

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ANDRÉ MASSAYOSHI ANAMI

PAINEL FOTOVOLTÁICO - PERSPECTIVAS E DESAFIOS

PROJETO DE PESQUISA

LONDRINA

2017

ANDRÉ MASSAYOSHI ANAMI

PAINEL FOTOVOLTÁICO - PERSPECTIVAS E DESAFIOS

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Dra. Lisandra Ferreira de Lima

LONDRINA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO
PAINEL FOTOVOLTÁICO - PERSPECTIVAS E DESAFIOS

por

ANDRÉ MASSAYOSHI ANAMI

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentada no dia 27 de novembro de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFR – Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental)

Prof. Dr. Fabio Augusto Garcia Coró
(UTFPR – Departamento de Engenharia Ambiental)

Prof. Dra. Lisandra Ferreira de Lima
(UTFPR – Departamento de Engenharia de Química)
Orientador

Prof. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, pela minha saúde e por tudo o que tenho e tudo que conquistei; Agradeço a minha família e meus amigos por me acompanhar e me apoiar durante toda essa jornada. Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Lisandra F. de Lima, por sua dedicação, auxílio e orientação; Deixo também um agradecimento a todos os professores que tive em minha vida, não apenas pelos ensinamentos passados, mas também pela referência e pelo exemplo que são aos alunos e a sociedade.

“Será que nós, os seres humanos, somos capazes de, coletivamente, perceber a magnitude do problema e conclamar a liderança, a resistência e a vontade para fazer o que deve ser feito?” [InterAcademy Council, 2010.]

RESUMO

Título: Painel Fotovoltaico – Perspectivas e desafios.

Um dos grandes desafios mundiais é a busca por uma matriz energética sustentável e com maior disponibilidade possível. As técnicas e tecnologias vêm cada vez mais se aprimorando, ao ponto que há uma infinidade de matrizes energéticas. Contudo, todos possuem vantagens econômicas ou operacionais, mas ainda sim, é necessária a convivência da sociedade com a mitigação dos impactos ambientais gerados no processo. Uma fonte energética que vem se destacando é a energia solar, voltada à conversão em energia elétrica por meio dos sistemas fotovoltaicos. Esses sistemas vêm evoluindo, melhorando sua eficiência e diminuindo seus custos de implantação e com isso vem ganhando mercado e se destacando das demais fontes. Com isso, esse trabalho vem por analisar o desenvolvimento fotovoltaico dos últimos anos, gerar um panorama da atual situação mundial e brasileira dessa matriz, e ainda, traçar perspectivas dessa tecnologia ao longo das próximas décadas e os desafios que vem pela frente, principalmente no aspecto ambiental e sustentável.

Palavras-chaves: Matriz energética, Energias renováveis, Energia solar, Energia Fotovoltaica, Sustentabilidade, Impactos ambientais.

ABSTRACT

Título: Photovoltaic Panels – Perspectives and Challenges

One of the world's great challenges is the quest of a sustained energy matrix with highest achievable availability. Techniques and technology are increasingly improving, until there is energy matrix affinity. However, each of them have economic or operating advantages, but still, it is needed society living with environment impact settlement caused in the process. An energetic source that has been highlighted is the solar energy when turned into electrical energy through the photovoltaic system. These systems are increasing, improving their efficiency and reducing costs of implementation, with this they are selling and standing out from other sources. This research analyses the photovoltaic development from the last years, produces an overview about world and Brazilian's situation of this matrix, and still outlines perspectives of this technology over the next decades and the challenges that are coming forward, especially in environmental and sustained aspects.

Keywords: Energetic matrix, Renewable energy, Solar energy, Photovoltaic energy, Sustainability, Environmental impacts.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo geral	8
2.2 Objetivos específicos	8
3. JUSTIFICATIVA.....	9
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1 Sustentabilidade, desenvolvimento e energia	14
4.2. Geração de energia elétrica (EE) atual e demanda futura	17
4.2.1 No mundo.....	18
4.2.2 No Brasil.....	25
4.2.3 No Paraná	27
4.3 Princípios fotovoltaicos.....	28
4.3.1 Fundamentos de um painel fotovoltaico	29
4.3.1.2 Radiação solar	35
4.3.2 Evolução.....	36
4.3.2.1 - 1º Geração: Silício Clássico	40
4.3.2.2 - 2º Geração: Filmes finos	43
4.3.2.3 - 3º Geração: OPV (Orgânicos).....	46
4.3.2.4 Custos e eficiências e durabilidade	47
4.4. Aspectos Ambientais.....	50
4.4.1 Benefícios.....	50
4.4.2 Impactos.....	52
4.4.2.1 Uso de ocupação do solo, a fauna e a flora.	52
4.4.2.2 Uso da água	55

4.4.2.3 Emissão de gases	56
4.4.2.4.Efeitos climáticos.....	58
4.4.2.5 Resíduos Sólidos.....	59
5. METODOLOGIA	62
5.1 Análise dos cenários da energia FV – Global, nacional, estadual e outros países.....	63
5.2 Energia solar FV.....	64
5.3 Desenvolvimento sustentável e impactos ambientais	64
6. DISCUSSÃO - Panoramas, perspectivas e desafios.....	66
7 CONCLUSÃO	70
8. REFERÊNCIAS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fontes de energia e suas classificação.....	9
Figura 2 Publicações por ano -"Photovoltaic energy"	11
Figura 3 Investimentos anuais em eletricidades e combustíveis renováveis.	15
Figura 4 Investimentos mundiais em energias renováveis (2015).....	17
Figura 5 Matriz energética global em 1973.	18
Figura 6 Matriz energética Global em 2014.....	19
Figura 7 Produção de energia elétrica mundial	20
Figura 8 Capacidade e adições de energia solar FV, 10 principais países, 2015.	23
Figura 9 Oferta interna de energia elétrica por fonte.	26
Figura 10 Produção de energia global e Brasil, por fonte.	27
Figura 11 Efeito Fotovoltaico em uma célula.....	30
Figura 12 Diagrama da banda de um semicondutor.	31
Figura 13 Eficiência e Gap dos diversos tipos de placas FV.....	31
Figura 14 Sistema FV básico.	32
Figura 15 Sistema FV conectado na rede.	33
Figura 16 Classificação dos sistemas FV.....	34
Figura 17 Espalhamento dos raios solares em diferentes superfícies.	35
Figura 18 Irradiância ao longo do ano de acordo com a latitude.....	36
Figura 19 Diagrama das gerações das células fotovoltaicas.....	39
Figura 20 Propriedades do Silício.	41
Figura 21 Células FV – 1° geração	42
Figura 22 Células FV 2° geração	44
Figura 23 Vista em cortes de filmes finos.....	45
Figura 24 Célula FV de 3° geração – OPV.....	46
Figura 25 Preços de módulos FV em 1997 e estimativa para 2010.	48
Figura 26 Metas propostas pela Agência Internacional de Energia em 2013.....	49
Figura 27 Impactos ambientais e ações mitigadoras.	53
Figura 28 Exemplo de Usina Solar.....	55
Figura 29 Gases emitidos na produção de diferentes tipos de placas FV.....	57
Figura 30 Características físicas dos módulos FV.	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Variação de geração de energia 2004-2013 - fontes renováveis	12
Tabela 2 Ranking da produção mundial de energia elétrica.....	21
Tabela 3 Ranking dos países com maiores usos de matrizes renováveis.	22
Tabela 4 Comparação dos países em relação a geração de energia elétrica.....	24
Tabela 5 Eventos históricos relevantes.....	37
Tabela 6 Caracterização de diferentes placas FV.....	49

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da Revolução Industrial no século XVIII, energia é um assunto de interesse global e fundamental. Conforme a história comprova, a energia está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico, social, ambiental e tecnológico.

A evolução na geração e transmissão da energia permitiu a construção do mundo de hoje: diversas cidades, residências, comércios e indústrias, conectadas através dos meios de comunicação e pelos meios de transporte; Segundo Moraes (2015), apesar do progresso evidente, cerca de um terço da população mundial ainda não teve acesso a esse recurso, com isso, cresce o interesse por estudos como o objetivo aproveitar cada vez mais o uso destes recursos de forma mais eficiente.

São inúmeras as fontes energéticas, cada qual com suas características, vantagens, e limitações. Segundo Goldenberg (2007) classificá-las em dois grupos: a energia proveniente de fontes não renováveis, como por exemplo, as usinas termelétricas que utilizam o carvão e o gás natural e outras oriundas dos combustíveis fósseis; e os provenientes de processos renováveis: usinas hidrelétricas, eólicas, maremotriz ou solar.

É perceptível a preocupação mundial com a disponibilidade e os impactos ambientais que cada uma dessas fontes de energia gera. Segundo Vichi (2009), o panorama mundial está mudando rapidamente nesse início de século por conta de três preocupações da humanidade: meio ambiente, energia e economia global. As duas primeiras, já inseridas há algum tempo na sociedade principalmente devido ao aquecimento global e ao efeito estufa associados ao uso de combustíveis fósseis; E a terceira, apesar de parecer não possui ligação direta, se dá, pois uma crise financeira

ocasionará interferências no setor energético.

“Não importa qual a saída adotada, ela necessariamente passará por uma mudança radical na matriz energética mundial, com forte crescimento da participação das fontes de energias renováveis” (Vichi, 2009).

Dentre as energias renováveis, a energia solar merece destaque, tendo ocorrido um crescimento de 70% na sua capacidade de geração no Brasil, nos últimos 2 anos, segundo uma matéria do jornal O GLOBO, publicada em 01/01/2017.

Segundo Murcia (2009), apesar de alguns textos relacionarem energia solar até como a fonte geradora de diferentes biomassas ou mesmo da energia eólica, ela é usualmente dividida em energia térmica (aquecimento de água) e geração de energia elétrica (energia fotovoltaica - FV).

Segundo Barrera (2010), a energia fotovoltaica é uma técnica de conversão direta da energia solar em eletricidade, conforme o efeito fotovoltaico obtido por Edmond Becquerel em 1839, na qual a energia luminosa transportada pelos fótons de luz que incide sobre um semicondutor é convertida em energia elétrica. A radiação que incide em um material semicondutor cria uma diferença no potencial e gera corrente elétrica. Dessa forma, há o aproveitamento da ilimitada energia solar na conversão e geração da energia elétrica, que pode ser acumuladas em baterias e utilizadas ao longo do tempo em sistemas isolados ou compartilhados como, por exemplo: uma residência, uma indústria, ou mesmo uma comunidade, uma cidade.

A energia FV possui três gerações, segundo Matsumoto (2013), que apesar dos constantes desenvolvimentos de todos os tipos de placas FV, atualmente há uma expectativa na terceira geração de placas fotovoltaicas: as placas orgânicas, ou OPV (*Organic Photovoltaic*) que apresentam vantagens como flexibilidade, transparência e

baixo custo de produção, mas que ainda não são produzidas em larga escala (escala comercial), pois possuem baixa eficiência e tempo de vida curto.

Com isso, este trabalho tem como objetivo traçar um panorama do uso da energia fotovoltaica (FV), demonstrar o funcionamento de uma placa FV, a evolução e diferenças técnicas entre as gerações, e por fim, se determinar uma perspectiva e os desafios que essa fonte de energia elétrica terá.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Traçar um panorama global e nacional da geração atual e das demandas futuras do uso de energia fotovoltaica, tal como os desafios que essa tecnologia poderá enfrentar.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever o princípio elétrico aplicado em painéis fotovoltaicos e sua forma de transformação de energia solar em energia elétrica;
- Realizar estudo comparativo das diferentes técnicas na obtenção da energia fotovoltaica;
- Avaliar os impactos ambientais da geração de energia elétrica por meio das placas fotovoltaica;
- Realizar um levantamento e análise de comparativo de custos.
- Avaliar as limitações de instalação desta tecnologia;

3. JUSTIFICATIVA

Cada vez mais crescente é o uso de energia de fontes renováveis, uma vez que são fontes inesgotáveis e de menor impacto ambiental seja na geração, na conversão/transmissão ou mesmo após o consumo. Segundo Abe (2011) o uso de energias renováveis é fundamental para que a demanda energética seja atendida de forma a não sacrificar o meio ambiente. Com isso, é uma tendência global, a mudanças na matriz energética, sendo a substituição do uso de combustíveis fósseis e derivados, para fontes de energia renováveis, conforme Figura 1, a seguir.

Fontes		Energia Primária	Energia Secundária	
Não Renováveis	Fósseis	Carvão mineral	Termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		Petróleo e derivados		
		Gás natural		
	Nuclear	Materiais físséis	Termoeletricidade, calor	
Renováveis	"Tradicionais"	Biomassa primitiva: lenha de desmatamento	Calor	
	"Convencionais"	Potenciais hidráulicos de médio e grande porte	Hidroeletricidade	
		Potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	"Novas"	Biomassa "moderna": lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		Outros	Energia solar	Calor, eletricidade fotovoltaica
			Geotermal	Calor e eletricidade
			Eólica	Eletricidade
Maremotriz e das ondas				

Figura 1 Fontes de energia e suas classificação.

Fonte: Goldmberg, 2007.

O crescimento populacional e alta demanda de energia elétrica per capita, que segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2016) dá uma média em 2015 de 2547 KWh/hab, o que dá segundo a Agencia Intencional de Energia (IEA), um total de

quase 24000 TWh em 2014. Segundo Tiepolo (2015), se deve como consequência do estilo de vida atual da sociedade, principalmente no que se refere a bens de consumo. Bens estes, que dependem de energia elétrica para sua produção, e faz com que a preocupação com a escassez dos combustíveis fósseis seja eminente.

Segundo Lavado (2009), a energia assume papel fundamental na sociedade moderna e por isso é o desafio principal do início do século XXI. Por isso, o desafio é encontrar fontes de energias suficientes, diversificadas, economicamente viáveis e de fácil acesso a população. É fundamental então uma fonte de energia elétrica universal, em termos de acessibilidade, e ilimitada, porém, aliada a sustentabilidade.

Com grande disponibilidade, acessibilidade e limpa, o sol, segundo Coutinho (2011), a energia solar é uma alternativa promissora. Segundo ele, países como Alemanha e Estados Unidos já fazem uso dessa fonte, principalmente por meio de painéis solares, ligados a rede de energia elétrica, ou seja, os painéis fotovoltaicos (FV).

Os painéis FV se estabeleceram em 1963, porém a sua escala de produção e comercialização cresceu lentamente, inicialmente aplicadas no segmento aeroespaciais. Somente na década de 70, segundo Tolmasquim (2016), com a crise do petróleo que as placas FV foram de fato, apresentadas ao mundo todo. Segundo Abe (2011), mais para o final da década de 80 que os painéis começaram a se popularizar, de forma ainda, cara. Com bons resultados técnicos e com os painéis cada vez mais acessíveis, aliado a facilidade e flexibilidade na montagem, ficou clara a viabilidade e o potencial da FV em diversos projetos.

Aliado ao crescimento do mercado e a popularização dessa fonte energética, nota-se principalmente na década de 90 um crescimento nas publicações científicas. Deixando evidente ao mundo que a tecnologia FV não é apenas uma tendência, mas que já se tornou realidade. É visível o crescimento das pesquisas em torno do assunto,

depois de realizada uma pesquisa em 15/06/2017, com a palavra-chave “*Photovoltaic energy*” na Biblioteca Eletrônica Científica (SciELO), é possível observar o crescimento do tema ao longo dos anos conforme a figura 2.

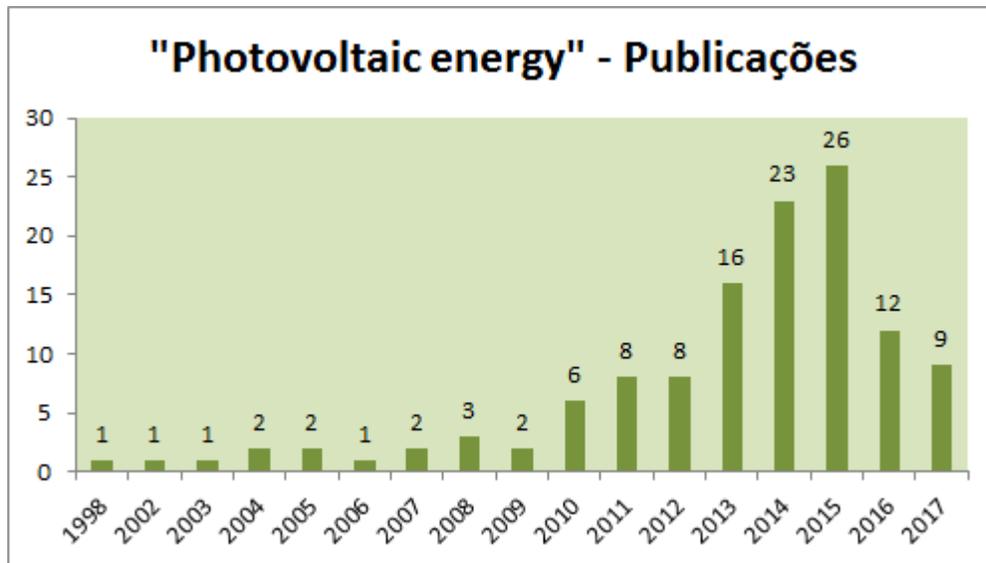


Figura 2 Publicações por ano -"Photovoltaic energy".

Apesar da baixa participação na matriz energética global, a energia FV é uma das maiores apostas por conta da sua praticidade e menores impactos ambientais. Conforme tabela 1, apesar da baixa capacidade de geração de energia, ainda, foi a fonte energética, que em 10 anos teve maior taxa de crescimento. Saltando de 2,6GW em 2004 para 139GW em 2013. Nessa mesma década segundo *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21* (2014), os investimentos em energias renováveis subiram de 39,5 bilhões de dólares para 214,4, crescimento de aproximadamente 540%.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2013, 2015, 2017), o país fechou o ano de 2016 com uma potência de 23MW de energia FV fiscalizadas, em um total de 42 centrais geradoras. Esse valor foi de 15MW e de 7,5MW nos anos de 2014 e 2012, respectivamente. Com isso nota-se um crescimento de aproximadamente 300% em 4 anos.

Ainda segundo a ANEEL (2017), se somar as centrais geradoras e os geradores-consumidores, sistemas distribuídos FV conectados na rede, em 2016, a potência salta de 15MW para cerca 74MW. A perspectiva é que para o ano de 2017 esse valor seja acrescido em 256MW e em 2018 em 1668,9MW. Totalizando ao final de 2018 uma potência instalada de 1,99GW.

Tabela 1 Variação de geração de energia 2004-2013 - fontes renováveis

Fonte: REN21, 2014 – adaptado.

	Unidade	2004	2013
Geração de Energia - Total global	GW	3800	5800
Geração de Energias Renováveis - Total, excluindo hidroelétricas	GW	85	560
Geração de Energias Renováveis - Total, incluindo hidroelétricas	GW	800	1560
Hidroelétricas	GW	715	1000
Biomassa	GW	39	88
Geotérmicas	GW	8,9	12
Fotovoltaica	GW	2,6	139
Heliotérmica	GW	0,4	3,4
Eólica	GW	48	318
Solar térmica (aguá)	GW	98	326
Etanol (anual)	Bilhões de litros	28,5	87,2
Biodiesel (anual)	Bilhões de litros	2,4	26,3
Biocombustíveis totais (anual)	Bilhões de litros	30,9	113,5

Demanda energética crescente, uma fonte de energia renovável e ilimitada, sustentável e em alta taxa de crescimento é o que vem atraindo investidores, segundo.

Segundo o Portal Brasil (2015), portal do governo federal, no Brasil, até 2030 é previsto um investimento de 30 bilhões de reais em energia solar, o que levaria o país a uma posição de destaque no ranking mundial de produção de energia solar, nesse caso, energia solar como um todo, não especificamente para energia solar fotovoltaica necessariamente, com isso, devido muitas vezes não ocorrer a distinção nas publicações, devemos considerar a junção das três fontes de energia solar: heliotérmica, solar térmica (aquecimento da água) e a fotovoltaica.

Numa prévia análise, com o mercado disposto e cada vez mais aquecido, e com uma matriz energética potencialmente promissora, este trabalho se justifica, pois, esse é um campo de trabalho que vem se destacando e crescendo e que deve gerar muitas oportunidades, seja no campo de pesquisa, seja no político-econômico, no social e principalmente, no âmbito ambiental.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Sustentabilidade, desenvolvimento e energia

Desenvolvimento é o que se busca em qualquer sociedade, seja social, industrial, econômica, ou ambiental. Num contexto global, pode-se afirmar que para que esse desenvolvimento ocorra, é necessário que se tenha disponibilidade de energia. Energia para se produzir e construir, energia para escolas, hospitais, residências, energia para a iluminação pública, para o transporte público ou privado, etc. É inviável, hoje, viver sem energia, esta, porém, precisa ser gerada de forma sustentável (Gonçalves, 2014).

Essa disponibilidade, porém, mesmo sendo fundamental, não é fácil. Seja de fonte primária ou secundária (após alguma conversão), muitas vezes é limitada, onerosa e com geração de impactos ambientais.

Por muito tempo, baseou-se a geração de energia por meio do uso de combustíveis fósseis e derivados. Estes, por mais que ainda tenham a maior representação, vem perdendo espaço para fontes mais sustentáveis e ilimitadas.

Sustentabilidade hoje é um dos requisitos que tange as políticas e tomadas de decisão seja em uma empresa, numa sociedade ou num governo,

A preocupação com a conservação e a restauração do meio ambiente, que se tem ligação direta na qualidade de vida e saúde da população, foi principalmente o que alavancou a pesquisa e o desenvolvimento de fontes alternativas na geração de energia, destacam-se as fontes de energia renováveis.

Investimentos no setor de energia aumentam a cada ano. De acordo com a REN21 (2016), principalmente nos países emergentes ou em desenvolvimento. Num contexto geral, e menos de 10 anos, os investimentos que em 2006 eram de 112 Bi de

dólares ao ano, em 2015 foi de 286 Bi de dólares, conforme a figura 3.

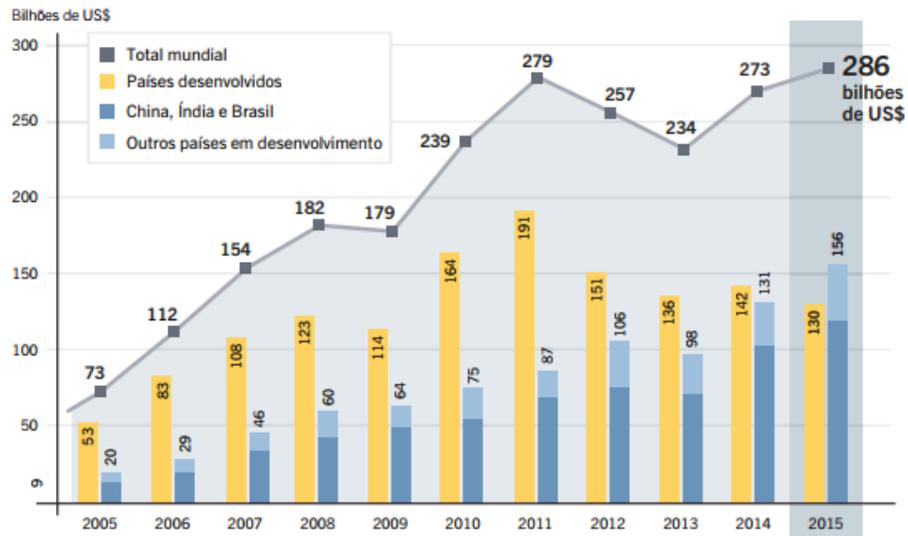


Figura 3 Investimentos anuais em eletricidades e combustíveis renováveis.

Fonte: REN21, 2016.

A figura 3 permite concluir que há uma tendência de crescimento nos investimentos em energias renováveis num contexto geral. Com quedas nos anos de 2009 e posteriormente entre os anos de 2011 e 2013. A primeira queda ocorre justamente quando a economia é enfraquecida pela crise imobiliária, que ocorreu no Estados Unidos no ano de 2008, após a notícia de falência do Banco Lehman Brothers, conforme noticia a BBC BRASIL em 15/09/2017.

Segundo a Época Negócios, numa publicação 25/09/2013, a quebra do banco desencadeou uma série de consequência: mercado instável, outras empresas declarando falência, muito pânico na Wall Street, fez com que governos investissem dinheiro para controlar as economias, etc. O caos econômico estava implantado.

Com uma economia afetada e até certo ponto descontrolada, principalmente a

da tão grande potência norte americana, muitos acabaram por recuar e aguardar os desdobramentos dessa crise, conforme afirma Ferraz (2013).

E foi justamente, a crise imobiliária americana, que por consequente instabilidade e recuo do mercado financeiro, que a queda dos investimentos ocorreu, provavelmente tão somente, pelos desdobramentos e incertezas geradas naquela época.

A queda seguinte, também gerou instabilidade no mercado financeiro mundial, se deu no período de 2011 e 2013, parte por consequência direta da crise americana, e parte, pela crise europeia, principalmente sobre os países: Grécia, Portugal, Irlanda, Itália e Espanha, na qual não estavam conseguindo honrar com suas dívidas, conforme noticia o Portal Economia do iG, em 25/11/2011, o que ocasionou novamente uma queda nos investimentos no setor energético.

A partir de 2013, com um mercado mais estabilizado e otimista, a economia começa a retomar o todo o folego perdido, ainda que até 2015, não tenha recuperado seu auge, que conforme figura 3, ocorreu em 2011, com um valor de 279 Mi de dólares investidos em energias renováveis. Outra análise interessante se dá quando comparamos o comportamento dos investimentos realizados pelos países desenvolvidos, frente ao que estão em desenvolvimento. Além da diferença clara nos valores investidos, nota-se que os países desenvolvidos sofreram maiores variações nos valores investidos, com crescimento e queda ao longo dos anos. Isso não ocorre nos países em desenvolvimento, nestes, pode-se dizer que houve um crescimento contínuo.

Outro fato importante, é que segundo a REN21, ainda, é que a energia solar (não somente a fotovoltaica) é a que mais recebeu investimentos, dentre as matrizes renováveis, na qual foi cerca de 161bi US\$, conforme figura 4.

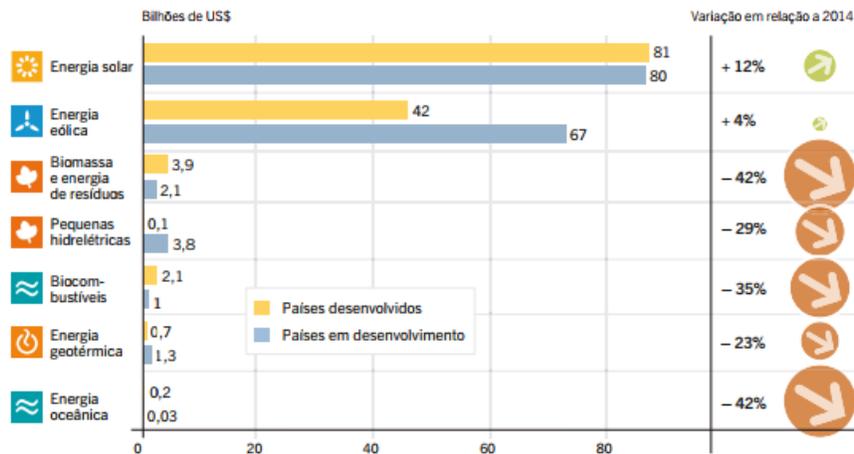


Figura 4 Investimentos mundiais em energias renováveis (2015).

Fonte: REN21, 2016.

Do montante investido em 2015, somente duas tecnologias tiveram crescimento (financeiro) em reação ao ano de 2014: Energia Solar e Energia Eólica, com taxas de crescimentos de 12 e 4%, respectivamente. Além disso, dos 286 bilhões investidos em 2015, 161bi foi a fontes de energia solar, representando aproximadamente 56% dos investimentos. Assim, a energia solar fotovoltaica é um dos principais destaques no crescimento energético para as próximas décadas.

4.2. Geração de energia elétrica (EE) atual e demanda futura

4.2.1 No mundo

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), 2017, a geração de energia elétrica em 1971 foi de 6131 TWh, já em 2014, 23816 TWh. Esses montantes foram gerados a partir de diversas fontes energéticas, conforme visualizado nas figuras 5 e 6.

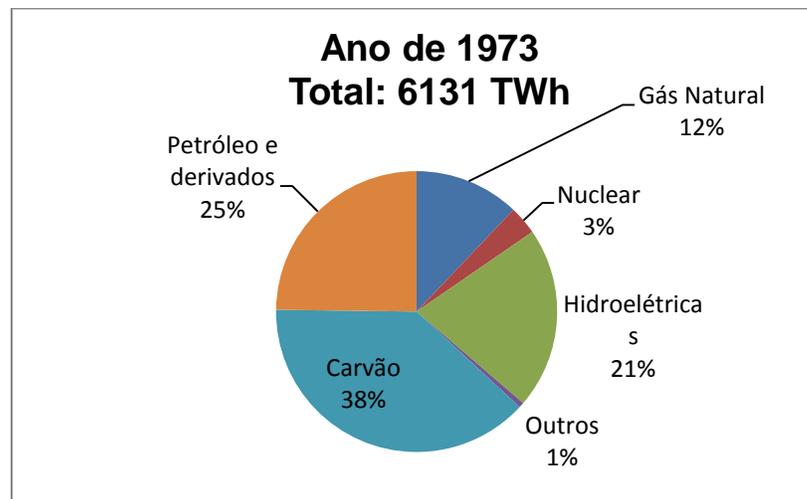


Figura 5 Matriz energética global em 1973.

Fonte: IEA, 2017 - adaptado.

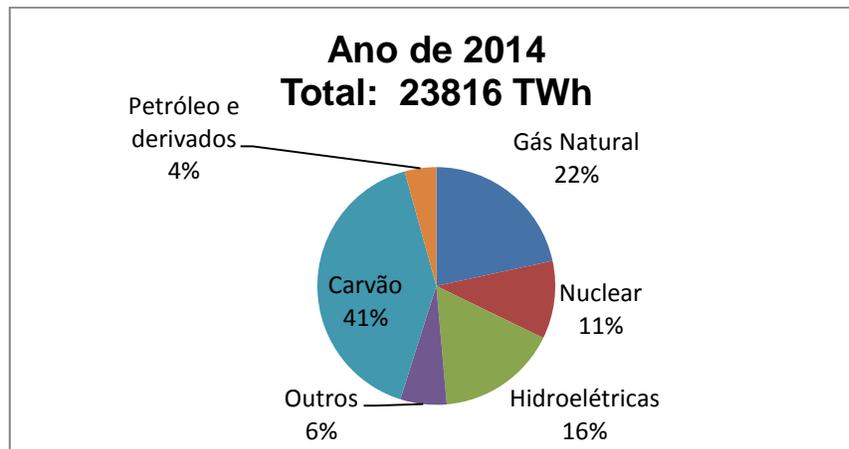


Figura 6 Matriz energética Global em 2014.

Fonte: IEA, 2017 - adaptado.

Ainda em análise figura 5 e 6, em 1973, apenas 21,5% é proveniente de fontes renováveis, com isso, a geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis foi de 1318,2 TWh. Já em 2014, além do crescimento total de 388,4% na geração de energia elétrica, as energias renováveis aumentaram de 21,5% para 22,7% representando uma geração de 5406,2 TWh. Com isso, o crescimento da geração de EE proveniente de fontes renováveis aumentou de 1381,2TWh para 5406,2 TWh, representando um crescimento de 391,41%.

Segundo a projeção da Exxon Mobil (2017), o aumento da demanda global de EE é de 65% para 2040. Com isso, projeta-se uma demanda de 39296,4 TWh de EE. Uma diferença de 154804 TWh de crescimento, com geração de energia através de fonte solar próxima de 1000 GW com isso, a geração solar que em 2013 foi de 139 GW, ao longo desses anos, terá um crescimento superior a 700%. Valor muito acima da taxa de aumento global da demanda de EE.global.

Na produção de energia elétrica mundial, segundo dados do “Global Energy

Statistical Yearbook 2017”- GES (2017), no ano de 2015 e 2016, respectivamente, foram produzidos 24107 e 24660 TWh, um crescimento de aproximadamente 2,3%. Ainda, com base nos referidos dados estatísticos, é demonstrado que a produção de EE mundial, desde o ano 2000, vem crescendo a uma taxa de 2,9% ao ano, se essa tendência se mantiver até 2040, teríamos uma produção de aproximadamente 37.000 TWh de energia, projeção essa, 5% menor eu a projeção da Exxon. A seguir, a figura 7 demonstra o crescimento da produção de energia elétrica mundial nos últimos anos.

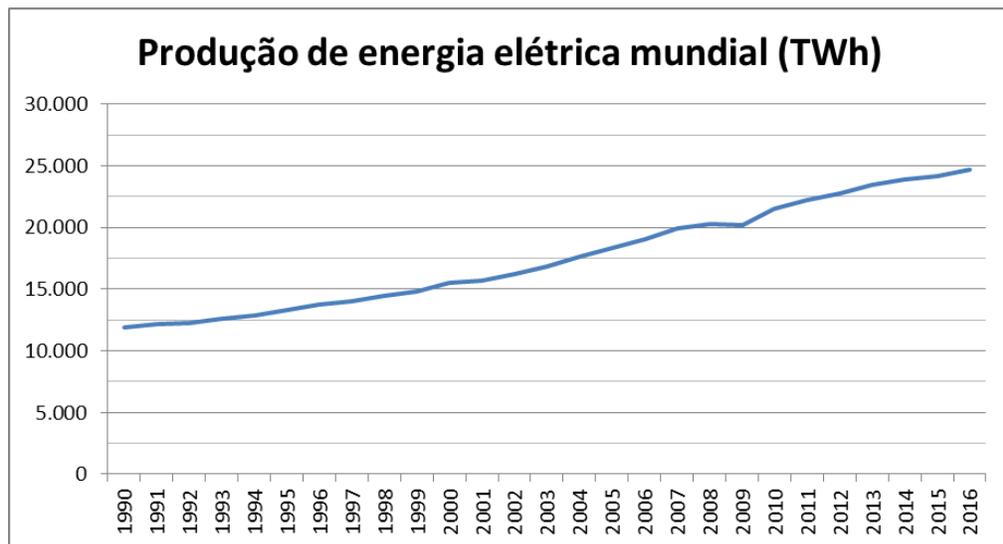


Figura 7 Produção de energia elétrica mundial

Fonte: GES (2017).

No Ranking de produção Mundial, o maior produtor de EE é a China, seguida pelos Estados Unidos e Índia. O Brasil, no cenário mundial é o 8º do Ranking, atrás do Canadá, conforme tabela 2.

Tabela 2 Ranking da produção mundial de energia elétrica.

Fonte: GES (2017).

País	Produção (TWh)
1º - China	6015
2º - Estados Unidos	4327
3º - Índia	1423
4º - Rússia	1088
5º - Japão	1013
6º - Alemanha	653
7º - Canadá	643
8º - Brasil	580
9º - França	553
10º - Coreia do Sul	549

Quando relacionado a geração de energia por fontes renováveis, esse ranking muda significativamente. Ainda, segundo GES (2017), apenas 24% do total de energia produzida, provêm de fontes renováveis. Com esse destaque, vemos na tabela 3, o ranking dos países que possuem fontes renováveis na sua produção energética.

Tabela 3 Ranking dos países com maiores usos de matrizes renováveis.

Fonte: GES (2017).

País	Fontes renováveis (%)
1° Noruega	97,9
2° Nova Zelândia	84
3° Colômbia	82
4° Brasil	81,2
5° Canadá	66,4
6° Suécia	57,2
7° Portugal	55,2
8° Venezuela	54
9° România	46,2
10° Espanha	40,1

Desta vez os destaques são a Noruega, a Nova Zelândia e a Colômbia. Logo em seguida, o Brasil em 4° lugar.

A tabela 2, porém, mostram a porcentagem das fontes renováveis como um todo. Restringindo-se a fonte de energia fotovoltaica, na qual representa apenas 2% da produção total de energia elétrica (GES, 2017), vemos outra ordenação, conforme figura 8.

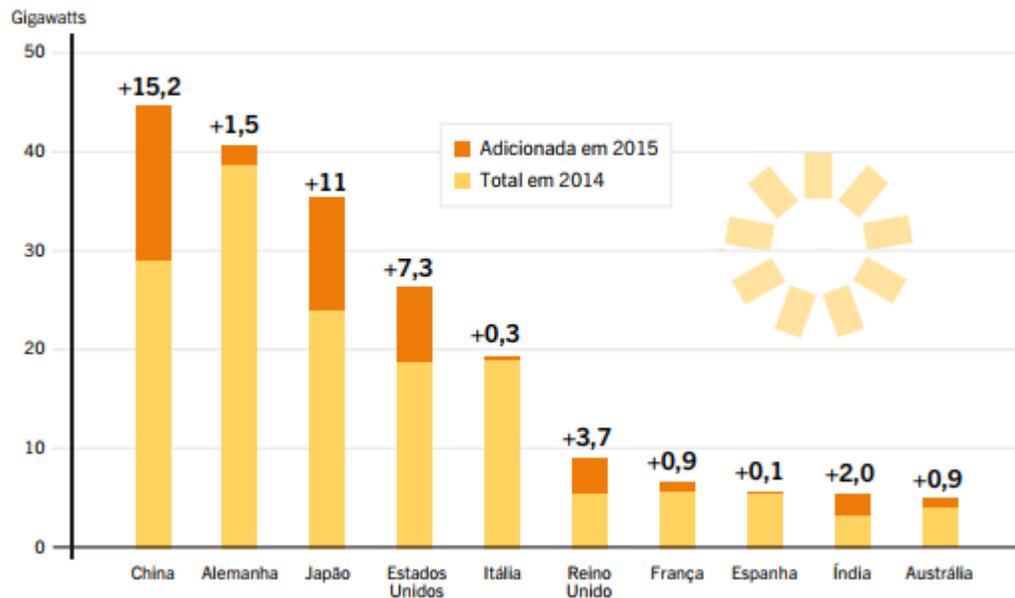


Figura 8 Capacidade e adições de energia solar FV, 10 principais países, 2015.

Fonte: REN21 (2016).

Lideram o ranking de produção de EE de fonte solar FV a China, Alemanha e Japão. É interessante destacar, que a China, em 2014, estava na segunda colocação, logo atrás da Alemanha, porém, em 2015, o país teve um acréscimo de 15,2 GW na geração FV, o que a levou para a liderança no referido ano. A Alemanha ficou em segundo lugar, porém, se comparado com os outros 9 países que compõem o ranking, seu crescimento foi de apenas 1,5GW, ou seja, sexto maior crescimento energético. Já os Estados Unidos, que em 2014 era 5º colocado, em 2015 ultrapassou a Itália. O Japão ainda que tenha se mantido na mesma posição nos dois anos, foi o que teve maior crescimento quantitativo na geração FV, na qual foi de 11 GW. O Brasil, não compôs o ranking.

Analisando isoladamente a figura 8 e as tabelas 2 e 3, talvez não seja possível

ter uma base de comparação, uma vez que os primeiros colocados estão relativamente próximos. Por isso, a tabela 4 a seguir, amplia a comparação de alguns destes países.

Tabela 4 Comparação dos países em relação a geração de energia elétrica.

País	Geração de energia elétrica em 2016 (TWh)	Fontes renováveis na geração de energia elétrica (%) em 2016	Geração de energia solar em 2014 (TWh)	Ranking Mundial na geração de Energia FV em 2016 (conforme fig. 8)
África do Sul	250	4,18	*	*
Alemanha	653 (6°)	30,05	38,4	2°
Austrália	257	16,86	6,1	10°
Brasil	580 (8°)	81,19 (4°)	*	*
Canadá	643	66,38 (5°)	2,6	*
China	6015 (1°)	25,75	39,2	1°
Coreia do Sul	164 (10°)	2,29	3,8	*
Espanha	275	40,08 (10°)	13,9	8°
Estados Unidos	4327 (2°)	15,42	39	4°
Índia	1423 (3°)	14,95	6,6	9°
Itália	288	37,27	25,2	5°
Japão	1013 (5°)	17,44	30,9	3°
Noruega	150	97,87 (1°)	*	-

*valores desconhecidos ou não compõe o ranking.

A China é disparadamente a maior geradora de energia elétrica do mundo, com aproximadamente 6000 TWh, sendo sua matriz 30,05% de fontes renováveis e ainda, a maior do mundo na geração de energia FV.

Seguido da China podemos destacar os Estados Unidos com uma geração de EE de 4327 TWh, sendo destes, apenas 15,42% obtidas de fontes renováveis e é a 4° maior geração de energia FV.

O país com a maior matriz energética renovável é a Noruega, com 97,87%, porém a geração de EE é de apenas 150 TWh, ou seja, quase 25% da geração

brasileira ou mesmo 2,5% da China.

A Alemanha produz apenas 653 TWh de EE, sendo destes, 30,05% de fontes renováveis. A geração total de EE se aproxima muito do valor do Brasil, e mesmo possuindo uma matriz renovável bem inferior à brasileira, que é 81,19%, o país compõe a segunda colocação do ranking mundial de geração de energia FV.

É válido observar que não há uma ligação direta na quantidade de energia produzida, com o uso de fontes renováveis ou mesmo na quantidade de geração e energia FV produzida. A Noruega por exemplo, que tem 97,87% de sua matriz de fontes renováveis, produz apenas 150 TWh de energia, valor esse 40 vezes menor que a China, ou 3,8 vezes menor que o Brasil. Sendo que a China tem menos de 26¢ de sua matriz renovável, mas lidera a produção de energia solar. Nota-se aqui alguns contrastes e a heterogenia que é o planeta.

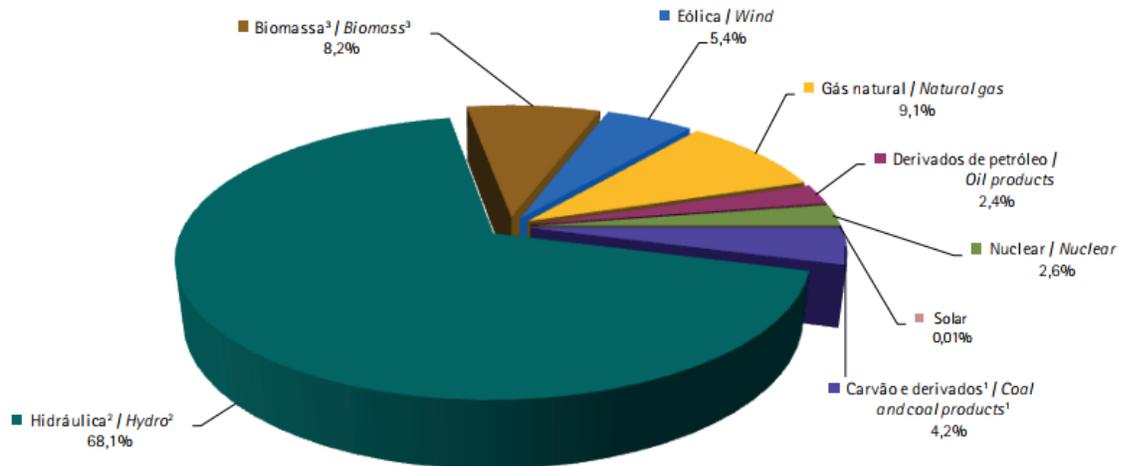
De uma forma ou de outra, o crescimento energético é necessário e o mundo está buscando fontes de energia cada vez menos poluentes e de exploração mais sustentáveis (Gonçalves, 2014).

4.2.2 No Brasil

No Brasil, é possível obter um panorama por meio da análise do Balanço Energético Nacional (BEN), desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que anualmente publica uma edição do BEN, com referência aos os dados do ano anterior.

Segundo o EPE (2017), a capacidade de energia elétrica produzida no Brasil foi de 578 TWh em 2016. Desse total, a maior parte provém de usinas hidroelétricas 68,1%. Em seguida vem Biomassa (8,2%) e posteriormente carvão (e derivados –

4,2%), conforme figura 9.



Notas / Notes:

1. Inclui gás de coqueria / Includes coke oven gas
2. Inclui importação de eletricidade / Includes electricity imports
3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Figura 9 Oferta interna de energia elétrica por fonte.

Fonte: BEN (2017).

As demais fontes de energia apesar de serem valores relativamente pequenos de porcentagem, se comparados ao cenário global, tornam-se significativos e demonstram a diversificação e desenvolvimentos que vem ocorrendo ao longo dos anos, conforme figura 10.

% DE PARTICIPAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE - GLOBAL E BRASIL								
Tipo de fonte energética	GLOBAL					BRASIL		
	REN21 2010 (referente ao ano de 2008)	REN21 2011 (referente ao ano de 2010)	REN21 2012 (referente ao ano de 2011)	REN21 2013 (referente ao ano de 2012)	REN21 2014 (referente ao ano de 2013)	BEN 2012 (referente ao ano de 2011)	BEN 2013 (referente ao ano de 2012)	BEN 2014 (referente ao ano de 2013)
Combustíveis Fóssil e Nuclear	82,0%	80,6%	79,7%	78,3%	77,9%	11,0%	15,5%	20,7%
Hidroelétricas	15,0%	16,1%	15,3%	16,5%	16,4%	81,9%	76,9%	70,6%
Outras Renováveis (não-hidro)	3,0%	3,3%	5,0%	5,2%	5,7%	7,1%	7,7%	8,7%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Figura 10 Produção de energia global e Brasil, por fonte.

Fonte: Tiepolo (2015).

A energia elétrica por fonte solar entrou, pela primeira vez, no Balanço Energético Nacional (BEM) em 2016 (ano base 2015), com uma representação de 0,01%. Apesar de já haver geração nos anos anteriores, e que era valores desprezados, devido sua baixa representação frente ao montante gerado. Segundo o BEM (2017), a produção de energia solar em 2012 foi de 2 GWh, em 2015, 59 GWh e por fim, em 2016 foi de 85 GWh.

4.2.3 No Paraná

No estado do Paraná, o potencial solar praticamente não é utilizado, Tiepolo (2015) realizou um levantamento do potencial fotovoltaico no Paraná. Atualmente, a matriz energética é totalmente obtida de hidroelétricas, sendo os valores de fontes de biomassas, eólicas e solares desprezíveis. E de todo o potencial hidroelétrico cerca de 70% já é explorado. Sendo assim, do total atualmente explorado, que somam 24,12GWh, possui apenas mais 30% de crescimento para suprir as demandas futuras.

No estado, segundo o site Bem Paraná (Kowalski, 2017), apenas em 2013 houve a primeira ligação de um microgerador de energia fotovoltaica foi conectada a rede de distribuição da Companhia Paranaense de Energia – COPEL. Já em 2015 foram 100 e atualmente já se passa de 855 unidades conectadas. Ainda, segundo Julio Omori, superintendente de projeto especiais da Copel, aponta que até 2024 os microgeradores, conectados a rede, poderão somar 14 mil MW, ultrapassando a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, que segundo a Eletrobras/Eletronorte, foi projetada para gerar cerca de 8400 MW de energia.

Tiepolo (2014) ainda faz um levantamento da irradiância do estado do Paraná e em seu estudo obtém um valor total médio no estado de 1986KWh/m² por ano Superando países como Alemanha, Itália e Espanha. Com isso, apesar de uma menor área territorial, se comparados com esses países europeus, que inclusive, compõem o ranking dos maiores geradores de energia solar, sua irradiância média, foi superior aos demais, apresentando então, um potencial fotovoltaico significativo.

4.3 Princípios fotovoltaicos

O efeito fotovoltaico permitiu que a energia solar fosse convertida em energia elétrica. A descoberta foi realizada pelo físico Edmond Becquerel em 1839, na qual observou uma diferença de potencial quando certos materiais eram expostos a luz, produzindo assim, corrente elétrica (Silva 2011). Estas pesquisas se tornaram mais efetivas depois de 1905, quando Einstein explica o efeito fotoelétrico e introduz a utilização de semicondutores (Proença, 2007).

4.3.1 Fundamentos de um painel fotovoltaico

Ao longo dos anos percebeu-se que o material de constituição das células, ou painéis, é de extrema importância para sua maior eficiência (Brito, 2006).

Os materiais sólidos, segundo Fruett (2017), podem ser classificados quanto a sua condutividade elétrica em condutores (metais) com a condutividade elétrica na faixa de $[10^7 - 10^6] \text{ Sm}^{-1}$ (Simens por metro) semicondutores, na faixa de $[10^{-8} - 10^6] \text{ Sm}^{-1}$ e isolantes $[10^{-8} - 10^{-16}] \text{ Sm}^{-1}$.

Diferente de materiais condutores, que possuem elétrons livres, materiais semicondutores e isolantes possuem elétrons mais presos a ligações covalentes (Swart, 2017), sendo assim, segundo Fruett (2017), a condutividade elétrica de um semicondutor ou isolante é altamente dependente das condições ambientais (temperatura, luminosidade, pressão, etc). A razão do diferente comportamento entre metais e semicondutores é que os metais contém um numero constante de portadores móveis de carga em todas as temperaturas e em semicondutores não. Em um semicondutor puro, para que os portadores se tornem livres, as cargas devem ser ativadas. Essa ativação requer alguma energia, que pode vir, por exemplo, da agitação térmica (energia > GAP). Segundo Matsumoto (2013) os materiais semicondutores só são isolantes perfeitos a temperaturas de 0 K. Acima disso, alguns elétrons absorvem, energia proveniente da radiação, e com isso saltam da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC).

A figura 11 demonstra como é um painel FV: Na parte superior e inferior, possuem contatos (frontal e posterior) metálicos que captarão as cargas e transmitirá a corrente elétrica. Geralmente esses contatos são feitos de cobre, mas podem variar entre um fabricante e outro. Abaixo do “contato frontal” temos uma “cobertura anti-reflexiva” na qual permite o melhor aproveitamento da absorção da irradiação solar.

Entre a “cobertura anti-reflexiva” e o “contato posterior”, estão duas camadas semicondutoras, a inferior é a banda de valência (BV) e a superior é a banda de condução (BC), na figura, BC está exemplificado pelo “Silício do tipo N” (Si-N) e BV “Silício do tipo P” (Si-P).

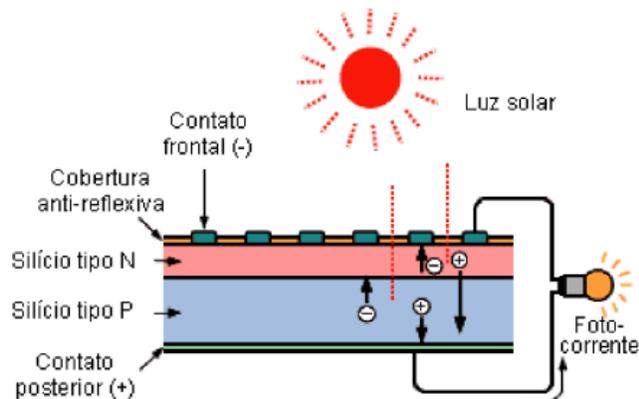


Figura 11 Efeito Fotovoltaico em uma célula.

Fonte: TOLMASQUIM, 2016. apud ZILLES, et al., 2012.

A mesma figura ainda demonstra o efeito FV: A luz solar incide na placa FV, sobre os semicondutores BC e BV. A energia contida nos fótons é absorvida pelos semicondutores, com isso elétrons da camada de Silício tipo N (BV), excitam-se e saltam para o Silício Tipo N (BC). A movimentação dos elétrons gera cargas positivas e negativas, que são acumuladas no contato frontal e posterior, com isso ocorrendo um diferencial de potencial e conseqüentemente gerando corrente elétrica.

Porém para que elétrons saltem da camada BV para BC, é necessário que os fótons, provenientes da luz solar, possuam energia superior ao “GAP”, ou banda proibida (BP). Caso a energia incidente seja inferior ao GAP, não ocorre o efeito FV, com isso não ocorre o descolamento dos elétrons. Os semicondutores apresentam um BP menor ou igual a 3eV, conforme mostra a figura 12.



Figura 12 Diagrama da banda de um semicondutor.

Fonte: Adaptado - SAWIN, 2011.

Os diferentes materiais semicondutores, que compõem as camadas BC e BV, tal como suas características físico-químicas influenciam nos valores de Gap e na eficiência das placas. (Polman, 2016). A figura 13 mostra essas diferenças.

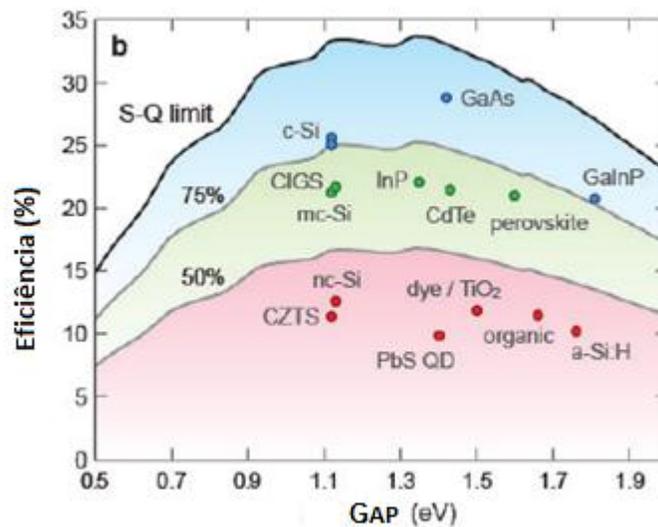


Figura 13 Eficiência e Gap dos diversos tipos de placas FV.

Fonte: Polman, 2016 - Adaptado.

Na figura 13, é clara a diferença nos valores de eficiência, que varia de 5 a quase 35%, e o Gap, que varia de 0,7 a 1,9eV. Outro detalhe são as cores: em azul

trata-se da primeira geração de placas FV, em verde, a segunda, e em rosa a terceira. Cada uma delas será abordada mais a frente.

Os sistemas FV não funcionam somente por meio das placas. O efeito FV, nelas ocorre, porém, para que a energia solar convertida em energia elétrica possa ser utilizada pelo usuário-consumidor, é necessário demais equipamentos além da placa, conforme a figura 14.



Figura 14 Sistema FV básico.

Fonte:CEPEL – CRESB, 2004.

Segundo Kemerich (2016), após a incidência da radiação solar na placa ou painel solar, a corrente gerada controlador de carga, em seguida passa por um inversor e saí na tensão desejada, de modo que seja possível seu uso. A energia excedente é acumulada em baterias e ficam disponíveis para um momento de necessidade. Na figura 17, o controlador de carga e o inversor estão dispostos no arranjo “Unidade de Controle e Condicionamento de Potência”.

Segundo a ABNT NBR 11704:2008, controlador de carga é um equipamento responsável por controlar a carga e descarga de um banco de baterias. Já o inversor é um conversor da energia elétrica de corrente contínua proveniente das placas, na tensão desejada e em corrente alternada. Num sistema FV ainda, é necessário um

seguidor de potência máxima, que se trata de um equipamento que permite que o sistema FV trabalhe próximo do ponto de potência máxima sob condições adversas. Em geral, o seguidor de potência é integrado ao inversor ou controlador.

Quanto aos diferentes tipos de sistema FV, eles podem ser isolados ou conectados em rede. Um sistema isolado é quando a energia gerada é para uso privado ou restrito, seja uma indústria ou uma residência, por exemplo.

Um sistema conectado em rede é quando o sistema é conectado na rede de energia elétrica local, dessa forma o excedente de energia gerado supre a demanda de energia da rede, dessa forma é possível a venda dessa energia a empresa concessionária de energia, conforme figura 15.

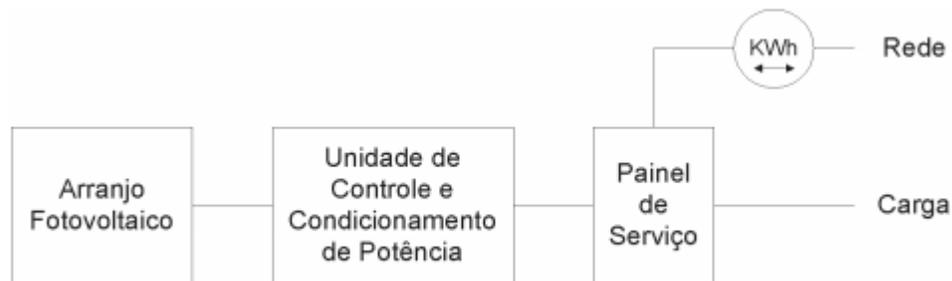


Figura 15 Sistema FV conectado na rede.

Fonte:CEPEL – CRESB, 2004

Com isso o sistema FV torna-se um misto de gerador e consumidor. Em alguns países, como por exemplo, no Brasil, isso já é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Quando há um excedente de energia gerada, ao invés de se acumular em baterias, essa energia é inserida na rede, dessa forma, a companhia de energia local, gera créditos ou compra essa energia do gerador FV. Da mesma forma, quando a demanda de energia não é suprida pelo sistema solar, a energia da rede é consumida para suprir essa falta. Segundo a ABNT, os sistemas FV são classificados

conforme figura 16.

Tipo de sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica etc.
		Tensão alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação etc.
	Híbridos	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária etc.
		Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
	Híbridos	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia etc.
NOTA Todos os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.					

Figura 16 Classificação dos sistemas FV.

Fonte: ABNT NBR 11704:2008

Outro uso bem interessante da energia FV, apesar de não ser novidade, é a utilização como fonte de energia elétrica em comunidades isoladas ou muito afastadas da rede de distribuição de energia: uma ilha, uma comunidade no meio da floresta, por exemplo.

4.3.1.2 Radiação solar

A radiação solar é fundamental para o funcionamento de um painel FV, porém, há uma série de fatores que influenciam a viabilidade e a eficiência de um sistema FV.

Segundo Tolmasquim (2016), a radiação não pode ser considerada uma constante num sistema FV, afinal, ela varia ao longo do ano, dos dias e da geografia e torna-se mais variadas ainda se somarmos os fenômenos climáticos.

Outro fator a ser considerado é grau de inclinação sob o eixo de rotação da Terra, que é de $23,45^\circ$, com isso há a influência das estações do ano, onde há variação na incidência solar: dias mais longos e noites mais curtas, por exemplo.

Se considerarmos o tamanho do Sol e a Terra, podemos considerar que os raios solares incidem no globo terrestre de forma paralela, porém, nem toda a superfície é perpendicular aos raios solares, por isso, conforme a figura 17, apesar da incidência solar ser a mesma, na superfície A e B, a irradiância (intensidade por unidade de área) de A é superior que na superfície B.

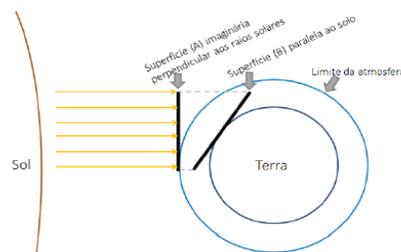


Figura 17 Espalhamento dos raios solares em diferentes superfícies.

Fonte: Tolmasquim, 2016.

Com isso, nota-se que quanto mais próximo da linha do Equador, menor é a

variação de irradiância ao longo do ano, conforme mostra a figura 18.

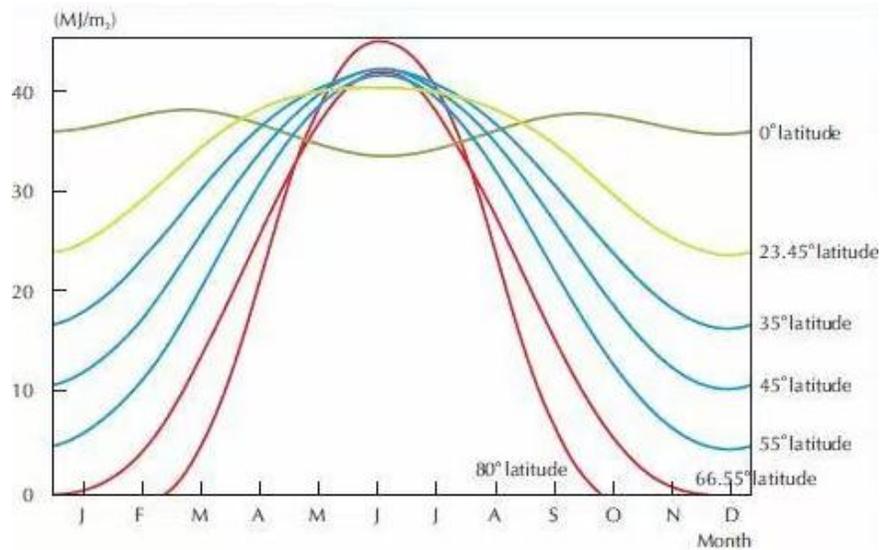


Figura 18 Irradiância ao longo do ano de acordo com a latitude.

Fonte: Energy Skeptic, 2015.

A radiação solar, ainda sofre mais uma variação antes de chegar a superfície da terra. Ela é sofre interferência da atmosfera terrestre. A radiação solar, ao atravessar a atmosfera terrestre perde intensidade, isso se dá pela interação que a radiação sofre com os competentes atmosféricos: moléculas de vapor de água, ozônio e dióxido de carbono. Essas moléculas absorvem parte dessa energia e reflete espalha o restante, com isso, a intensidade da irradiância diminui significativamente.

4.3.2 Evolução

Tiepolo (2015) apontam alguns eventos que demonstraram a história do desenvolvimento da energia FV, tabela 5.

Tabela 5 Eventos históricos relevantes.

Fonte: Adaptado Tiepolo (2015), apud Wolf (1972), Luge e Hegedus (2003), EERE (2014).

Ano	Eventos relevantes na história da FV
1823	Efeito Fotovoltaico - Edmond Becquerel (França)
1876	William Grylls Adams e Richard Day Evans descobrem que o selênio produz eletricidade quando exposto a luz, e provaram que um material sólido poderia mudar a luz em eletricidade.
1883	Charles Fritts (EUA) faz primeira célula Fotovoltaica de grande área, utilizando filme de Se.
1918	Cientista polonês Jan Czochralski desenvolveu uma maneira de crescer silício monocristalino, a partir do Si fundido.
1950	Junções p-n Difundidas (Fuller)
1958	Satélite Vanguard I da NASA utilizou um pequeno array fotovoltaico (menos de um watt) para alimentar seus rádios, com painel solar de Si. Mais tarde naquele ano, o Explorer III, Vanguard II, e Sputnik-3 foram lançados com sistemas de energia fotovoltaica a bordo, sendo esta fonte utilizada com sucesso na alimentação de satélites, o que permanece até os dias atuais.
	Célula solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin).
1963	Sharp Corporation (Japão) produz primeiro módulo comercial de Si – Estabelecimento da 1ª Geração FV
1973	Um grande ano para a energia fotovoltaica: crise do petróleo em todo o mundo estimula muitas nações a considerar energias renováveis, incluindo a energia fotovoltaica. Primeira residência movida à energia solar do mundo (University of Delaware, EUA), construído com módulos fotovoltaicos de Cu ₂ S (não c-Si).
1975	Primeiro livro dedicado à Ciência e à Tecnologia Fotovoltaica por Hovel (EUA)
1977	A Produção Total Global de fotovoltaica é superior a 500 quilowatts (kW)
1978	Lewis Research Center da NASA 1978 implanta um sistema fotovoltaico de 3,5 kW instalado na Reserva Papago Indian localizado no sul do Arizona, sendo a primeira vila com sistema fotovoltaico instalado do mundo.

1982	Primeira planta de 1 MW de energia fotovoltaica instalada (CA, EUA), com módulos de silício da Arco Solar sobre rastreadores de 2 eixos.
	A produção mundial fotovoltaica excede 9,3 MW
1986	Primeiro módulo comercial de filme fino de silício amorfo (a-Si), o G4000 da Arco Solar (EUA) – Estabelecimento da 2ª geração FV.
1991	Presidente George Bush renomeia o Departamento do Instituto de Pesquisa de Energia Solar dos Estados Unidos, como o Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL - National Renewable Energy Laboratory).
1994	Célula multijunção de GaInP (NREL, EUA).
1996	Célula líquido / sólido Fotoeletroquímica "sensibilizadas por corante" atinge 11% de eficiência (EPFL, na Suíça).
1997	Produção mundial de fotovoltaico chega a 100 MW por ano
1999	Capacidade Instalada Global de Fotovoltaico atinge 1.000 MW
2002	Capacidade Instalada Global de Fotovoltaico atinge 2.000 MW. Demorou 25 anos para chegar ao primeiro 1000 MW e apenas 3 anos para dobrá-la. Produção de células de silício cristalino é superior a 100 MW por ano pela Sharp (Japão).
2006	Células Multijunção com rendimentos superiores a 34%
2009	Mais de 23 GWp de Potência Instalada Acumulada
2011	Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada
2012	Potência Instalada Acumulada supera 100GWp
2013	Adicionados mais de 39 GWp em 2013, sendo 12,9 GWp instalados apenas na China, totalizando 139 GWp de Potência Instalada Global Acumulada em Sistemas Fotovoltaicos - REN21 (2014).
2014	Levantamentos preliminares apontam que foram adicionados em torno de 47 GWp em 2014, com estimativa de Potência Instalada Global Acumulada em Sistemas Fotovoltaicos entre 185 e 190 GWp (EUROPEAN COMMISSION, 2014).
	No Brasil a Potência Instalada Acumulada em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia totalizou 15,179.

A figura 20 demonstra as três gerações de placas FV. A primeira e a segunda, são inorgânicas, mas, principalmente, com diferentes aspectos físicos e a terceira geração, orgânica, que em sua maioria está em desenvolvimento e pesquisa em laboratórios, mas com uma pequena parcela já em produção, segundo Matsumoto, para a produção comercial ser viável, é necessário células mais eficientes.

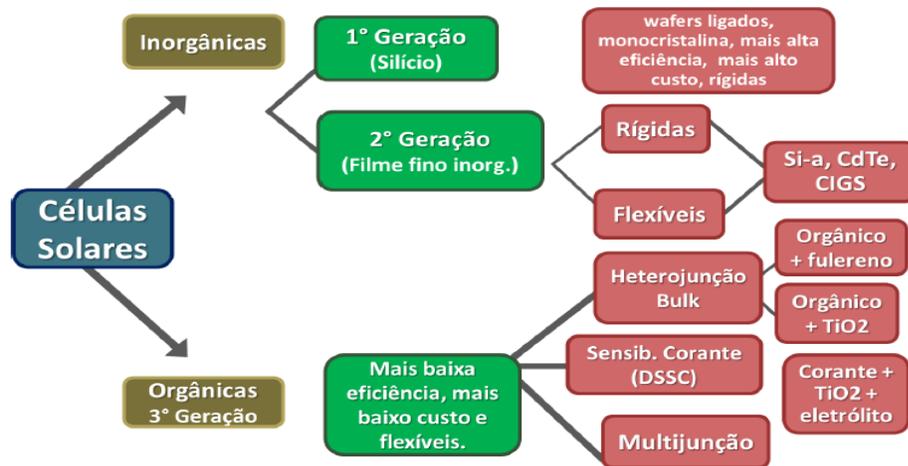


Figura 19 Diagrama das gerações das células fotovoltaicas.

Fonte: MATSUMOTO (2013).

A 1ª geração são as clássicas placas de silício. Ainda é o modelo mais utilizado e com melhor eficiência, porém possui a fabricação mais cara e aplicação física limitada. Apesar das várias opções do mercado, as mais comuns são as placas de silício monocristalino e silício policristalino.

Filmes finos ou 2ª geração, apesar da eficiência inferior, teve o destaque com um custo de fabricação uma vez que são placas finas e por isso utilizam menor quantidade de material semicondutor, além da capacidade de serem flexíveis. Os semicondutores mais utilizados são Silício Amorfo hidrogenado (Si-a), Telureto de Cadmio (CdTe) e o Disseleneto de Cobre Índio e Gálio (CIGS).

A sigla OPV (Organic Photovoltaic), ou célula orgânica, é como é conhecida a 3ª geração são compostas de polímeros semicondutores orgânicos. Estes apresentam vantagens como a flexibilidade e a transparência, além do custo de produção ser o menor em relação a primeira e a segunda geração. Segundo Matsumoto (2013), estes podem ser divididos em: heterojunção *bulk* ou fulerenos; sensibilizados por corantes; e de multijunção. Nota-se na tabela 5, que não há um marco que determina o surgimento da 3ª geração comercialmente, isso, pois o desenvolvimento desse material está em pequena escala ou em laboratórios. Existem algumas aplicações específicas, porém não são produzidas ainda de forma comercial e em larga escala.

4.3.2.1 - 1ª Geração: Silício Clássico

A primeira geração de placas FV começou a ser comercializadas em 1963. Antes disso, eram produzidos em pequenas escalas e principalmente como fonte de energia para satélites espaciais.

Estas placas são constituídas por silício cristalino, material abundante no planeta, porém, é um material que por si só não possui elétrons livres, com isso, é um mau condutor elétrico. Por conta disso, o silício sofre um processo de dopagem, na qual agregados com outros materiais, permite-se o fluxo de elétrons livres.

Um exemplo bem usual é a dopagem do silício com o fósforo, com isso tem-se o silício tipo N (silício-N), material agora com capacidade de receber elétrons, cargas negativas. Já o silício tipo P (silício-P) é dopado com o boro, e incorpora características opostas, ou seja, possui a capacidade de perder elétrons.

Para demonstrar o processo de dopagem, devemos considerar que numa temperatura de zero Kelvin, todo material semicondutor é isolante, do contrário, quanto

maior a temperatura do material, maior a condutividade elétrica. Para exemplificar o processo de dopagem, consideremos as características do Silício, conforme figura 20.

Propriedades do silício	
Número atômico (Z)	14
Configuração eletrônica	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
Valência	4
Estrutura cristalina	CFC
Bandgap (E_g)	1,12 eV
Distância interatômica (a)	5,4 Å
Ponto de fusão	1.420°C
Constante dielétrica (ϵ/ϵ_0)	11,8
Concentração intrínseca de portadores (n_i)	$1,5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$
Mobilidade dos elétrons (μ_n)	$1.350 \text{ cm}^2/\text{V.s}$
Mobilidade das lacunas (μ_p)	$480 \text{ cm}^2/\text{V.s}$
Coefficiente de difusão de elétrons (D_n)	$35 \text{ cm}^2/\text{s}$
Coefficiente de difusão de lacunas (D_p)	$12,5 \text{ cm}^2/\text{s}$

Figura 20 Propriedades do Silício.

Fonte: Polman, 2014

O Silício (Si) possui na sua camada de valência 4 elétrons e formam com seus vizinhos, ligações covalentes resultando assim em 8 elétrons compartilhados.

Segundo Polman (2014) ao se introduzir nessa estrutura o fósforo (P), que é pentavalente, ou seja, possui 5 elétrons em sua camada de valência, resulta-se em um elétron em excesso, fracamente ligado, pois ocupa um gap de aproximadamente 0,44eV (E_{fa}), valor bem abaixo da banda de condução. Além do fósforo, são muito utilizados dopantes como Arsênio (As) e antimônio (Sb), esses, são chamados de dopantes do tipo-N.

Com isso, devido o baixo valor de gap, a energia solar, facilmente faz com que o elétron em excesso salte para a banda BC, deixando seu átomo de origem (BV) com carga positiva.

Ao contrario acontece com os dopantes do tipo-P, na qual são trivalentes, por exemplo o boro (B), o alumínio (Al), o gálio (Ga) e índio (In). Elementos que ao se juntar ao silício, compartilham 7 elétrons, ou seja, ficam com 1 elétron faltante. E ocupam na banda proibida, um Gap de aproximadamente 0,045eV (E_{fd}), no caso do boro (B) acima da camada BV.

Dessa forma, com a dopagem do silício com os dopantes tipo P e tipo N, a incidência da luz solar, quando dispõem de uma intensidade superior ao *gap*, faz com que o silício do tipo-P libere elétrons para o silício tipo-N, desencadeando o efeito FV.

O *gap* se dá de acordo com a constituição dos materiais semicondutores e os dopantes. Cada material dopante, seja do tipo N ou P, fará com que a ligação na banda de valência seja mais fraca ou forte, de modo que se mais fácil ou mais difícil o desencadeamento do efeito FV.

Basicamente há dois tipos de placas FV de 1° geração, ambas de silício cristalino, porém com estruturas químicas e físicas diferentes, são elas: Silício policristalinos (p-Si) ou Silício monocristalinos (m-Si), a diferença esta em seu arranjo cristalino, que no primeiro caso é desordenado, e com isso, são menos eficientes, conforme figura 21.

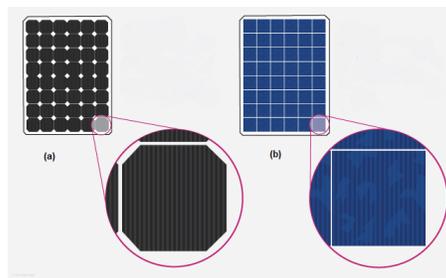


Figura 21 Células FV – 1° geração
Monocristalino (a) e FV Policristalino (b).

Fonte: EnergySage.

Apesar de caras, por conta do processo de fabricação exigir um silício quase que puro, na ordem de 97-99% de pureza, tanto as células m-Si quanto as p-Si são as mais utilizadas pelo mundo. Segundo GTES (2014), de 2000 a 2011, representaram cerca de 80% do mercado, sendo que desses em média 35% foram de placas FV policristalinas e 45% de monocristalinas.

A eficiência, de acordo com a NREL (2014), atualmente varia entre 20,4 – 27,6%, sendo as mais eficientes as m-Si.

Comercialmente a garantia das placas é de 3 a 5 anos, contra defeito de fabricação, e a garantia de funcionamento é de aproximadamente 25 anos, de acordo com cada fabricante, a degradação da potência esta em taxa de 0,5-1% ao ano (GTES, 2014).

4.3.2.2 - 2° Geração: Filmes finos

Os filmes finos são a segunda geração de placas FV, que se iniciaram comercialmente em 1986. E corresponde a fatia restante do mercado, aproximadamente 20%.

A principal diferença está na alta capacidade óptica de absorção e aproveitamento da radiação. Com isso possibilitou-se a fabricação de células bem mais finas do que os clássicos m-Si e p-Si. A figura 22 demonstra algumas dessas células.



Figura 22 Células FV 2° geração .

Fonte: Weliczko, 2008.

Apesar de finas, a célula é composta por várias camadas semicondutoras depositadas sucessivamente sobre uma superfície rígida ou não. Essa tecnologia, apesar de menos eficiente, permitiu dar flexibilidade às placas FV. Além disso, por serem finas, o custo baixou, uma vez que utilizam menos matérias semicondutoras.

Dada a flexibilidade, permitiu que se ampliasse as suas aplicabilidades, integrando agora, mais empreendimentos e equipamentos eletrônicos, como por exemplo celulares e calculadoras.

Na segunda geração, os materiais mais utilizados são os silícios amorfos hidrogenados (a-Si:H), o disseleneto de cobre e índio (CIS), o disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe) (GTES, 2014).

Um problema encontrado nas células de segunda geração, é a rápida degradação, se compara a geração anterior. As primeiras células desenvolvidas, na década de 80, tiveram degradação rápida. Com isso, uma forma encontrada para minimizar esse processo foi o desenvolvimento da célula em várias camadas, e assim

surgiram as células de multijunção. A figura 23 mostra células de 2ª geração de multijunção e heterojunção.

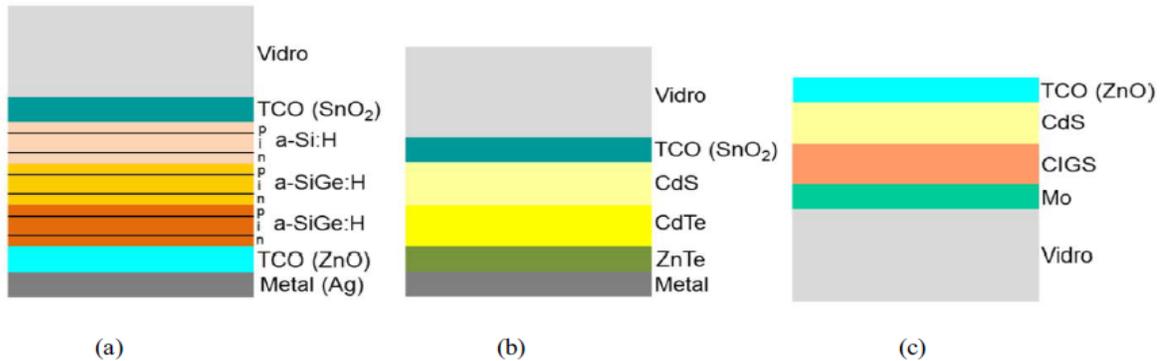


Figura 23 Vista em cortes de filmes finos.

(a) Célula FV de a-Si:H/a-SiGe:H com tripla junção (multijunção). (b) Célula de CdTe de heterojunção. (c) Célula de $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{Se}_2$.

Fonte: GTES, 2014.

Atualmente, em termos comerciais, a degradação já não é um fator limitante, já que alguns fabricantes fornecem garantias similares à primeira geração.

A vantagem das células de multijunção se dá pelo melhor aproveitamento do espectro solar, pois cada camada absorve um espectro de luz diferente das demais. Como por exemplo, a figura 13(a), na qual a camada inferior de a-SiGe:H absorve a luz vermelha, a camada intermediária de a-SiGe:H, a luz verde e a camada superior de a-Si:H, a luz azul. Isso ocorre por conta dos da junção de diferentes semicondutores, que com isso, geram valores de Gap diferentes (GTES, 2014).

Devido a utilização de várias camadas semicondutoras, o processo de dopagem do silício pode ocorrer, mas não é um processo essencial, vai depender das diferentes camadas utilizadas na construção da célula.

Apesar da maior diversidade de aplicações, devido principalmente ao material

reduzido e o ganho em flexibilidade, a eficiência dos filmes finos são menores. Segundo a NREL (2014), as primeiras células de filmes finos tiveram eficiências inferiores a 5%. Hoje passado quatro décadas, a eficiência varia de 13,3 a 23,3%.

4.3.2.3 - 3º Geração: OPV (Orgânicos)

A terceira geração são as células orgânicas (OPV), ainda não é produzida em larga escala. Assim como a segunda, é fina e flexível, porém com o acréscimo de transparência, conforme figura 24.



Figura 24 Célula FV de 3º geração – OPV.

Fonte: Infinity PV – 2017.

Essa geração ainda está em pequena escala – aplicações acadêmicas e laboratórios de pesquisa e desenvolvimento. Segundo Matsumoto (2013), as OPV não fazem parte do mercado devido sua baixa eficiência, que gira em torno de 7%. Com isso, para que a OPV pudesse ser competitiva no mercado, a eficiência deve passar de 10%.

4.3.2.4 Custos e eficiências e durabilidade

Quando se trata da energia solar fotovoltaica, é normal julgar como de alto custo (Gonzalez, 2010). Porém, com o avanço tecnológico e a ampliação do mercado, o custo da energia fotovoltaica vem diminuindo ao longo dos anos, segundo Lacchini (2013).

A energia solar poderá, segundo a publicação de 3/01/2017, da Bloomberg, em menos de uma década, ser mais barata que o carvão. Desde 2009 o preço da energia solar caiu 62% em todo o segmento da cadeia de custos. Adnan Amim, afirma ainda, que cada vez que a geração de energia solar dobra, os custos caem 20%. A China, hoje maior consumidora de carvão mineral, poderá até 2030, obter um custo da energia FV abaixo do carvão.

Além da mudança política e cultural que vem ocorrendo nesses últimos anos, com a expansão no uso da tecnologia FV, aumentam de produção e comercialização das placas é normal que o “alto custo” tende a decair. Paralelo a isso, há muitos países na qual estão fomentando políticas públicas que incentive ou exija o uso de fontes alternativas de energia em qualquer obra ou empreendimento, inclusive com reduções fiscais, como o que acontece na Alemanha, segundo o publicado no Estadão em 29/09/2014.

Segundo Gonzalez (2014), o custo do KW na década de 70 era de aproximadamente U\$300,00, com uma queda de mais de 80%, no início da década de 90 apresentou um custo de U\$4,50 por KW. Na virada do século, novamente teve uma caída, dessa vez mais acentuada, fechando num valor de 3,7 dólares/KW. Ainda deve ocorrer até 2030 uma queda do custo para U\$1,00 por KW até o ano de 2030, com placas comerciais com eficiências próximas de 25%, segundo Dewulf e Langenhove (2006). A figura 25 demonstra uma comparação dos preços em 1997 em comparação ao estimado para 2010.

Material	Preços em 1997	Custo e preço para o ano 2010
Silício monocristalino	3,90 – 4,25	1,20/2,00
Silício policristalino	3,90 – 4,25	1,20/2,00
Fitas	3,90 – 4,25	1,20/2,00
Concentrador	6,00	0,50/1,33
Silício amorfo	2,50 – 4,50	0,75/1,25
Disseleneto de cobre e índio (CIS)	-	0,75/1,25
Telureto de cádmio	-	0,75/1,25
Filme de silício sobre substrato de baixo custo	-	0,75/1,25

Figura 25 Preços de módulos FV em 1997 e estimativa para 2010.

Fonte: Maycock, apud Fraidenraich, 2003 – adaptado.

Segundo Gonçalves (2014), entre os anos de 2003 e 2012, os índices dos preços a retalho dos módulos PV diminuíram cerca de 50%, ficando abaixo de entre 2 e 2,50 dólares nos Estados Unidos e 2 - 2,50 euros na Europa. Valor acima do proposto em 2003.

Outro fator que beneficia esse crescimento é o desenvolvimento técnico dos painéis FV, que tem permitido o uso de novos materiais e com um maior leque de usos. Além das mudanças principalmente físicas, houve muita evolução quanto à eficiência das mesmas.

Segundo NREL, independente do tipo de célula, ainda encontram-se todas em contínuo desenvolvimento, obtendo eficiências de até 44,7% em nível de laboratório. As OPV, que segundo Matsumoto 2013, que precisaria ultrapassar a eficiência de 10%, já se conseguiu uma eficiência de 17,9%, o que indica que essas células estão cada vez mais próximas da disponibilidade no mercado.

Num contexto geral, conforme a tabela 6, as atualmente as placas estão

caracterizadas da seguinte forma:

Tabela 6 Caracterização de diferentes placas FV.

Geração	Tipo	Eficiência Laboratório	Eficiência Comercial	Participação no mercado	Durabilidade	Custo (U\$/KW) - Global	Referência
1°	m-Si	< 34,1%	< 21%	90%	25 - 30 anos	<U\$2,50	NREL (2015), Matsumoto (2013), Tolmasquim (2016), Lacchini (2013), Gonzalez (2014), Gonçalves (2014).
	p-Si	< 44,7%			25 - 30 anos		
2°	Si-a	< 23,35	<16%	10%	20 anos		
	CdTe	< 21,0 %					
	CIGS	< 21,7 %					
3°	OPV*	< 17,9%	< 10%	0%	5 anos	-	

*Produção ainda não comercial.

Em termos de eficiência, essa realidade ainda irá mudar, conforme apresentada na figura 26, esperam-se placas FV comercialmente ainda mais eficazes.

	2010-2015	2015-2020	2020-2030/2050
Metas para eficiência	Monocristalino: 21%	Monocristalino: 23%	Monocristalino: 25%
	Policristalino: 17%	Policristalino: 19%	Policristalino: 21%
	Silício amorfo: 10%	Silício amorfo: 12%	Silício amorfo: 15%
	CIGS: 14%	CIGS: 15%	CIGS: 18%
	CdTe: 12%	CdTe: 14%	CdTe: 15%

Figura 26 Metas propostas pela Agência Internacional de Energia em 2013.

Fonte: Gonçalves, 2014.

O tempo de vida de cada célula varia de acordo com a geração e materiais utilizados. Conforme a tabela 6 nota-se que a substituição das placas FV é necessária

após 20 anos para as placas de 2º geração e de 25 a 30 para as de 1º geração, aproximadamente, pois isso depende da especificação do fabricante. Ocorre que com o passar dos anos há o decaimento na eficiência das mesmas, deixando a placa usualmente inoperante.

4.4. Aspectos Ambientais

Na busca uma matriz renovável, eficiente e sustentável, com um custo cada vez mais baixo e melhoramentos técnicos e legais, a energia FV estará cada vez mais em uso na sociedade e na indústria. Com seu desenvolvimento e crescimento e alta, há vários aspectos que acompanham essas ações, sejam benéficas ou não, assim sendo, é imprescindível, analisar os impactos e os benefícios ambientais gerados.

4.4.1 Benefícios

Durante a geração de EE, segundo Tolmasquim (2016), não há a geração de particulados e nem poluentes como, NO_x , SO_2 , CO , CO_2 , CH_4 ou N_2O , e isso, agrega-se ao benefício ambiental e social de forma global.

Outro benefício é que podem ser montados em diversos locais, mesmo que interfira na quantidade de EE gerada, não há muitas restrições quanto ao local de instalação. Tecnicamente, qualquer lugar em que se tenha incidência significativa de sol, é possível sua instalação e uso. Excluindo-se o caso de usina solar, em que se destina uma área somente para isso, as placas FV podem ser instaladas sobre telhados e lajes, estacionamentos, fachadas, e inclusive combinados com outras fontes de energia como, por exemplo, instalação nos parques eólicos ou em barragens

hidroelétricas.

Segundo o InterAcademy Council (2010) o acesso à eletricidade poderia gerar muitos benefícios para as populações pobres do mundo, amenizando a luta diária para garantir os meios básicos de sobrevivência, aprimorando as oportunidades educacionais, garantindo melhores condições de saúde; facilitando o fornecimento de serviços essenciais como saneamento e saúde básicas, e diminuindo a degradação ambiental.

Além de não produzirem ruídos e gerar resíduos de forma direta e constante, a montagem e uso dos sistemas FV são modulares, ou seja, conforme a necessidade do usuário, outras placas podem ser integradas ao sistema. Ainda, pode-se dizer que a manutenção do sistema é quase nula, uma vez que o sistema é estático, não há obrigatoriamente, a necessidade do uso de competentes mecânicos e que sofrem desgastes.

Rüther (2004), ainda cita alguns outros benefícios como:

- Redução de perdas na transmissão e distribuição e conseqüente economia financeira;
- Fornecimento de maiores quantidades de eletricidade nos momentos de maior demanda, já que a geração ocorre durante o dia, ou seja, durante o horário comercial.
- Rápida instalação devido à sua grande modularidade e curtos prazos de instalação, aumentando assim a geração elétrica necessária em determinado ponto ou edificação.

4.4.2 Impactos

Para melhor pontuar os impactos, estes foram divididos em: Uso e ocupação do solo, a Fauna e Flora; Uso da água; Emissão de gases; Efeitos climáticos; e Resíduos Sólidos.

4.4.2.1 Uso de ocupação do solo, a fauna e a flora.

A alteração das paisagens e de terrenos, ao longo dos anos vem sendo alteradas, ou seja, o uso e ocupação do solo se alteram conforme as necessidades da sociedade, segundo Fonseca e Fonseca (2012).

Segundo Philippi Junior e Malheiros (2005) as modificações podem ser diversas: queimadas para abrir áreas para plantios, criação de áreas de zoneamentos urbanos, áreas de preservação ambiental, etc. Qualquer que seja a ação antrópica, ambientes modificados, sofrem com as mais diversas consequências, como por exemplo: a poluição.

A modificação no uso de uma determinada área, sem o devido planejamento pode, pode gerar degradação e as consequências disso gerar riscos para a população Silva (2015). Como consequência do mau planejamento, podem ocorrer erosões e deslizamentos de terra, alagamentos, poluição de águas superficiais e subterrâneas, problemas sanitários e impactos na flora e fauna.

Durante o processo de implantação e operação de um sistema FV, Tolmasquim (2016), baseado num modelo de geração centralizada, lista os seguintes impactos ambientais referentes ao uso e ocupação do solo e sugere medidas mitigadoras, conforme mostra a figura 27.

Tema	Impactos	Fase	Medidas mitigadoras
Uso e ocupação do solo	Alteração da paisagem;	C/O	Busca pela melhor alternativa locacional;
	Alteração do uso do solo;		Implantação de sistemas de drenagem;
			Manutenção das vias de acesso;
	Interferência na flora e fauna.		Programas de Educação Ambiental; Criação de Reserva Legal; Programa de monitoramento e resgate de fauna.

Figura 27 Impactos ambientais e ações mitigadoras.

Fonte: Tolmasquim, 2016.

A alteração da paisagem será uma mudança evidente que apesar de estética, devem ser planejadas. Caso isso não ocorra, a mudança estética pode gerar interferências econômicas e sociais. Locais turísticos, por exemplo, podem acabar por serem degradados nessa alteração, prejudicando o turismo e a economia local. Com isso é importante a busca pelos melhores locais de instalação, ponderando as consequências.

A modificação do uso do solo, para a área FV, Tolmasquim (2016), sugere a implantação de um sistema de drenagem. Isso ocorre pois, considerando os momentos de precipitações, água não atingirá diretamente o solo e sim, as placas FV com superfícies de vidro, montas num plano inclinado em relação ao solo, com isso, água que antes atingia o solo, agora, atinge uma superfície de vidro liso e inclinado, o que aumenta a sua velocidade de escoamento superficial, que sem uma drenagem adequada, pode carregar muitas partículas de solo e rochas, de modo que com isso, com o passar do tempo ocorra erosões ou até mesmo assoreamentos de leitos próximos.

Outra ação proposta é referente às vias de acesso. Essas vias são necessárias em caso de manutenções ou ampliação física, pois haverá mais uma mudança no uso

de solo, haverá pavimentação, fluxo de pessoas e veículos, geração de ruídos (do tráfego), há o risco de atropelamento de animais e a necessidade de eventuais limpezas. Com isso, deve-se analisar a necessidade de corredores ecológicos, passagens de fauna (geralmente sob a via pavimentada), determinação de área de proteção ambiental (área de amortecimento), estudo de drenagem (devido a impermeabilização de uma determinada área), sendo assim, de acordo com Simonetti (2010), é de primordial importância a análise dos possíveis impactos para a melhoria do projeto, visando a minimização de impactos negativos e maximização dos positivos.

Ações de educação ambiental são necessário principalmente durante o processo de instalação da central geradora de energia FV, pois, é quando ocorre a maior parte da ação antrópica. Com isso, é de suma importância que cada colaborador entenda a importância de se minimizar os impactos ambientais e seguirem os procedimentos de obra, já anteriormente aprovados pelo órgão ambiental e de obras local, que já abrange programas de educação ambiental, redução do desperdício, reutilização de materiais ou reciclagem *in loco*, etc.

A Fauna e a Flora, concomitantemente, são afetadas, já que para a implantação centrais geradores FV, se faz necessária abrir uma área para a instalação e montagem das placas. Com isso, podem ocorrer erradicação e poda de árvores, a extração da vegetação rasteira, a migração de animais que ali viviam ou habitavam, entre outros. Com isso é necessário a delimitação de uma área de estudo ambiental de tal forma que se minimizem os impactos e que programas de compensação ou preservação sejam incluídos: plantios compensatórios e até replantios, resgates de fauna, implantação de ninhos artificiais em locais mais afastados, implantação de uma área de preservação ambiental.

Note, que essas que esses impactos são referentes à geração a centralizada de energia, como em parques e usinas solares, conforme figura 28.



Figura 28 Exemplo de Usina Solar.

Fonte: Câmara Ítalo-brasileira de Comércio e Indústria do Rio de Janeiro (2016).

Nas gerações distribuídas ou independentes (como condomínios ou indústrias), os impactos são os mesmos, mas menores, ou praticamente nulos, na qual chegam a não exigirem ações mitigadoras, como por exemplo, na instalação sobre a cobertura uma residência ou mesmo da laje de uma indústria, na qual a interferência sobre a flora e a fauna eventualmente pode ser desconsiderada.

4.4.2.2 Uso da água

Durante o funcionamento de um sistema FV, é necessário que eventualmente se limpe a superfície superior da célula, para que a sujeira não interfira no rendimento do sistema. Porém, a limpeza pode ser realizada com água de cisternas de captação de água pluviométrica. Dependendo do local instalado, a limpeza pode não ser precisa,

caso o clima e a incidência de chuva seja regular, a própria precipitação já carrega os resíduos depositados na placa.

Conforme anteriormente abordado, o projeto pode exigir a instalação de um sistema de drenagem. Por não se fazer o uso de nenhum produto químico, não há a necessidade de implantar um sistema de tratamento da água/efluentes, porém, pode ser necessário o uso de filtros para reter sólidos que poderiam acumular nas cisternas ou tubulações locais.

Em caso do uso da água da chuva, uma vez que não há nenhuma reação química envolvida, e que a água carrega apenas partículas sólidas de poeira, esse efluente pode ser absorvido pelo solo sem ônus.

4.4.2.3 Emissão de gases

O aquecimento da atmosfera terrestre é um fenômeno, até certo ponto, natural resultante da interação da radiação solar e a emissão de radiação térmica refletida e dissipada pelo planeta (Santos, 2000). A ação antrópica, proporcionou a emissão de determinados gases para atmosfera que, uma vez acumulados, interferem no equilíbrio térmico, resultante da interação Sol-Terra. Dessa forma parte da energia que deveria ser direcionada para fora da atmosfera fica acumulada, e com isso, ocorre o aquecimento. Para este fenômeno deu-se o nome de Aquecimento Global (Bitello, 2017).

O aquecimento se dá pelo efeito estufa. A atmosfera é composta por uma diversidade de gases e estes, servem como filtros, diminuindo a intensidade da radiação solar que chegam a superfície terrestre e também a quantidade de energia refletida e dissipada para fora do globo (Silva, 2009). Alguns gases quando acumulados

na atmosfera, criam uma barreira que dificulta a dissipação da energia, com isso, a atmosfera torna-se uma estufa, ocorrendo a elevação da temperatura.

Segundo Silvia (2009) os maiores gases causadores do efeito estufa são, em sua maioria, gerados na queima de combustíveis fósseis, são eles: o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o óxido de nitroso (N₂O), metano (CH₄) e os clorofluorcarbono (CFC).

Nos painéis FV ainda que durante a operação não ocorra, durante o processo de fabricação das células, são emitidos gases do efeito estufa – GEE. Segundo Gonçalves, 2014, que dependendo do método de produção e o produto, podem emitir de 10,5 a 50gCO₂(equivalentes)/KWh.

Há a emissão também de SO_x e NO_x durante o processo de produção das células. Sendo a produção do m-Si e p-Si as que mais emitem esses gases, conforme mostra a figura 29, chegando a valores próximo de 160mg/KWh de SO_x e 85mg/KWh de NO_x.

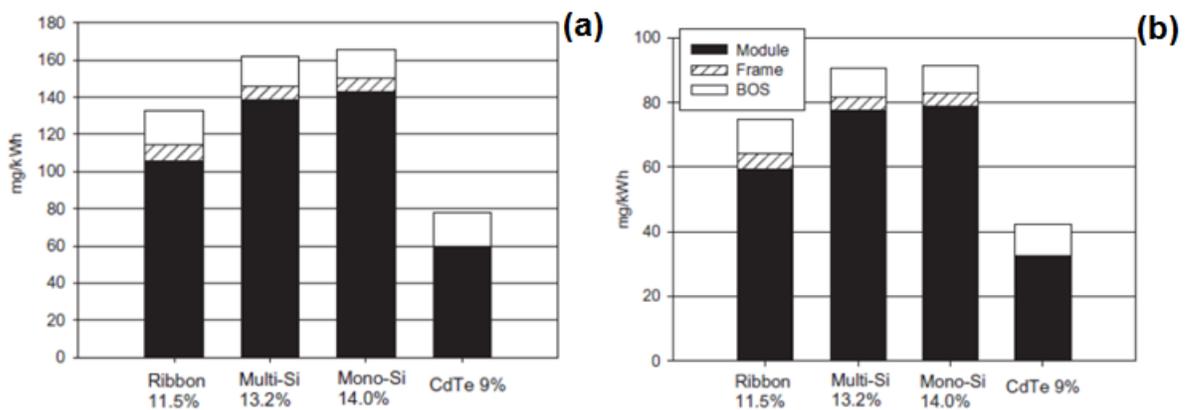


Figura 29 Gases emitidos na produção de diferentes tipos de placas FV

(a) emissão de SO_x e (b) NO_x na produção das células FV.

Fonte: adaptado - Fthenakis, 2011.

Esses gases são gerados, principalmente, durante o processo de purificação do silício. E isso, já ocorre na confecção de outros produtos além das células FV. Com isso, apesar do problema, há outras indústrias, como por exemplo, em circuitos eletrônicos, materiais cerâmicos, silicones, etc. Sendo assim, assim como a necessidade na redução da geração desses gases, o tratamento/filtração já existem aplicados em outros processos.

4.4.2.4.Efeitos climáticos

Como consequência de dois fatores, o microclima pode sofrer alteração: a emissão e não tratamento dos gases gerados na confecção das placas FV; o aumento na quantidade de energia não absorvida (por meio da reflexão e dissipação) local.

Segundo Oliveira, *et al* (2012) , o microclima é definido por uma pequena região, que se difere climaticamente das regiões em seu entorno, que podem ser causados por áreas verdes, conglomerados urbanos, parques industriais.

Apesar de não encontrado estudos sobre o tema, a geração centralizada de EE pela FV, pode vir a modificar o microclima, com um aquecimento localizado, uma vez que parte da irradiação incidente na placa é refletida. Uma parte da energia absorvida é transformada em energia elétrica, outra parte em calor, com isso, especula-se a formação de uma bolha de calor no conglomerado de placas, que poderiam por consequência aumentar a temperatura ambiente em seu entorno.

Outro motivo que levaria ao aquecimento no microclima seria por meio da energia solar refletida pelas placas. Poderiam elas não interferir no clima local, caso essa energia seja dissipada para fora da atmosfera, porém, se localizada em locais nas

quais o efeito estufa ocorra, como próximo de grandes centros urbanos, essas energias, podem contribuir ainda mais para o aquecimento local.

4.4.2.5 Resíduos Sólidos.

Com o passar dos anos, com o funcionamento das placas FV, daqui a 20 ou 30 anos, uma nova problemática surgirá. Uma vez que essas placas ao longo dos anos perdem eficiência, precisam ser substituídas e estas, tornam-se resíduos sólidos que deverão ter uma destinação.

Conforme afirma Ben Robinson (REW, 2016), Gerente de Desenvolvimento de uma empresa do segmento fotovoltaico, afirma que os cientistas e pesquisadores estão produzindo placas FV cada vez mais eficientes e que podem gerar mais energia, além da preocupação na redução de custos e cada vez mais diversificada de modo que se encaixem as necessidades variadas, assim, incentivando cada vez mais o uso dessa tecnologia. E aí, da solução nasce um problema: as placas FV que estão em alta demanda, terão que ser reciclados e/ou descartados. Afirma ainda que com relação a esse tipo de resíduos não existem dados oficiais, pois é um problema futuro, hoje são apenas estimativas.

Assim como qualquer produto, as células FV possuem um ciclo de vida longo, porém limitado e por conta disso outro impacto ambiental gerado são os resíduos sólidos provenientes do final desse ciclo de vida, na será necessária a substituição por novos painéis, acarretando na geração de resíduos sólidos. Resíduos esses, que provavelmente serão tratados como resíduos eletrônicos principalmente contendo o silício, na qual é utilizado na maioria das placas usadas atualmente.

Segundo a Agência Canal Energia (2016), os resíduos gerados pela cadeia de

placas FV solares, irá abrir um novo mercado: a reciclagem. Ocorre que após 30 anos de uso, todo esse material será descartado, gerando um mercado potencial de 15 bilhões de dólares. O principal produto gerado desse processo será o vidro que se estima somar 78 toneladas, o que somente ele, poderia render 2 bilhões de novos painéis. Espera-se que no ano de 2050, em ordem decrescente, é que a China terá 13,5 milhões de toneladas de resíduos, seguido do Estados Unidos com 7,5 milhões de toneladas, Japão, 6,5 milhões, Índia 4,5 milhões e Alemanha com 4,4 Mi de toneladas.

Esses resíduos basicamente são compostos de vidro, alumínio e um material semicondutor que varia de acordo com a tecnologia de fabricação. Mas segundo Lisa Kruger (REW, 2016) a reciclagem desse material é relativamente eficiente, sendo que até 97% desse material poderá ser utilizado para a produção de novas placas, por meio de processos térmicos para placas que não contém silício. Já para as placas com silício o processo é outro e menos eficiente uma vez que há a necessidade de processos mecânicos para retirada de alguns materiais e moagem, mesmo assim, estima-se que até 95% do material poderão ser reciclados.

Segundo Dias (2015), há diversos métodos de reciclagem das placas FV, porém a otimização da técnica ainda se faz necessária para que fique economicamente viável. Ainda, das poucas pesquisas publicadas, a maioria pensa na reciclagem do painel propriamente dito, na qual, se basicamente do semicondutor. Porém, há ainda, há a necessidade de ampliar os métodos e materiais de reciclagem, uma vez que que um sistema ou um projeto fotovoltaico vai além de somente o semicondutor, há parte eletrônicas, molduras e estruturas metálicas, e as mais diferentes ligas, como por exemplo a prata.

Dias (2015), em seu trabalho faz uma caracterização mais aprofundada nos matérias encontradas nas placas e concluí que a composição das placas não são tão simplificadas como aparentam, em sua pesquisa conseguiu a caracterização de acordo

com a figura 29.

	Proporção em %			
	c-Si	a-Si	CIS	CdTe
Vidro	74	90	85	95
Alumínio	10	10	12	<0,01
Silício	3	<0,1	0	0
Polímeros	6,5	10	6	3,5
Zinco	0,12	<0,1	0,12	0,01
Chumbo	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01
Cobre	0,6	0	0,85	1
Índio	0	0	0,02	0
Selênio	0	0	0,03	0
Telúrio	0	0	0	0,07
Cádmio	0	0	0	0,07
Prata	<0,006	0	0	<0,01

Figura 30 Características físicas dos módulos FV.

Fonte: Dias, 2015.

Com isso pode o otimismo de Lisa Kruger (REW, 2016) pode não ser tão certo. Deverão ainda ser realizados estudos mais aprofundados quando a composição e reciclagem dessas placas. Talvez, o que aparente ser simples, pode virar um problema, principalmente décadas à frente na qual não teremos apenas algumas placas para reciclar e sim, toneladas delas e ainda dos mais variados tipos.

5. METODOLOGIA

Esse trabalho se deu, inicialmente, por meio de um levantamento referencial bibliográfico, que dispôs de informações técnicas ou oficiais, e argumentos para análises e fundamentação dos cenários atuais e futuros propostos. O levantamento servirá como base técnica-teórica de todo o trabalho proposto e dará importância e desenvolvimento ao tema proposto.

Segundo Moriki e Martins (2003), o levantamento referencial bibliográfico é a união cuidadosa da pesquisa bibliográfica, científica e documental, conjuntamente com os levantamentos de campo ou laboratorial, quando há. A pesquisa bibliográfica assume um caráter de rotina e que necessita de constantes atualizações; A pesquisa científica se apoia na fundamentação teórica que dá forma e importância ao tema proposto no trabalho. O levantamento documental dão números, índices e estatísticas que apoiam a problemática do trabalho e apoia a argumentação do autor.

Posterior ao levantamento, ainda, segundo Moriki e Martins (2003), vem a construção do quadro teórico. Este se dá na categorização e organização de todo o levantamento realizado, de modo que dê ao corpo do trabalho coerência, consistência e lógica.

Para tal, esse trabalho foi realizado levantamentos de dados e índices históricos, publicações acadêmicas e livros, notícias e informações em documentos oficiais, para que tal modo, a construção do presente trabalho tivesse embasamento, diretrizes e justificasse o tema. A construção do quadro-teórico foi realizada de forma que se permitissem as análises e o cumprimento dos objetivos propostos de forma mais coesiva.

5.1 Análise dos cenários da energia FV – Global, nacional, estadual e outros países

A análise do cenário mundial se dá por meio do levantamento de materiais acadêmicos e publicações em gerais, atuais, referentes ao assunto. São consideradas as matrizes energéticas, o ranking dos países em destaque no setor energético, a potência instalada hoje e nos anos anteriores, o histórico evolutivo no desenvolvimento e ampliação da matriz solar, os investimentos realizados, o potencial energético.

No cenário global, foram utilizados dados de organizações internacionais como a Agência Internacional de Energia (IEA), REN21 e o Laboratório Nacional de Energias Renováveis (RNEL), a Exxon Mobil, Enerdata, além de várias publicações científicas.

Já no que tange o cenário brasileiro, os dados iniciais basearam-se nos relatórios e publicações emitidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME), órgão regulatório nacional, junto aos documentos e regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e também da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Segundo Tiepolo (2014), o estado do Paraná, na qual possui uma matriz energética dominada pelas Usinas Hidroelétricas, mas que possui um potencial solar, superior a países europeus, uma vez que os valores de irradiância são bem superiores. Com isso, o estado ganhou destaque e também foi abordado.

O levantamento dos cenários atuais são ferramentas para a compressão e análise da situação atual da energia fotovoltaica em diversas escalas. Tal como entender seu desenvolvimento, evolução, países em destaque e que dominam a tecnologia, produção e consumo, economia e investimentos e o desenvolvimento sustentável. São levantamentos e apontamentos importantes para a compreensão atual e previsão futura de tecnologia e mercado da energia FV, principalmente até os anos de 2030 e 2050, na qual permite o desenvolvimento de políticas públicas e privadas e metas energéticas, econômicas e ambientais, futuras.

5.2 Energia solar FV

A energia fotovoltaica não é mais uma novidade, ela está cada vez mais presente em nosso dia-a-dia. Porém, não se pode deixar de considerar que a FV é uma tecnologia de diversas aplicabilidades, porém, cada qual com suas diferenças, como por exemplo, materiais empregados, métodos construtivos e eficiências.

Atualmente a FV possui três gerações, sendo a primeira e a segunda, já são produzidas em larga escala e comercialmente utilizadas, mas continuam em evolução. Já a terceira, sua produção é bem pequena e se encontra ainda em desenvolvimento técnico-científico.

Apesar das diferenças entre uma geração e outra, o funcionamento de uma célula fotovoltaica é basicamente a mesma e são constituídas de um material semicondutor.

Não sendo objetivo deste trabalho, contudo, realiza-se um levantamento do funcionamento e da evolução e diferenciação entre uma geração e outra, pois isso nos leva a compreensão dos motivos da energia solar estar empregada e mostra, que através do seu desenvolvimento, além da redução de custos de geração energética, uma tecnologia cada vez mais universalizada, eficiente e ambientalmente sustentável. Assim sendo, realiza-se um levantamento dos princípios básicos de que é um material semicondutor, como é constituída e como funciona uma placa FV, do que compõe um sistema FV, além do apontamento de cada tipo de célula e suas diferenças.

5.3 Desenvolvimento sustentável e impactos ambientais

O crescimento da energia FV na matriz energética já ocorre, porém as expectativas futuras é que o crescimento seja ainda mais significativo. A FV é uma tecnologia que vem cada vez mais empregada no dia-a-dia da sociedade

Esse crescimento, se de um lado é visto como uma grande aquisição energética e

ambiental é justamente nessa expansão que novos desafios são impostos. O crescimento do mercado exigirá aumento na produção de insumos e investimentos nos meios de produção e mais mão de obra, com isso, surgem também, além dos benefícios econômicos e sociais, porém, junto disso, surgem impactos ambientais diversos.

A disponibilidade energética é indispensável para o crescimento e desenvolvimento socioeconômico, com isso é evidente, que com o desenvolvimento, e implantação de sistemas solares, é necessário realizar uma avaliação ambiental dessa matriz. Por isso, realizou-se um levantamento e análises dos possíveis impactos ambientais que a FV pode/poderá causar, seja durante seu processo de produção, ou no descarte, uma vez que possui um ciclo de vida determinado. Com isso, as antecipações destes, permitem a realização de estudos prévios e aprimorar a gestão tecnológica dessa matriz.

6. DISCUSSÃO - Panoramas, perspectivas e desafios.

Passado as crises (americana em 2009 e a europeia em 2011), o mercado aparenta mais estabilidade, pelo menos no plano econômico. Comparado com os anos anteriores é clara que a demanda por energia elétrica continuará aumento. Se por um lado é bom, indica que está ocorrendo o desenvolvimento social, econômico e tecnológico. Por outro, ainda que esteja continuamente mudando, a matriz mundial ainda utiliza, principalmente, a matriz não renovável, que, sem incluir os impactos ambientais na análise, é limitada, e hoje, ainda é barata, mas com o tempo, poderá subir, no caminho da escassez, sem incluir na conta os custos para a mitigação dos impactos gerados.

Conforme a previsão da Exxon Mobil (2017), na qual prevê um crescimento na demanda de 65% até 2040, uma acréscimo aproximado de 16000 TWh, para que isso seja sustentável, é necessário a busca por uma matriz renovável, eficiente e sustentável, caso contrário, os custos só tendem a aumentar.

O Brasil apesar de possuir uma matriz fortificada na geração por meio de hidroelétricas, o que se justifica num países na qual possui inúmeras bacias hidrográficas, possui um potencial solar extremamente alto, principalmente nas regiões mais próximas da linha do equador, onde geralmente há médias de irradiância mais altas. Se por um lado há muita disponibilidade energética hídrica, a principal oportunidade do Brasil na utilização da energia FV em regiões isoladas ou de difícil acesso, além de ser menos impactante ao meio ambiente uma vez que não há áreas de alagamento, desvios nos cursos dos rios, possui menos interferência sobre a fauna e flora, mesmo gerando “menos” energia.

Já o Paraná, localizada na região sul do Brasil, apesar de também possuir forte destaque na utilização do potencial hídrico na geração de energia, boa parte do seu potencial já está explorado. E mesmo localizado numa região mais afastadas da linha

do Equador, possui médias de irradiância superiores aos de vários países europeus que já fazem uso da energia FV e com isso, o mesmo possui um grande potencial no uso dessa tecnologia.

Apesar das oscilações ocorridas durante os últimos 20 anos, tanto no setor econômico, no setor energético uma tecnologia vem se destacando: a fotovoltaica. Principalmente se considerarmos que das energias renováveis, é a que está recebendo investimento: 161 bilhões de dólares em 2015, com um crescimento em relação a 2014 de 12%. Valor esse três vezes maior que a energia eólica que é a segunda colocada com 109 bilhões investidos em 2015, com um aumento de 4% em relação ao ano anterior. O destaque se dá ainda mais, se considerarmos que as demais tecnologias renováveis tivera queda nos investimentos, sendo as mais acentuadas de 42% em investimentos em biomassa e processos oceânicos.

O desenvolvimento técnico da energia FV continua em crescimento, tanto no ponto de vista de variedades, o que permite o uso de diferentes materiais e os mais diversos usos e aplicações, quanto no aprimoramento de placas mais eficientes, o que permitirá projetos cada vez mais compactos. A terceira geração já está próxima de chegar ao mercado, porém a primeira e a segunda geração já estão consolidadas no mercado, principalmente pelos incentivos ou exigências governamentais, mas independente do que desencadeou o crescimento, já está ocorrendo uma mudança cultural e a energia solar está cada vez mais integrada na sociedade. Além dos vários benefícios já levantados, isso influencia principalmente numa produção em escala superior e conseqüentemente a tão almejado diminuição dos preços.

Quanto ao meio ambiente, o potencial energético solar é infinito e amplamente distribuído no globo. Com isso, não exige, necessariamente, estruturas tão concentradas, muitas vezes se faz o aproveitamento de uma pré-estrutura já existente como lajes ou coberturas, diminuído assim a necessidade de expandir fronteiras a diante o meio ambiente, exceto as usinas solares ou centrais de geração concentrada.

Seu funcionamento é estático e sem ruídos, com isso não há desgastes físicos em seu sistema, com isso, a manutenção é mínima, sendo de rotina, apenas a revisão das instalações e componentes elétricos.

Com relação a emissão de gases de efeito estufa durante a produção das placas FV, não foi encontrado muitos trabalhos específicos que apontam esse problema, talvez pelo problema ser tratado pontualmente ou por não gerar uma quantidade significativa que justificasse tal preocupação, mas independente disso, há uma necessidade de se aprofundar no processo produtivo e verificar um forma de minimizar a geração destes gases, com uma colete ou tratamento cada vez mais eficiente. De todos os modos, a utilização do silício não é novidade, existe uma série de produtos, como por exemplo, placas e componentes eletrônicos, que já fazem o uso desse elemento, com isso, esse problema pode já ter sido resolvido em algum outro processo produtivo e que poderia ser aplicado no caso das células solares.

Com relação ao uso de ocupação do solo e a fauna e a flora, para as devidas considerações é necessário dividirmos em duas partes: geração centralizada e geração distribuída (ou individual).

- Geração Centralizada: Se dá em usinas ou campos solares. O uso e a ocupação do solo são incontestavelmente alterados, há a necessidade de se limpar um terreno, montar estruturas metálicas e linhas de energia, pode ser necessário montar estruturas hidráulicas para a limpeza das placas ou mesmo sistemas de drenagem. A flora local é ali extinta ou parcialmente extinta, restando, geralmente, apenas a vegetação rasteira, há a retirada da fauna local, o ecossistema é modificado, exigindo maiores estudos e planejamentos, tal como ações mitigadoras.

- Geração distribuída ou individual: Os impactos são menores, os sistemas FV são menores, pois o local a ser instalado o sistema FV não é para essa finalidade exclusivamente, com isso, adapta-se o sistema em uma estrutura pré-existente, onde a ação antrópica, já havia alterado o ambiente. A atividade principal não se dá pela

geração de energia elétrica e sim como uma forma de auxílio ou adição do sistema de energia já existente previamente. Com isso, os impactos são mais sutis, não sendo obrigatoriamente a derrubada de árvores para a abertura de terrenos, por exemplo.

Os efeitos climáticos ainda precisam serem estudados, pela lógica, há uma possibilidade que as concentração das placas FV podem alterar o microclima e causando uma ilha de calor e aquecimento da temperatura ambiente e isso, poderia gerar não apenas desconforto para as pessoas, como gerar um desequilíbrio no ecossistema local, impactando a fauna e a flora.

Infelizmente as placas FV após cerca de 20, 25 ou 30 anos devem ser substituídas por novas, o que fará com que ocorra a geração desses “novos” resíduos eletrônicos. Conforme analisado pelo Dias (2015), atualmente se trabalha apenas com dados estimados. Aparentemente o processo de reciclagem é viável e eficaz, inclusive pode gerar um novo mercado: a reciclagem de placas fotovoltaicas (Canal Energia, 2017). Outro ponto a ser questionado é quanto à possibilidade ou não, exigência ou não, da logística-reversa no ciclo de vida das placas.

Demanda crescente, necessidade de uma energia sustentável e ilimitada, altos investimentos, incentivos e exigências políticas, melhoramento técnico das placas, praticidade, universalidade, minimizados impactos ambientais e principalmente diminuição dos preços, é a soma de todos esses fatores que tornam a energia solar a mais promissora das próximas décadas. Resta saber e esperar que de fato, essa alternativa energética é realmente eficiente e sustentável.

7 CONCLUSÃO

A energia FV vem crescendo de forma acentuada, e naturalmente, com a expansão do mercado, aumentam-se os impactos ambientais e os desafios a serem superados.

Essa é uma área de pesquisa ainda relativamente nova, principalmente se tratarmos do ponto de vista ambiental, uma vez que se trabalha com estimativas e simulações futuras. Ainda há muito campo a ser explorado, tanto comercialmente, politico-economicamente, quanto em pesquisas acadêmicas. Com isso, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar um levantamento das oportunidades que pode-se utilizar a fotovoltaica, mas que não geralmente não estão em uso, por exemplo avaliar a possibilidade da instalação de placas FV em ciclovias, ou mesmo, montar usinas solares no mar.
- O levantamento, caracterização e a análise na composição físico-química das diferentes placas existentes no mercado;
- Realizar o desenvolvimento e a análise do ciclo de vida das placas FV, tal como a logística reversa do mesmo.
- Realizar a viabilidade no processo de reciclagem e verificar se o montante de resíduos gerados poderá ser reciclado e se o mercado terá a capacidade de absorver e utilizar todos esses materiais resultantes.
- Analise nos processos de reciclagem das placas FV: verificar se há algum método de reciclagem que pode ser aplicada a todas as placas ou não; Em caso negativo, propor diferentes métodos.

8. REFERÊNCIAS

ABE, R. S. **Estudos e aplicações da Célula Fotovoltaica DSC** – UNESP, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2011.

ABNT. **NBR 11704 - “Sistemas Fotovoltaicos - Classificação”**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Informações Gerenciais – Dezembro de 2012** – Brasil, 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Informações Gerenciais – Dezembro de 2014** – Brasil, 2015.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Informações Gerenciais – Dezembro de 2016** – Brasil, 2017.

AESB - Applied Energy Solutions Blog. **Fundamentals of Solar Power** – AES Solutions, Johannesburg, Africa do Sul, 2012. < <http://applied-energy.co.za/AESB/?p=142>> acessado em 29/05/2017.

BBC BRASIL, Entenda a quebra do banco Lehman Brothers - <http://www.bbc.com/portuguese/reporterbbc/story/2008/09/080915_lehman_qa_pu.shtml> acessado em 20/11/2017.

BITELLO, S, J. **Aquecimento Global. De quem é a culpa?** – Mundo Jovem, PUC-RS <<http://www.pucrs.br/mj/artigo-aquecimento-global-de-quem-e-a-culpa.php>> acessado

em 06/12/2017.

BLOOMBERG BRASIL. **Energia solar pode ser mais barata que carvão até 2025** <<https://www.bloomberg.com.br/blog/energia-solar-pode-ser-mais-barata-que-carvao-ate-2025/>> Acessado em 19/11/2017.

BRASIL. **Projeto prevê investimentos privado de R\$100 bi em energia solar até 2030** – Portal Brasil - Governo Federal, Brasil, 2015. <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/12/projeto-preve-investimento-privado-de-r-100-bi-em-energia-solar-ate-2030>> Acessado em 29/052017.

BRITO, M, C. SILVA, J. A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade** - O instalador, Julho 2006. < <http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>> Acessado em 19/11/2017.

CIBCIRJ, Câmara Ítalo-brasileira de Comércio e Indústria do Rio de Janeiro. **A italiana Convert no parque fotovoltaico brasileiro dos recordes** - <<http://camaraitaliana.com.br/noticias/a-italiana-convert-no-parque-fotovoltaico-brasileiro-dos-recordes/>> acessado em 07/12/2017.

CANAL ENERGIA. **Mercado de US\$ 15 bi será aberto com a reciclagem de painéis solares** - < <https://www.canalenergia.com.br/noticias/24262526/mercado-de-us-15-bi-sera-aberto-com-a-reciclagem-de-paineis-solares>> acessado em 15/11/2017.

CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica. **Manual de Engenharia Fotovoltaica** – CECRESB – Centro de Referência para Energia solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro, 1999.

DIAS, P. R; **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos (painéis solares)** – UFRS, Porto Alegre, 2015.

DoITPoMS - Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science. **Atomic Scale Structure of Materials** – Universidade de Cambridge. <<https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/atomic-scale-structure/intro.php>> acessado em 15/11/2017.

Economia iG. **Saiba mais sobre a crise na Europa e entenda quem são os “Piigs”** - <<http://economia.ig.com.br/criseeconomica/saiba-mais-sobre-a-crise-na-europa-e-entenda-quem-sao-os-piigs/n1597382096580.html>> acessado em 20/11/2017.

ELETROBRAS; Eletronorte UHE Tucuruí, <<http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/tucuruui/>> acessado em 21/11/2017.

Energy Sage. **Mono vs. Poly solar panels explained** - <<https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>> Acessado em 16/11/2017.

Energy Skeptic. **CSP with thermal energy storage is seasonal, so it can not balance variable power or contribute much power for half the year** – <<http://energyskeptic.com/2015/csp-energy-storage-seasonal-not-much-use-on-national-grid-either/>> ACESSADO EM 29/05/2017.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Anuário Estatístico de Energia**

Elétrica 2016: ano base 2015 – Rio de Janeiro, RJ, 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2014** – Rio de Janeiro, RJ, 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2015** – Rio de Janeiro, RJ, 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2016** – Rio de Janeiro, RJ, 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Demanda energética 2050** – Rio de Janeiro, RJ, 2014.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Plano Nacional de Energia 2030** – Rio de Janeiro, RJ, 2007.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 5 anos (2016-2020)** – Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ÉPOCA NEGÓCIOS. **O Mundo depois da crise de 2008** - <<http://epocanegocios.globo.com/Informacao/Visao/noticia/2013/09/o-mundo-depois-da-crise-de-2008.html>> Acessado em 20/11/2017.

ESTADÃO. **Alemanha: o país em que a energia solar vingou até demais** - <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,alemanha-o-pais-em-que-a-energia-solar-vingou-ate-demais-imp-,1567777>> acessado em 21/11/2017.

EXXON MOBIL. **The Outlook for Energy: A view to 2040** – Exxon Mobil Corporation, EUA, 2017. < <http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2016/2016-outlook-for-energy.pdf>> acessado em 29/05/2017.

FONSECA, V. L.; FONSECA, G. S. **A Paisagem de agonia do Rio Vieira em Montes Claros-MG** - UNIMONTES, Montes Claros-MG, 2012. <http://www.unimontes.br/arquivos/2012/geografia_ixerg/eixo_politica_meio_ambiente/a_paisagem_de_agonia_do_rio_vieira_em_montes_claros.pdf> acessado em 06/07/2016.

FRUETT, F. **Introdução aos semicondutores** – UNICAMP < <http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE530/PDF/Texto%20-%20F%EDsica%20dos%20Semicondutores.pdf>> acessado em 15/11/2017.

FTHENAKIS, V.M; KIM, H.C. **Photovoltaics: Life-cycle analyses**. Nova Iorque, 2011. <https://www.bnl.gov/pv/files/pdf/230_SolarEnergy_PV_LCA_2011.pdf> acessado em 30/05/2017.

GES – Global Energy Statistical Yearbook 2017. <<https://yearbook.enerdata.net/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html>> acessado em 22/09/2017.

GES – Global Energy Statistical Yearbook 2017 – **Enerdata** - Ref. Junho de 2017. <<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-production.html>> Acessado em 22/09/2017.

GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos** – CEPTEL-CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

GOLDEMBERG, J; LUCON, O. **Energias Renováveis – um futuro sustentável.** – São Paulo, SP, 2007.

GONÇALVES, V, C, S. **O caminho para a viabilidade econômica e ambiental da energia fotovoltaica** – Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Portugal, Lisboa, 2014.

IEA – International Energy Agency. **Key world energy statistics** – Paris, 2016.

IEA – International Energy Agency. **Monthly electricity statistics – January 2017** – Paris 2017.

INFINITYPV. **InfinityPV foil** - <<https://infinitypv.com/products/opv/foil>> acessado em 16/11/2017.

KEMERICH, P. D. C; FLORES, C. E. B; BORBA, W. F; SILVEIRA, R. B; FRANÇA, J. R; LEVANDOSKI, N. **Paradigmas da solar no Brasil e no mundo.** – Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, vol 20, Santa Maria-RS, 2016.

KOWALSI, R.L. **Geração de energia solar cresce e Paraná já é 3º no ranking nacional** – Bem Paraná. <<http://www.bemparana.com.br/noticia/505878/geracao-de-energia-solar-cresce-e-parana-ja-e-3o-no-ranking-nacional>> acessado em 18/10/2017.

LACHINI, C; SANTOS, J. C. **Photovoltaic energy generation in Brazil - Cost**

analysis using coal-fired power plants as comparison – Renewable Energy 52, Elsevier, 2013.

LAVADO, A, L, C. **Os actuais desafios da energia. implementação e utilização das energias renováveis** – Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia Animal, Portugal, Lisboa, 2009.

MATSUMOTO, A. **Desenvolvimento de Células Fotovoltaicas Orgânicas e Flexíveis** – UNICAMP, Campinas, SP, 2013.

MORAES, L, C. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras** – UNESP, Bauru, 2015.

Moriki, A. M. N., & Martins, G. A. **Análise do referencial bibliográfico de teses e dissertações sobre contabilidade e controladoria** - Anais do Congresso USP de Controladoria e Contabilidade, São Paulo, SP, 2003.

MURCIAS, H, R. **Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas - Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects** – Colombia, Bogotá, 2009.

PHILIPPI JR, A.; MALHEIROS, T. F. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável** - USPBarueri, SP.

O GLOBO. **Energia solar cresceu 70% em dois anos - Setor estima que, até 2030, vai responder por 10% da matriz energética, apesar do cancelamento de leilão** - <
<https://oglobo.globo.com/economia/energia-solar-cresceu-70-em-dois-anos-20715504>>

acessado em 19/11/2017.

OLIVEIRA, A. S; NOGUEIRA, M. C. J. A; SANCHES, L; MUSIS, C. R; **Microclima urbano – Praças públicas em Cuibá/MT/Brasil** – Caminhos da Geografia, v. 13, n. 43, Uberlândia, 2012.

POLMAN, A; KNIGHT, M; GARNETT, E; EHRLER, B; SINKE, W; **Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges** - Energy research Center of the Netherlands (ECN), Amsterdam, 2016.

REN21. **The first decade – 10 years of renewable energy progress** – Paris, 2014.

REN21 **Energias renováveis 2016 – Relatório da Situação Mundial**
<http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/11/REN21_GSR2016_KeyFindings_port_02.pdf> Acessado em 22/09/2017.

REN21. **Renewables 2011 Global Status Report** - REN21, Paris, 2011.<http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2011_FINAL.pdf>
acesso em 30/05/2017.

REW – Renewable Energy World. **Funding the Risks of New Solar PV Technology and Recycling** – 2016.
<<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2016/03/funding-the-risks-of-new-solar-pv-technology-and-recycling.html>> Acessado em 15/11/2017.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltáicos** – Labsolar, UFSC, Florianópolis, 2004.

SANTOS, M, A. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas** – UFRJ, COPPE, Rio de Janeiro, 2000. <<http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/masantos.pdf>> acessado em 07/12/2017.

SILVA, P. J. **Uso e ocupação do solo urbano: uma análise dos impactos ambientais nas áreas de dunas no bairro de Felipe Camarão/Natal-RN** - Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2015.

SILVA, R. W. C., Paula, B. L. **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural** - Terra Didática, Unicamp, 2009. <https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf> acessado em 06/12/2016.

SIMONETTI, H. **Estudo de Impactos Ambientais gerados pelas rodovias: Sistematização de processos de elaboração de EIA/RIMA** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Eng. Civil, Porto Alegre, 2010.

SWART, J. W; **Conceitos básicos para semicondutores** - <https://chasqueweb.ufrgs.br/~hklimach/fisica_semicond.pdf> Acessado em 19/11/2011.

TIEPOLO, G.; CANGIOLIERI, O.; URBANETZ, J.; VIANA, T. **Photovoltaic Generation Potential of Paraná State, Brazil – a Comparative Analysis with European Countries**, Apresentado no ISES Solar World Congress 2013, Cancún, México, Publicado no Energy Procedia, 2014a;

TIPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná** – PUC, Curitiba, 2015.

TIPOLO apud WOLF, LUQUE, HEGEDUS, EERE; G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná** – PUC, Curitiba, 2015.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** – EPE, Rio de Janeiro: Editora EPE, 2016.

VICHI, M, M. MANSOR, M, T, C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial** – USP, São Paulo, 2009.

WELICZKO, E. **Solar-Electric Options: Crystalline vs. Thin-Film** - 2008
<<https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/equipment-products/solar-electric-options-crystalline-vs-thin-film>> acessado em 16/11/2017.