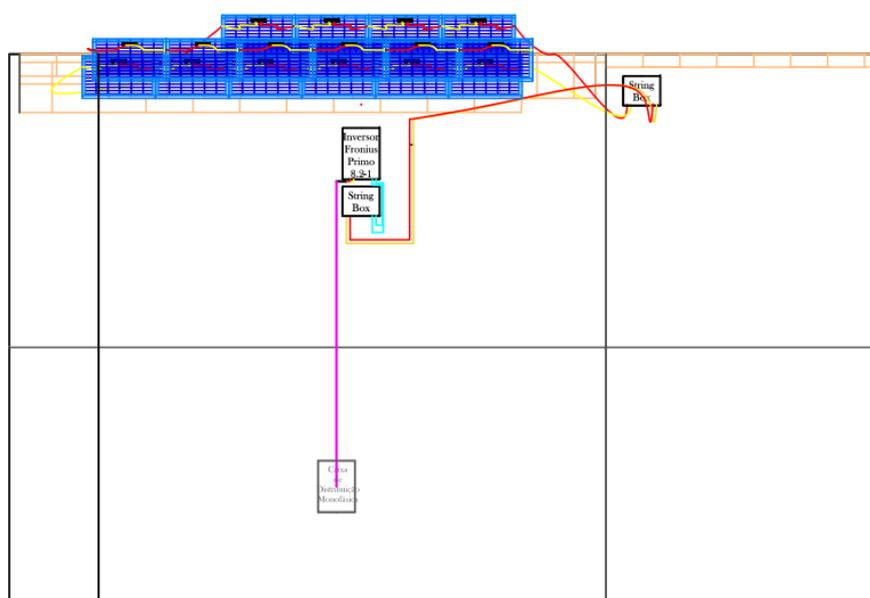
Figura 25: Isométrico demonstrativo da disposição das placas na estrutura.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

A figura 26 mostra a posição em relação à vista lateral dos equipamentos de String-Box, Inversor e Caixa de distribuição e suas conexões, sendo assim, a energia que é gerada nos módulos percorre a fiação e chega na primeira String-Box, sai desta e vai para a segunda String-Box, localizada abaixo do Inversor e chega ao inversor por meio da segunda String. O inversor é conectado ao Quadro de Distribuição, que é ligado ao medidor bidirecional e ao poste da concessionária. A projeção dos módulos na região do primeiro String-Box foi omitida para melhor visualização do mesmo.

Figura 26: Vista Lateral da edificação, com detalhe das Stringboxes, Inversor e Caixa de Distribuição de Energia



Fonte: Próprio Autor, 2019.

4.3.7 Procedimentos para viabilização de Acesso e Contratação

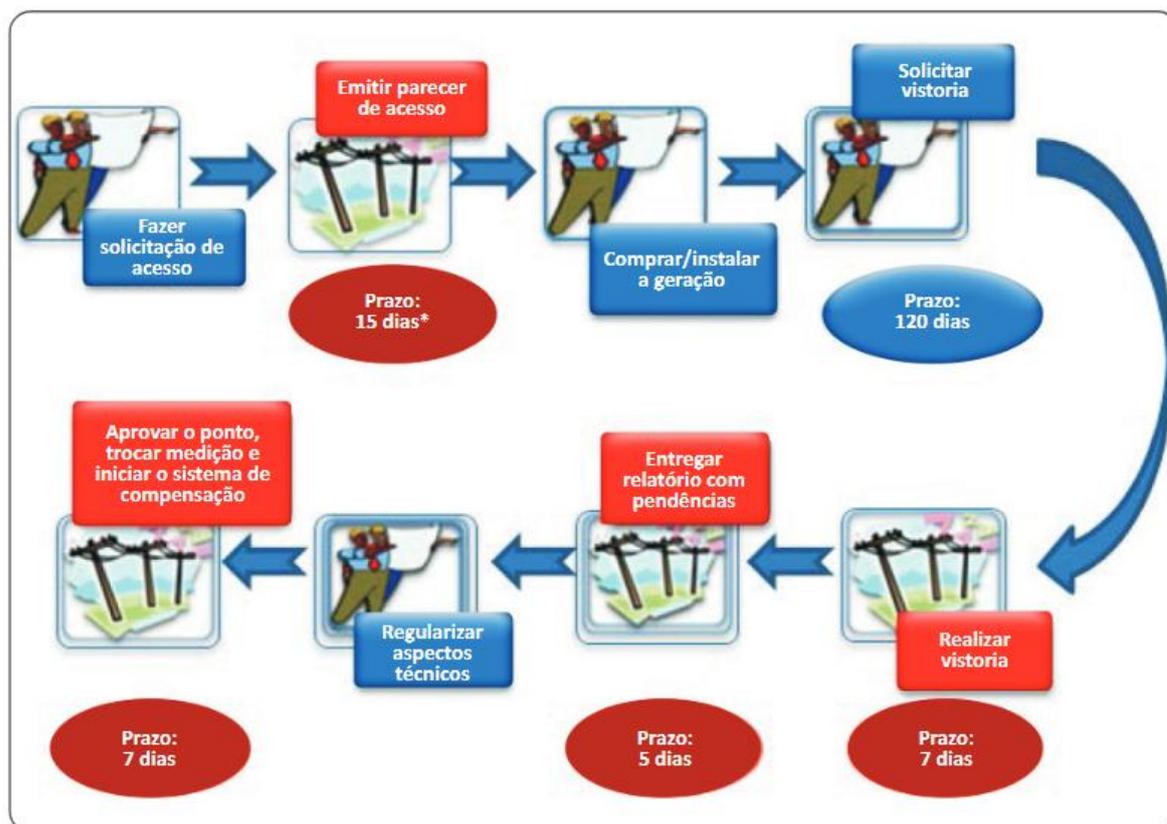
É necessário, de início, solicitar o parecer de acesso, que define a central geradora como sendo de mini ou microgeração, sendo o parecer solicitado pelo consumidor contratante. Juntamente com a solicitação, deve conter o Formulário de Solicitação de Acesso para mini e microgeração distribuída, formulário que é determinado em função da potência instalada de geração (ANEEL, 2016).

A distribuidora emitirá, caso a documentação da solicitação esteja regular, um parecer de acesso, documento obrigatório apresentado pelo consumidor onde são informadas

as condições de acesso e os requisitos técnicos que permitam as instalações por parte da concessionária com os prazos pré-determinados (ANEEL, 2016).

A figura 27 demonstra as etapas e seus respectivos prazos para o procedimento de acesso e o que deve ser feito pelo consumidor está descrito em azul, já o que é de responsabilidade da concessionária está em vermelho.

Figura 27: Procedimentos e etapas de acesso.



Fonte: ANEEL, 2016.

Então, para efeito de contratação, a concessionária deverá emitir o documento de Relacionamento Operacional para consumidores pertencentes à microgeração e enviá-lo ao consumidor requerente em anexo ao Parecer de Acesso.

Em casos onde é necessário algum tipo de melhoria ou reforço na rede para a efetiva conexão do sistema fotovoltaico, sua execução por parte da distribuidora deve preceder à assinatura de contrato específico com o consumidor requerente, contrato este que especifica etapas, prazos, condições de pagamento e outros relacionados ao atendimento (ANEEL, 2016).

4.3.8 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional (figura 28) é um item obrigatório em um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede e deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede (ANEEL, 2012). A troca do medidor unidirecional para o bidirecional é de responsabilidade da concessionária, assim como os custos da mesma, e só é feita mediante solicitação, devendo ser feita no último prazo das etapas de acesso.

Figura 28: Medidor Bidirecional.



Fonte: Eletra Energy, 2017.

4.3.9 Instruções sobre a instalação e causas de redução no rendimento

A empresa AXITEC, presente em ao menos 10 países, elaborou um manual para instalação de sistemas on-grid em telhados e seus principais itens estão destacados a seguir:

- Os módulos devem ser manejados com muito esmero durante a fase de instalação, do contrário, os módulos podem ser danificados e virem a prejudicar o sistema;
- Os módulos devem ser posicionados em uma angulação mínima de 10° e máxima de 75° em relação ao solo;

- Todos os materiais utilizados na estrutura de fixação não podem apresentar nenhum tipo de corrosão;
- Os módulos devem ser instalados de modo que não impeça o escoamento da água ou mesmo que não provoque umedecimento da região onde o módulo está instalado;
- A distância mínima entre os módulos deve ser de 5mm;
- A moldura não deve ter perfurações adicionais para evitar danos;
- Os furos de aterramento previstos devem ser usados unicamente para o aterramento do módulo;
- O módulo deve ser instalado sobre superfícies resistentes ao fogo credenciadas para essa utilização;
- Em conexões em série, somente deve ser utilizado módulos com a mesma intensidade de corrente, de preferência módulos de mesma marca;
- Utilizar sempre cabos solares resistentes a raios UV e evite radiação direta incidente sobre os cabos;

A AXITEC elencou também os principais motivos de perda de rendimento nos sistemas, que são:

- Cabeamento incorreto ou com falhas;
- Fusíveis queimados ou disjuntores soltos;
- Sombra de árvores, postes ou edifícios nos módulos;
- Falha do inversor;
- Manutenção e limpeza incorretas;
- Sujeira nos módulos;
- Ângulo de inclinação ou alinhamento desadequado dos módulos;

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do presente estudo, foi possível visualizar alguns dos principais assuntos pertinentes ao tema da energia fotovoltaica, como a análise da matriz energética e elétrica brasileira e as parcelas destas que são compostas pela fotoeletricidade, a enorme quantidade

de gases estufa produzidos pelo Brasil nos últimos anos em contraste com o mínimo impacto ambiental gerado pelos sistemas de geração da fotoeletricidade, o que representa uma oportunidade para repensarmos as prioridades do setor energético de forma a dar mais ênfase para a geração de energia limpa. Pudemos concluir que a partir da criação da Resolução Normativa nº482 em 2012, que estabeleceu diretrizes para a geração de energia fotovoltaica, a questão ganhou força e foi onde a geração de energia pelas próprias unidades consumidoras se tornou possível com os parâmetros da Compensação. A queda quase exponencial dos valores dos módulos e kits de geração no Brasil, os incentivos governamentais como isenção de impostos, o sistema de compensação, a praticidade de instalação, a criação da REN nº 482, dentre outros vários fatores, contribuíram para que o assunto tenha ganhado muita notoriedade nos últimos anos e de posse dessas informações, foi compreendido a partir do estudo de caso que gerar sua própria energia hoje se tornou não só viável, como um investimento muito rentável por ter um retorno em poucos anos após sua instalação e tudo isto de forma a não agredir o meio ambiente. Desta forma, investir em energia fotovoltaica é uma excelente opção tanto a nível residencial como a nível nacional e mundial.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10899: Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2013. 12 p.

ABSOLAR. A **aceleração da energia solar fotovoltaica no mundo**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/a-aceleracao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-mundo.html>>. Acesso em: 22 set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro.** Junho. 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Junho+-+2018_rev1.pdf/44a08372-bae6-4960-93e4-9b5426890087>. Acesso em: 26 ago. 2018.

_____. **Caderno Temático - Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica.** [S. l.], 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 19 abr. 2019.

_____. **Geração Distribuída: Micro e Mini Geração Distribuídas.** Agosto. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

_____. **Matriz Energética Brasileira.** 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 16 set. 2018.

_____. **Nota Técnica nº 0129/2012-SRD/ANEEL.** [S. l.], 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota_Tecnica_0129_SRD.pdf. Acesso em: 15 abr. 2019.

AMARAL FADIGAS, Eliane Aparecida Faria. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e viabilidade técnico-econômica.** São Paulo: GEPEA, 2016. 92 p.

_____. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e viabilidade técnico-econômica.** São Paulo: GEPEA, 2016. 70 p.

_____. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e viabilidade técnico-econômica.** São Paulo: GEPEA, 2016. 67 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **O Mercado Fotovoltaico no Mundo.** Outubro. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR+-+Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3>>. Acesso em: 19 out. 2017.

ATACADO SOLAR. **Kit Gerador de Energia Solar 7,92 kWp**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://atacadosolar.com.br/loja/kit-gerador-de-energia-solar-7-92-kwp-220v-produc-o-de-ate-1088-kwh-mes.html>. Acesso em: 10 abr. 2019.

AXITEC. **Manual de instalação e operação para Módulos fotovoltaicos cristalinos - Série de produção AC**. Brasil: [s. n.], 2016. Disponível em: https://www.axitecsolar.com/data/document_files/Manual_PT.pdf. Acesso em: 19 abr. 2019.

BESSO, Rachel. **Sistema Solar Conectado à Rede**. 2017. 110 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental)- Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

BLUESOL. **História (rápida) da Energia Solar Fotovoltaica**, disponível em: <http://www.blue-sol.com/energia-solar/historia-rapida-da-energia-solar-fotovoltaica/>, publicado em 23 de dezembro de 2011, último acesso em 23 set. 2018.

____. **Inversor Solar Fotovoltaico: O Que É, Como Funciona e Tipos**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/inversor-fotovoltaico-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 8 abr. 2019.

BV FINANCEIRA. Portal Solar. **ABNT NBR 10899: Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia**. 1. 2013.

CANADIAN SOLAR. **MAXPOWER CS6X-310 | 315| 320P**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://s3.us-east-2.amazonaws.com/legacy.portalsolar.com.br/Content/EditorImages/files/Placa%20Solar%20Canadian%20Solar%20-%20Modelo%20CS6X-320P%20-%20320Watts.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

CAVALCANTE SILVA, José Valderi. **Pré-Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica para a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Itapetinga**. 2013. Tese (Especialista em Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2013.

CONTEXTO. **Daia 33 anos: Distrito "mudou" o perfil econômico de Goiás**. Goiás, 2012. Disponível em: http://www.jornalcontexto.net/noticia_detalhe.php?id_noticia=588&&edicao=Edi%E7%E3o%20329%20-%2026%20de%20agosto%20a%201%20de%20setembro%20de%202011. Acesso em: 19 abr. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**, disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica/>. Acesso em 23 set. 2018.

GEÓGRAFOS. **Coordenadas Geográficas de Anápolis, Goiás - GO**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.geografos.com.br/cidades-goias/anapolis.php>. Acesso em: 19 abr. 2019.

GRIMM, Alice Marlene. **Meteorologia Básica: Radiação Solar e Terrestre**. 1999. Disponível em: <<https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>>. Acesso em: 14 out. 2018.

GUIMARÃES, Gabriel. **String Box: o que é e como funciona?**. Rio de Janeiro - RJ, 2016. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/string-box-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 8 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Panorama Anápolis**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/anapolis/panorama>. Acesso em: 10 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos/Brasil: [s.n.], 2017. 13 p. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 16 set. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Solar PV grew faster than any other fuel in 2016, opening a new era for solar power**. Outubro. 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/newsroom/news/2017/october/solar-pv-grew-faster-than-any-other-fuel-in-2016-opening-a-new-era-for-solar-pow.html>>. Acesso em: 04 out. 2017.

IZIDORO, Bruna Caroline; ORSI, Gustavo Cardoso; CORDEIRO, Leandro Ricardo. **Estudo do Panorâma Nacional para Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede após Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL**. 2014. 174 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro: Projeção da Demanda de energia elétrica**. Junho. 2018. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf)>. Acesso em: 26 ago. 2018.

_____. **Novos empreendimentos solares devem gerar investimentos de R\$ 8 bilhões**. Maio. 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/novos-empreendimentos-solares-devem-gerar-investimento-de-r-8-bilhoes>. Acesso em: 14 maio 2018.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; OLIVEIRA SARAIVA, Maria de Fátima. **Astronomia Antiga**. 2016. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/antiga/antiga.htm>>. Acesso em: 23 set. 2018.

_____. **O Sol**. 2018. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>>. Acesso em: 23 set. 2018.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: [s.n.], 2017. 80 p.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro - RJ: CEPTEL - CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **A Melhor Direção do Pannel Solar Fotovoltaico**. São Paulo - SP, 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-pannel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 10 abr. 2019.

_____. **Quanto Custa para Instalar Energia Solar**. São Paulo - SP, 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-para-instalar-energia-solar.html>. Acesso em: 10 abr. 2019.

SAGAN, Carl Edward. **Cosmos**. 1. ed. [S.l.]: Gradiva, 1991. 361 p.

SOLARGIS. **Mapa de irradiação solar anual**. 2018. Disponível em: <https://solargis.info/imaps/>. Acesso em: 16 set. 2018.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 208 p.