

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

CAMPUS CUIABÁ BELA VISTA

DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO CURSO DEPARTAMENTO EM

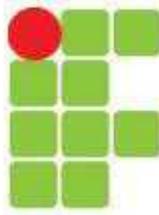
TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

NILSON LEITE PEREIRA

**ENERGIA SOLAR UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE E
VIABILIDADE ECONOMICA**

Cuiabá/MT

2016



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA

DEPARTAMENTO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

NILSON LEITE PEREIRA

ENERGIA SOLAR UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE E VIABILIDADE ECONOMICA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso Campos Cuiabá – Bela Vista, orientado pelo Professor. Ericson Djuliano Nunes Souza Thaines.

Cuiabá/MT

Março/2016

Divisão de Serviços Técnicos. Catalogação da Publicação na Fonte. IFMT Campus Cuiabá Bela Vista
Biblioteca Francisco de Aquino Bezerra

P436e

Pereira, Nilson Leite.

Energia solar uma perspectiva de sustentabilidade e viabilidade econômica/ Nilson Leite Pereira._ Cuiabá, 2016.

46f.

Orientador (a): Prof. Ericson Djuliano Nunes Sousa Thaines

TCC (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) -. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

1. Energia fotovoltaica – TCC. 2. Economia energética – TCC. 3. Eficiência - TCC. I. Thaines, Ericson Djuliano Nunes Sousa. II. Título.

IFMT CAMPUS CUIABÁ BELA VISTA

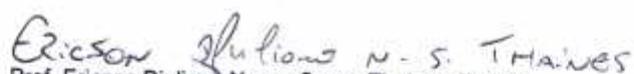
CDU 620.92
CDD 621.47

NILSON LEITE PEREIRA

**ENERGIA SOLAR UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE E
VIABILIDADE ECONÔMICA.**

Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia em Gestão Ambiental, submetido à banca examinadora composta pelos professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, campus Cuiabá – Bela Vista, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de graduado.

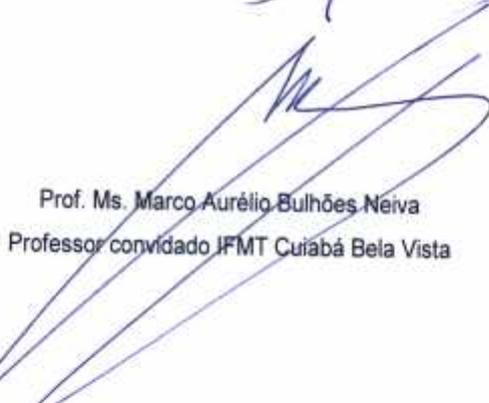
Aprovado em 23 de março de 2016.


Prof. Ericson Djuliano Nunes Souza Thaines Oliveira

Professor Orientador IFMT Cuiabá Bela Vista


Prof. Ms. James Moraes de Moura

Professor convidado IFMT Cuiabá Bela Vista


Prof. Ms. Marco Aurélio Bulhões Neiva

Professor convidado IFMT Cuiabá Bela Vista

Cuiabá/MT

Março/2016

DICATÓRIA

À minha esposa Odilza e as minhas filhas Sarah e Livia, que me apoiaram nessa nova jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus que me deu coragem, força e inteligência para que eu finalizasse essa primeira etapa.

À minha família, que sempre foi muito presente em minha vida e apoiou tanto minha educação. Amo vocês.

Ao prof. Ericson Djuliano Nunes Souza Thaines, por sua orientação e pela transmissão dos seus conhecimentos.

Ao prof. James Moraes de Moura por sua contribuição em me ajudar nas dificuldades encontradas.

Agradeço a prof. Lyssa Goncalves Costa pela sua colaboração.

RESUMO

Com a dificuldade energética pela qual sociedade moderna tem passado, devido ao crescimento vertiginoso do processo de industrialização, urbanização e modernização da tecnologia de produção do campo e da cidade, a demanda por falta de energia no Brasil e no mundo se intensificou associada às alterações climáticas oriundas da emissão de gases poluentes, bem como, devido ao esgotamento de recursos não renováveis, todos esses processos contribuíram para o aumento significativo da energia. Para esse contraponto a exploração da energia solar é uma alternativa viável, tanto em termos técnicos quanto econômicos, pois ela se mostra ambientalmente sustentável, apesar do seu alto custo, principal barreira para seu uso em escala comercial, este, já está sendo vencido. Diante desse contexto busca-se fazer um estudo histórico da evolução da energia solar, com foco nos aspectos econômicos, nas inovações tecnológicas, no desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, na redução de poluição causada pelas energias convencionais, objetivando beneficiar a população em todos os níveis econômicos e sociais, tanto no meio urbano quanto rural.

Especialistas na energia solar fotovoltaica avaliam uma queda de até seis vezes no preço do quilowatt (kW) obtido a partir de energia solar até o ano 2015. A essa tecnologia devem-se priorizar materiais nos quais o Brasil detém o conhecimento para produção em larga escala, o que ajuda a diminuir os valores do sistema fotovoltaico e a desenvolver tecnologias nacionais, fazendo com que num futuro bem próximo, a energia solar possa concorrer com os preços de fontes de energia impactantes ao meio ambiente e principalmente atender às populações das cidades e do campo a um custo mais baixo e com tarifas reduzidas, principalmente, atendendo as populações que residem em lugares de difícil acesso.

Palavras-chaves: Energia fotovoltaica, economia energética, eficiência.

ABSTRACT

Climatic changes caused by emission polluted gas, with the decreasing resources non renewable, the increasing industrialization process, urbanization, modern production at the field and in the cities have contributed to the great demand by lack of energy that modern society has been through. The exploitation of sun's energy is considered a flexible alternative to solve this problem. The use of this alternative energy represents a technic and an economic earning, because it configures a sustentable model to nature., although its spending is high. Although it represents high costs, this difficult has been overcome. That's why the scientists are researching and making studies about the sun's energy evolution, giving emphasis to the economical factors, technological innovations and sustentable development with a defined purpose, that is reducing pollution caused by the common energies. The idea from this project is help the population in all economical and social levels, which lives at rural areas or in the city.

Specialists that observe the sun's energy photovoltaic analyze a reduction in the kilowatt costs at least six times inferior to the normal prices. Looking to this perspective in 2015, to use this technology, Brazil needs to give emphasis in using adequate materials in large scale production. This perception helps to decrease the costs system photovoltaic cost and help develop national Technologies, making possible that in a near future Brazilian's technology can compete equally against the prices from other important energies to the environment, and it will attend the population which lives at the rural areas and in the cities, permitting lower prices and better taxes, giving a great support to the ones who live in areas from difficult access.

Keywords: Photovoltaic energy, energy saving, efficiency

ABREVIATURAS.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

EPE - Empresa de pesquisa energética

I&D - Investigação e Desenvolvimento

IEA - International Energy Agency

CPV - Concentradores fotovoltaicos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

SÍMBOLOS

Wp – Watt pico (fornecido por ou mais painéis fotovoltaico)

CA – corrente alternada

CC – corrente continua

CdTe – Telureto de Cádmio

CIGS – Cobre-Índio-Gálio-Selénio

CIS – Cobre-Índio-Selénio

GaAs – Arsenito de gálio

OPV – Células fotovoltaicas orgânicas

DS – células solares sensibilizadas por corante

CPV – Concentradores fotovoltaicos

MCPV - Medium Concentrating Photovoltaics

Mono-Si – Silício monocristalino

Sumário

1.INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	15
3.1. A legislação vigente no Brasil.....	23
3.1.1 A viabilidade econômica dos materiais que compõem o painel fotovoltaico. ...	24
3.1.2 O público alvo a ser beneficiado pelo sistema fotovoltaico: a população das regiões isolada.	24
3.1.3 Os benefícios adquirido através da implantação do sistema fotovoltaico para o meio Ambiente.	26
3.1.4 Conversão Fotovoltaica de Energia Solar	28
3.1.5 Tipos de Células.....	32
3.1.6 Silício Monocristalino.....	32
3.1.7 Silício Policristalino.....	33
3.1.8 Silício Amorfo.	34
4. MATERIAL E METODO	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
7.REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar incidente na Terra tem papel principal em varias atividades humano como, por exemplo, a agricultura, a arquitetura e o planejamento energético. A radiação solar é uma opção, limpa e renovável de produção de energia. Um país como Brasil, que esta localizada na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial de energia solar durante todo ano (LORENZI, 2012).

A aplicação da energia solar pode ter benefícios à longo prazo para o país, avançando no desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é muito alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em situações de estiagem, resumindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo os lançamento de gases poluentes à atmosfera como estabelece a Conferência de Kyoto.

Conforme Martins (2004). Uma das principais fontes de energia Brasileira é a hidráulica para geração de eletricidade. Apesar de não acontecer emissão de poluentes para a atmosfera, as usinas hidroelétricas produzem um impacto ambiental ainda não adequadamente avaliado, devido ao alagamento de grandes áreas cultiváveis e, além disso, as reservas brasileiras para geração hidroelétrica tendem a se esgotar nas próximas décadas.

Em vários países já investem na opção solar, com estudo do fluxo de radiação solar que atinge a Terra, até a tecnologia necessária tornando viável, em termos técnicos e econômicos, para utilização dessa energia. O Brasil esta nesta "corrida", com o projeto como, por exemplo, a analise da eficácia de pequenos módulos solares em regiões remotas e o mapeamento do potencial energético solar existente no país, indispensável à instituição de uma política nacional para o setor (LION FILHO, 2007).

Como fonte de energia alternativa o interesse pela utilização da radiação solar cresceu muito nas duas últimas décadas, após a crise do petróleo de 1973, por motivos econômicos, quando os estudos nessa área tiveram maior força nos Estados Unidos e na Europa. Hoje, a um interesse maior, abrangendo não só a utilização dessa radiação como fonte de energia limpa e renovável, mas tendo

conhecimento do clima e de suas mudanças uma questão crucial, mantendo a manutenção da vida na Terra. Hoje, muitos países, inclusive o Brasil, já têm na energia solar opção para o problema energético do próximo século, à razão de sobra para isso. (PEREIRA, 2006).

A procura energética mundial depende quase totalmente (cerca de 80%) dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural), recursos esgotáveis. Além disso, está associado a riscos ambientais ainda não totalmente avaliados, mas preocupantes. Cerca de 30 bilhões de toneladas de CO₂ (dióxido de carbono, ou gás carbônico), CO (monóxido de carbono), SO₂ (dióxido de enxofre) e Nox (óxidos de nitrogênio), além de aerossóis (matéria sólida em suspensão), são instilados por ano na atmosfera pela queima de combustíveis fósseis, aquecimento, refrigeração etc. (DE SOUZA, 2015).

De acordo com Pereira, (2006). A energia nuclear, uma opção para troca das fontes convencionais, já expôs suas insuficiências, no ponto de vista ambiental -- sem contar o "fantasma" das armas nucleares, que já assombrou o planeta em passado recente. Em vista das restrições, os Estados Unidos têm mantido em inerte os recursos para o setor, enquanto aumenta, em países europeus, a tendência a reduzir investimentos (como na Alemanha) ou abandonar de vez a opção nuclear (como na Noruega).

A média mensal da energia solar que reflete todos os dias sobre Brasil em cada m² da superfície varia, dependendo do local e da época do ano, entre 9 e 27 megajoules (MJ), que condiz a 2,5 a 7,5 quilowatts-hora (kWh). Apesar de inesgotável e não ofereça riscos ambientais, essa energia ainda é aproveitada muito pouco no país, para secagem de alimentos, na indústria do sal e em outras atividades. (LODI, 2011).

A evolução científica e tecnológica teve um elevado investimento, principalmente nos Estados Unidos, Alemanha, Austrália, Japão, Itália e Israel, têm contribuído para que novas tecnologias de fabricação e produção de equipamentos de transformação da energia solar ampliem a concorrência desta forma de energia em relação às formas convencionais -- hidráulica, nuclear e termo fóssil. Avalia - se que um km² de placas de células fotovoltaicas possam produzir até 100 megawatts (MW) de energia elétrica, o que tem um sétimo da potência de uma turbina da hidrelétrica de Itaipu. (JANNUZZI 2009).

As células fotovoltaicas, ou fotoelétricas, são dispositivos semicondutores que gera uma corrente elétrica quando expostos à luz. Os benefícios em relação à energia hidrelétrica é que a planta solar pode ser instalado em terras de baixa qualidade e gera energia de maneira descentralizada, diminuindo os gastos de distribuição. A produção mundial de energia fotovoltaica cresceu de 4 MW, em 1980, para mais de 60 MW em 1991 (LIMA, 2014).

Energia solar fotovoltaica por ser independente, dispensa a construção de novas redes de distribuição para as regiões mais remotas, em uma projeção correta, poderá ser competitiva economicamente e ambientalmente sustentável.

Devido à dificuldade energética pela qual sociedade moderna tem passado pelas alterações climáticas causadas pela ação antrópica, tornando cada vez mais escasso e até incapaz de suprir a falta de energia elétrica, o processo de transição demográfico que está se passando no país, a expectativa de crescimento das economias emergentes (China, Índia, Brasil, entre outras), a previsão de crescimento das indústrias de base, o desenvolvimento mais significativo da autoprodução energética em alguns segmentos da indústria, os ganhos com aumento da eficácia energética, e outros fatores importantes. (SIMIONI, 2007).

EPE efetuou um estudo, divulgado em 2012, calculando o consumo e aumento da demanda energética no país para o horizonte de 2022 a 2023. Relativamente à dinâmica populacional, estima – se um aumento da população de aproximadamente 13 milhões de pessoas até 2022, um aumento de 2,1% ao ano no numero de domicílios.

Já na indústria, uma alta de 3,6% ao ano do gasto total de eletricidade dos grandes consumidores industriais, que em 2012 consumiram 100.412 GWp, isso aliado a um crescimento de 7% ao ano da sua geração própria de energia, que em 2012 atingiu 22.165 GWp. Em avaliação aos valores de aumento de consumo, estimando a redução 5,8% do consumo total do país para o ano de 2022 devido ao aumento da eficiência energética. Presume – se também um crescimento do PIB de 4,7% ao ano (EPE 2012)

O Brasil e detentor de vários recursos naturais, abundantes no setor de geração de energia, o país demonstra variedades em recursos renováveis. A

resolução 482 de 2012 pela ANEEL regulamenta e estabelece as condições para troca de energia entre consumidor e a concessionária, de maneira que os sistemas de micro e minigeração possam ser introduzidos na rede de distribuição de energia, notando a tendência no aumento da demanda energética, à necessidade de diversificação da matriz nacional, propõem – se realizar um estudo voltado para o sistema fotovoltaico (IZIDORO et al., 2015).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do estudo é elaborar um trabalho, no contexto Histórico, evolução da energia solar, nos aspectos econômicos, inovações tecnológicas, no desenvolvimento sustentável, objetivando beneficiar a população com toda a informação colhida neste trabalho sobre esta fonte de energia limpa e inesgotáveis.

2.2 Objetivos Específicos

- A pontar a vantagens socioeconômicas e ambientais do sistema de energia solar fotovoltaicos;
- Demonstrar a Importância da geração de energia solar fotovoltaica, para as regiões isoladas;
- Descrever a evolução das tecnologias que compõem o sistema de geração de energia solar fotovoltaico;

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A primeira célula solar moderna foi divulgada em 1954. Era só dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência elétrica. Cinquenta anos depois, em 2004, foram fabricadas cerca de mil milhões de células, com eficiências da ordem dos 16%, excedendo pela primeira vez a barreira de 1 GW de potência elétrica anual instalada (VALLÈRA, 2006).

O efeito fotovoltaico foi visto pela primeira vez em 1839 por Edmond Béqueres que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num electrólito, produziam uma pequena alteração de potencial quando expostas à luz. (MEKHILEF, et al., 2012).

Em seguida, em 1877, dois inventores norte americanos, W. G. Adams e R. E. Day manusearam as propriedades fotocondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de electricidade por exposição à luz. (VIEIRA, 2013).

Conforme BRITO et al., (2006) Tratava-se de um filme de selênio depositado num substrato de ferro e com um segundo filme de ouro, semitransparente, que servia de contacto frontal. Apesar da baixa eficiência de conversão, da ordem de 0,5%, nos finais do século XIX o engenheiro alemão Werner Siemens (fundador do império industrial com o seu nome) comercializou células de selênio como fotômetros para máquinas fotográficas.

A história da energia fotovoltaica teve de aguardar os grandes avanços científicos da primeira metade do século XX, principalmente sobre o efeito fotoelétrico por Albert Einstein em 1905, o surgimento da mecânica quântica e, em particular, a teoria de bandas e a física dos semicondutores, assim como as técnicas de depuração e dopagem relacionada ao desenvolvimento do transistor de silício: sem a ciência moderna, seria impensável o surgimento da energia solar eléctrica. Brito et. al. (2006).

Segundo Da Silva Junior (2008) Devido à exploração excessiva das reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os prejuízos ambientais causados pelo uso desses recursos energéticos presume um cenário preocupante para o próximo século. Nesse sentido, atribui-se a busca de fontes de energia alternativas, em especial renováveis e não-poluente, como a solar.

Segundo Barbosa (2015), as maiores dificuldades para o desenvolvimento de energias renováveis são a falta de políticas facilitadoras e de limites regulatórios, que muitas vezes são questões internas de cada um dos Estados, na maioria das vezes, de países em crescimento. Há uma grande variedade de barreiras incluindo custos, infraestrutura, incentivos e políticas que podem atuar como barreiras entre os países em desenvolvimento e a energia

renovável (BARBOSA, 2015), e tais barreiras podem ter aspectos técnicos, educacionais, econômicos e culturais, que devem ser avaliados conforme cada caso.

A exploração da energia solar é um caminho viável, tanto em termos técnicos quanto econômicos. O alto custo, principal barreira para seu uso em escala comercial, já está sendo vencido. Especialistas nessa tecnologia avaliam uma queda de até seis vezes no preço do quilowatt (kW) obtido a partir de energia solar até o ano 2015 (ver 'Energia e potência'). Mas o uso dessa energia ainda enfrenta dois grandes problemas: a intermitência, pois depende do ciclo diurno e de variações aleatórias de insolação (causadas principalmente por nuvens), e o baixo rendimento de energia por unidade de superfície. (PEREIRA, 2006).

O relato da primeira célula solar iniciou em Março de 1953 quando Calvin Fuller, um químico dos *Bell Laboratories* (Bell Labs), em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos da América, elaborou um sistema de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades eléctricas um processo chamado “dopagem”. (PEREIRA, 2006).

Fuller criou uma barra de silício dopado com uma pequena concentração de gálio, que o torna condutor, sendo as cargas móveis positivas (e por isso é chamado silício do “tipo p”). Seguindo as instruções de Fuller, o físico Gerald Pearson, seu colega nos Bell Labs, mergulhou esta barra de silício dopado num banho quente de lítio, criando assim na superfície da barra uma zona com excesso de electrões livres, portadores com carga negativa (e por isso chamado silício do “tipo n”). Na região onde o silício “tipo n” fica em contacto com o silício “tipo p”, a “junção p-n”, surge um campo eléctrico permanente. (VALLÊRA, 2006).

Ao caracterizar eletricamente, Pearson verificou que gerava uma corrente eléctrica quando a amostra em contato com luz. Pearson tinha acabado de desenvolver a primeira célula solar de silício. Morton Prince, um outro físico dos Bell Labs, explica numa entrevista como Pearson ficou surpreendido com a descoberta e o chamou ao laboratório para que testemunhasse as medidas, assinando o seu caderno de laboratório. (VALLÊRIA et al, 2006).

Motivado, Pearson foi ter com o engenheiro Daryl Chapin, também seu colega nos Bell Labs, que estudava meios de substituir as baterias eléctricas que mantinham em funcionamento redes telefônicas remotas. Chapin ensaiara células

solares de selênio, conhecidas há muito, mas com resultados frustrado a eficiência máxima que conseguira era bem inferior a 1%. Ensaando a nova célula, Chapin e Pearson constataram que a capacidade de conversão era de cerca de 4%, muito mais superior do que a melhor célula de selênio (SILVA, 2013).

Seguindo o estudo da nova célula, foram vários os obstáculos que grupo encontrou. De certa forma a célula evidenciava uma série de resistência muito à dificuldade em soldar contactos eléctricos ao material. Por outro lado, mesmo à temperatura ambiente, verificaram que o lítio migrava para o interior do silício, pelo que a junção p-n (a “zona activa” da célula solar) ficava cada vez mais profunda e inacessível aos fotões da radiação solar, reduzindo assim a eficiência da célula. (CÂMARA, 2011).

Fuller tentou criar a dopagem do tipo n utilizando uma propagação de fósforo, e obteve uma junção p-n mais estável do que a anterior. Porém, o problema dos contactos persistia. Sucedeu - se que Fuller substituiu o gálio por arsênio (formando um substrato do tipo n) seguido por uma difusão de boro (formando uma zona do tipo p à superfície). As novas células podiam agora ser facilmente soldadas e revelaram uma eficiência recorde, atingindo 6% (CÂMARA, 2011).

Porém após o Pentágono ter permitido a sua publicação, a primeira célula solar foi exibida na reunião anual da National Academy of Sciences, em Washington, e divulgada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954. Os resultados foram submetidos para publicação no Journal of Applied Physics e foi registada uma patente. A exibição pública da “pilha solar” consistiu numa transmissão via rádio de algumas palavras entre D. E. Thomas e Morton Prince utilizando um sistema portátil alimentado por uma célula solar. (SILVA, 2013).

A primeira aplicação das células solares de Chapin, Fuller e Pearson, foram realizadas em Americus, no estado da Georgia, para alimentar uma rede telefônica local. O painel, com nove células com 30 mm de diâmetro, foi montado em Outubro de 1955 e removido em Março de 1956. Os resultados foram promissores, embora o painel tivesse ficado rapidamente coberto por uma massa opaca de fezes ornitológica (VALLÊRA, 2006).

Apesar disso, compreendeu - se que o custo das células solares era excessivamente alto, e sua aplicação só podiam ser economicamente competitivos em aplicações muito especiais, como, por exemplo, para produzir electricidade no

espaço. Relembremos que o primeiro satélite, o Sputnik, lançado em 1957, acabara de inaugurar oficialmente a corrida ao espaço entre os Estados Unidos e a União Soviética (VALLÈRA, 2006).

A primeira geração é caracterizada por tecnologias com células formadas por silício cristalino, de junção única (GONÇALVES, 2014). Esse tipo de tecnologia dispõe de uma eficiência de conversão alta. A principal desvantagem é o alto custo de depuração do silício. A primeira geração de tecnologias é a mais comercializada actualmente equivalente a 85-90% do mercado global anual e a tendência é para que corresponda entre 50% a 60% do mercado até 2020 (IEA, 2010).

Os grandes desafios das tecnologias de primeira geração são o aumento da eficiência e eficácia através da redução de materiais, uma melhor concepção das células e a autonomia na produção (IEA, 2010). Esta geração tem uma indústria consolidada, o material é abundante (areia ou quartzo), não é tóxico nem poluente e consiste numa tecnologia simples e madura. A eficiência é alta relativamente à segunda geração (LOSSIO, 2015).

Constituem - se as tecnologias de primeira geração o silício monocristalino, policristalino e o tipo string ribbon. A estrutura dos cristais tem uma diferença entre o silício monocristalino e o silício policristalino, no primeiro tipo a estrutura tem de estar ordenada perfeitamente, enquanto no segundo tipo os cristais estão desordenado (EPIA e Greenpeace, 2011). O silício monocristalino apresenta capacidades comerciais entre os 16 a 24%. O silício policristalino apresenta eficiências mais baixas: 14 a 17% (IEA, 2013).

Fazendo um comparativo o silício policristalino demonstra valores de produção mais baixos do que o silício monocristalino (PACHECO, 2014). Sistema de produção é parecido, a única diferença ocorre no corte dos wafers. O silício do tipo string ribbon, com uma capacidade de 18%, caracteriza-se pelo diferente crescimento dos lingotes, sendo utilizado um laser para os cortes verticais dos wafers. Esta técnica proporciona a diminuição dos custos devido à utilização eficiente da matéria-prima e não é necessário serrar e posterior ataque químico (EPIA & Greenpeace, 2011).

Já na segunda geração as tecnologias são englobada de película fina (thin films) e o seu principal objetivo é a remoção de material que não é necessário, ou seja, diminuir o consumo de silício e arriscar noutras matérias-primas quase tão

eficientes (GONÇALVES, 2014). As eficiências são mais baixas comparativamente com as tecnologias de primeira geração, mas o custo de fabricação é inferior (PACHECO, 2014).

Estas tecnologias constituem uma categoria ultrafina de material fotosensível em substratos de pequeno custo (vidro, aço inoxidável, plástico) (EPIA & Greenpeace, 2011). Por ser mais leve, integra-se perfeitamente nas fachadas e telhados de edifícios (PROENÇA et al., 2007). As tecnologias de 2ª geração englobam três tipos: o silício amorfo (A-Si), o telureto de cádmio (CdTe) e Cobre-Índio-Selênio (CIS) e Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIGS) (IEA, 2010).

O primeiro tipo de película fina a ser produzido foi silício amorfo. Este perfil de silício não tem estrutura cristalina mostrando defeitos estruturais, sendo por isso feita a hidrogenação para minimizá-los. Essa tecnologia absorve a radiação de forma mais eficaz que as estruturas de silício cristalino, tendo eficiência de absorver 40 vezes mais luz (GONÇALVES, 2014). Resistindo melhor às condições meteorológicas adversas e atua com radiação difusa. Com capacidade comercial rondando os 7%, enquanto a laboratorial já obteve os 13% (IEA, 2013) (CASTRO, 2011). Para pequenas funcionalidades (calculadoras e relógios solares, por exemplo), a tecnologia mais usada é esta, por ter associados custos baixos, mais baixos que os custos do silício policristalino (EPIA & Greenpeace, 2011).

O resultado da combinação do cádmio com o telúrio (CdTe) se torna um semicondutor. A First Solar, companhia norte americana, é precursor na fabricação desta tecnologia. É a tecnologia de película fina mais barata (devido aos poucos gastos energéticos), com excelente resposta à radiação solar e menos perdas devido a mudanças de temperatura. Os rendimentos podem chegar aos 12% (FIRSTSOLAR, 2013).

Outras duas características de semicondutores de película fina são as células de CIS (Cobre-Índio-Selênio) e CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selênio). A última é a tecnologia com maior capacidade dentro da segunda geração, alcançado em laboratório eficiências de 20%. Contudo, o processo de fabricação deste tipo de células é extremamente complexo, onde se retratam custos mais elevados. As principais barreiras para o crescimento da quota de mercado deste modo de tecnologia debruçam-se sobre a disponibilidade de certos recursos ambientais

relacionados à toxicidade dos elementos. A capacidade comercial do CIS/CIGS varia entre os 12-14% (IEA, 2013).

A terceira geração as tecnologias tem o objetivo de alcançar grandes eficiências para os mesmos custos de produção que a primeira e segunda geração. Ou seja, esta última geração engloba todas as tecnologias que usem novos materiais, um diferente desenho da célula e/ou a combinação entre tecnologias de primeira e segunda geração (PACHECO, 2014).

São diversas as tecnologias apontadas nesta geração, podendo considerar-se uma aposta na pesquisa e no avanço da energia fotovoltaica. Podem existir células híbridas, que resultam da combinação entre silício cristalino e filme fino; tecnologias com múltiplas junções de células, com o objetivo de utilizar todo o espectro solar; tecnologias de película fina inorgânica, entre outras tecnologias que ainda estão em desenvolvimento e não são predominantes no mercado, mas é possível que venham a ter um papel importante no futuro. O futuro passa por um novo paradigma de construção sustentável com a produção de tintas fotovoltaicas, telhas fotovoltaicas, vidros fotovoltaicos e azulejos, (BITTENCOURT, 2014).

A eficiência das células orgânicas solares são baixa (entre 4 e 5 %), porém são células muito versátil, onde podem existir células totalmente orgânicas (OPV) ou células híbridas dye-sensitised (DS). Em laboratório, as eficiências já chegaram a valores entre 8 e 12% (EPIA e Greenpeace, 2011). O Arsenito de gálio (GaAs) é um semicondutor do tipo III-V que tem uma estrutura semelhante ao silício e usa normalmente um substrato de germânio.

Segundo Toyama, et al os painéis fotovoltaicos orgânicos são finas como papelão e flexíveis como plástico. São revestidas por uma tinta orgânica que, através de reações químicas em contato com o sol, é capaz de produzir energia elétrica. O grande diferencial desses novos painéis será resolver os problemas dos atuais, de silício, com o preço, peso e grossura conforme a figura 1.

Tecnologia: OPV A revolução em Placas solares.



(Fonte: Aluizio Fernando 2015).

A sua eficiência é alta e a espessura é muito reduzida. Se adicionar elementos como o alumínio, índio, fósforo e antimônio, para criar multijunções, a eficiência aumenta significativamente. Os custos associados são elevados, mas por ser um material mais leve e eficiente, é usado em aplicações espaciais e em concentradores fotovoltaicos, os CPV. A eficiência de conversão laboratorial é de 40% ou mais. (PROENÇA et al., 2007).

A característica dos CPV se dá no uso de dispositivos ópticos (lentes e espelhos) que acumulam a luz recebida na superfície da célula fotovoltaica, utilizando apenas a radiação direta. As células que recebem essa luz são usualmente a base de silício (eficiências entre 20 a 25%) ou compostos III-V (GaAs) (eficiências entre 25 a 30%). As lentes precisam estar sempre indicadas para a luz, sendo por isso instalado um sistema tracking. Existem três tipos diferentes de CPV, consoante a taxa de concentração de radiação solar incidente na célula. Esta taxa indica o número de vezes que a luz solar está concentrado nas lentes, designado por suns. (BONITO, 2011).

Ocorre com LCPV (pouca concentração com um factor entre 1 e 40 suns), o MCPV (média concentração com factor de 40 a 300 suns) e o HCPV (factor de concentração entre os 300 e 2000 suns). O HCPV é o mais pesquisado, com mais potência instalada e com melhor perspectivas de redução de custos. A curto-prazo

pode vir a ter maiores eficiências e, conseqüentemente, mais produção de energia elétrica (BONITO 2011).

3.1. A legislação vigente no Brasil

Segundo a ANEEL (2012) a Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012 Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

- Microgeração Distribuída Incentivada: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fonte incentivada de energia conectada na rede de baixa tensão da distribuidora através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada, não despachada pelo ONS.

- Minigeração Distribuída Incentivada: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada maior que 100 kW e menor ou igual a 1 MW e que utilize fonte incentivada de energia conectada diretamente na rede da distribuidora, em qualquer tensão, ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada, não despachada pelo ONS.

Conforme as normas Brasileiras ABNT (2012).

ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica Válida a partir de: 06/04/2012

ABNT NBR 16149:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição Válida a partir de: 01/03/2014 (publicada 01/03/2013)

ABNT NBR 16150:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade Válida a partir de: 04/04/2013 (publicada 04/03/2013)

3.1.1 A viabilidade econômica dos materiais que compõem o painel fotovoltaico.

Um sistema com apenas um painel fotovoltaico no Brasil, tais, como uma luminária fluorescente e duas ou três tomadas para rádio e televisor estão sendo testados em diversas áreas, através de iniciativas nacionais como o Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios (Prodeem), do Ministério das Minas e Energia. A grande vantagem dos sistemas individuais é a melhoria significativa da qualidade de vida de populações de baixa renda em regiões remotas, onde o custo da eletrificação pela rede convencional é proibitivo, em função da baixa demanda.

A partir da última crise do petróleo (1973), o custo dos módulos de energia solar por watt de pico produzido (Wp) caiu cerca de 10 vezes, atingindo hoje no mercado internacional valor inferior a US\$ 4 por Wp. Isso significa que cada kWh de energia produzido, incluídos outros custos, sai por menos de US\$ 0,28. (REGINA 2012).

A energia solar vai tornar competitiva quando vencer a primeira barreira do custo das células fotovoltaicas, produzidas em geral de silício monocristalino, e o baixo rendimento da conversão energética. Um sistema fotovoltaico central inclui módulos de células interligados, um subsistema que controla o acionamento, desligamento e proteção das células e um conversor de corrente continuada para alternada, sincronizado com a frequência e amplitude da rede elétrica convencional. Existem, no entanto, opções mais simples (sistemas individuais), usados na eletrificação de zonas rurais e remotas. (DE SOUZA, 2015).

3.1.2 O público alvo a ser beneficiado pelo sistema fotovoltaico: a população das regiões isolada.

Considerando a sua extensão territorial, as características de dispersão de sua população, o Brasil tem um alto nível de radiação solar e com seu baixo índice de eletrificação nas áreas rurais, está seguramente destinado a ser um grande usuário dessa tecnologia. Percebe - se, que nas regiões Norte, Nordeste,

Centro-Oeste e em algumas partes do Sudeste e do Sul, um enorme número de consumidores, em potencial, de eletricidade, isolados e distantes da rede elétrica existente. (FURTADO, 2011).

Segundo Domingos, (2014) Para maioria deles por meio da extensão da rede mostra-se inacessível a curto, médio e, mesmo, longo prazos, tendo em vista o baixo consumo previsto, o elevado custo de instalação e a ausência de rentabilidade. A opção fotovoltaica pode se revelar, em muitos casos, como uma alternativa factível e de menor valor que a extensão da rede, podendo viabilizar, em prazos relativamente curtos, o atendimento a essa população. As suas características mais marcantes são:

- A fragmentação das propriedades facilita a introdução de unidades de geração solar independente, em que cada usuário é um autoprodutor de sua energia básica;
- Utiliza-se sistema padrão que pode ser replicado com facilidade;
- Satisfação do usuário, onde é preciso entender que a grande maioria das propriedades rurais tem uma demanda baixa por energia, inferior a 30kwh/mês², o que justifica a introdução de Sistemas fotovoltaicos como fonte de geração de energia;
- Facilidade de instalação e transporte para regiões remotas;
- Disponibilidade de energia 100%;
- Alta confiabilidade e baixa manutenção
- Solução economicamente sustentável para propriedades distantes a mais de 2 km da rede
- Eliminar os efeitos nocivos à saúde provocados pelo uso das lamparinas, lampiões e velas (os lampiões e lamparinas a querosene, além de oferecerem iluminação deficiente, provocam irritações no aparelho respiratório, especialmente em crianças e são causadores de queimaduras e incêndios);
- Menor custo de eletrificação para residências e instalações comunitárias de baixo consumo e distantes da rede elétrica;
- Evita ou adia a extensão de redes de distribuição rural (investimentos elevados e impacto ambiental);
- Geração isolada de energia elétrica no local de consumo e de forma não agressiva ao meio ambiente.

3.1.3 Os benefícios adquirido através da implantação do sistema fotovoltaico para o meio Ambiente.

A eficiência energética esta associada à produtividade, à proteção do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, neste sentido, ações de eficiência energética podem ser vistas como uma forma de produção de energia descentralizada, tendo como consequência o aumento da mesma. Isso porque tais ações podem contribuir para a redução de emissão de CO_2 e outros gases que agravam o efeito estufa. O benefício associado à preservação do meio ambiente esta relacionado ao fato de se evitar a construção de novas usinas hidroelétricas, de maneira a diminuir o alagamento de grandes áreas, modificando, com isso, a fauna e aflora. (BORGES et al., 2011).

A iluminação residencial é uma das aplicações mais disseminada, além de possui diversos usos, como refrigeração, iluminação pública, telefones de emergência, bombeamento de água, sistemas para aparelhos eletro-eletrônicos e eletrodomésticos, cerca eletrificada, sinalização marítima, de torres e estradas, refrigeração móvel, ferrovias, etc. (DEMANBORO et al., 2006).

A manutenção dos sistemas é bastante durável. Estimada – se que os módulos fotovoltaicos normalmente tem garantia de 20 a 30 anos de vida útil. Os dispositivos eletrônicos (inversor, controlador de carga) têm vida útil superior a 10 anos. Um dos ponto fraco do sistema são as baterias, podendo durar de 4 a 5 anos (baterias de excelente qualidade poderão durar 7 anos) (DEMANBORO et al., 2006).

As exigências na manutenção são mínimas; os módulos fotovoltaicos são geralmente limpos pela ocorrência natural de chuva, mas em locais de muito pouca pluviosidade podem necessitar de limpeza frequente. As baterias, caso não seja seladas, necessitam de reposição constante de água destilada - 6 meses em média (PARADIS, 2015).

Desta forma, possibilita o desenvolvimento sustentável na implantação do sistema de placas solares fotovoltaicas. Porém o investimento inicial ainda elevado, seus custos vêm caindo rapidamente, e sua autonomia em relação os sistemas convencionais de geração de energia faz com que o investidor em micro escala seja detentor de uma fonte energética com tarifa zero (Carvalho et al., 2014).

A energia fotovoltaica constitui - se como uma medida de eficiência energética. A eficiência energética caracteriza-se pela otimização do uso de energia, onde geralmente uma mudança de comportamento através da implementação de medidas para combater o desperdício de energia resulta na economia de energia, sem perder o conforto (DELICADO et al., 2014).

Ao instalar-se um sistema de energia descentralizada, contribui-se para uma redução nas perdas na transmissão e distribuição de energia na rede. A energia PV tem a particularidade de não ter valores constantes de produção de eletricidade devido à variação do recurso solar durante as 24 horas do dia. A produção é previsível com alto grau de rigor (a partir da geometria solar e condições meteorológicas) e a máxima produção PV tem lugar a meio do dia, correspondendo toda a produção a horas cheias ou de pico (no caso da eólica, a hora de pico é a noite). Ao utilizar sistemas de armazenamento, é possível guardar a produção de eletricidade em excesso de diversas fontes nas suas horas de pico (GONÇALVES, 2014).

Dá-se o nome a este método de peak shaving (EPIA e Greenpeace, 2011). Resumindo, a rede nessa hora de pico está mais “descongestionada”, pois a energia produzida em excesso é armazenada para ser utilizada mais tarde. Ao instalar um sistema de auto-consumo, de uma forma limitada (com capacidade só para alguns consumos energéticos ou sem reserva) pode indicar uma eficiência energética forçada.

Também podem ser considerados os custos de produção dos equipamentos através do valor dos preços de venda dos equipamentos. É importante distinguir “custos de produção” de “preços dos módulos”. Os custos de produção normalmente são dados limitados, devido à falta de partilha por parte das indústrias. Os dados relativos aos preços dos módulos são públicos (GONÇALVES et al., 2014).

Os valores indicativos dos módulos, em 2012, eram: 0,56 €/W na China, entre 0,54 e 0,84 €/W, na Alemanha, entre 0,50 e 0,70 €/W, em Itália e 0,59 €/W nos EUA (IEA, 2013). A China consegue vender os equipamentos a preços tão baixos devido aos elevados subsídios que o governo chinês fornece às indústrias, ao contrário das indústrias europeias que não recebem apoios governamentais do mesmo tipo. (GONÇALVES, 2014).

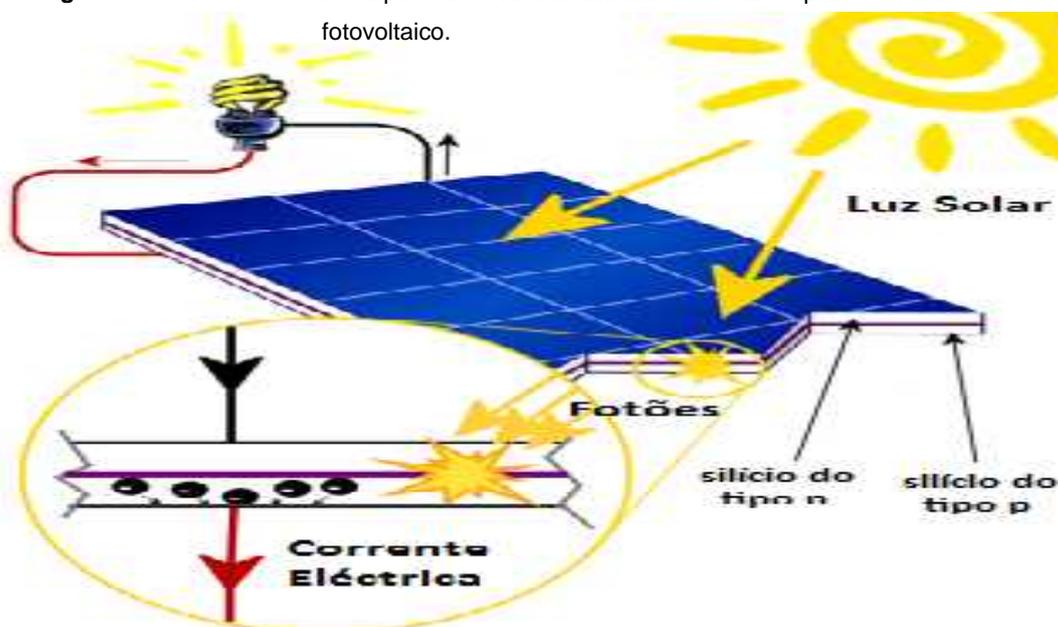
Os valores iniciaram a diminuir a partir do ano 2009. Entre 2003 e 2012, os índices dos preços a retalho dos módulos PV reduziram cerca de 50%, foi considerada uma média dos preços a retalho na Europa e nos EUA pesquisados mensalmente online consideram tecnologias de silício cristalino e película fina, diferentes produtores em países onde o produto é comprado para calcular estes índices dos preços (GONÇALVES, 2014).

3.1.4 Conversão Fotovoltaica de Energia Solar

A célula fotovoltaica é constituída por uma junção semicondutora que consiste na formação de duas camadas: a camada tipo p e a camada tipo n, onde ocorre um excesso de carga positiva e um excesso de carga negativa, respetivamente, descrito na figura 2. No caso do silício, a sua junção p-n é criada através do processo de dopagem, que consiste na introdução de impurezas para alterar as propriedades elétricas do silício. O dopante usado para criar a camada do tipo p é normalmente o boro e para criar a camada tipo n é o fósforo (PACHECO, 2014).

Figura 2

Princípio de funcionamento de um painel solar fotovoltaico.



(Fonte: blue/sol 2011).

No caso do telureto de cádmio (CdTe), a sua junção p-n consiste numa camada de CdTe (camada p) e numa camada de sulfureto de cádmio (CdS) (camada n) (LOSSIO, 2015). Uma célula típica tem área quadrada e produz potências elétricas da ordem de 1,5 watt-pico (Wp), que corresponde a uma tensão de 0,5 volts (V) e a uma corrente de 3 amperes (A). Ou seja, em condições padrão, a célula solar é capaz de produzir 1,5 Wh (CASTRO, 2011). O material semiconductor mais comum para a sua constituição é o silício (IEA, 2010).

Podem fixar - se as células entre si, em ordem ou paralelo, para criar módulos que alcancem potências superiores às células (IEA, 2010). O sistema fotovoltaico é constituído por módulos e um conjunto de componentes indicados por balance of system (BOS) (PROENÇA et al., 2007). Estes componentes normalmente englobam inversores, baterias e outros componentes elétricos.

Os inversores são incumbidos pela transformação da corrente contínua (DC), produzida pela célula solar para corrente alterna (AC), essencial para a integração na rede e para uso nos dispositivos elétricos. Acontecem perdas associadas a esta conversão (IEA, 2010). A bateria é um dos itens mais importantes do BOS. As baterias mais usadas são as de chumbo ácido, mas, no entanto existem novos tipos de baterias, exclusivas para as propriedades dos sistemas PV.

A vida útil das novas baterias é de 15 anos. Armazenada - se a energia produzida em excesso para ser consumida mais tarde, sempre que o painel fotovoltaico não produz energia. É considerado dos constituintes do sistema mais caros e este custo é responsável pelo crescimento lento do mercado dos sistemas fotovoltaicos isolados, para residências. Os controladores de carga deixa que não ocorram sobrecargas ou descargas totais na bateria e pode fornecer dado sobre o estado do sistema. (GONÇALVES, 2014).

À medida que os sistemas fotovoltaicos não estão ligados à rede (off-grid) é essencial armazenar a eletricidade produzida que não é imediatamente consumida conforme a figura 3. Quando os sistemas fotovoltaicos estão ligados à rede (on-grid) é necessário ligá-los a um posto transformador, descrito na figura 4. Dentro do offgrid, o sistema pode ser doméstico (se servir eletricidade a casa isoladas da rede, para iluminação e refrigeração) ou não doméstico (aplicações como sistemas de bombeamento de água, sinais de trânsito, parquímetros, entre outras). No on-grid, o

sistema ou distribui eletricidade por residências, casas, escritórios ou é centralizado na produção em larga escala (centrais fotovoltaicas) (PROENÇA et al., 2007).

Figura 3 Princípio de funcionamento do sistema fotovoltaico.



(Fonte: energiatecsolar fevereiro 2016).

Figura 4 Com o sistema fotovoltaico passa a gerar energia através do sol como energia elétrica.



(Fonte: Universosola 2015).

Na montagem de sistemas PV é fundamental ter dois factores primordiais o ângulo de inclinação do painel e respectiva orientação e sombreamento. Os painéis solares são sempre montados com um determinado ângulo com a horizontal e normalmente coincide com a latitude do local onde é instalado. A orientação deve ser a sul, no hemisfério norte e a norte no hemisfério sul. Durante a escolha do local, devem ser realizados estudos de sombreamento, para evitar que este factor diminua a produtividade do painel (SUZUKI, 2015).

Há benefícios no uso da energia PV enquanto fonte de energia elétrica, também limitações e Barreiras ainda por ultrapassar. O tipo modular dos sistemas fotovoltaicos proporciona a junção de várias células ou módulos com o intuito de alterar os níveis de corrente, voltagem e potência para níveis superiores de produção. Esta natureza permite que exista também uma melhor integração desta energia nos edifícios, nas fachadas ou nos telhados. Os painéis podem substituir outros materiais caros, como vidro ou mármore (PROENÇA et al., 2007). Mais de 70% das instalações PV estão nos edifícios que são considerados os principais consumidores de energia nas grandes cidades (IEA, 2013).

O atual modelo de produtor-consumidor é também considerado uma vantagem deste tipo de energia. O produtor de energia pode, ao mesmo tempo, ser

consumidor de energia e, assim, contribui para a descentralização do sistema energético. A forma descentralizada tem como principal vantagem a diminuição das perdas na rede. Esta energia é capaz de chegar a locais isolados e é possível de se adaptar à rede. Em certos locais remotos, como alguns países em desenvolvimento ou ilhas, é mais viável instalar uma tecnologia fotovoltaica do que outra energia convencional, devido aos elevados custos da rede (VIEIRA, 2013) (IEA, 2011).

O período de vida do equipamento está entre os 25 e os 30 anos e os inversores entre 5 a 10 anos. Os equipamentos tem pouca manutenção. No entanto, é necessário ter em conta a degradação ao longo do tempo. Este tipo de tecnologia dispõe de recursos abundantes como a radiação solar (apesar de apresentar variações diárias, sazonais e climáticas) e o silício, segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre. Em média, cada metro quadrado na Terra recebe luz solar suficiente para gerar 1700 kWh de energia elétrica fotovoltaica, anualmente, usando a tecnologia corrente (EPIA & Greenpeace, 2011). Em termos ambientais, é responsável por zero emissões durante a operação, com ausência de ruído (CASTRO, 2011).

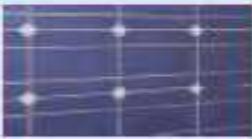
Além de todos estes benefícios, existem de fato barreiras que não deixa que esta energia seja competitiva com outras fontes energéticas. A capacidade dos painéis ainda é baixa, devido a ineficiente absorção do espectro da radiação incidente. Ou seja, da radiação que incide no painel, só uma pequena parte é que é passível de ser convertida a energia elétrica. Esta energia depende muito das condições climáticas, e por isso é uma energia incerta em termos de produção. Os custos de produção elevados são uma das desvantagens (CARVALHO, 2011).

O custo dos sistemas de armazenamento da energia também contribui para o elevado custo associado aos sistemas de energia fotovoltaica. A crise energética dos anos 70 foi uma grande contribuição para que a Investigação e Desenvolvimento (I&D) das tecnologias PV avançassem em força (RAZYKOV, 2011). É visível um aumento nos fundos de I&D dos países onde o fotovoltaico está emergente, como a Holanda e o Japão e uma grande aposta em França e Estados Unidos da América, sendo o último, o país onde mais se investiga e desenvolve novos conceitos.

3.1.5 Tipos de Células

A fabricação das células fotovoltaicas, na sua imensa maioria, usa o silício (Si) e podendo ser instituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. Conforme descrito na figura 5.

Figura 5 Os três tipos de célula de silício.

CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %
	AMORFO	16 %	< 10 %

Fonte: Desarrollo, 2011.

3.1.6 Silício Monocristalino.

A célula de silício monocristalino é hipoteticamente as mais utilizadas e comercializadas como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua produção é um processo básico muito bem montado.

A produção da célula de silício inicia com a exploração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este método alcança um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficaz sob o ponto de vista energético e custo. Este silício para atuar como células fotovoltaicas precisam de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior devendo alcançar na faixa de 99,9999%. (BARROS, 2011).

O silício para ser usado na indústria eletrônica, além do alto grau de pureza, o material deve ter a estrutura monocristalina e baixa densidade de defeitos na rede. O processo mais utilizado para se chegar às qualificações desejadas é

chamado “processo Czochralski”. O silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de dopante, que é normalmente o boro o qual é do tipo p. (FURTADO, 2011).

Através da partícula de um cristal adequadamente orientado e sob rígido controle de temperatura, vai-se tirando do material fundido um grande cilindro de silício monocristalino superficialmente dopado. O cilindro obtido é cortado em fatias finas de aproximadamente 300 μm . Após o corte e limpeza de impurezas das fatias, devem-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Esse processo é feito através da difusão controlada, na qual as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo em um forno cuja temperatura varia entre 800 a 1000 C. Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15%, podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios. (DA SILVA JUNIOR, 2008).

3.1.7 Silício Policristalino.

São mais baratas as células de silício policristalino, em comparação com as de silício monocristalino por demandarem um processo de fabricação das células menos rigoroso. A capacidade, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino. O processo de pureza do silício usada na produção das células de silício policristalino é semelhante ao processo do Si monocristalino, o que garante obtenção de níveis de eficiência compatíveis (FURTADO, 2011).

Sobretudo, os métodos de produção de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinos, todavia com menores rigores de controle. Podem ser feitos pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem atingido capacidade máxima de 12,5% em escalas industriais. (REIS, 2012).

3.1.8 Silício Amorfo.

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo revela-se uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo (SUZUKI, 2015).

Segundo Furtado (2011) a produção do mesmo apresenta um custo reduzido, o uso de silício amorfo revela duas desvantagens: a primeira é a baixa capacidade de conversão relacionada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo, assim, a eficiência ao longo da vida útil. Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citados, tais quais:

- Processo de produção relativamente simples e barato;
- Possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;
- Baixo consumo de energia na produção.

4. MATERIAL E METODO

Foi realizada como metodologia a pesquisa descritiva bibliográfica e a documental, baseada em teses, dissertações, em sites governamentais e em documentos gerados por concessionárias e agencias do setor elétrico, também será adotada uma pesquisa explicativa sobre o avanço da tecnologia fotovoltaica no Brasil e no mundo, sobre os aspectos gerais da energia fotovoltaica, o impacto na tarifa de energia convencional, através da geração da energia FV, sobre questão ambiental e econômica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando o estudo realizado durante a elaboração do presente trabalho, verifica-se a ausência de normas e incentivos governamentais no Brasil em relação à matriz solar PV, indicando a necessidade de elaboração de normas específicas que tratem dos princípios e diretrizes não só para com os componentes (painéis, inversores, baterias etc.) usados na geração solar PV, mas igualmente na conexão destes sistemas à rede, na qualidade da energia por eles gerada, bem como, a falta de regulação e incentivos que, propiciem a introdução maciça dessa tecnologia no país.

Segundo SHAYANI, (2006) O valor da energia solar é parecido com o preço pago pelos consumidores em suas residências, uma vez que a energia final utilizada chega a ser 5 (cinco) vezes mais cara que o valor cobrado pela usina convencional.

O preço de instalação de um sistema solar isolado pode chegar a 50 (cinquenta) vezes o valor de uma pequena central hidrelétrica com mesma potência, contudo, fazendo o cálculo da energia gerada durante a vida útil do equipamento solar, em torno de 30 anos, é obtido o valor equivalente a 10 vezes o custo da energia entregue ao consumidor, um sistema interligado à rede, a relação passa de 10 para 3. Ao serem agregados os impostos, custos ambientais e sociais, a energia solar fotovoltaica passa a ser, em um futuro breve, economicamente competitivo.

Através da pesquisa, confirmou-se que a instalação do projeto fotovoltaico é motivada pelos benefícios financeiros que os usuários podem adquirir com a sua instalação; pelos altos valores de energia elétrica que hoje o consumidor brasileiro enfrenta; pela expectativa que a produção em escala reduza tais cifras no final da próxima década, até os valores competitivos de US\$ 1 por Wp, ou US\$ 0,08 por kWh. E, para comparação, as energias convencionais custam hoje entre US\$ 0,06 e US\$ 0,12 dólar por kWh, sem considerar custos de recuperação ambiental associados. (SUZUKI, 2015).

Com a crise hídrica; como sendo fator de motivação para a instalação da energia fotovoltaica, a política mundial de conservação e preservação do meio ambiente, assim como os benefícios financeiros obtidos futuramente são molas

propulsoras para avanço dessa forma de energia, tanto do ponto de vista financeiro, quanto da melhoria e valorização da qualidade de vida.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado deste estudo demonstra que a energia solar fotovoltaica conectada à rede é uma opção viável para complementar a demanda futura de energia elétrica, além da vantagem da possibilidade de utilização de áreas já construídas para fixação dos painéis, é facilmente instalada em centros urbanos, diminuindo os investimentos em linhas de transmissão e distribuição, contribuindo na diversificação da oferta de energia elétrica, fator este, importante para a segurança do suprimento energético e, principalmente, é uma energia considerada limpa e renovável.

Sistema silencioso, sem necessidade de espaços extras e/ou adicionais, não emite gases ou resíduos poluentes, baixa manutenção e facilidade de instalação aliada com a integração ao meio urbano são alternativas para expansão de Energia Solar gerando diminuição em investimentos de transmissão de energia.

Outras iniciativas mostram que o país está caminhando na direção certa para enfrentar os desafios dessa virada de século, entre elas, estão à entrada em operação do CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e do IAI Inter-American Institute for Global Change Research ambos no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o surgimento de centros de pesquisa em fontes alternativas de energia.

Apesar das evoluções que essa tecnologia vem sofrendo recentemente, o seu custo é ainda elevado, o que dificulta a viabilidade dos projetos, face ao tempo de retorno do investimento ser bastante superior ao tempo de vida útil dos equipamentos envolvidos. Essa opção torna-se bastante atrativa quando vista como alternativa limpa e renovável de geração de energia para casos específicos e que não gere, ou pelo menos postergue, investimentos para ampliação da estrutura do setor elétrico.

No entanto se tem verificado um aumento do consumo energético solar, do qual se pode concluir que se deve essencialmente à redução dos custos dos módulos fotovoltaicos, aumento de eficiência energética, a política de preservação e conservação do meio ambiente, bem como, à adoção de tarifas de regime bonificado, bem como outros benefícios fiscais.

A necessidade demonstra que dentro de pouco tempo tenhamos equipamentos com menor custo e maiores capacidades de geração e armazenamento de carga e, uma dessas formas são as novas células fotovoltaicas, incluídas na terceira geração de células solares, que alcançam alta capacidade e o uso de materiais abundantes e duráveis para a conversão em energia acessível e sustentável. Para tanto, utiliza-se a tecnologia de filme fino não tóxico, mantendo-a como energia limpa, ambientalmente correta e de fácil descarte.

A essa tecnologia devem-se priorizar materiais nos quais o Brasil detém o conhecimento para produção em larga escala, o que ajuda a diminuir os valores do sistema fotovoltaico e a desenvolver tecnologias nacionais, fazendo com que num futuro bem próximo, a energia solar possa concorrer com os preços de fontes de energia impactantes ao meio ambiente.

Finalmente, reitera-se que a energia fotovoltaica é uma fonte limpa e que seu processo de geração, além de não produzir resíduos, não libera calor residual, de forma que ela não altera o equilíbrio da biosfera e não envolve nenhum tipo de poluição.

Assim, um recurso energético com esses benefícios não pode ser ignorado, deve ser desenvolvido de forma que se possam alcançar patamares maiores na sociedade, inclusive visando à melhor qualidade de vida da população e ao meio ambiente.

7. REFERÊNCIAS

BRITO, C. S. A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade.** Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006.

< <http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>> acesso 01/12/2015.

BORGES, Z. **A matriz elétrica no Estado do Pará e seu Posicionamento na Promoção do desenvolvimento sustentável. Planejamento e políticas públicas,**

v. 2, n. 35, 2011. < <https://desafios2.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/201>>

acesso 20/10/2015.

BARBOSA, **Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia.** Revista Política Hoje, v. 23, n. 1, p. 193-215, 2015.

BONITO, **Otimização do investimento em sistemas fotovoltaicos.** Relatório de projeto para obtenção do grau de Mestre em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal, 2011.

<http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/teses/Tese_Mest_Tania-Bonito.pdf> acesso 03/01/2016.

BITTENCOURT, **Estratégia para o gerenciamento do balanço da geração fotovoltaica de energia elétrica integrada à edificação e veículos elétricos em rede inteligente. 2014.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/129645>> 03/01/2016.

BARROS, H. A. **Anteprojeto de um Sistema Fotovoltaico de 12 kWp Conectado à Rede. Monografia de graduação.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2011. < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003952.pdf>> acesso 10/11/2015.

BARP, C. A. S. F. F. **energia fotovoltaica como matriz energética sustentável em organizações.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 3, n. 2, p. 178-203, 2014.

BORBA, J. **Estudo do impacto da eficiência energética em semáforos e análise da viabilidade de operação com painéis solares fotovoltaicos.**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus de Curitiba Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética 2015. <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/3667>> acesso 08/08/2015.

BORBA, C. Estudo do impacto da eficiência energética em semáforos e análise da viabilidade de operação com painéis Brasília. 2006. Tecnológica Federal do Paraná Campus de Curitiba Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética 2013.

<<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/3667>> acesso 08/10/2015.

CASTRO, Uma introdução às energias renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica. Instituto Superior Técnico Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa Portugal, 2011.

<http://www.wavec.org/client/files/Uma_Introducao_as_Energias_Renovaveis_primeiras_paginas.pdf> acesso 01/08/2015.

CÂMARA, F. Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011. curso de Pós-graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia, <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>> 05/07/2015.

CARVALHO, Alternativas arquitetônicas para o aumento da eficiência no uso de energia elétrica por edifícios comerciais /Marcia Marques de Queiroz Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011. XIV, 407 p.: il.; 29,7 cm. Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2010.

<http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/MarciaMarquesDeQueirozCarvalho.pdf> acesso 02/12/2015.

CABRAL, V. Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental 2012.

<<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-003.pdf>>.acesso 17/02/2016.

COUTINHO, Estudo e caracterização de dispositivos fotovoltaicos orgânicos (OPV) baseados em heterojunção de volume. Tese de Doutorado. instituto de física de São Carlos 2011 101 p. da Universidade de São Paulo.

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-31082011-112444/en.php>>acesso 05/10/2015.

DOMINGOS, Energia fotovoltaica em edifício unifamiliar–análise custo benefício. 2014. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa <<http://run.unl.pt/handle/10362/14176>> acesso 05/12/2015.

DE SOUZA, D.S.G. ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA INSTITUIÇÃO DE ENSINO DOCTUM DE CARATINGA Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015 15 a 18 de setembro de 2015 Fortaleza-CE, Brasil.

<http://www.confrea.org.br/media/Eletricista_estudo_da_viabilidade_de_implementacao_de_um_sistema_de.pdf> acesso 04/12/2015.

DEMANBORO, Antonio Carlos et al. **A sustentabilidade através de empreendimentos energéticos descentralizados.** Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006. Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil Arq. Urb.-FEC/DRH - NIPE. Área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais. Grupo de Planejamento Energético e Sistemas Elétricos - GPES.

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100003&script=sci_arttext&tling=pt> acesso 04/08/2015.

DEMONTI, Rogers. **Sistema de co-geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos. 1998.** Tese de Doutorado. Universidade Federal DE Santa Catarina. <http://www.ivobarbi.com/PDF/dissertacoes/Dissertacao_Rogers.pdf> cesso 20/07/2015.

DA SILVA JUNIOR, **Projeto de um Sistema Fotovoltaico para Energização de um equipamento de pesca com eletricidade. 2008.** Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

<<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001166.pdf>> acesso 28/12/2015.

DELICADO, H. F. **Energia: das fontes à eficiência energética. Ambiente, alterações climáticas, alimentação e energia: a opinião dos portugueses,** p. 145-197, 2014. Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa

<https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/10847/4/ICS_LSchmidt_ADelicado_Ambiente_LEN.pdf#page=145> acesso 02/07/2015.

EPE, NOTA TÉCNICA. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira.** Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro, 2012. Ministério de Minas e Energia Ministro, Escritório Central Av. Rio Branco, n.º 01 – 11º Andar 20090-003 - Rio de Janeiro – RJ.<http://jornalggn.com.br/sites/default/files/documentos/nt_energiasolar_2012.pdf> acesso 12/01/2016.

FURTADO, **Pré-eletrificação rural utilizando sistemas fotovoltaicos em atendimento à legislação da ANEEL.** Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia, 2011. <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Jose-Mario-Furtado.pdf>> acesso 21/10/2015.

FERNANDES, T. et al., "**Detecções de insolação total como fonte de energia potencial renovável no estado de mato grosso, brasil.** Congresso Técnico

Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015 15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil.

<http://www.confea.org.br/media/Agronomia_detecoes_de_insolacao_total_como_fonte_de_energia_potencial_renovavel_no_estado_de_mato_grosso_brasil.pdf> acesso 19.11.2015.

GÓES, CarolinaBraz et al. **Prospecção de mercado de energia fotovoltaica na região de Campinas** .periódico eletrônico fórum ambiental da Alta Paulista, v. 11, n.3,2015.

<http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/download/1219/1242> acesso 05/03/2016.

GONÇALVES, **O caminho para a viabilidade econômica e ambiental da energia fotovoltaica**. 2014. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa

<<http://run.unl.pt/handle/10362/13324>> acesso 19/11/2015.

IZIDORO, O. C. **Estudo do panorama nacional para sistemas fotovoltaicos conectados à rede após a resolução 482/2012 da ANEEL. 2015**. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). < <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3064>> acesso 05/01/2016.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology Roadmap – Concentrating Solar Power**. Paris (França): IEA, 2010.<http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf> acesso 18/09/2015.

INTERNATIONAL Energy Agency (IEA). (2013), **Trends 2013 in PV Applications - Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012. Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS)**. Paris, France.

<http://helapco.gr/pdf/IEA_PVPS_Trends_Report_2013_v1_0_01.pdf> acesso04/03/2016.

IEA [International Energy Agency]. **Trends In Photovoltaic Applications - Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010**. Paris (França):IEA, 2011.

http://www.ieapvps.org/index.php?id=1&elD=dam_frontend_push&docID=898acesso 02/10/2015.

JANNUZZI, V.F.K.O.M.R.D.M. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. Instituto para o desenvolvimento de energias alternativas na América Latina, Campinas/SP, n. 1, p. 1-53, 2009.

<<http://www.iei-la.org/admin/uploads/relatorio-projeto-2-final.pdf>> 12/01/2016.

LION FILHO, et al. **Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto**. 2007. Universidade Federal do Rio Grande do norte. Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica. <http://www.repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15523> acesso 01/09/2015.

LODI, Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil Utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada/Cristiane Lodi Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011. XV, 127 p.il.; 29,7 cm.

http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/CristianeLodi.pdf. acesso 20/01/2016.

Lima, Energia fotovoltaica como alternativa energética viável/ Juliana Luiza Barroso Lima. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.

<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009335.pdf>> acesso 23/01/2016.

LORENZI, R. Em busca de alternativas energéticas: estudo sobre as pesquisas em células combustíveis no Brasil. 2012. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012. [Links].

http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_busca/processaArquivo.php?codArquivo=5042 acesso 05/02/2016.

LOSSIO, Diagnóstico de um dado Sistema Fotovoltaico aplicado à região do Lago Sul - DF considerando os aspectos técnicos, econômicos e de políticas públicas- Universidade de Brasília - UnB Faculdade UnB Gama - FGA Curso de Engenharia de Energia Brasília: 2014. 103 p. 2015.<<http://bdm.unb.br/handle/10483/11569>> acesso 09/01/2016.

MARINOSKI, S. R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. São Paulo, Brasil.2004.

<http://www.labee.ufsc.br/antigo/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dimensionamento.pdf> acesso 18/07/2015.

MARTINS, P. E. MP. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário—o Projeto Swera. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p.145-159, 2004.

NASCIMENTO, P. A. M. Considerações sobre as indústrias de equipamentos para produção de energias eólica e solar fotovoltaica e suas dimensões Científicas no Brasil. 2015. Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal da Bahia (PPGE/UFBA)

<<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4258>> acesso 09/01/2016.

PEREIRA, Atlas brasileiro de energia solar. José José dos Campos : INPE, 2006. 60p. : il. (Papel). Contém um CD R 620.91 P436a. ENERGIA RENOVÁVEL. ENERGIA SOLAR. Classificação, R 620.91 P436a. Tipo de Material, LIVRO. Idioma,

Português. Produção Interna, Sim. Ano de Publicação, 2006. Autores, PEREIRA, Enio Bueno. Título, Atlas brasileiro de energia solar.

<http://www.mast.br/bases/biblioteca/telas/livros/detalhe_livros.asp?id=7180&desc_tipo_material=LIVRO> acesso 18/10/2015.

PACHECO, **Otimização da energia geradas por painéis solares fotovoltaicos em sistemas isolados da rede elétrica. 2014.** Dissertação (mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós – graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2009.

<<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/905>> acesso 09/08/2015.

PROENÇA, E. D. R. B. **A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal.** Engenharia e Gestão Industrial, IST, Lisboa, 2007. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnico de Lisboa. <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137487931/Tese%20-%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal.pdf>> acesso '25/02/2016.

REIS, **Conversor CC/CC com dois estágios para aplicação em sistemas fotovoltaicos autônomos de energia.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós – Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2012.

,<http://www.repositorio.ufc.br:8080/ri/handle/123456789/3871>> acesso 08/03/2016.

RAZYKOV, T. M. et al. **Solar photovoltaic electricity: current status and future prospects.** Solar Energy, v. 85, n. 8, p. 1580-1608, 2011.

< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X1000366X>> acesso 06/08/2015.

SILVA, et al. OTIMIZAÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS. e-xacta, v. 6, n. 2, 2013. Gradandos em Engenharia Química. Centro Universitário de Belo Horizonte - UniBH. Belo Horizonte MG. <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/958>> acesso 03/07/2015.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, MAG de; CAMARGO, IM de T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: Congresso 2006.** Laboratório de fontes alternativas de energia do Departamento de Engenharia elétrica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

<http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf> acesso 20/02/2016.

SUZUKI, R. **Estudo da utilização da geração fotovoltaica para auxiliar a suprir a demanda crescente de energia elétrica no Brasil.** 2015 Universidade Tecnológica

Federal do Paraná. <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/3677> acesso 12/11/2015.

SIMIONI, O Planejamento Energético no Brasil: o desprezo às opções sustentáveis1., p. 315, 2007. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ Centro de Estudos Rurais e Ambientais do Paraná Departamento de Ciências Sociais Programa de Pós-Graduação em Sociologia

<<http://reformaagrariaemdados.org.br/sites/default/files/jornl.pdf#page=315>> acesso 15/02/2016.

TEIXEIRA, W. Análise da qualidade de energia elétrica proveniente de uma planta solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição de energia. 2015.

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014. <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/123051>>1 acesso 09/01/2016.

TOYAMA, et al. Estudo de viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia para diferentes regiões no estado do Paraná. 2015. curso de Engenharia Industrial Elétrica ênfase Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

<<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/3058>> acesso 09/01/2016.

VALLÊRA, M. B. Meio século de história fotovoltaica. Gazeta da física, v. 29, 2006. Bolseiro de Pós-Doutoramento do CFMC Campo Grande, 1749-016 Lisboa Departamento de Física e Centro de Física da Matéria Condensada (CFMC), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>> acesso 21/11/2015.

VIEIRA, Análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos em operação. 2013. Tese de Doutorado. Engenharia Eletromecânica UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR.

<<http://ubithesis.ubi.pt/handle/10400.6/3846>> acesso 02/03/2016.