

FÁBIOYUJI NAMIOKA

**Geração de energia elétrica renovável: vantagens e
aplicações dos painéis fotovoltaicos**

Fábio Yuji Namioka

**Geração de energia elétrica renovável: vantagens e
aplicações dos painéis fotovoltaicos**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Evaldo Chagas Gouvêa

Guaratinguetá-SP
2021

N174g Namioka, Fabio Yuji
Geração de energia elétrica renovável: vantagens e aplicações dos painéis fotovoltaicos / Fabio Yuji Namioka – Guaratinguetá,2021.
50 f : il.
Bibliografia: f. 47-50

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá,2021.
Orientador: Prof. Dr. Evaldo Chagas Gouvêa

1. Energia solar. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Energia – Fontes alternativas. 4. Células solares. I.Título.

CDU 620.91

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8-3595

FÁBIO YUJI NAMIOKA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. DANIEL JULIEN BARROS DA SILVA SAMPAIO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Me. EVALDO CHAGAS GOUVÊA
Orientador/UNESP-FEG



Prof.^a Dr.^a THAIS SANTOS CASTRO
UNESP-FEG



Prof. Dr. TEOFILO MIGUEL DE SOUZA
UNESP-FEG

RESUMO

O tema energético é um grande viés de debate no mundo tendo em vista as questões de sustentabilidade, economia de recursos entre outros aspectos. Por sua vez a energia solar figura entre as alternativas de energia com um potencial de aplicação deste uso doméstico a processos industriais o que viabiliza sua implementação e uso. O objetivo do trabalho é apresentar as vantagens e melhorias que o uso de meios renováveis de geração energia elétrica pode trazer e traz para o âmbito residencial, com foco maior no uso de fornecimento energético por dispositivos fotovoltaicos. Como rota metodológica o trabalho contou com uma revisão bibliográfica por meio de trabalhos acadêmicos caracterizando como um estudo descritivo e teórico. Com o estudo pode-se perceber a magnitude que a energia solar pode proporcionar a sociedade, sobretudo com o desenvolvimento de novos materiais, tecnologias de armazenamento, conversão e distribuição de maneira a viabilizar diversos projetos.

PALAVRAS-CHAVE:Energia solar. Painéis fotovoltaicos. Aplicações da energia solar. Tecnologia. Energia alternativa.

ABSTRACT

The energy theme is a major debate bias in the world in view of the issues of sustainability, resource savings and other aspects. In turn, solar energy is among the energy alternatives with the potential to apply this domestic use to industrial processes, which makes its implementation and use feasible. The objective of the work is to present the advantages and improvements that the use of renewable means of electric Power generation can bring and brings to the residential scope, with a greater focus on the use of energetic supply by photovoltaic devices. As a methodology route, the work included a bibliographic review through academic works, characterized as a descriptive and theoretical study. With the study, it is possible to perceive the magnitude that solar energy can provide society, especially with the development of new materials, storage, conversion and distribution technologies in order to make several projects viable.

KEYWORDS: Solar energy. Photovoltaic modules. Solar energy applications. Technology. Alternative energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participação das fontes no aquecimento de água para banho nos domicílios.....	10
Figura 2. Estrutura geral de um sistema de geração de energia elétrica.....	12
Figura 3. Matriz elétrica mundial de 2019.	13
Figura 4. Matriz elétrica brasileira de 2019.....	13
Figura 5. Mapa dos graus de irradiação solar no Brasil	20
Figura 6. Localização das fontes renováveis contratadas no horizonte de 2014 a 2018.....	21
Figura 7. Evolução da participação das fontes contratadas no horizonte de 2014 a 2018	22
Figura 8. Produção de células fotovoltaicas	31
Figura 9. Exemplificação do funcionamento de um sistema de energia fotovoltaica	33
Figura 10. Efeito fotovoltaico	35
Figura 11. Silício Monocristalino	37
Figura 12. Silício Policristalino	38
Figura 13. Incidência dos raios solares em um módulo solar	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de eletricidade na rede por classe.....	21
Tabela 2 – Evolução da capacidade instalada por fonte de geração.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	11
3	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL	16
3.1	TIPOS DE FONTES E PROCEDIMENTOS DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	19
3.2	FONTES RENOVÁVEIS	25
4	RADIAÇÃO SOLAR.....	29
5	EFEITO FOTOVOLTAICO	32
5.1	FUNCIONAMENTO DO EFEITO FOTOVOLTAICO: CÉLULAS FOTOVOLTAICAS EM FOCO	33
6	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	38
6.1	ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DOS RAIOS SOLARES	40
6.2	CÁLCULO DA ENERGIA PRODUZIDA	42
6.3	ANÁLISE ECONÔMICA	43
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O Sol pode produzir em apenas um segundo todo o potencial energético produzido pela humanidade até o presente momento, sendo assim, o mesmo é uma fonte poderosa e incessante de energia, que pode ser utilizada vastamente pelos homens. A terminologia *fotovoltaica* vem de foto = *photo*(que significa *produzido pela luz*) e do sufixo *voltaico*, que se refere à eletricidade resultante de produção por reações químicas (AGOPYAN, 2011).

Com as atuais determinações advindas da temática de sustentabilidade, surgem novas atribuições ao engenheiro eletricitafocalizadas no desenvolvimento e promoção de fontes de geração de energias renováveis em todas suas dimensões e, sobretudo, nas residências. O uso, por exemplo, de painéis fotovoltaicos para o fornecimento de energia elétrica no âmbito residencial responde às necessidades e demandas sustentáveis, além de proporcionar a redução de gastos com a questão energética.

O presente trabalho tem, desta forma, por objetivo fornecer um estudo descritivo e teórico acerca, sobretudo, das vantagens e melhorias que o uso de meios renováveis de geração energia elétrica podem trazer para o âmbito residencial, com foco maior no uso de fornecimento energético por dispositivos fotovoltaicos. O mesmo em como objetivos específicos fazer uma revisão do histórico sobre a Energia Solar, apresenta os princípios físicos e químicos da Energia Solar e mostrar as aplicações da Energia Solar para conversão de eletricidade.

Justifica-se pela grande importância que tem esta temática em diversos ramos e subáreas da Engenharia Elétrica, enfocando nas novas atribuições que surgem com a temática da sustentabilidade, em âmbito prático e teórico, além do acadêmico.

As vantagens da utilização de meios de geração de energia renovável nas residências são imensuráveis, tendo em vista os benefícios aplicados em muitos aspectos sob muitas óticas da construção: não apenas no âmbito financeiro, mas nos parâmetros de ecologia, desenvolvimento sustentável, entre outros.

Será feito, portanto, um esforço para promover uma conceituação sólida, após o que se dará uma descrição de aspectos indispensáveis ao estudo da utilização de painéis fotovoltaicos: o que são e como se caracterizam, seu histórico evolutivo, principais conceitos, desafios enfrentados para sua aplicação, entre outros.

Devido à natureza da proposta que ora se apresenta, será aplicada metodologia de revisão bibliográfica para a promoção de um estudo descritivo fundamentado em artigos

científicos, obras completas e demais produções científico-acadêmicas que se mostrem úteis e pertinentes à pesquisa em tela.

Como revisão crítica, o foco se dará na Energia Solar como ferramenta de fornecimento energético e sua importância, principalmente, para a área da Engenharia Elétrica, quando conduzida de forma sustentável.

Os benefícios proporcionados pelo uso dos meios de geração de energia renovável nas residências, tal como qualquer outra área do ramo prático, acompanham as profundas mudanças do cenário socioeconômico, histórico, político e cultural das nações. Neste sentido, que os métodos e instrumentos utilizados e, sobretudo, os que envolvem a produção de energia eólica, embora partam sempre de uma base comum, apresentarão grandes variações ao longo do curso do tempo. Eles têm que se adequar às novas ambiências que surgem, principalmente, as econômicas: se o custo destas tecnologias for muito alto, não haverá mercado para elas, pois poucos consumidores estarão dispostos a adquiri-las.

Muita atenção acadêmica tem se dado ao uso e aos benefícios gerados pelas abordagens de geração energética de fonte renovável em âmbito residencial, sendo esta uma subárea da Engenharia Elétrica que vem ganhando cada vez mais espaço na produção de artigos científicos, periódicos, além de trabalhos de pós-graduação, despertando a atenção de especialistas e alunos.

Para consubstanciar o estudo do uso de técnicas de fornecimento de energia por fontes renováveis de produção, coloca-se uma situação hipotética de aplicação de painéis fotovoltaicos, que são o principal objeto de estudo do presente trabalho. Será feita esta ambiência exemplificativa para maior entendimento das questões e teorizações que serão apontadas na revisão de literatura que dá corpo ao presente estudo.

Trabalhar sobre este aspecto da alimentação energética residencial e prover meios de viabilizá-la de forma limpa e sustentável é um dos debates de mais recorrências atualmente. O aumento de consumo elétrico pelo setor residencial é crescente e exponencial, conforme descrito pelo Relatório Final do PDE 2023 (BRASIL, 2014) produzido e lançado em 2014. O PDE é o Plano Decenal de Expansão de Energia do Brasil realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) brasileira.

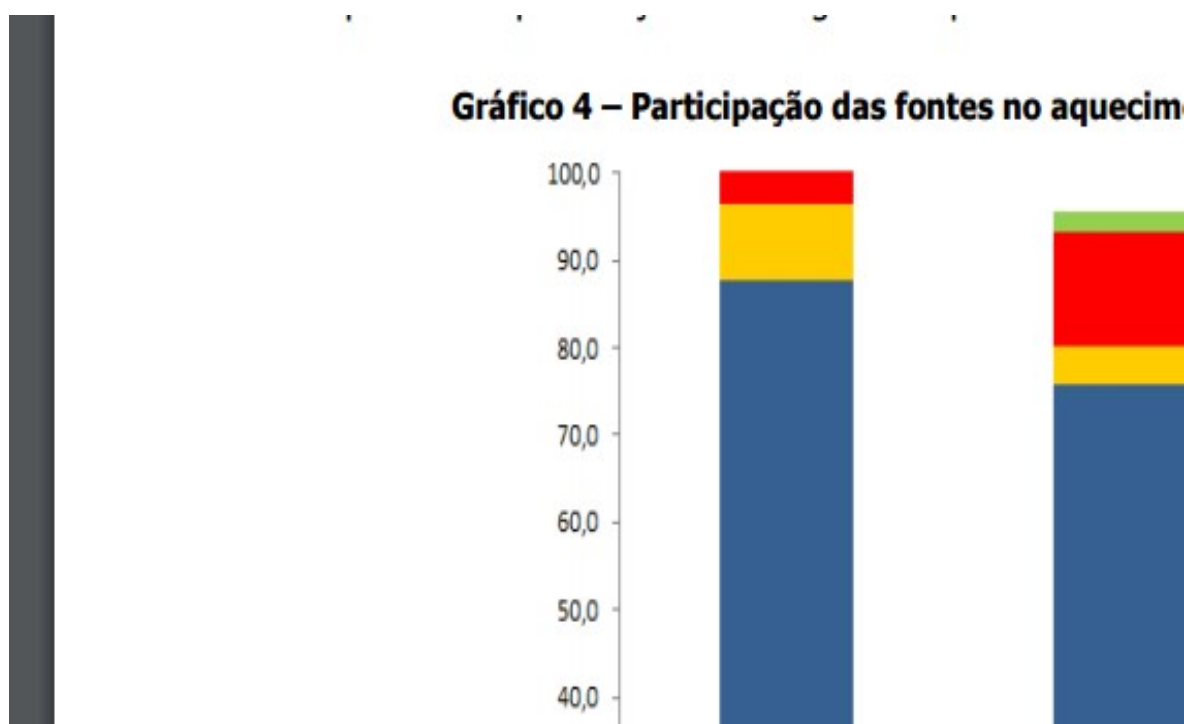
O referido relatório traz como premissa inicial que os indicadores demográficos brasileiros das últimas décadas impactam de maneira relevante o consumo de energia no Brasil. A evolução, de perspectiva crescente, da relação habitante/domicílio e o grande crescimento da população brasileira nos últimos anos dão, atualmente, a possibilidade de elencar uma estimativa do número total de domicílios, que é um ponto fundamental para a

projeção do consumo residencial de energia neste país, pois, este é um dos setores que mais consomem e a tendência é que este consumo aumente e por esta razão a atenção do relatório e deste estudo é sobre ele.

Outro ponto importante a ressaltar é que o uso de energia por algumas parcelas da população brasileira é relativamente recente. O crescimento do número de domicílios que utilizam energia elétrica ainda ocorre no país, devido à melhoria das condições de vida de uma parcela significativa da população. Por isso, no setor residencial energético brasileiro, destaca-se o consumo de eletricidade e, além deste, o gás liquefeito de petróleo (GLP) e da lenha, estes últimos utilizados principalmente aos serviços de preparo de alimentos e aquecimento de água para banho.

O gráfico da Figura 1, retirado do Relatório Final do PDE 2023 (BRASIL, 2014), ilustra bem as fontes energéticas que geralmente são usadas nos domicílios brasileiros

Figura 1. Participação das fontes no aquecimento de água para banho nos domicílios.



Fonte: BRASIL (2014).

Percebe-se a projeção positiva para a utilização de fontes renováveis, tais como a energia solar para a geração de eletricidade.

2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A palavra *geração* utilizada na energia elétrica remete a transformação. O termo significa produção de energia elétrica por meio da transformação de outros tipos de energia. Um exemplo que se pode citar é o dos alternadores de grandes usinas elétricas de óleo ou gás, que geram eletricidade através da conversão da energia mecânica, por sua vez gerada utilizando outras máquinas, como turbinas a vapor. Os painéis fotovoltaicos são mais um exemplo de geradores de eletricidade, pois eles produzem energia elétrica através da conversão de radiação solar (CERAOLO; POLI, 2014).

Já entre a geração e a utilização final, a energia elétrica pode ser transformada diversas vezes, como por exemplo, em transformadores de potência, que aumentam a tensão, enquanto baixam a corrente e vice-versa. Ademais, a energia elétrica pode ser também transferida por longas distâncias através de linhas de energia (CERAOLO; POLI, 2014).

Neste ínterim, compreende-se que a gestão de energia consiste no ato de administrar a energia conduzindo a um menor consumo energético através das ações de otimização de sua utilização (ORBEN, 2016) e, assim, complementarmente, os autores Ferreira e Ferreira (1994) definem que gerenciar energia refere-se a conhecer consumos energéticos, contabilizar e acompanhar a evolução de tais consumos, dispor de dados para a tomada de decisão a respeito de tal forma de gerenciamento, agir para o aperfeiçoamento e controle do resultado das ações e investimentos a serem realizados sob perspectiva do alcance de eficiência energética.

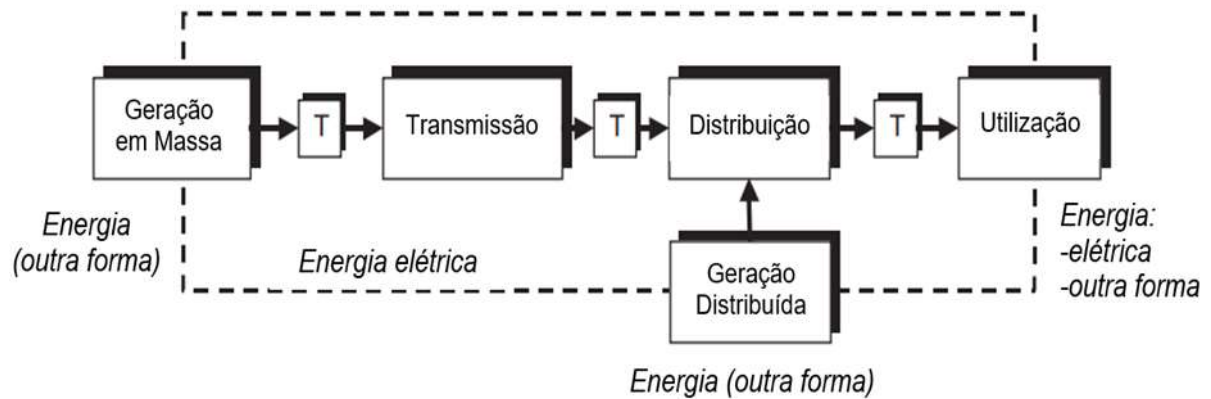
Ser eficiente energeticamente não significa simplesmente reduzir gastos, uma vez que se trata da relação entre o que se produz e o que é gasto para tal consumo (SOARES, 2015).

Todos os equipamentos que convertem ou transferem energia, são partes de um grande sistema, que engloba a geração, transformação, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica e é chamado de sistema de energia. Tudo isso pode ser visualizado na Figura 2, que mostra as principais funções de um sistema de energia juntamente com as diferentes formas de energia envolvidas. Uma situação comum inclui a geração de energia elétrica em usinas, transformação para alta tensão em transformadores, transmissão para centros de carga, transformação em tensão média ou baixa, distribuição para os pontos de uso e conversão para uso final (CERAOLO; POLI, 2014).

Na Figura 2, o termo *geração em massa* se refere a instalações centralizadas de larga escalada que injetam sua produção na rede de transmissão. Por outro lado, *geração distribuída* é composta por um grande número de plantas de energia de pequena escala, instaladas próximas ao consumidor final e diretamente conectadas a rede de distribuição.

Ainda nesta Figura 2, *T* representa a transformação realizada pelos transformadores de potência (CERAOLO; POLI, 2014).

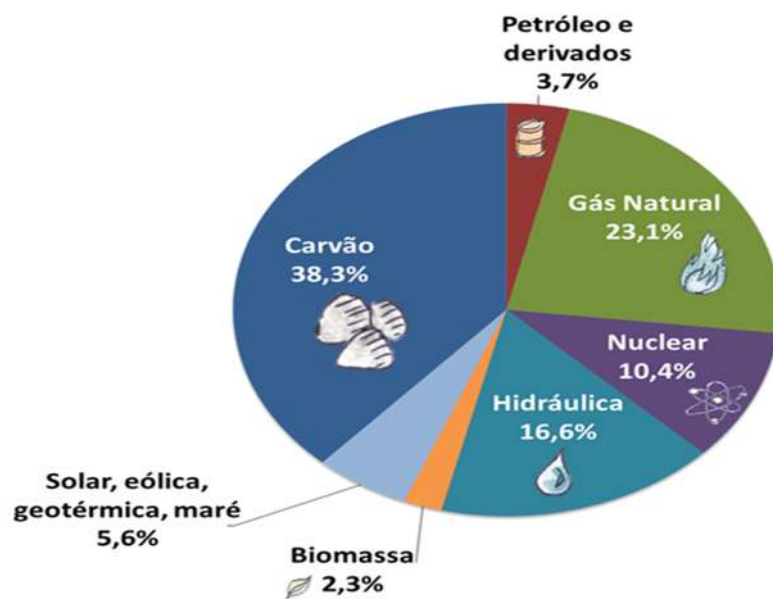
Figura 2. Estrutura geral de um sistema de geração de energia elétrica.



Fonte: Ceraolo; Poli (2014).

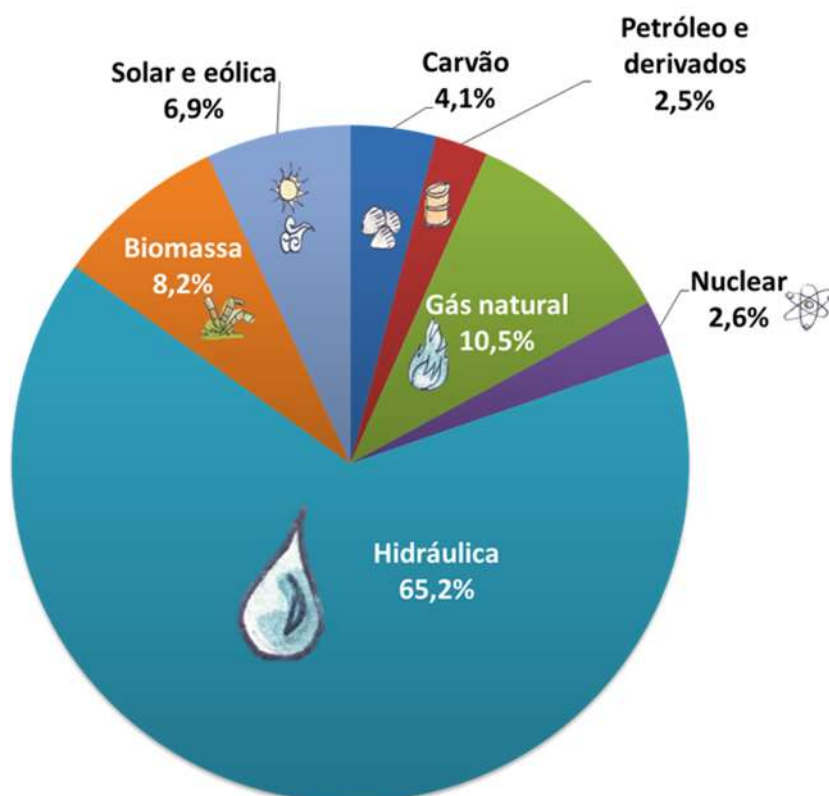
A matriz elétrica de um país, cidade ou mundial, é formada pelo grupo de fontes de energia disponíveis para geração de energia elétrica. A principal fonte de geração de energia elétrica no mundo se baseia na queima de combustíveis fósseis em termoelétricas. Como é apresentado na Figura 3, onde é mostrada a matriz elétrica mundial no ano de 2016, as energias renováveis ainda configuram uma parcela relativamente pequena do total. Já na Figura 4, matriz elétrica do Brasil, nota-se que há uma parcela de energias renováveis maior, principalmente graças a fonte hidráulica (EPE, 2019).

Figura 3. Matriz elétrica mundial de 2019.



Fonte: EPE (2019).

Figura 4. Matriz elétrica brasileira de 2019.



Fonte: EPE (2019).

Cabe denotar que o atual cenário energético e financeiro é muito preocupante, afinal, enquanto os tempos de retorno financeiro dos novos métodos limpos empregados para a

geração de energia não compreendem eficaz diminuição, um gerenciamento mais eficiente de energia se torne eminentemente necessário, tal como dimensiona e classifica Thomas (2013).

Desta maneira, compreende-se que a utilização racional da energia elétrica por setores empresariais com um maior consumo, coloca-se como sendo substancial e fundamental para a evolução do sistema energético mundial, fazendo com que a eficiência energética se coloque como sendo a melhor solução na atual conjuntura que se inserem as empresas (THOMAS, 2013).

E assim, é passível definir a eficiência energética como sendo uma relação entre a quantidade de energia final em utilização e a quantidade de determinado bem produzido ou serviço realizado, como pode-se ver na seguinte relação: *eficiência energética* equivale a *energia do produto* dividida pela *energia total consumida*, sendo esta a fórmula para o cálculo de tal indicador (EPE, 2010):

$$\textit{eficiência energética} = \textit{energia do produto} / \textit{energia total consumida}.$$

Relevante demonstrar que o assunto da eficiência energética ganhou profundo destaque frente ao cenário mundial, principalmente, após o desenvolver da crise do petróleo decorrida na década de 1970, quando foi passível a percepção de que o uso de combustíveis fósseis tem custos econômicos e ambientais crescentes e, conseqüentemente, preocupantes para a sociedade como um todo (EPE, 2010).

Durante este período, meados dos anos 1970, ficou cada vez mais claro o entendimento de que a correção de hábitos de consumo energético e a utilização de equipamentos mais eficientes colocam-se como ferramentas que podem diminuir eficazmente a necessidade de ampliação da geração de eletricidade que, por vezes, encontra-se expressamente atrelada a fontes não renováveis de energia (EPE, 2010).

Para Souto (2015), observa-se uma nova tendência mundial, englobando também o conceito de eficiência energética, embora não existam restrições a ela, refere-se à difusão dos Sistemas de Gerenciamento Energéticos. Tais sistemas são permissivos para providenciar o aumento da eficiência no uso energético no âmbito das organizações.

A referida tendência condiciona a geração de inúmeros benefícios para o empreendedor e para a sociedade como um todo, ocasionados pela redução dos custos de produção e, também, pela condução de novos investimentos em infraestrutura energética. Destarte, cabe denotar a existência de benefícios ambientais associados, que se comportam como sendo

diretamente provenientes da redução nas emissões de gases de efeito estufa por parte das organizações (SOUTO, 2015).

As melhorias dimensionadas anteriormente podem ser alcançadas pela implementação de um bem estruturado sistema de gestão de energia, isto se dá pelo fato de que com tal sistemática as empresas passam a possuir uma visão ampla sobre usos de energia e demais aspectos relacionados com todo o processo de consumo (ORBEN, 2016).

Cabendo expor que, um sistema de energia permite não apenas o alcance de um maior controle sobre suas variáveis, mas também proporciona que determinadas ações corretivas possam ser eficaz e eficientemente empregadas (ORBEN, 2016). Ademais, Morales (2007) ainda traz a afirmação de que, na área de utilização de energia elétrica, definir uma sistemática de gestão compreende atividade que está diretamente ligada ao uso energético categoricamente eficiente.

3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL

Com o advento da sustentabilidade, a maior atenção dada as fontes de produção energética e a busca por meios renováveis de geração e de gestão de energia elétrica emergem como temas centrais de debate e passam a configurar-se como temática principal do discurso das atribuições que os engenheiros eletricitasdevem, agora, exercer como forma de atender a esta demanda primordial que surge.

O conceito de Construção Sustentável vem ganhando uma grande importância em todo o mundo em razão da funcionalidade dos enormes benefícios que tal prática construtiva, cada vez mais recorrente e presente na atualidade, oferece. Desta maneira, complementando entendimentos, tem-se a perspectiva de que uma Construção Sustentável é aquela que é ambientalmente responsável, além de lucrativa e de ser um lugar intimamente saudável para viver e trabalhar. Porém, dimensiona-se que na atualidade a indústria da construção civil enfrenta o desafio da incorporação dos seus produtos às técnicas que são descritas enquanto ecológicas e que se voltam, necessariamente, para proporcionar a preservação do clima na Terra (FERNANDES, 2009).

Em continuidade, Fernandes (2009) ainda objetiva que um bom modelo de Casa Sustentável devem utilizar-se essencialmente de:

- a) recursos naturais passivos e de design para promover conforto e integração na habitação;
- b) materiais que não comprometam o meio ambiente e a saúde de seus ocupantes e que contribuam para tornar seu estilo de vida cotidiano mais sustentável (por exemplo, o usuário de embalagens descartáveis deveria usar produtos reciclados a partir dos materiais que, em algum momento, ele mesmo usou);
- c) resolver ou atenuar os problemas e necessidades gerados pela sua implantação (consumo de água e energia);
- d) prover saúde e bem-estar aos seus ocupantes e moradores e preservar ou melhorar o meio ambiente (FERNANDES, 2009, p. 11).

Com o advento da sustentabilidade, maior atenção foi dada às fontes de produção energética e à busca por meios renováveis de geração de energia elétrica. Esses assuntos emergiram como temas centrais do debate sobre as atribuições que os engenheiros eletricitas devem, agora, exercer como forma de atendimento a esta nova demanda primordial que surgiu na profissão.

Consustanciando para este último fato aludido, Trevisan et al. (2008, p. 2), afirma que a “[...] responsabilidade socioambiental deixou de ser uma opção para as organizações [e pessoas], ela é uma questão de visão, estratégia e, muitas vezes, de sobrevivência” (grifo do

autor), assim, atender a estas necessidades sustentáveis é de importância primordial para todos os profissionais inseridos nesta temática, ter responsabilidade socioambiental constitui, principalmente, o desenvolvimento de forma acessível de procedimentos e técnicas de fornecimento de energia renovável.

Para Rodrigues (2009), sustentabilidade significa sobrevivência, perenidade dos empreendimentos humanos e do planeta. Cabresté et al. (2008), trazem uma definição que remete a este ponto e revelam o fato de o conceito estar ancorado na ecologia, desta forma, para tais autores:

Sustentabilidade seria a relação entre os sistemas econômicos e os sistemas ecológicos na qual a vida humana continuaria indefinidamente e os efeitos das atividades humanas permaneceriam dentro de limites sem destruir a diversidade, complexidade e funções do sistema ecológico de suporte da vida (CABRESTÉ et al., 2008).

O tema e termo *Sustentabilidade*, em conformidade com Rosa (2007), seria fruto de um movimento histórico recente que passa a questionar a sociedade em todas suas dimensões enquanto modo de desenvolvimento. Ainda segundo o referido autor, a sustentabilidade pode ser considerada um conceito importado da ecologia, mas cuja operacionalidade ainda precisa ser provada nas sociedades humanas, ou seja, é uma noção com ares de utopia que passa a ser buscada veemente e diferentemente pelos mais diversos campos de atuação profissional.

Sustentabilidade em sua vertente lógica implica na possibilidade de se manter qualitativamente em diversas dimensões. A Organização das Nações Unidas - ONU, através do relatório *Nosso Futuro Comum*, também conhecido como Relatório *Brundtland*, publicado pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento em 1987, elaborou o seguinte conceito que remete à sustentabilidade e ao seu desenvolver: “Desenvolvimento sustentável é aquele que busca as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades.” Assim, o uso de fontes ou meios de fornecimento de energia renovável atende as *exigências* atuais e consegue, ao mesmo tempo, manter as capacidades do ambiente e ele próprio para as gerações que se sucederão (ONU, 1987).

Salientando para este fato de manter o ambiente para as gerações futuras, Steiner (2010) alerta que não existem dúvidas de que, atualmente, é preciso diminuir a dependência generalizada de combustíveis fósseis e se mover, trabalhar e viver com energias mais limpas, com opções ambientais mais amigáveis, mas, sobretudo, se precisa ter certeza de que não estão sendo criados mais problemas ao invés de resolver os já existentes.

O termo sustentabilidade deriva diretamente de o vocábulo sustentar. Quando associado à dimensão ambiental, passa a ser um dos desafios a serem enfrentados e desenvolvidos nas sociedades, e que veio se tornando nos últimos anos uma preocupação relevante para os governantes e, também, dos educadores. Há o entendimento geral de que a mudança de consciência, para internalização do consumo consciente deve iniciar pelas crianças e adolescentes, seja na escola ou no cotidiano familiar.

Para Elkington (1994), a sustentabilidade é o equilíbrio entre os três pilares: ambiental, econômico e social. Porém, não deve ser vista como um acessório de moda (HASNA, 2010) ou um senso comum (MOLDAN, JANOUAKOVÁ, HÁK, 2012). Por isso é necessário esclarecer alguns aspectos da sustentabilidade no cenário mundial para que seja devidamente compreendida e passe e aumentar ainda mais os resultados desejados.

Uma das formas de propagação da veia sustentável é com a redução da emissão de poluentes e da devastação ambiental propiciada pelos meios não renováveis de geração elétrica. Assim, para promoção da sustentabilidade, busca-se o desenvolvimento e aplicação de meios, procedimentos, dispositivos e técnicas que promovam a geração energética com bases em fontes renováveis.

Os referidos meios são ditos como renováveis, pois, não esgotam recursos e nem se utilizam de produtos inerentes à natureza, os quais podem se esgotar mais facilmente. Desta forma, as fontes de energia renováveis, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2011), quando implantadas de forma apropriada, podem também contribuir para o desenvolvimento social e econômico, para a universalização do acesso à energia e para a redução de efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde.

Este é o objetivo de propagar esses meios de produção energética e uma das novas atribuições do engenheiro electricista, pois, nesta nova ambiência este tem que desenvolver e aplicar estas formas de fornecimento e produção energética que emergem em razão da temática sustentável.

Assim, as fontes renováveis de matriz energética são as propagadoras do desenvolvimento sustentável, aludindo a este fato a ONU (2010) define: “O desenvolvimento sustentável possui três componentes principais, que são o desenvolvimento econômico, a equidade social e a proteção ambiental”.

No Brasil, conforme afirma Matriz (2008), foram desenvolvidos pelo governo federal, como forma de estímulo ao uso de energias renováveis, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) e o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfra), com o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira.

3.1 TIPOS DE FONTES E PROCEDIMENTOS DE ENERGIA RENOVÁVEL

São diversos os tipos de fontes e procedimentos energéticos renováveis. Como por exemplo: energia solar com suas variações, como a energia fotovoltaica, a termossolar, energia eólica; uso de biomassa para a produção de eletricidade e cogeração; hidroeletricidade e; energia dos oceanos. Ressalta-se que nem todas estas formas de geração são consideradas limpas, ou seja, formas que não causam efeitos prejudiciais ao meio-ambiente.

Dentre as fontes de energia renovável limpas estão, sobretudo, a energia solar e a eólica. A energia eólica, segundo a Câmara dos Deputados (CD, 2012), provém da energia cinética do ar em movimento (o vento), captada pelas turbinas de um equipamento utilizado para este fim que possui um rotor que está ligado a um gerador elétrico, seja de forma direta ou por intermédio de uma caixa de engrenagens específica.

Por outro lado, a energia solar se secciona em três vertentes: a fotovoltaica, a termossolar e a solar termoelétrica. Cada uma possui suas especificidades e no presente trabalho, como aludido, será salientado o uso da energia fotovoltaica para produção e fornecimento de energia sustentável em âmbito residencial.

O Brasil possui características muito favoráveis ao desenvolvimento qualitativo de meios renováveis de produção de energia, sobretudo, a eólica e a solar. Essas especificidades, como clima quente e alto índice de insolação ao longo do ano, compõem um quadro altamente favorável ao aproveitamento, em larga escala, por exemplo, da energia solar, conforme menciona a Petrobras (2006) em seu site.

Como se pode observar na Figura 5, a região com menor índice de irradiação solar no Brasil tem 40% de incidência de raios solares a mais do que em regiões da Alemanha, que é um dos maiores produtores de energia solar. Isso levanta a questão sobre qual a razão de não haver um desenvolvimento e uma aplicação representativa do meio renovável de produção energética pela luz solar no Brasil, já que o referido país é tão propício a esta forma de produção de energia (SOLARGIS, 2013).

Figura 5. Mapa dos graus de irradiação solar no Brasil



Fonte: SOLARGIS (2013).

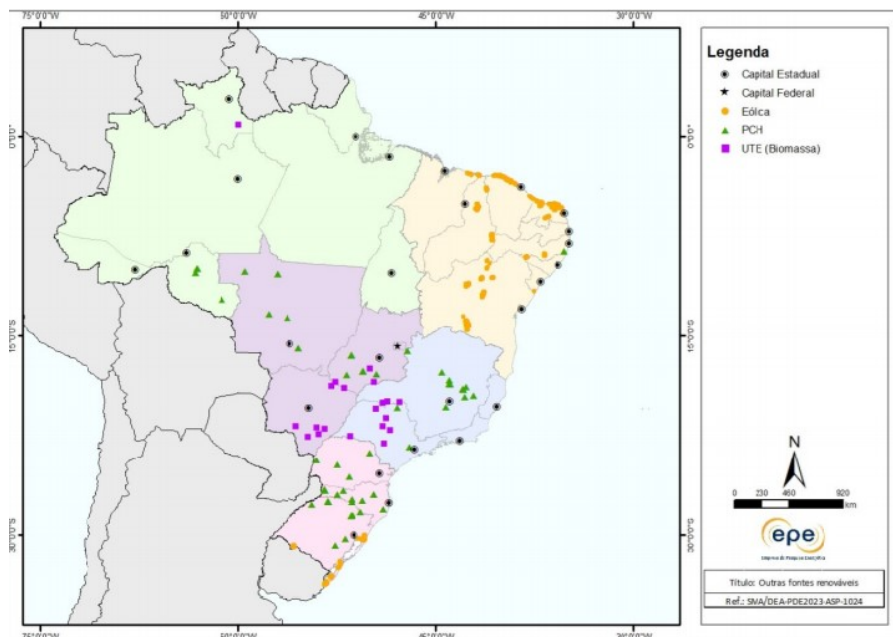
Sobre o uso da energia solar no Brasil, aos poucos o quadro começa a se transformar. As casas populares do Programa Minha Casa Minha Vida, em sua grande maioria, possuem painéis fotovoltaicos para a produção de energia para as residências, por disposição do presidente da Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE, 2011), Dr. Maurício Tolmasquim, que informou que “os dois milhões de casas que serão construídas no Minha Casa, Minha Vida, terão coletores solares.” Assim, as técnicas desenvolvidas pela engenharia elétrica vêm “contrapor e tentar sobrepujar as altas tarifas impostas e cobradas aos consumidores pelo uso de energia elétrica concedida pelas concessionárias, em sua maioria, privadas de eletricidade”.

Em relação às demais fontes de energia renovável existentes no Brasil, serão tomadas as acepções e esclarecimentos do Relatório PDE 2023 (BRASIL, 2014) acerca de suas localizações e percentuais de incidências em território brasileiro.

Na Figura 6 estão dispostas a localização geográfica dos projetos de geração de energia renovável no Brasil, em conformidade com PDE 2023 (BRASIL, 2014). Estes projetos que foram georreferenciados e mapeados, se integraram ao sistema entre os anos 2014 e 2018. Projetos do tipo indicativo (ainda em trâmite), como nos casos de energia solar, não possuíam ainda local definido de instalação, assim, o relatório não os abarcou e por esta razão não foram mapeados.

Na Figura 6 estão dispostas a localização geográfica dos projetos de geração de energia renovável no Brasil.

Figura 6. Localização das fontes renováveis contratadas no horizonte de 2014 a 2018



Fonte: BRASIL (2014); IBGE (2009).

Desta forma são tratados três tipos de geração de energia, a saber: a eólica, a hidrelétrica por meio das PCH's (Pequena central hidrelétrica, usina de pequeno porte) e a termelétrica por meio das UTE (Usinas Termelétricas que trabalham com a geração de energia a partir da biomassa). É notável, pela observação da Figura 6, o grande volume de usinas eólicas na região Nordeste e alguns pontuais no Sul, a concentração de UTE que se utilizam da biomassa nas regiões Centro-Oeste e Sudeste e uma grande distribuição das PCH's (BRASIL, 2014; IBGE, 2009).

Com relação a energia eólica, o relatório em questão dispõe que esta vem estabelecendo nos últimos anos um papel importantíssimo como fonte de eletricidade, em razão de agregar numerosas vantagens quando comparada às energias tradicionais. Dentre as características mais positivas apontadas estão: implantação rápida e, de maneira geral, o impacto ambiental reduzido da construção dos parques eólicos, pontos que se apresentam enquanto vantagens relativas ao planejamento energético.

Em conformidade com o Relatório PDE 2023, as PCH's são construídas em rios de menor porte e possuem, assim, uma vantagem de poder se localizar em maior proximidade aos centros de carga. As PCH's representam um avanço e têm contribuído para exploração do potencial dos recursos hídricos do país de maneira mais sustentável, pois, suas características técnicas e sua menor área de inundação permitem uma redução nos impactos ambientais gerados quando comparados aos que as grandes UHE's (Usinas Hidrelétricas) propagam (BRASIL, 2014).

De maneira geral, as UTE's que se utilizam da biomassa para a produção de energia, vão usar, principalmente, os restos do processamento da cana de açúcar. Há outros tipos de termelétricas e processos de fissão nuclear para a produção energética através da produção de calor.

É importante mencionar que existem diversos estudos em andamento que mapeiam e monitoram o potencial eólico e solar no país (UDOP, 2011). O PDE 2023 (BRASIL, 2014), aponta que energia solar estabelece e assume papel de destaque na matriz elétrica brasileira no médio prazo (10 anos). É notável que a expansão nacional para o desenvolvimento destes projetos solares previstos no relatório é superior a, por exemplo, a geração de energia termelétrica com o uso da biomassa e as PCH's, que já são bases energéticas consolidadas no país.

Mesmo sem o mapeamento dos parques de geração de energia elétrica por energia solar, há uma grande representatividade deste tipo de produção energética no setor residencial brasileiro. Um exemplo básico é o uso dos painéis fotovoltaicos para a captação de energia solar a ser transformada em energia elétrica que são utilizados em larga escala nos atuais projetos residenciais do Programa Minha Casa Minha Vida.

De maneira geral, existe uma grande e expressiva participação do setor residencial no consumo de energia elétrica no geral. Quando comparados os valores de consumo energético entre os setores da sociedade, o consumo das residências só perde para os gastos energéticos industriais. Como pode ser observado na Tabela 1, a evolução do consumo se apresenta crescente para o setor residencial, assim, se tornando objeto de intensa atenção no que diz

respeito ao desenvolvimento de fontes renováveis de geração de energia que supram a necessidade deste setor.

Tabela 1. Consumo de eletricidade na rede por classe

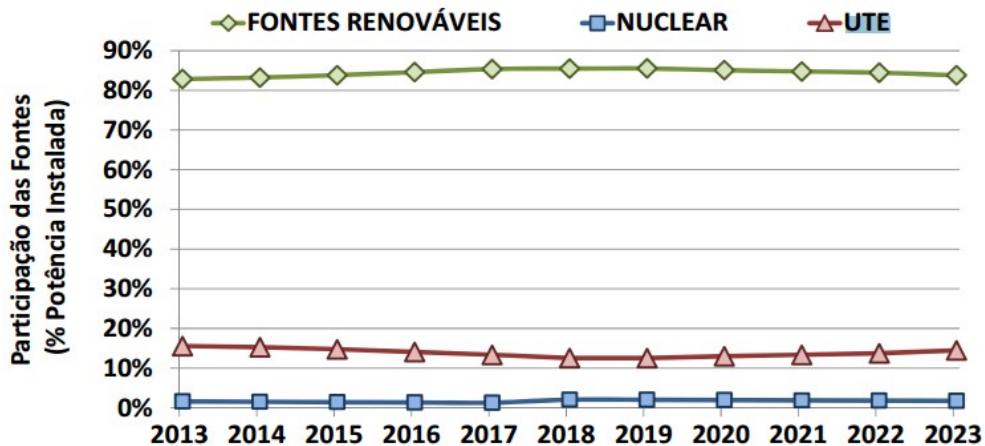
Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outros	Total
	GWh				
2014	129.983	191.333	87.378	72.691	481.385
2018	154.879	222.148	108.359	83.271	568.657
2022	189.934	257.714	142.660	98.682	688.990
Período	Variação (% a.a.)				
2013-2018	4,4	3,8	5,3	3,4	4,2
2018-2023	4,2	3,0	5,7	3,5	3,9
2013-2023	4,3	3,4	5,5	3,4	4,0

Fonte: BRASIL (2014).

Com relação à instalação de parques solares para a geração representativa de energia elétrica a partir da irradiação solar, esta tem previsão para se estabelecer nas regiões Nordeste, com 80% da geração, e Sudeste, com 20%, em conformidade com o PDE 2023 (BRASIL, 2014).

Sobre as porcentagens de incidência das fontes de geração de energia no Brasil se tem o gráfico da Figura 7, que dispõe sobre o nível de participação dos diferentes tipos de geração energética na matriz brasileira.

Figura 7. Evolução da participação das fontes na capacidade instalada de cada ano



Fonte: BRASIL (2014).

Dando um enfoque central nos dados observáveis acerca da geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis, a participação destas na matriz energética do Brasil se estabelece em valores acima de 80%, o que demonstra não somente a potencialidade destas fontes, mas também a necessidade do maior desenvolvimento e fomento das mesmas em território nacional, sobretudo, as que se colocam como totalmente limpas.

A energia eólica e a energia solar produzem impactos diversos no que se refere a sua implantação. No caso da primeira, os parques eólicos até então instalados não causaram prejuízos ambientais significativos no que diz respeito à flora e fauna. No caso da segunda, por seu uso até o momento estritamente comercial e residencial não existem impactos ambientais diretos, mas há problemáticas socioambientais que recaem sobre os lugares em que serão implantados os parques solares para geração de energia, desta forma, a localização dos parques de geração deve ser analisada com minúcia para que a implantação seja benéfica em sua totalidade.

Especificamente sobre as fontes renováveis o Relatório PDE 2023 (BRASIL, 2014), traz informações sobre a evolução crescente da capacidade de geração energética, como pode ser visto na Tabela 2. Nota-se que a geração por usinas hidrelétricas ainda é a mais representativa em território brasileiro com uma tendência crescente de aplicação, mas acompanhada do advento exponencial das fontes renováveis menos impactantes ambientalmente falando, como a eólica e a solar.

Tabela 2 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração.

FONTE	2013 ^(a)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	MW										
RENOVÁVEIS	103.399	110.335	118.653	125.444	133.193	142.849	146.046	149.740	154.472	158.947	164.135
HIDRO ^(a)	79.913	82.629	87.183	92.193	96.123	100.935	101.874	103.344	106.167	108.941	112.178
IMPORTAÇÃO ^(b)	6.120	6.032	5.935	5.829	5.712	5.583	5.441	5.285	5.114	4.925	4.716
OUTRAS	17.366	21.674	25.535	27.422	31.358	36.331	38.731	41.111	43.191	45.081	47.241
PCH	5.308	5.538	5.671	5.701	5.854	6.289	6.439	6.619	6.799	6.919	7.319
EÓLICA	2.191	5.452	9.019	10.816	14.099	17.439	18.439	19.439	20.439	21.439	22.439
BIOMASSA	9.867	10.684	10.845	10.905	10.905	11.603	12.353	13.053	13.453	13.723	13.983
SOLAR	0	0	0	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
NÃO RENOVÁVEIS	21.397	22.224	22.843	22.843	22.843	24.248	24.748	26.248	27.748	29.248	31.748

Fonte: BRASIL (2014).

É notável, através da interpretação da Tabela 2, que existe uma projeção, uma possibilidade de expansão para a geração energética por meio da radiação solar e que até o ano de 2016, a produção numa abordagem nacional não era representativa, ou seja, a implantação dos projetos dos parques solares possui uma ambiência posterior ao ano de 2016, mas as projeções são otimistas e crescentes, aludindo ao novo papel deste tipo de geração energética na matriz produtora nacional.

Desta forma, feito o delineamento acerca das fontes renováveis que mais são utilizadas para a geração de energia elétrica no Brasil e ambientando sobre as possibilidades e projeções que se apresentam para a energia eólica e energia solar, será feita uma abordagem enfocando ambas. Primeiramente será abordada a energia eólica e, em seguida, a energia solar em sua vertente de geração fotovoltaica, que é um dos focos centrais do trabalho que aqui se apresenta.

3.2 FONTES RENOVÁVEIS

Por conta do aumento das discussões a respeito da sustentabilidade, cada vez mais a utilização de fontes de energia renováveis é compreendida como alternativa essencial para a humanidade.

O desenvolvimento da humanidade sempre teve relação com a capacidade do homem de captar e utilizar da melhor forma possível os recursos que precisava. Como exemplo disso, sua capacidade de dominar o fogo e domesticar animais foi essencial para a transição de sua existência nômade para o estabelecimento de sociedades. A energia foi utilizada durante muito tempo para cozinhar, aquecer e criar materiais. O aspecto que define a riqueza destas civilizações tem relação com sua capacidade de acesso e controle da energia que tinha disponível (FAPESP, 2007).

Com o advento da Revolução Industrial, a humanidade passou a utilizar sua energia de diferentes maneiras, através da modernização das máquinas e equipamentos. O padrão de vida do homem muda, de acordo com estas evoluções e a utilização da energia também; agora o homem utiliza a energia para seu conforto, para aquecer a casa no inverno, refrescar no verão, ter iluminação e seus equipamentos elétricos funcionais (FAPESP, 2007).

Essas modificações só foram possíveis pelo desenvolvimento da capacidade do homem de utilizar sua energia com mais destreza. O avanço tecnológico permitiu ao homem desenvolver novos meios para obter e explorar as fontes de energia. De acordo com a FAPESP (2007), o consumo atual de energia no mundo equivale a cerca de dezessete bilhões de cavalos trabalhando durante 24 horas por dia, todos os dias. Enquanto que para sustentar um homem por um dia, é necessário um consumo entre 2000 a 3000 quilocalorias. Um cidadão dos Estados Unidos consome, por dia, o que equivale a 230.000 quilocalorias.

Este padrão de consumo não é considerado sustentável; o modo como a energia é utilizada, e a dependência do homem de combustíveis fósseis acabam trilhando caminhos que

levam a degradação do meio ambiente e o esgotamento das fontes de energia (FAPESP, 2007).

Assegurar o acesso a recursos vitais de energia, principalmente de petróleo e gás natural, tornou-se um fator definitivo nos alinhamentos políticos e estratégias. O acesso iníquo à energia, principalmente das pessoas em áreas rurais dos países em desenvolvimento, e a consequente exaustão das fontes baratas de energia terão profundos impactos sobre a segurança internacional e sobre a prosperidade econômica (FAPESP, 2007, p. 16).

De forma a compreender melhor a utilização de energia no planeta, estudos apontaram que metade das reservas de petróleo disponíveis já foram utilizadas, e o que sobrou para a utilização estaria estimado com uma duração de cerca de 50 anos; o mesmo ocorre com o gás natural, que também tem seu tempo de uso estimado em cerca de 60 anos até acabar totalmente, visto que também é uma fonte de energia não-renovável. Alternativas como a utilização de reservas de carvão também são possibilidades para determinados países, porém, sua utilização apresenta altos níveis de poluição e é prejudicial ao meio ambiente (GOLDENBERG; LUCON, 2007).

Apesar desta realidade, existem alternativas sustentáveis que são consideradas a chave para a prosperidade humana no que se refere à utilização de energia. Para que isso seja uma realidade, são necessárias políticas que incentivem a adoção do uso de fontes de energia renováveis e sustentáveis, que gerem ações que otimizem o uso da energia (FAPESP, 2007).

O conceito de sustentabilidade energética diz respeito à necessidade de oferecer de forma adequada energia que seja capaz de atender as necessidades das pessoas de forma que isso seja realizado de forma a não agredir o meio ambiente e a integridade deste sistema, evitando os desastres ambientais; que seja capaz de atender a todas as pessoas do mundo, afinal, muitas pessoas ainda não tem acesso às formas atuais de utilização de energia e de forma que reduza os riscos referentes à segurança e conflitos geopolíticos que podem ocorrer devido à competição pelos recursos energéticos (FAPESP, 2007).

De acordo com Villalva e Gazoli (2012), o Sol é a principal fonte de energia do nosso planeta, a superfície da Terra recebe atualmente uma quantidade de energia solar, nas formas de luz e calor, suficiente para suprir milhares de vezes às necessidades mundiais durante o mesmo período. Ainda de acordo com os autores apenas uma pequena parcela dessa energia é aproveitada, mesmo assim, com poucas exceções, praticamente toda energia usada pelo ser humano tem origem no Sol. A energia da biomassa, ou da matéria orgânica, tem origem na energia do Sol através da fotossíntese, que é a conversão da energia captada da luz solar em

energia química. A energia da água dos rios, usada para mover as turbinas de usinas hidrelétricas, tem origem na evaporação, nas chuvas e no degelo provocado pelo calor do Sol. A energia dos ventos tem origem nas diferenças de temperatura e pressão na atmosfera ocasionada pelo aquecimento solar. Os combustíveis fósseis como carvão, o gás natural e o petróleo também têm origem na energia solar, pois são resultado da decomposição da matéria orgânica produzida há milhões de anos (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A utilização de fontes de energia renováveis como a luz solar, é importante para promover as metas de sustentabilidades atualmente propostas, além de outros motivos:

Benefícios ambientais e de saúde pública: Na maioria dos casos, as modernas tecnologias de energia renovável geram emissões muito mais baixas (ou quase nulas) de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos convencionais, em comparação com as alternativas de combustível fóssil; outros benefícios podem envolver necessidades menores no uso de água e tratamento de resíduos, bem como impactos evitados de mineração e prospecção.

Benefícios de segurança energética: Recursos renováveis reduzem a exposição à escassez de oferta e à volatilidade dos preços nos mercados de combustíveis convencionais; também oferecem um meio para muitos países diversificarem os seus suprimentos de combustível e para reduzir a dependência das fontes estrangeiras de energia, incluindo a dependência do petróleo importado.

Desenvolvimento e benefícios econômicos: O fato de muitas tecnologias renováveis poderem ser implantadas gradativamente, em aplicações isoladas de pequena escala, faz com que sejam adequadas para os contextos dos países em desenvolvimento, em que existe uma necessidade urgente de estender o acesso aos serviços de energia nas zonas rurais; além disso, uma maior dependência dos recursos renováveis nacionais pode reduzir a transferência de pagamentos por energia importada e estimular a criação de empregos (FAPESP, 2007, p.186).

Algumas questões podem ser levantadas quando se pensa na utilização destas fontes de energias, como, por exemplo, a densidade do recurso que está sendo utilizado e o custo da aplicação das ferramentas necessárias para sua captação. Ainda assim, a instalação de painéis solares é considerada como promissora (FAPESP, 2007).

As tecnologias utilizadas para a captação da energia solar utilizam semicondutores que convertem fótons de luz em eletricidade. Foi possível notar, entre os anos de 2000 e 2004 um aumento de cerca de 60% na utilização desta tecnologia como forma de obtenção de energia. Ainda assim, as estimativas a respeito da utilização da energia solar dependem de fatores políticos e orçamentários (FAPESP, 2007).

Para diminuir os custos relacionados à utilização desta tecnologia, em curto prazo, é preciso realizar pesquisas que objetivem o aperfeiçoamento tecnológico dos componentes dos equipamentos utilizados, como tecnologias relacionadas a produção de células, desenvolvimento de tecnologias de filmes finos, que são responsáveis por diminuir a

quantidade de material utilizado para a fabricação dos painéis, entre outras ações. Em longo prazo, a construção de usinas que utilizem energia solar fotovoltaica em ambientes abertos como desertos, e a construção de linhas de transmissão capazes de levar esta energia captada aos centros populacionais é uma das opções, porém esta opção é ambiciosa e exige muito planejamento (FAPESP, 2007).

4 RADIAÇÃO SOLAR

A captação da energia solar para sua utilização como fonte de energia elétrica e térmica, por exemplo, tem grande potencial como uma alternativa aos métodos atuais de produção de energia baseados em recursos não renováveis e limitados (PINHO; GALDINO, 2014).

O Sol se constitui de núcleo, zona radiativa, zona convectiva, fotosfera, cromosfera e coroa; e gera energia através de reações termonucleares em seu núcleo que apresenta temperaturas em torno de 15 milhões de Kelvin. A zona radiativa é responsável pela condução da energia produzida no núcleo para as outras regiões. A zona convectiva é responsável pela condução do calor das partes mais internas para as externas através de fluidos. A fotosfera apresenta 330 km de espessura e uma temperatura de cerca de 5.800 K, e é a parte do Sol que é possível visualizar (PINHO; GALDINO, 2014).

Esta zona tem a aparência da superfície de um líquido em ebulição, repleta de bolhas, que são chamadas de grânulos fotosféricos. Estes grânulos têm em torno de 1.500 km de diâmetro e duram cerca de 10 minutos cada. Estas zonas granulares representam os processos convectivos do gás quente, que emerge da camada convectiva para a fotosfera. As regiões mais escuras entre os grânulos são zonas onde o gás mais frio e mais denso flui novamente para o interior do Sol. A fotosfera é a fonte de maior parte da radiação visível que é emitida pelo Sol. Um dos fenômenos fotosféricos mais notáveis é o das manchas solares, que são regiões mais frias que a fotosfera solar, possuindo uma temperatura de cerca de 3.800 K na região central, chamada de umbra e pouco mais elevada na parte periférica, denominada penumbra. As manchas solares são indicadores de intensa atividade magnética presente no Sol e seguem um ciclo de onze anos em que o número de manchas varia entre máximos e mínimos (PINHO; GALDINO, 2014).

A cromosfera é uma região não visível, por apresentar baixa intensidade de irradiação; sua temperatura varia entre 4.300 K e 40.000 K. A coroa solar é a camada mais externa do Sol; sua visualização só é possível em casos de eclipse, quando é possível verificar seu brilho (PINHO; GALDINO, 2014).

Villalva e Gazoli (2012), afirmam que a energia do Sol é transmitida para o nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de ondas diferentes. De acordo com Pinho e Galdino (2014), a *radiação solar* pode ser medida em fluxo de potência quando se trata de irradiância solar, ou em energia por unidade de área, quando se trata de irradiação solar. Villalva e Gazoli (2012), apontam que a energia que uma onda pode

transmitir está associada à sua frequência. Quanto maior a frequência, maior a energia transmitida. O comprimento da onda eletromagnética é inversamente proporcional à frequência. A equação de Planck ou equação de Planck-Einstein mostra a relação entre a frequência e energia de uma onda eletromagnética:

$$E = h.f \quad (1)$$

Onde: E é a energia da onda (expressa em joules [J] ou elétrons-volt [eV]), f , sua frequência (expressa em hertz [Hz]), e h , uma constante de Planck, que vale aproximadamente $6,636.10^{-34}[J.s]$. A luz viaja com uma velocidade constante no vácuo. A fórmula matemática apresentada na equação (1) relaciona a frequência, o comprimento da onda e a velocidade da onda eletromagnética:

$$c = \lambda.f \quad (2)$$

Onde: c é a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente $300.000km/s$), λ é o comprimento da onda (expressa em submúltiplos de metros) e f é a frequência da onda (em hertz).

É possível medir a densidade média anual do fluxo de energia resultante da radiação solar sobre a terra a partir da chamada *constante solar* e é representada pelo valor de $1.367 W/m^2$ (PINHO; GALDINO, 2014).

Considerando que o raio médio da Terra é $6.371 km$, e considerando o valor da irradiância de $1.367 W/m^2$ incidindo sobre a área projetada da Terra, se conclui que a potência total disponibilizada pelo Sol a Terra, no topo da atmosfera, é de aproximadamente 174 mil TW (terawatts) (PINHO; GALDINO, 2014).

A partir destes números, Pinho e Galdino (2014) apontam que, a energia consumida por todas as pessoas da Terra no ano de 2011 chegou a aproximadamente 143 mil TWh, portanto, a energia solar que chega à Terra num período de duas horas supre este valor.

A captação da energia solar para sua transformação em energia elétrica é realizada através de uma superfície responsável pela captação dos raios; esta se constitui de dois componentes, um direto e um difuso. A radiação direta se caracteriza por aquela que se origina diretamente do Sol, capaz de produzir sombras nítidas; enquanto que a radiação difusa não se origina de uma fonte central, mas sim de todas as direções. Como exemplo disso, em

um dia totalmente nublado, não é possível receber radiação direta, portanto a radiação recebida é totalmente difusa.

Por conta desta característica, a radiação solar é afetada por componentes do solo e da atmosfera, e dependem da espessura da camada atmosférica, do ângulo zenital, da distância entre o Sol e a terra e das condições meteorológicas. A espessura da camada atmosférica é também chamada de massa de ar, e pode ser considerada como a distância em comprimento que a radiação solar irá precisar atravessar para atingir a superfície da Terra (PINHO; GALDINO, 2014).

A equação que determina a massa de ar depende do ângulo zenital, que acima de 70° deve considerar também os efeitos da curvatura da Terra; em ângulos entre 0° e 70°, de acordo com Pinho e Galdino (2014), a equação é representada por:

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (3)$$

Quando a massa de ar é igual a 1, é representada por AM1, e isso ocorre quando o Sol está no Zênite. Em outros casos, como, por exemplo, quando o ângulo zenital é igual a 60°, denomina-se AM2 (PINHO; GALDINO, 2014).

As ondas eletromagnéticas vindas do Sol podem produzir efeitos sobre os objetos e os seres vivos, uma pequena parte das ondas pode ser captada pelo olho humano e representa o que chamamos de luz visível. Outra parte da radiação solar não pode ser vista pelo olho humano e pode ser percebida de outras formas. O espectro de radiação solar é o conjunto de todas as frequências magnéticas emitidas pelo Sol. Todo espectro de radiação, incluindo as ondas visíveis ao olho humano e as não visíveis, transporta energia que pode ser captada na forma de calor ou luz (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

5 EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico foi descoberto no ano de 1839 por Edmond Becquerel, quando percebeu uma diferença gerada pela exposição à irradiação solar nas extremidades de uma célula eletroquímica. No ano de 1876 foi construído o primeiro aparelho de energia fotovoltaica, porém apenas no ano de 1956 que esta tecnologia começou a ser fabricada em escala industrial (PINHO; GALDINO, 2014).

A descoberta do efeito fotovoltaico¹ permitiu a conversão da energia libertada pelo Sol, sob a forma de radiação solar, diretamente em energia elétrica a ser utilizada diretamente na aparelhagem elétrica de uma residência ou de um edifício, seja ele de qual tipo for, ou ainda ser usada por meio de armazenagem (DUARTE, GOES, AGUIAR, 2007).

O que impulsionou a busca por este tipo de tecnologia, inicialmente, foram as empresas de telecomunicações que buscavam por fontes de energia alternativas para seus sistemas que eram instalados em localidades distantes; a corrida espacial também foi um fator importante para o aumento da busca deste tipo de tecnologia, pois era considerada o melhor método de fornecimento de energia durante longos períodos para os equipamentos que eram enviados ao espaço (PINHO; GALDINO, 2014).

No ano de 1973, a crise do petróleo aumentou a busca pela energia solar fotovoltaica como alternativa para alimentação dos equipamentos terrestres. Apesar disso, ainda era uma alternativa de alto custo e para a realidade da época era preciso diminuir muito o custo da produção dos painéis para que sua aplicação fosse viável. Empresas de petróleo aderiram a este método de produção de energia para suas empresas, como uma forma de tentar alternativas para seus negócios (PINHO; GALDINO, 2014).

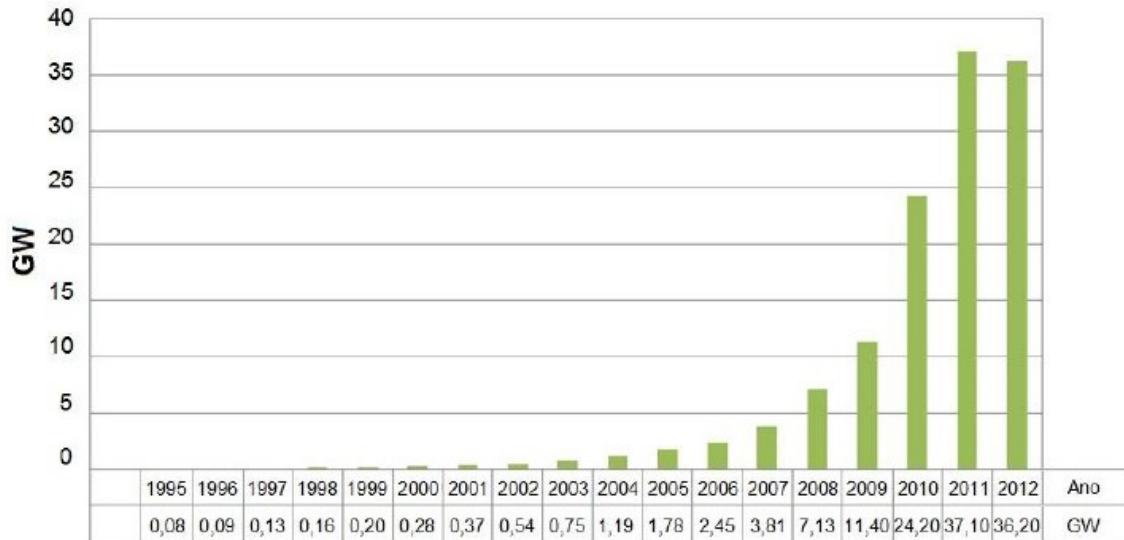
Em 1998, a produção das células fotovoltaicas aumentou, atingindo 150 MWp, e tendo o silício como material principal de sua produção. O fator responsável pelo desenvolvimento do interesse por este tipo de tecnologia foi o aumento da produção na China, tornando o país líder na fabricação destes painéis no ano de 2009 (PINHO; GALDINO, 2014).

A utilização de energia solar como fonte de produção de energia elétrica é pouco aproveitada apesar de sua abundância; porém, esta realidade vem sendo modificada, pois cada vez mais a utilização de fontes limpas de energia vem sendo necessária por conta do aumento populacional e altos índices de poluição, além da escassez das fontes de energia não renováveis (PINHO; GALDINO, 2014).

¹ “[...] os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, através do uso de células solares” (ANDREAZZI, 2008, p. 34).

A Figura 8 mostra o aumento da produção de células fotovoltaicas ao longo de 17 anos.

Figura 8. Produção de células fotovoltaicas



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

Especialmente na Ásia, a produção de células fotovoltaicas tem crescido exponencialmente, por conta das políticas favoráveis e os baixos custos de produção. Na China, o governo incentiva a utilização deste tipo de tecnologia, além de incentivar a produção para exportação. Em outros países, o custo das células fotovoltaicas ainda é um dos fatores que impede o crescimento da utilização desta tecnologia, especialmente em larga escala. Apesar disso, a tecnologia vem apresentando queda nos custos, enquanto outras fontes de energia têm seus custos cada vez maiores; portanto a utilização da energia solar vem se tornando cada vez mais acessível (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Arantequi e Janger-Waldau (2017), em 2015 houve uma produção global de células fotovoltaicas entre 56 GW a 61 GW com aumento em 2016 entre 65-76 GW mostrando o rápido crescimento e produção dos componentes fotovoltaicos.

5.1 FUNCIONAMENTO DO EFEITO FOTOVOLTAICO: CÉLULAS FOTOVOLTAICAS EM FOCO

O Efeito Fotovoltaico é o que se denomina quando a energia solar é diretamente transformada em energia elétrica e ocorre a partir de materiais semicondutores, caracterizados pela existência de bandas de energia, uma composta por elétrons e a outra vazia. O material

mais utilizado para este fim é o silício. Os átomos deste material possuem quatro elétrons que fazem ligação com os que estão ao redor, criando uma rede. Quando são adicionados átomos de cinco elétrons em ligação, um dos elétrons ficará sobrando e este não possui uma forte ligação com seu átomo de origem, por conta desta característica, com pouca energia térmica, este elétron se move para a banda vazia. O fósforo pode ser utilizado como um exemplo de átomo de cinco elétrons, e pode ser chamado de dopante doador de elétrons, ou dopante n (CRESESB, 2005).

A introdução de átomos de três elétrons caracteriza uma falta de elétron, o que é chamado de lacuna; nesta situação, com pouca energia térmica, um elétron que esteja ao redor pode se mover para ocupar esta posição, deslocando a lacuna. O boro pode ser utilizado neste exemplo como o átomo de três elétrons, e é chamado de aceitador de elétrons ou dopante p (CRESESB, 2005).

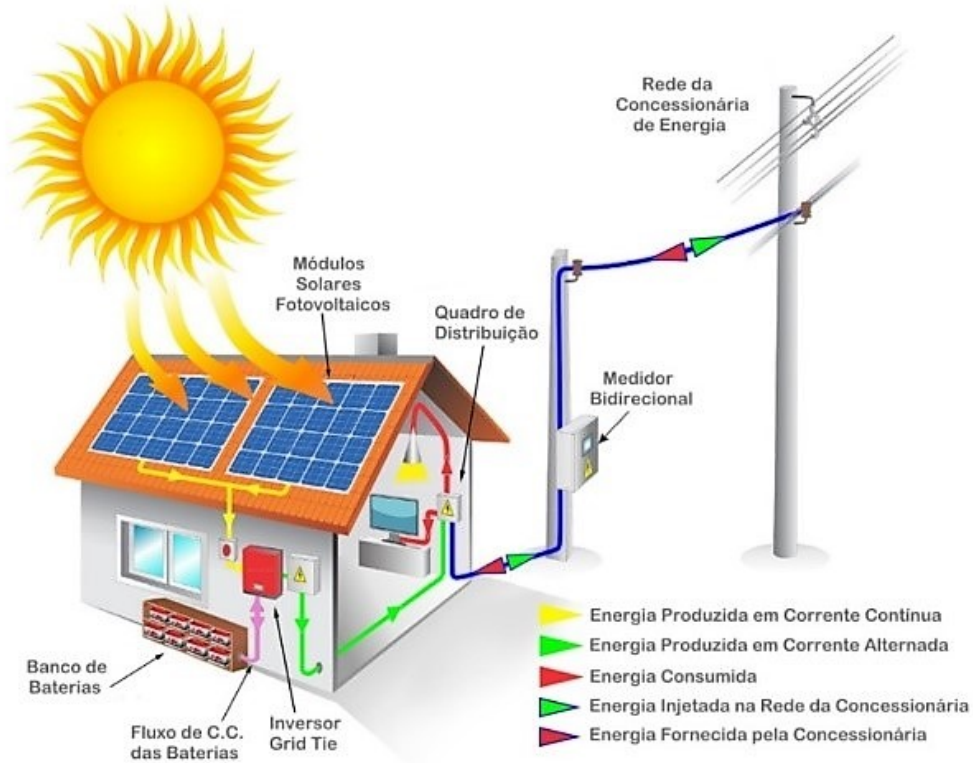
No caso da adição de átomos de fósforo e boro em um silício puro, ocorre a junção pn. Neste caso, os elétrons que se encontram livres no lado n, se movem para o lado p onde existem as lacunas. Isso resulta em um acúmulo de elétrons no lado p, o que o torna carregado negativamente, e a redução de elétrons no lado n o caracteriza como eletricamente positivo. As cargas que ficam aprisionadas criam um campo elétrico que torna difícil o trânsito de elétrons do lado n ao lado p, ocorre um equilíbrio quando este campo consegue barrar os elétrons livres que permanecem do lado n (CRESESB, 2005).

Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o *gap*, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de *Efeito Fotovoltaico*. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas (CRESESB, 2005, p. 14).

Um sistema fotovoltaico é composto por um bloco gerador, um bloco de condicionamento e potência e um bloco de armazenamento. O bloco gerador contém os arranjos fotovoltaicos, constituídos por módulos fotovoltaicos em diferentes associações, o cabeamento elétrico que os interliga e a estrutura de suporte. O bloco de condicionamento de potência pode ter conversores c.c.-c.c., seguidor de ponto de potência máxima (SPPM) e inversores, controladores de carga (se houver armazenamento) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Finalmente, o bloco de armazenamento é constituído por

acumuladores elétricos (baterias) e/ou outras formas de armazenamento (PINHO; GALDINO, 2014), Figura 9.

Figura 9. Exemplificação do funcionamento de um sistema de energia fotovoltaica.



Fonte: BIGSUN (2019).

Os painéis funcionam da seguinte forma: as partículas de fótons levam em cerca 8 minutos e 20 segundos para percorrer a trajetória do sol até a terra, quando estas partículas atingem as células fotovoltaicas, elas fazem com que alguns dos elétrons que circundam os átomos se desprendam. Os elétrons, que agora se encontram livres, migram através da corrente elétrica, para a parte da célula de silício que está com ausência de elétrons. Durante o dia, os elétrons irão fluir em uma direção constante, deixando átomos e preenchendo lacunas em átomos diferentes. Este fluxo de elétrons cria uma corrente elétrica, a energia solar fotovoltaica. Sendo assim, pode-se afirmar que a energia solar é a solução ideal para áreas afastadas dos centros urbanos, que ainda não possuem eletricidade, especialmente num país como o Brasil onde se encontram grandes índices de insolação em qualquer parte do território. (BRAGA, 2008).

A composição de um módulo fotovoltaico é de células fotovoltaicas que se conectam a sistemas que produzem tensão e correntes de energia enquanto protegem as células. As células são conectadas em série, de forma que sejam somadas suas tensões, tais células são extremamente frágeis e precisam ser protegidas por placas (PINHO; GALDINO, 2014).

A célula fotovoltaica, conforme dispõe o IEA (2010), é o componente básico e principal do sistema de painéis fotovoltaicos e, além disso, constitui-se de material semicondutor que converte a energia solar em eletricidade em corrente elétrica contínua. Estas devem estar interconectadas para formar um módulo, o chamado painel fotovoltaico, cuja capacidade típica, segundo o IEA, situa-se entre 50 e 200 watts de potência. Esses painéis podem ser combinados com outros componentes, como os inversores e as baterias, de acordo com a aplicação e a situação desejadas.

Em conformidade com os autores Pinto et al. (2015), observa-se que a produção de eletricidade através da energia solar faz-se possível através do uso de células fotovoltaicas ou pelo aquecimento de um fluido. E assim, sobre cada uma destas formas, tem-se os seguintes entendimentos:

- Energia solar fotovoltaica: as células fotovoltaicas utilizadas para a captação de raios solares para a produção energética renovável são constituídas por sílica, fósforo e boro que, quando recebem os raios originam a produção de eletricidade, esta pode ser armazenada numa bateria ou injetada diretamente na rede elétrica através da utilização de um inversor;

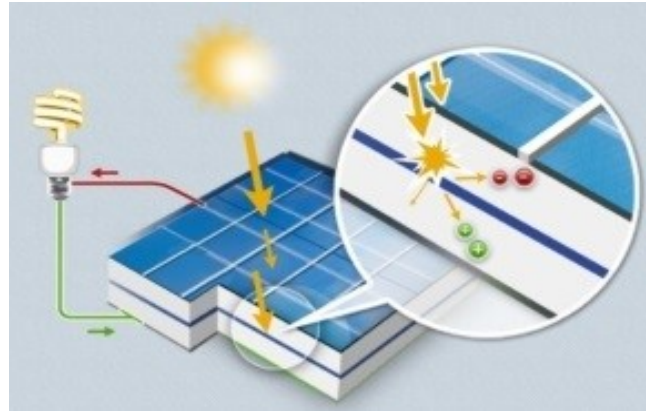
- Energia solar pelo aquecimento de fluidos: usam-se espelhos que evidenciam a concentração de luz solar para promover o aquecimento de um determinado fluido para gerar vapor e isto faz rodar pás de uma turbina a vapor produzindo, portanto, eletricidade.

É necessário ainda, destacar e compreender que entre os vários processos de aproveitamento da energia solar entende-se que os mais usados atualmente são: o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica (FRAIDENRAICH, 2006).

As células variam de temperatura de acordo com a radiação que incide sobre elas e a variação de temperatura do ambiente em que se instalam; conforme a célula aumenta a temperatura, a tensão produzida por ela diminui, porém isso depende da tecnologia empregada na célula (PINHO; GALDINO, 2014).

As ondas eletromagnéticas, ao incidirem sobre determinados materiais, em vez de transmitir calor, podem produzir, alterações nas propriedades elétricas ou originar tensões ou correntes elétricas. Existem diversos efeitos da radiação eletromagnética sobre os corpos, sendo dois deles os efeitos fotovoltaico e fotoelétrico, como é mostrado na Figura 10.

Figura 10. Efeito Fotovoltaico.



Fonte: Simões(2017).

O efeito fotovoltaico, que é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade, consiste na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica por meio da criação de uma diferença de potencial, sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores. Se a célula for conectada a dois eletrodos, haverá tensão elétrica sobre eles. Se houver um caminho elétrico entre os dois eletrodos, surgirá uma corrente elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os componentes de uma célula fotovoltaica são os materiais semicondutores e os contatos metálicos. De acordo com Nascimento (2004), as células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, um material com características entre um condutor e um isolante, o mais visado e utilizada na composição dos mais diversos tipos de células fotovoltaicas ou fotoelétricas é o silício. Além destes materiais semicondutores, a célula fotovoltaica apresenta dois contatos metálicos ou eletrodos (um positivo e um negativo), para fechar o circuito elétrico, como pode ser analisado na Figura 11.

Módulos fotovoltaicos são fabricados com células de silício, que tem características semicondutoras. O silício é um dos elementos mais abundantes no nosso planeta, corresponde a aproximadamente 25% da massa da crosta terrestre. Encontrado em rochas e em minérios (quartzo, feldspato e mica), até a areia é em parte composta por silício.

O silício usado na fabricação de células e painéis fotovoltaicos é um elemento químico que possui 4 elétrons em sua camada de valência, estes quando se combinam acabam por formar cristais que em temperatura ambiente se comportam como isolantes, para aumentar a condutividade deste material e, assim, obter energia, é necessária a junção de outros átomos ao silício, sobretudo, os átomos de fósforo e boro (COLLARES-PEREIRA, 1998).

É pela junção desta duas partes, segundo Luque (2003), de silício com os demais átomos citados que a energia solar é absorvida pelas células que compõem os painéis fotovoltaicos e, assim, ocorre o efeito fotovoltaico que permite a transformação da energia solar em condução elétrica, isto ocorre porque esta absorção é alocada no semicondutor (camada de silício) e permanece dentro da célula enquanto houver radiação solar em razão dos eletrodos positivos e negativos presentes na composição desta que não deixam a corrente de elétrons escapar, portanto, fecham o circuito.

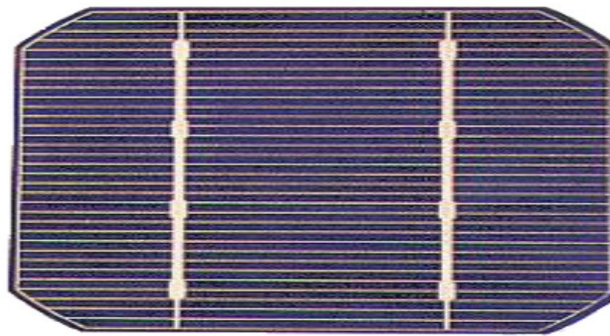
Vale salientar que a estrutura básica de produção energética destas células e dos painéis por elas compostos remetem e se parecem muito com qualquer circuito elétrico comum em seu layout de organização, o que diferencia são os processos fotoelétricos, em que ocorre o efeito fotovoltaico e a energia solar é convertida em energia elétrica.

O silício puro é um mau condutor elétrico por não conter elétrons livres. Com isso se realiza a dopagem. Acrescentando o fósforo ao silício, obtendo um material com elétrons livres, (silício tipo N). Agora dopando o silício com o material de nome Boro, temos um material com características inversas, portanto, um material com cargas positivas livres (silício tipo P). Portanto um painel solar é composto por células com uma camada fina do

material tipo N e uma maior do material tipo P. Que quando unidas (P-N), geram um campo elétrico devido a interação do silício tipo N com os vazios da estrutura do silício tipo P (LUQUE; HEGEDUS, 2011).

O silício monocristalino são blocos de silício ultrapuro, são aquecidos em altas temperaturas e submetidos a um processo de formação de cristal, o lingote é de silício, constituído de uma estrutura cristalina única e possui organização molecular homogênea, o que lhe oferece aspecto brilhante e uniforme. O lingote é serrado e fatiado para produzir os *wafers*, que não possuem as propriedades de uma célula fotovoltaica, para isso, recebem impurezas em ambas as faces, formando camadas de silício P e N que constituem a base para o funcionamento da célula fotovoltaica. Finalmente, a célula semiacabada recebe a película metálica em uma das faces, uma grade na outra face e uma camada de material antirreflexo na face que vai receber a luz (LUQUE; HEGEDUS, 2011). Observe a Figura 11.

Figura 11. Silício Monocristalino.



Fonte: CEPTEL, CRESESB (2020).

O silício policristalino, além do silício monocristalino, representa a base da tecnologia fotovoltaica de hoje. Ele oferece vantagens em relação ao silício monocristalino com relação aos custos de fabricação e tolerância à matéria-prima, no entanto, economias levemente reduzidas. Outra vantagem inerente do silício policristalino é a forma de bolacha retangular ou quadrada que proporciona uma melhor utilização da área do módulo em comparação com as bolachas monocristalinas (LUQUE; HEGEDUS, 2011), como pode ser verificado na Figura 12.

Figura 12. Silício Policristalino.



Fonte: CEPEL, CRESESB(2020).

6.1 ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DOS RAIOS SOLARES

O modo como os raios solares incidem sobre a superfície terrestre depende da posição do Sol no céu. Sabe-se que a posição do Sol varia ao longo do dia e do ano, sendo determinada pelos ângulos azimutal e zenital e pela altura solar.

Ângulo zenital é o ângulo que se forma entre os raios do Sol e a vertical local, chama de Zênite. A altura do Sol, importante para determinar a posição e a incidência dos raios solares, se calcula pelo ângulo que existe entre os raios do Sol e sua projeção sobre algum plano horizontal. O ângulo zenital e o ângulo determinado pela altura do Sol são complementares e resultam em um total de 90 graus (PINHO; GALDINO, 2014).

O ângulo azimutal do Sol é medido pelo ângulo existente entre a projeção dos raios solares em um plano horizontal e a direção norte e sul. O deslocamento angular é considerado positivo quando a projeção se apresenta à direita do Sul, e negativo quando à esquerda, quando verificado a partir do Norte (PINHO; GALDINO, 2014).

A inclinação da superfície de captação se dá pela determinação do ângulo da superfície e o plano horizontal. O ângulo de incidência representa o ângulo que se forma entre os raios solares e a superfície de captação determinada (PINHO; GALDINO, 2014).

Ao se considerar o ângulo da superfície e do Sol, é importante levar em conta o horário do Sol, pois este se movimenta 15° a cada hora solar. Existe uma diferença entre a hora que normalmente se utiliza para determinar o tempo no relógio e a hora solar; para conversão é preciso considerar a longitude entre o meridiano do observador e o padrão que baseia a hora. Pinho e Galdino (2014) apresentam a fórmula de conversão:

$$\text{Hora solar} - \text{Hora oficial} = 4(L_{\text{st}} - L_{\text{loc}}) + E \quad (4)$$

Na fórmula, L_{st} e L_{loc} são os valores que representam a longitude padrão e local, enquanto o 4 é o valor utilizado para converter tais valores em tempo. E é o valor que representa a equação do tempo, que é determinada pela equação (5):

$$E = (0,000075 + 0,001868\cos\Omega - 0,032077\text{sen}\Omega - 0,014615\cos 2\Omega - 0,04089\text{sen} 2\Omega) \times (229,18) \quad (5)$$

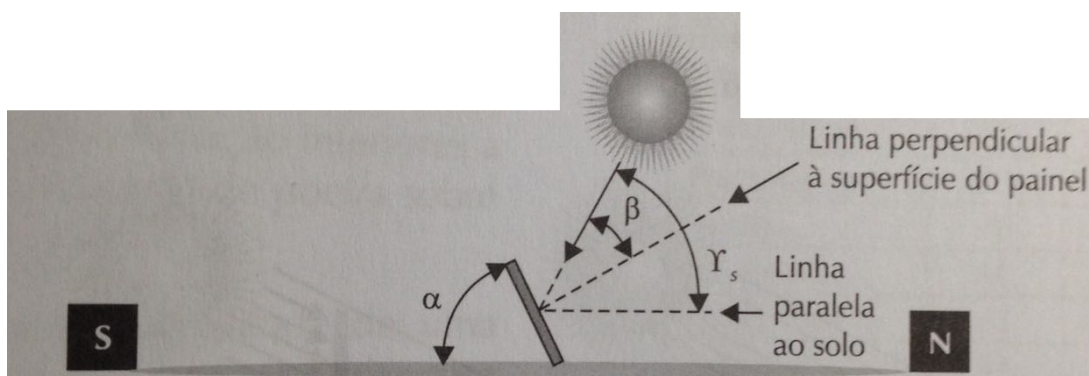
Sendo $\Omega = 2\pi (n-1) / 365$.

Neste caso, n representa o dia do ano em que se encontra, em contagem direta, sem separação de mês (PINHO; GALDINO, 2014).

Com isso, é possível verificar que muitos fatores podem ser considerados quando se trata da instalação do módulo em relação à incidência dos raios solares na região onde se encontra.

O módulo é instalado com ângulo de inclinação α em relação ao solo e tem sua face voltada para o norte geográfico, os raios solares incidem sobre a superfície do módulo com o ângulo de inclinação β , definindo em relação à reta perpendicular à superfície do módulo. Em cada dia do ano, conforme a altura solar γ_s varia, o módulo recebe os raios solares com uma inclinação β diferente. A Figura 13 mostra como incidem os raios solares em um módulo solar, o módulo é instalado com o ângulo de inclinação α em relação ao solo e tem sua face voltada para o norte geográfico (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Sendo: α ângulo de inclinação do painel, β ângulo de incidência do raio solar, γ_s ângulo da altura solar, Figura 13.

Figura 13. Incidência dos raios solares em um módulo solar.



Fonte: Villalva; Gazoli(2012).

6.2 CÁLCULO DA ENERGIA PRODUZIDA

Para o desenvolvimento de projetos que tem como objetivo captar a energia solar e transformá-la em energia elétrica, é importante compreender a medição da radiação solar. Tais medições são capazes de determinar a viabilização da instalação de painéis fotovoltaicos em determinadas regiões, de forma a maximizar os benefícios da tecnologia para aumentar o aproveitamento dos recursos (PINHO; GALDINO, 2014).

Os dados obtidos através da medição do recurso solar é uma informação essencial para:

Identificação e seleção da localização mais adequada para a instalação do sistema fotovoltaico; dimensionamento do gerador fotovoltaico; cálculo da produção de energia anual, mensal ou diária; estabelecimento de estratégias operacionais e dimensionamento do sistema de armazenamento (PINHO; GALDINO, 2014, p. 85).

No dimensionamento de sistemas fotovoltaico é muito importante saber determinar quanta energia é produzida diariamente por um módulo fotovoltaico. São dois métodos muito simples, para realizar o cálculo é necessário conhecer as condições de insolação do local e as características do módulo utilizado.

Segundo Villalva e Gazoli (2012), o método da insolação pode ser empregado no cálculo da energia produzida pelo módulo fotovoltaico quando se tem a informação sobre a energia do sol disponível diariamente no local da instalação, usando o sistema MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência do módulo) para isso. A informação sobre a energia solar diária é encontrada na forma da insolação, expressa em watt-hora por metro quadrado por dia ($Wh/m^2/dia$). Ao considerar o valor da energia do sol disponível diariamente como base para o cálculo, se espera extrair o máximo possível dessa energia. Nesse caso, a energia produzida é limitada apenas pela eficiência do módulo.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), os dois instrumentos mais utilizados para calcular a irradiação solar é o piranômetro, que mede a irradiação global e o pireliômetro, que mede a irradiação direta.

O piranômetro possui duas variações, o termoelétrico e o fotovoltaico. O piranômetro termoelétrico é usado para medir a irradiância solar direta e difusa, seu sensor é uma termopilha que fica dentro de duas semiesferas de vidro. O piranômetro fotovoltaico apresenta uma menor precisão no fornecimento dos dados, explicada por Pinho e Galdino (2014, p. 86):

Sua resposta espectral, a qual está limitada entre 400 a 1.100 nm para aqueles que adotam células de c-Si, introduzindo incertezas que podem chegar a 5% em relação

ao piranômetro termoeletrico (que responde até 2.500 nm). Porém sua vantagem inerente é o tempo de resposta praticamente instantâneo e linear com a irradiância.

Outra ferramenta de medição é o pireliômetro, que é utilizado para medir a irradiância direta, bloqueando a irradiância difusa. Este instrumento apenas tem a visão do disco solar e a região circumsolar. A irradiância difusa pode ser medida com um piranômetro com uma banda de sombreamento que bloqueia a radiação direta. É possível obter a componente direta ao medir com os dois tipos de piranômetro e subtrair os valores obtidos (PINHO; GALDINO, 2014).

Estes equipamentos de medição são classificados de acordo com a precisão de seus resultados, sendo que, de acordo com a norma ISO 9060, podem ser divididos em três categorias: alta qualidade, cujo erro máximo admitido é de 2%; boa qualidade, cujo erro máximo pode ser de 5% e qualidade razoável, que apresenta a possibilidade de 10% de erro nos resultados. O já citado piranômetro fotovoltaico ocupa a categoria de qualidade razoável enquanto que o piranômetro termoeletrico ocupa a categoria de boa qualidade (PINHO; GALDINO, 2014).

O Método da corrente máxima do módulo considera que não é possível ter o aproveitamento máximo da energia solar, pois o sistema fotovoltaico não está equipado com o recurso MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência do módulo). O primeiro passo no cálculo da energia produzida pelo método através desse módulo em sua folha de dados, podem ser usadas as características em STC (condição padrão de teste do módulo) ou NOCT (condições normais de operação do módulo). As condições em NOCT são mais apropriadas para esse caso, pois refletem com mais proximidade as características reais de operação, o cálculo feito com as condições STC poderia resultar um valor de energia produzido muito grande, acima do valor que vai realmente ser obtido na prática (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

6.3 ANÁLISE ECONÔMICA

A tarifa de Energia Elétrica de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é um valor unitário, medido em reais por quilowatt-hora ($R\$/KWh$), multiplicado pela quantidade de energia elétrica consumida no mês, que os consumidores pagam por meio de conta recebida de sua empresa distribuidora de energia elétrica. Esse valor corresponde a um quilowatt consumido em uma hora (ANEEL, 2005). Os consumidores são divididos em classes e subclasses de consumo: Residencial, Industrial, Comercial, Serviços e Outras

atividades, Rural, Poder Público, Iluminação Pública, Serviço Público, Consumo Próprio e Estrutura Tarifária. Divididos entre os grupos A e B. Tarifas grupo A são tarifas para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, variando entre 2,3KV a 230KV. Tarifas destinadas aos consumidores atendidos em tensão inferior a 2,3kV.

Viabilidade Econômica e Financeira é a escolha dentre as opções disponíveis que devem fazer para se investir depende somente da análise dos recursos: entrada e de saída. Se houve lucro se trata então de viabilidade. A análise de investimentos busca por meio de técnicas avançadas, com o auxílio da estatística e da matemática financeira, uma solução eficiente para uma determinada situação problema. Para isso, é necessário dominar o conceito e a aplicação de diversos indicadores para modelar uma estrutura que forneça os dados otimizados. O conceito e a aplicabilidade dos vários indicadores existentes na análise econômica e financeira, como o TIR (taxa interna de retorno), VPL (valor presente líquido), *payback* (período de retorno) e entre outros (MOTTA et al., 2009).

O *Payback* também chamado de *payout*, ou tempo de recuperação do investimento, é utilizado como referência para julgar o nível de atratividade relativa das opções de investimento. Quanto maior o prazo de repagamento do empréstimo, menos interessante ele se torna ao empreendedor. Esse prazo de *payback* é relativo. Investimentos de grande porte como aqueles ligados à infraestrutura, como hidrelétricas e mineração podem apresentar o intervalo de *payback* bem alongado. Este indicador não considera o valor do dinheiro e nem os fluxos líquidos após o período de recuperação. Analisa-se separadamente a liquidez do investimento e ignora-se o valor dos recursos destinados a manutenção. Pode ser calculado de forma simples, pela razão entre investimento e receitas (COSTA et al., 2007).

O fluxo de caixa se refere às atividades operacionais e financeiras. É a apreciação das contribuições monetárias ao longo do tempo. De maneira simplificada, contempla todas as entradas e saídas de caixa dos negócios. Pode ser complexo, podendo gerar uma matriz do fluxo de caixa, onde nela serão representados os fluxos de dinheiro ao longo de um tempo estipulado, na maioria das vezes a linha horizontal diz respeito ao tempo, com vetores identificando os movimentos monetários. Convencionalmente, dividendos, receitas e economias da empresa são os fluxos positivos, e os gastos e aplicações, os fluxos negativos. Costuma-se representar os fluxos positivos com vetores para cima e os fluxos negativos com vetores para baixo (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002).

O valor presente líquido indica se o projeto em questão irá gerar valor aos empreendedores, caso haja valor positivo, é viável. Para se calcular o VPL de um projeto se

considera a diferença entre o saldo dos valores das entradas aos das saídas líquidas com desconto dos fluxos de caixa feito a uma taxa k determinada pelo TMA.

Com base nas informações técnicas levantadas e levando em consideração os componentes e demais custos diretos e indiretos despendidos para a implantação de energia solar fotovoltaica, segue, na Tabela 3, uma estimativa dos custos, retornos de investimento e benefícios econômicos de um exemplo de aplicação de sistema de painéis fotovoltaicos.

Tabela 3 – Custos, retornos de investimento e benefícios econômicos e ambientais da aplicação de sistema de painéis fotovoltaicos.

Parâmetro	Valor
Aquisição de kit com 3 painéis fotovoltaicos de 150Wp e controlador de 30A	R\$ 1.499,00
Custo de instalação do sistema	R\$1.200,00
Custo de manutenção após 25 anos	R\$ 1.000,00
Custo total do sistema fotovoltaico	R\$ 3.699,00
Economia no consumo de energia no primeiro ano de uso do sistema	R\$ 3.300,00
<i>Payback</i>	1 ano e 2 meses

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Ou seja, atualmente, o valor gasto com a instalação das placas ou painéis solares nos telhados ou quintais das casas já pode ser recuperado de maneira relativamente rápida. Em geral, em um ou dois anos obtém-se retorno, por meio de uma boa economia na taxa de energia. Desta maneira, observa-se que a utilização de energia solar é uma das melhores soluções sustentáveis para fornecimento de energia. Outrora considerada muito cara, essa tecnologia vem se barateando bastante por meio de sua popularização e já se apresenta altamente vantajosa, especialmente em países com boa quantidade de dias de Sol por ano como o Brasil.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar fotovoltaica tem sido uma das alternativas consideradas mais promissoras para a geração de energia sustentável, pela sua utilização da energia solar para gerar energia. Um sistema fotovoltaico consiste em uma fonte de energia que utiliza células fotovoltaicas capazes de converter energia luminosa em energia elétrica.

As principais vantagens da utilização deste sistema é o fato de não consumir combustível, não poluir ou contaminar o meio ambiente, não gerar ruído, ter uma vida útil estimada em mais de 20 anos, ser resistente às adversidades climáticas, não possuir peças móveis o que resulta em uma baixa necessidade de manutenção além da limpeza e a possibilidade de se aumentar a potência de geração de energia através da implementação de mais módulos.

A potencialidade e os usos da energia fotovoltaica não são conhecimentos ou entendimentos recentes e esparsos, são claramente uma alternativa sustentável para diversos fatores, dentre eles a eletrificação das zonas rurais, a utilização desta em aparelhos e mecanismos diversos, a acumulação e armazenagem de energia durante o dia para ser usada a noite e, também, o sentido do uso da energia fotovoltaica durante todo o dia com possibilidade de inserir e distribuir o excedente energético produzido para a concessionária local, este último é o objetivo da problemática apontada ainda no primeiro capítulo do presente trabalho.

Uma das vantagens para o aumento do investimento na utilização de sistemas fotovoltaicos no Brasil é que o país apresenta características muito favoráveis a este tipo de produção de energia devido às suas características de incidência e irradiação solar e pela sua alta produção de silício, material utilizado na fabricação das placas solares. O que é preciso superar, no entanto, é o nível tecnológico para realização de pesquisas a respeito do desenvolvimento deste tipo de tecnologia; o país ainda se encontra muito atrás com relação à tecnologia dos países desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

ANDREAZZI, M. A. R. **Impactos de hidrelétricas para a saúde na Amazônia**. Rio de Janeiro: Editora Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Instituto de Medicina Social, 2008 (Série Estudos em Saúde Coletiva, 78).

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia solar**. 2005. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em: 25 abr. 2020.

AGOPYAN, V. J. V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

ARANTEGUI, R. L.; JÄGER-WALDAU, A. Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris agreement. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Bruxelas, v. 81, parte 2, p. 2460-2471, jun. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211731002X> . Acesso em: 30 abr. 2020.

BIGSUN. **Energia solar fotovoltaica: como funciona?**. Disponível em: <https://www.bigsun.com.br/energia-solar-fotovoltaica-como-funciona/>. Acesso em: 05 jan. 2021.

BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. 2008. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2023**. Brasília: MME/EPE, 2014.

CABRESTRÉ, C. R. **O que é sustentabilidade?** 12. ed. Campinas: Papirus, 2008.

CD - Câmara dos Deputados, Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica. **Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. Relator: Pedro Uczai; equipe técnica: Wagner Marques Tavares (coord.), Alberto Pinheiro de Queiroz Filho [recurso eletrônico]. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. p. 273. (Série cadernos de altos estudos, n. 10).

CERAOLO, M.; POLI, D. **Fundamentals of electric power**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2014.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia solar: princípios e aplicações**. 2005. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 25 abr. 2020.

CRESESB/CEPEL. **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321. Acesso em: 25 abr. 2020.

COLLARES-PEREIRA, M. **Energias renováveis, a opção inadiável**. Lisboa: SPES-Sociedade Portuguesa de Energia Solar, 1998.

COSTA, N. *et al.* Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: uma análise multivariada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Florianópolis, v. 12, n. 4, p. 446-456, 2007.

DUARTE, C. H.; GOES, R. R. A.; AGUIAR, J. C. Eficiência energética e consumo de energia: posse e uso da televisão no Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2., 2007, Vitória/ES. **Anais [...]**. Vitória, 2007.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**, v. 36, n. 2, p. 90-100, 1994.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota técnica DEA 14/10**: Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019). Rio de Janeiro: EPE, 2010. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf. Acesso em: 05 jan. 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2011**. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. Empresa de Pesquisa Energética, 2019. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 25 abr. 2020.

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Um futuro com energia sustentável**: iluminando o caminho. São Paulo, 2007. Disponível em: www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf Acesso em: 25 abr. 2020.

FERNANDES, A. L. G. “**Sustentabilidade das construções**”: construções para um futuro melhor: reaproveitamento da água. 2009. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Departamento de Materiais de Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FERREIRA, J. J.; FERREIRA, T. J. **Economia e gestão da energia**. Lisboa: Texto, 1994.

FRAIDENRAICH, N. **Tecnologia solar no Brasil**: os próximos 20 anos. 2006. Disponível em: http://www.agr.unicamp.br/energia/Ener20/pdf/papers/paper_Fraidenraich.pdf. Acesso em: 05 jan. 2021.

GOLDENBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, n. 72, p. 6-15, 2007. Disponível em: www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13564/15382/. Acesso em: 25 abr. 2020.

HASNA, A. M. Sustainability classifications in engineering: discipline and approach. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 3, n. 4, p. 258-276, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base cartográfica integrada ao milionésimo**, 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 abr. 2020.

IEA - International Energy Agency. **Technology roadmap**: concentrating solar power. Paris (França): IEA, 2010. Disponível em: http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf. Acesso em: 05 jan. 2021.

IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change. **Renewable energy sources and climate change mitigation**. 2011. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>. Acesso em: 05 jan. 2021.

LUQUE, A. **Handbook of photovoltaics science and engineering**. Reino Unido: John Wiley & Sons, 2003.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **Handbook of photovoltaic science and engineering**. Reino Unido: John Wiley & Sons, 2011.

MOLDAN, B.; JANOUAKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: indicators and targets. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 4-13, 2012.

MORALES, C. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramenta de apoio a gestão: classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MOTTA, R. R. *et al.* **Engenharia econômica e finanças**. São Paulo: Elsevier Brasil, 2009.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 78 f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Departamento de Engenharia, Pós-Graduação Lato-Sensu em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

OCAENERGIA. **Energia solar fotovoltaica e energia solar térmica: entenda a diferença**. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-energia-solar-termica-saiba-diferenca/>. Acesso em: 05 jan. 2021.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Cúpula mundial sobre o desenvolvimento sustentável**. Joanesburgo, África do Sul, em 2010. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/temas-em-discussao-na-rio20/onu-estabelece-tres-pilares-para-o-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises-economico-social-e-ambiental.aspx/>. Acesso em: 05 jan. 2021.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Relatório Brundtland**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. ONU, 1987.

ORBEN, E. W. **Identificação e análise de conformidades para implementação de um sistema de gestão de energia: estudo de caso**. 2016. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

PETROBRAS. **Sociedade e meio ambiente**. 2006. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/sociedade-e-meio-ambiente/meio-ambiente/mudancas-do-clima/>. Acesso em: 05 jan. 2021.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

RODRIGUES, M. C. A. **Saberes e práticas em experiência de construção da sustentabilidade no meio rural nordestino**. 2009. Tese. (Doutorado em Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

ROSA, A. **Rede de governança ambiental na cidade de Curitiba e o papel das tecnologias de informação e comunicação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Gestão Urbana) –Pontificia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2007.

ROSS, S. A; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Administração financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SIMÕES, F. **Entenda o que influencia a geração do seu sistema solar**. Paraíba Solar, fev. 2017. Disponível em: <http://www.paraibasolar.com.br/2017/02/09/efeito-fotovoltaicopainel-fotovoltaico/>. Acesso em: 05 jan. 2021.

SOARES, I. **Eficiência energética e a ISO 50001**. Lisboa: Edições Sílabo, 2015.

SOLARGIS. **Solargis solar resourcedatabase:descriptionandaccuracy**. 2013. Disponível em: <http://solargis.com/assets/doc/Solargis-database-description-and-accuracy.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

SOUTO, P. H. G. Projeto de implantação de sistema de gestão energética nos edifícios funcionais da câmara dos deputados. **RevistaEspecialize On-line IPOG**, Goiânia, v. 9, n. 10, jul. 2015.

STEINER, H. Sustentabilidade e engenharia. **Revista Fae Business**, n. 9, set. 2010. Disponível em: http://www.fae.edu/publicacoes/pdf/revista_fae_business/n9/01_rs.pdf. Acesso em: 25 abr. 2020.

THOMAS, P. A. **Energy management (ISO 50001): the most vital, but missing, link in the energy saving chain**. ACEEE, 2013.

UDOP - União dos Produtores de Bioenergia. **Homepage**, 2011. Disponível em: <http://www.udop.com.br/>. Acesso em: 25 abr. 2020.

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