



**ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL DA INTRODUÇÃO DA
ENERGIA FOTOVOLTÁICA NA MATRIZ ENERGÉTICA
BRASILEIRA- ENFOQUE COMPARATIVO AO CENÁRIO
EUROPEU NOS ASPECTOS MERCADOLÓGICOS, TÉCNICOS,
REGULATÓRIOS E VIABILIDADE ECONOMICA FINANCEIRA**

André Marcel Chidichimo Simões dos Santos
22/11/2013

Dedico este trabalho a:

Minha querida Mãe Cleide exemplo de vontade, fé e de superação em minha vida.

Ao Meu Pai Antonio Carlos , grande homem, exemplo de Retidão, perseverança , trabalho e honestidade.

A 3M do Brasil Ltda – Minnesota Mining Manufacturing Company

Onde passei 15 anos de minha vida profissional; Fonte de meu DNA profissional, nas pessoas de grandes estrategistas como Benedito Dalben e Hugo Agostini e de grandes construtores e líderes de pessoas como Marcelo Tambascia e Laureano Silva.

A Samsung C&T do Brasil , parte da Samsung Trading and Investment Group

Onde aprendi uma nova forma de pensar e agir na presença de Sr ChoongKi Jung exemplo de disciplina, objetividade e propósito.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Cada vez mais em nosso mundo as necessidade de utilização de energia são crescentes. O homem vem buscando novas formas de aproveitamentos energéticos e armazenamento de tal bem tão precioso.

A medida que a demanda energética cresce também são necessários meios diversos de utilização da energia.

Hoje a velha solução de geração de energia a partir de recursos sabidamente cada vez mais escassos como o Petróleo e Carvão não serão suficientes para contentar tal demanda. Comitantemente vem-se buscando meios de geração de energia elétrica ou térmica através de meios limpos como o vento, a força das águas e o sol, mesmo porque com tamanha demanda crescente o impacto de somente utilizar-se combustíveis fósseis tornariam a vida em nosso planeta insustentável.

Analizando os meios de energias renováveis como o Vento, recursos hídricos e o sol a Energia “mãe” com maior potencial de aproveitamento é o Sol e aqui em particular a energia gerada a partir dele denominada Fotovoltaica.

É sabido que embora estejamos engatinhando ainda em relação a eficiência do aproveitamento fotovoltaico tanto no aspecto técnico como no aspecto de oferta desta energia grandes avanços vem sendo feitos em muitos países como Estados Unidos, Alemanha , Itália e China.

O presente trabalho abordará de alguma forma estes avanços , porém se tais países encontram-se na infância em relação ao ciclo potencial de vida da energia Fotovoltaica o Brasil encontra-se na Geração

O presente trabalho abordará o atual cenário da energia fotovoltaica no Brasil passando pelos aspectos da oferta atualmente existente, potencial solar do País bem como, hipotética demanda.

O trabalho também analisará o aspecto técnico/ econômico de usinas e geração distribuída fotovoltaica no Brasil, Principais barreiras e principais incentivos incluindo paralelo com outras nações evoluídas no tema. Também será analisado a evolução da cadeia produtiva solar no Brasil e a viabilidade de empreendimentos solares

O trabalho será concluído com as tendências nesta área e também com sugestões para viabilização de utilização da energia solar no Brasil bem como benefícios como meio para reativação da indústria eletro eletrônica no país.

Lista de Figuras

Figura 1- Índice Platt's european power index

Figura 2- LCOE- Levelized cost of electricity e respectivo forecast para empreendimentos fotovoltaicos 2010-2020

Figura 3 – LOCE – Levelized cost of Electricity 2010-2020 para fazendas solares ou ground mounted generation entrepreneur – EPIA

Figura 4 – Custo da energia elétrica gerada por fonte na Europa LCOE com base no instituto LAZARD

Figura 5 – Capacidade instalada no SIN por fonte geradora em MW- Fonte EPE

Figura 6 – Potencia instalada for faixa de CVU da geração térmica - Plano energético Nacional 2021-2012

Figura 7 – Tarifa de energia com impostos para clientes de baixa tensão segundo estudo da Aneel Propostas para Inserção da **Energia Solar Fotovoltaica** na Matriz Elétrica Brasileira

Figura 7a - Tarifa de energia com impostos para clientes de alta tensão segundo estudo da Aneel Propostas para Inserção da **Energia Solar Fotovoltaica** na Matriz Elétrica Brasileira

Figura 8- - Total de energia primária gerada em Mtoe- Milhões de toneladas de óleo equivalente

Figura 9- Total de energia primária gerada em Mtoe- Milhões de toneladas de óleo equivalente

Figura 10 - Geração de eletricidade em Twh (Terawats hora) em 1973 e 2010

Figura 11 – Geração de eletricidade por região , cenário base

Figura 12- Geração de eletricidade por tipo de fonte , cenário base

Figura 13- - capacidade mundial acumulada de instalações fotovoltaicas (MW)

Figura 14- Geração de eletricidade por fonte e respectivos diferentes cenários em 2030

Figura 15- Capacidade instalada global de geração de eletricidade renovável em 2011 em GW e respectivo previsão de vendas 2013-2035

Figura 16- Evolução da capacidade global anual instalada europeia 2000 a 2012 (MW)

Figura 17 – Capacidade instalada no SIN por fonte geradora em MW- Fonte EPE

Figura 18 – Sistema Híbrido elétrico de geração por placa fotovoltaica

Figura 19 – Exemplo de aplicações tipo instalação sobre telhado (Roof top)

Figura 20- Exemplo de usinas solares fotovoltaicas UVFs tipo fazenda solares montadas sobre solo (ground mounted)

Figura 21- Exemplo de usinas tipo CSP – Usinas solares com concentração (Concentrated solar power)

Figura 22 - Exemplo de usinas CSP com concentradores Fresnel e funcionamento básico de uma lente fresnel

Figura 23- Exemplo de um sistema fotovoltaico completo tipo instalação sobre telhado (roof top) para residências

Figura 24-Foto de uma célula solar de silício cristalino

Figura 25- Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício policristalino

Figura 26 exemplo de uma seção de uma célula de filme fino

Figura 27- NREL- Melhores pesquisas de tecnologias de desenvolvimento de células solares e suas respectivas eficiências

Figura 28- Tipos de financiamento por fase de desenvolvimento da tecnologia ou tipo de empreendimento – Fonte Bloomberg new energy

Figura 29 – Investimentos mundiais em energias renováveis por tipo de financiamento

Figura 30 - Histórico de Investimentos em energias renováveis de países em desenvolvimento em comparativo a países desenvolvidos

Figura 31- Investimentos em energias renováveis por tipo de energia dividido em países em desenvolvimento e desenvolvidos

Figura 32- Investimentos em energias renováveis por tipo de Financiamento nos 10 países que mais investiram em energias renováveis em 2012

Figura 33 - Comparativo de investimento anual em empreendimentos de geração de energia renovável e empreendimentos de geração a partir de combustíveis fósseis

Figura 34- Custo do Wp de módulos solares na Europa

Figura 35- Custos de sistemas inteiros fotovoltaicos em Euro/ Wp para diferentes cenários em empreendimentos montados sobre solo (ground mounted) e montados sobre telhado (roof top) residenciais e comerciais

Figura 36 - LCOE de empreendimentos montados sobre solo (ground mounted) fotovoltaicos base 2011

Figura 37- LCOE para mercado europeu de empreendimentos montados sobre telhado (roof top) e montados sobre solo (ground mounted).

Figura 38 - LCOE no mercado Europeu e suas projeções com base em diferentes níveis de irradiação solar

Figura 39- Paridade de grid para sistemas montados sobre telhado (roof top) na Alemanha custos comparativos a térmicas e nuclear.

Figura 40 - Faixa de CAPEX para diferentes de energia renovável e convencional na Europa e EUA- Elaboração própria com dados da EIA, EPIA, Lazard

Figura 41- Curva de tensão / corrente de um painel fotovoltaico

Figura 42- Efeito da corrente gerada em um painel solar em função da irradiação Solar

Figura 43- Curva tensão / corrente de um painel solar ao longo do dia e respectiva corrente gerada

Figura 44- Efeito da irradiação solar horária na curva de potencia de um painel fotovoltaico de 12Vcc com 30 células

Figura 45 - Estudo Firjan preço médio da energia em países e estados brasileiros e estrangeiros sem impostos- em R\$/MWh

Figura 46- Pirânometro cedido pelo PECE –USP professor Cláudio Pacheco

Figura 47 - Dados obtidos do site <http://www.everredtronics.com/Solar.Download.html> consulta em 18/10/2013

Figura 48 - Irradiação horária solar horizontal média anual em Wh/m²

Figura 49- irradiação direta média de dados 1999-2011 em KWh/m² 2013

Figura 50 – Dados solarimétricos SWERA– Consulta Maio de 2012

Figura 51- Esquema básico de um sistema de aquecimento de água por coletor solar fonte fledler.arq.br
-Sistemas de aquecimento mais detalhado de água através de coletores solares com conexões intermediárias em PVC

Figura 52 -Sistemas de aquecimento mais detalhado de água através de coletores solares com conexões intermediárias em PVC

Figura 53- Gap de energia provinda dos Fótons solares para valência e transferência de um elétron para banda de condução gerando voltagem e corrente elétrica.

Figura 54- difusão de elétrons da banda de Valencia para condução criando um campo de diferença de potencial e pares elétron-buraco que se propagam no material. Wikipidia

Figura 55- O limite Chockley – queisser em função do comprimento de onda da luz solar e a c curva de eficiência em função do gap da banda de valência-condução e material semiconductor – Proposta de inserção da energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira – ABINE

Lista de Tabelas

Tabela 1- Geração mundial de eletricidade segundo tipo de fonte renovável por região e seu respectivo forecast em TWh

Tabela 2- Projeção da demanda de energia elétrica Brasileira (TW/h) comparativo a um crescimento assumido do PIB e respectiva intensidade

Tabela 3 Consumo final energético e participação por fonte segundo Plano Decenal de Energia da EPE- Empresa de pesquisas energéticas

Tabela 4 – Capacidade de geração elétrica por fonte geradora

Tabela 5- propriedades comuns de células solares Physics of solar energy. C Julien Chen (Jonh Wysley e sons inc) 2011

Tabela 6- Investimentos globais em 2012 em projetos de energia renovável por tipo de financiamento , por tipo de energia e por região geográfica

Tabela 7 –Maiores Investimentos em energias renováveis com financiamento de projeto tipo asset finance por país para empreendimentos de grande escala

Tabela 8- Custo LCOE em 2010 para empreendimentos renováveis considerando CAPEX (overnight cost) diferentes tamanhos de empreendimento e fatores de capacidade, Custos de OPEX, combustível, descomissionamento

Tabela – 9 CAPEX - CUSTO DE CAPITAL (FEED) NA EUROPA PARA INSTALAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE USINAS POR TIPO DE TECNOLOGIA

Tabela 10 - Planilha 1- Cálculo do landed fielded cost ou custo de internalização de painéis e inversores importados

Fonte: Elaboração própria sobre orientação de exemplo SISCOMEX e do professor Zilles IEE-USP apresentado na INNOVA FV 2012

Tabela 11- Planilha 2 – Custo de CAPEX estimado para uma usina fotovoltaica de 1MW considerando implantação de painéis fotovoltaicos da Asia e Inversores da Europa. Fonte: Elaboração própria com base em design básico de uma planta fotovoltaica elaborado pelo grupo setorial fotovoltaico da ABINEE-grupo de leilões

Tabela 12 – Custos OPEX para uma planta base de 1MW

Tabela 13- Principais políticas de incentivos a energias renováveis no mundo

Tabela 14- Classificação de painéis de módulo fotovoltaico

Tabela 15- Empreendimentos cadastrados para 2º Leilão de energia nova para 13 de Dezembro de 2013

SUMÁRIO

Com o presente trabalho pretendo demonstrar os seguintes conteúdos:

<u>I – Introdução e forma de apresentação do trabalho</u>	11
1.0) SITUAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO	12
1.1) A evolução histórica da energia fotovoltaica	12
1.1.1) Historia do desenvolvimento do processo fotovoltaico.....	12
1.2) Evolução da Energia Fotovoltaica no Mundo	14
1.2.1) Justificativa – A introdução a Energia fotovoltaica na Europa e tendências de Preço e a comparação ao Brasil.....	14
1.2.2) Tendências de preços energia elétrica mercado Brasileiro e comparativo LCOE da Comunidade europeia	19
<u>II- Aspectos Mercadológicos</u>	
2.1) Evolução da Balança comercial de Energia no mundo por fonte	24
2.1.1) Evolução Histórica e previsões da Geração Energia elétrica na Europa com ênfase na energia Renovável e Fotovoltaica.....	29
2.1.2) Capacidade instalada de Energia Elétrica de geração fotovoltaica na Europa.....	31
2.2.) O cenário Brasileiro	33
2.2.1) Evolução Demanda de energia elétrica no Brasil.....	33
2.2.1.1) Demanda de Energia por fonte segundo PDE 2021.....	33
2.2.2) Capacidade instalada de Energia elétrica no Brasil por fonte.....	34
2.2.3) A Evolução histórica da Utilização da Energia Fotovoltaica no Brasil.....	36
<u>III- Aspectos técnicos da energia fotovoltaica</u>	
3.1)_Sistemas de geração de eletricidade através de painéis fotovoltaicos	39
3.1.1- Sistemas de geração de eletricidade através de painéis fotovoltaicos.....	39
3.1.2) Sistemas Fotovoltaicos.....	42
3.2) Células solares de silício cristalino	43
3.2.1) Células solares de filmes finos.....	44
3.2.2) Células solares Tandem ou células solares multijunction.....	45
3.3) Evoluções da tecnologia fotovoltaica	46

IV- Aspectos econômicos e viabilidade técnica financeira da energia fotovoltaica Mundo Vs Brasil

4.0) Panorama mundial do financiamento e investimento em energias renováveis e respectiva metodologia.....	50
4.1) Panorama da Viabilidade econômica e o custo da Geração global por vários tipos de energia	58
4.1.1) Custo nivelado de geração e energia elétrica (Levelized cost of Energy)	58
4.1.2) Panorama da Viabilidade econômica e o custo da Geração Nivelado LCOE por tipo de tecnologia renovável no Mundo.....	59
4.2.) Panorama da Viabilidade econômica e o custo da Geração montado sobre solo “ground Monted” e Montado sobre telhado“Roof top” na Europa.	
4.2.1) Cenários de custo nivelado de energia (LCOE) na Europa e respectivas projeções para diferentes tamanhos de empreendimento, diferentes níveis de irradiação, Cenários de evolução do desenvolvimento da tecnologia e respectiva paridade de grid com atuais fontes não renováveis.....	61
4.2.2) Custos de “CAPEX” de empreendimentos fotovoltaicos na Europa e Alemanha.....	65
4.3) Viabilidade econômica hipotética da geração fotovoltaica no Brasil.....	66
4.3.1) O efeito da irradiação na potencia gerada por um painel fotovoltaico.....	66
4.3.2) Custo de CAPEX e OPEX no caso Brasileiro para usinas hipotéticas nacionais.....	68
4.4) Tarifas de energia elétrica e o valor do MWha geração fotovoltaica.....	76

V- Aspectos Regulatórios da energia Fotovoltaica

5.1) Modelos de Negócios para energias renováveis no Mundo incentivos regulatórios , suporte financeiro	76
5.2) O modelo Regulatório Brasileiro	82
5.2.1) O histórico do desenvolvimento do setor elétrico.....	82
5.2.2) Alicerces do Setor elétrico Brasileiro.....	85
5.2.3) O modelo de Concessões.....	86
5.2.4) Ministério de Minas e Energia – MME.....	88
5.2.5) Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL.....	88
5.2.6) Operador Nacional do Sistema-ONS.....	89
5.2.7) Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.....	89
5.2.8) Empresa de Pesquisa Energética – EPE.....	90
5.2.9) Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE.....	90
5.3) O Novo modelo do Setor elétrico.....	91
5.3.1) Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico.....	91
5.3.2) O Ambiente de Contratação Regulada – ACR.....	92
5.3.3) O Ambiente de Contratação Livre – ACL.....	93
5.3.4) Eliminação da Auto-Contratação (Self-Dealing).....	94

5.4)Regras Específicas do Ambiente de Contratação Regulada – ACR	94
5.5) Atual regulação para introdução da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira.....	96
<u>VI-Atuais Barreiras para a Introdução da energia fotovoltaica no Brasil</u>	
6.1) Barreiras tecnológicas.....	99
6.2) Barreiras Regulatórias.....	99
6.3) Barreiras econômicas.....	100
<u>VII- Conclusões para uma Proposta da Introdução da Energia Fotovoltaica na Matriz Brasileira.....</u>	101
<u>APENDICE- A – ASPECTOS TECNICOS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA.....</u>	104
A.1) Detalhes técnicos da Energia solar e especificamente da energia fotovoltaica.....	104
A.1.1) Distribuição irradiação solar.....	104
A.1.2) Radiação solar no Brasil.....	107
A.1.3) Aplicações da energia solar.....	110
A.1.4) Sistemas Fotovoltaicos.....	115
A.2) O efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico e a eletroquímica solar.....	116
A.2.1) Semicondutores p-tipo e n-tipo.....	117
A.2.2) Formação de pn-Junctions.....	119
A.3) Semicondutores e Células solares fotovoltaicas.....	119
A.3.1) Conceitos básicos.....	119
A.3.2) lei Chockley- Queisser limit e a eficiência fotovoltaica.....	120
A.3.3) A eficiência de células solares, as perdas devido ao comprimento de onda da luz e o gap band.....	121
Bibliografia.....	123
Glossário de Termos.....	125

I- Introdução e formato de apresentação do trabalho

O presente trabalho esta dividido em diversas etapas:

Seção I- A seção I pretende analisar a situação da energia fotovoltaica no mundo. Seu desenvolvimento histórico a situação alemã , introdução da forma de medição LCOE e seu conceito comparativo de valor de energia, principalmente a justificativa para este trabalho no item 1.2.1 que contém boa parte das contribuições do autor.

Na Seção II- O trabalho discorre sobre os aspectos mercadológicos da energia fotovoltaica com análise da capacidade fotovoltaica na europa e análise da demanda de energia e capacidade instalada no mundo. Também analisamos a demanda de eletricidade brasileira, capacidade instalada no Brasil e projeções futuras. Analisamos a capacidade fotovoltaica instalada, a evolução histórica da introdução da energia fotovoltaica no brasil e os empreendimentos em construção

Na seção III - Analisamos e discorremos sobre a energia fotovoltaica em si, o que seria um sistema fotovoltaico, tipos de células fotovoltaicas comerciais e a evolução das tecnologias fotovoltaicas ao longo do tempo.

No Apendice A temos detalhes mais técnicos como detalhamentos do efeito fotovoltaico, os níveis de irradiação no Brasil e mundo, o conceito básico de semicondutores e outros aspectos do sistema fotovoltaico.

Na seção IV- Analisamos a viabilidade economico-financeira da produção de empreendimentos fotovoltaicos na europa em específico na Alemanha, Analisamos a viabilidade economico-financeira de empreendimento hipotéticos no Brasil com análise do CAPEX OPEX e o custo nivelado de tais empreendimentos.

Na seção V- Na seção V analisamos o modelo regulatório Europeu e a proposta de valor e regulação no modelo brasileiro em constante constituição, bem como o histórico do desenvolvimento do modelo regulatório brasileiro, suas instituições, o modelo de competitividade na geração elétrica através de sistema de leilões , os ambientes de mercado ACR e ACL e as regras para participação em ambiente regulado .

Na seção VI- Discorremos sobre as barreiras para a introdução e desenvolvimento da energia fotovoltaica no aspecto regulatório, tecnologico e econômico..

Na seção VII discorremos nossas principais sugestões muitas delas já faladas ao longo do curso deste trabalho e sobre nossas principais conclusões nos aspectos mercadológicos, regulatório , tecnico e de viabilidade economica financeira de empreendimentos fotovoltaicos no Brasil

1.0) SITUAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO

1.1) A evolução histórica da energia fotovoltaica

1.1.1) Historia do desenvolvimento do processo fotovoltaico

A evolução da energia fotovoltaica é recente, tem menos de dois séculos. O efeito químico fotovoltaico foi verificado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre Becquerel. De forma sucinta verificamos a história do desenvolvimento das células fotovoltaica abaixo :

1839: O efeito fotovoltaico é observado pela primeira vez (registrado) pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel

1883: Charles Fritts ommissi a primeira “*célula solar*”, com apenas 1% de eficiência.

1887: O físico russo Aleksander Stoletov constrói a primeira célula solar baseada no efeito fotoelétrico externo

1900: Inicia-se o uso de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) em residências nos Estados unidos, que utilizavam reservatórios pintados de preto sobre os telhados.

1905: Albert Einstein explica a física do efeito fotoelétrico.

1920: Sistemas de Aquecimento Solar, utilizando coletores solares planos, são instalados em casas e prédios de apartamentos na Flórida e sul da Califórnia.

1921: Albert Einstein recebe o Prêmio Nobel, pela sua explicação do efeito fotoelétrico em 1905.

1946: Russel Ohl patenteia a moderna célula fotovoltaica de “*junção-PN*”;

1950: A Bell Labs produz as primeiras células fotovoltaicas para uso espacial.

1954: Bell Labs anuncia o desenvolvimento da primeira célula fotovoltaica de silício, com eficiência em torno de 6%.

1954: O jornal americano “The New York Times” noticia que as ‘células solares’ levarão o mundo a uma fonte de energia ilimitada, vinda do Sol.

1955: Western Electric licencia a tecnologia comercial para a fabricação de células fotovoltaicas.

1955: A divisão de semicondutores da Hoffman Eletronics cria célula fotovoltaica comercial com 2% de eficiência, vendida por US\$ 25, ou US\$ 1,785.00 por Watt-pico (isso sim, era caro!).

1957: Hoffman Electronics produz células fotovoltaicas com 8% de eficiência.

1958: Vanguard I, o primeiro satélite artificial ‘alimentado’ por energia solar, é lançado com um painel solar de 100 cm², com 0,1 Wp de potência.

1959: Hoffman Electronics desenvolve célula fotovoltaica comercial com 10% de eficiência, que utiliza a ‘grade de contatos’, que reduz a resistência das células.

1961: Acontece a conferência: “Solar Energy in the Developing World”, promovida pelas Nações Unidas.

1962: O satélite de comunicações “Telstar” é ‘alimentado’ por energia solar fotovoltaica.

1963: A Sharp Corporation, do Japão, produz um módulo fotovoltaico de silício cristalino economicamente viável.

1967: O Soyuz 1 é a primeira espaço-nave tripulada, alimentada com energia solar fotovoltaica.

1971: A primeira estação espacial russa (e de qualquer nacionalidade): Salyut 1, é alimentada por energia solar fotovoltaica.

1973: O Skylab (USA) é alimentado por energia solar fotovoltaica.

1974: O avião não tripulado “AstroFlight Sunrise” realiza o primeiro voo utilizando energia solar fotovoltaica. Esse é o primeiro ‘avião-solar’.

1975: Na Inglaterra, é comissionado o primeiro barco solar (utilizável na prática).

1977: O presidente americano Jimmy Carter manda instalar painéis fotovoltaicos na Casa Branca, promovendo incentivos para os sistemas de energia solar.

1977: A produção mundial de células fotovoltaicas ultrapassa os 500 kW.

1978: A primeira ‘Tarifa Feed-In’ (tarifa prêmio para energia fotovoltaica) é introduzida pelo presidente americano Jimmy Carter, durante a crise energética americana.

1979: É construído o primeiro veículo aéreo tripulado e controlado, e alimentado por energia solar fotovoltaica. Produzido pela Solar Rizer, parecia um ultra-leve.

1980: O Instituto de Conversão de Energia da Universidade de Delaware desenvolve a primeira célula fotovoltaica de película-fina com eficiência de 10%.

1981: O *planador-solar* “Solar Challenger” cruza o Canal da Mancha em Julho.

1983: A produção mundial de energia fotovoltaica ultrapassa 21.3 Megawatts.

1985: O Centro de Engenharia Fotovoltaica da Universidade de New South Wales desenvolve célula fotovoltaica com 20% de eficiência.

1987: É fundado o “World Solar Challenge”, uma competição bienal de carros solares. Nessa competição, times formados por universidades e empresas competem numa corrida de 3.021 km, que cruza o centro da Austrália, de Darwin até Adelaide.

1989: Primeira vez a se usar concentradores reflexivos em células fotovoltaicas.

1990: Alemanha introduz sua “Tarifa Feed-In”, para estimular o uso de energias renováveis.

1992: A Universidade de South Florida fabrica uma célula fotovoltaica de película-fina com 15,89% de eficiência.

1998: A Universidade de New South Wales exhibe on-line, entre Setembro e Outubro, o ‘Advanced Photovoltaics’. (não está mais disponível).

1999: O total de sistemas fotovoltaicos instalados no mundo alcança 1.000 MegaWatts.

2000: O presidente americano George W. Bush instala um ‘sistema fotovoltaico integrado à arquitetura’ de 9 kWp no setor do National Parks Service da Casa Branca.**2000:** ‘Feed In Tariff’

2004: Arnold Schwarzenegger, então governador da Califórnia, propõe o “Solar Roofs Initiative”, que incentiva a instalação de um milhão de telhados fotovoltaicos até 2017.

2006: O uso de silício na indústria fotovoltaica excede, pela primeira vez, o uso de silício em qualquer outra área.

2007: O Vaticano anuncia a instalação de sistemas fotovoltaicos em seus edifícios, para a conservação dos recursos da Terra: “Um extenso projeto energético que ‘se pagará’ em alguns anos”.

2007: China produz 1.700 MW de módulos fotovoltaicos, metade da produção mundial, que foi de 3.800 MW.

2008: Austrália implementa sistema de Tarifa Feed-in, incentivando a geração de energia solar fotovoltaica.

2009: A produção mundial de módulos fotovoltaicos alcança a marca de 9.340 MW.

2010: O maior estado australiano, New South Wales, introduz a mais generosa “Tarifa Feed-In” da Austrália.

2011: Queda vertiginosa de preços de dispositivos fotovoltaicos. Queda de vendas de sistemas fotovoltaicos na Europa. Empresas visam o Brasil, e fazem forte lobby para a inserção dos sistemas fotovoltaicos na América latina. Empresário Eike Batista constrói a primeira usina solar fotovoltaica do Brasil. ANEEL faz consulta pública e minuta para nota técnica que regulamenta os sistemas fotovoltaicos conectados à rede residenciais e comerciais no Brasil. Acontece um start-up dos sistemas fotovoltaicos no Brasil, com várias instituições integrando sistemas fotovoltaicos para Pesquisa e Desenvolvimento. Distribuidoras de energia elétrica de todo o Brasil buscam ‘entendimento’ sobre os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, se preparando para a regulamentação da ANEEL, que sai em 2012.

2012: (Ainda nem começou, mas...) Sai a regulamentação de SFCR (sistemas fotovoltaicos conectados à rede) da ANEEL, normas NBR para sistemas fotovoltaicos e normas técnicas individuais de cada distribuidora para conexão à rede.

1.2) Evolução da Energia Fotovoltaica no Mundo

1.2.1) Justificativa – A introdução a Energia fotovoltaica na Europa e tendências de Preço e a comparação ao Brasil

Segundo a EPIA (European Production industry association) O ano de 2012 foi outro histórico para a tecnologia solar fotovoltaica (FV), que tem experimentado notável crescimento ao longo da última década e está a caminho de se tornar um maduro e tradicional na Europa na fonte de eletricidade.

Atualmente a capacidade acumulada no mundo superou 100 gigawatt (GW) instalados, uma marca histórica. Na verdade alcançando 102GW. Isto permitirá a Europa poupar cerca de 53 Milhões de toneladas de CO₂ isto corresponderia a cerca de 16 unidades de usinas termoelétricas de carvão ou 16 usinas nucleares com reatores de 1GW. Aqui vemos a maturidade do mercado europeu que mesmo com a crise de 2008 e com o preço da energia fotovoltaica superior a outras fontes inclusive baseadas em combustíveis fósseis incrementou sua geração em 31GW na energia fotovoltaica. Segundo a comissão Europeia no seu trabalho “Mercado de eletricidade Europeu – primeiro quarto” (European commission on European electricity market first quarter) os custos da geração elétrica na Europa podem ser vistos na figura abaixo. Pelo platts index, índice que mede os preços de diferentes tipos de energia, podemos verificar que o custo de geração de 50 a 70 Euro/Mwh ou 0.050 a 0.070 cents/Kwh isto considerado uma geração variando em torno de 90 a 110Twh para todos países da comunidade europeia.

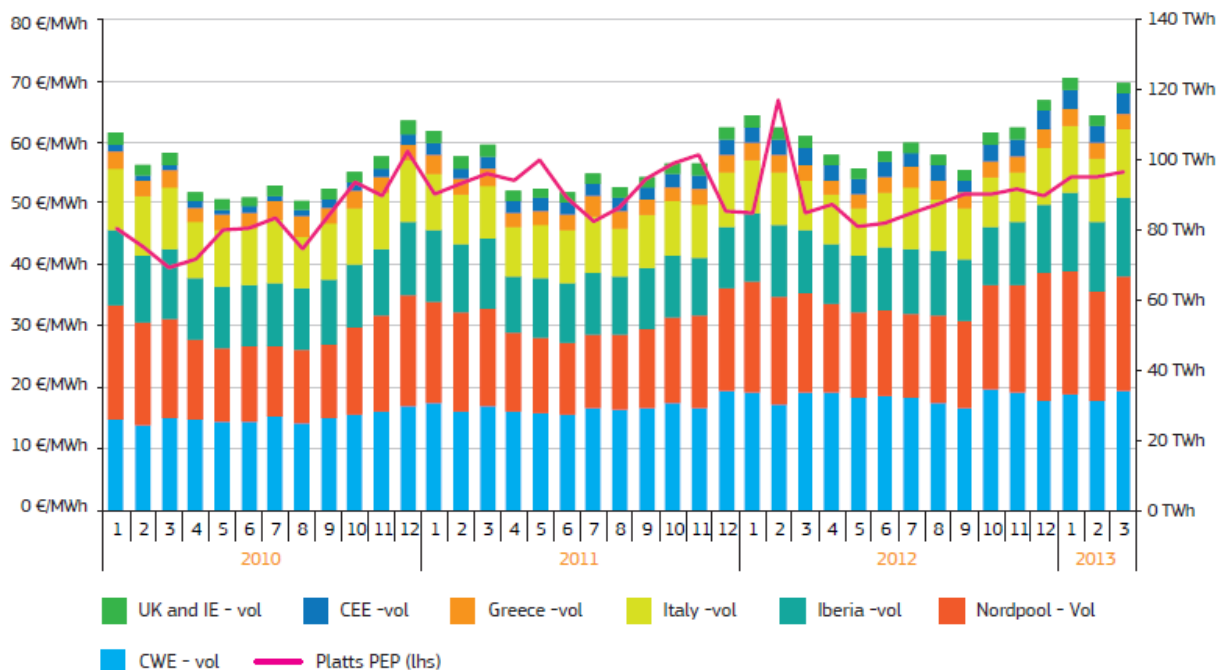


Figura 1- Índice Platt's índice Europeu de Energia

Fonte : "European Commission Quarterly Report on European Electricity Markets", European Commission, B-1049 Brussels – Belgium, March 2013.

LEGENDA: Europa Central e Ocidental (CWE): Alemanha, França, Bélgica, Holanda Luxemburgo, Austria Pool Norte "Nordpool" (NP): Noruega, Suécia, Finlândia, Dinamarca, Estônia e Lituânia OMEI: Espanha e Portugal IPEX: Itália, Central, Europa Leste "Central Eastern Europe" (CEE): Polónia, República Checa, Eslováquia, Hungria, Romênia, Eslovênia DESMIE: Grécia.

No entanto considerando a custo da energia ao consumidor a partir de empreendimentos fotovoltaicos na Europa a partir do conceito de custo nivelado de eletricidade para diferentes fontes LCOE (Levelized cost of electricity) e suas respectivas projeções até 2020 temos o gráfico abaixo que mostra o LCOE para diferentes empreendimentos fotovoltaicos.

O custo da energia eléctrica na Europa de acordo com a associação internacional de energia –EIA (Energy international association) foi standardizada de acordo com o conceito do custo nivelado de geração de energia eléctrica (LOCE). Tal índice comum é obtido a partir da seguinte formula

LOCE formula

$$LOCE = \frac{CAPEX + NPV \text{ of total OPEX}}{NPV \text{ of total EP}}$$

CAPEX: Capital Expenditure (investment costs)
OPEX: Operations and Maintenance costs
EP: Electricity Production (in kWh)
NPV: Net Present Value

source: IEA/OECD-NEA

Onde, LOCE – Custo nivelado de energia eléctrica

CAPEX- Custo de investimento em capital (investimento inicial, equipamentos, instalações)

OPEX- Custo de operação e manutenção da planta de energia

NPV- Valor presente líquido

EP- Produção de eletricidade em KWh

O objetivo do LCOE é de comparar o custo de energia de empreendimentos fotovoltaicos a vários outros tipos de plantas de energia.

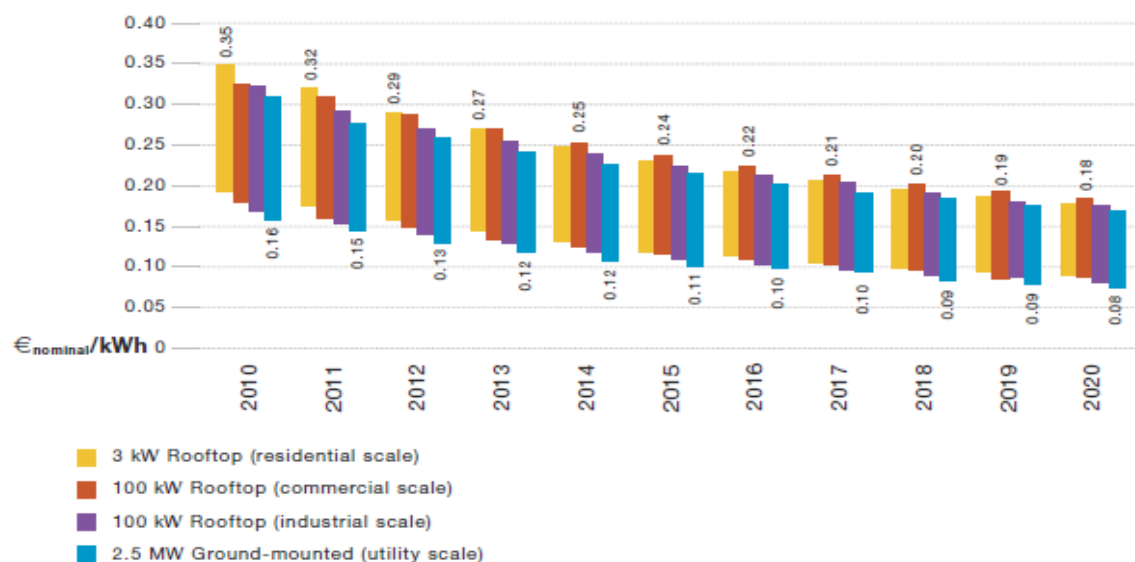


Figura 2- LCOE-Custo nivelado de eletricidade (Levelized cost of electricity) e respectivo forecast para empreendimentos fotovoltaicos 2010-2020

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed única, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setembro 2011. Consultado em 12/09/2013

Podemos ver que no ano de 2013 este preço de energia tem uma variação prevista entre 0.12 a 0.27 Euros/Kwh de acordo com a EPIA alcançando em 2020 uma previsão do preço do KWh em torno de 0.08 a 0.16 Euros /Kwh, ou seja uma redução de 40% em 7 anos.

O ponto positivo é que pelo gráfico da EPIA este cenário tem previsão na versão mais pessimista de queda mínima de 20% com ano base 2012 e de 35 a 51% no cenário mais otimista. Isto significa como podemos ver no gráfico abaixo a expectativa de alcançar a paridade com o grid a partir de 2014.

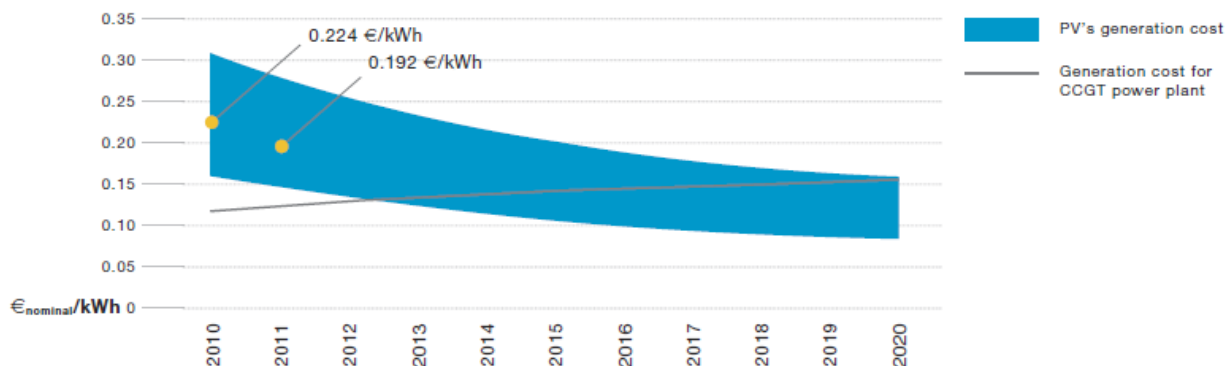


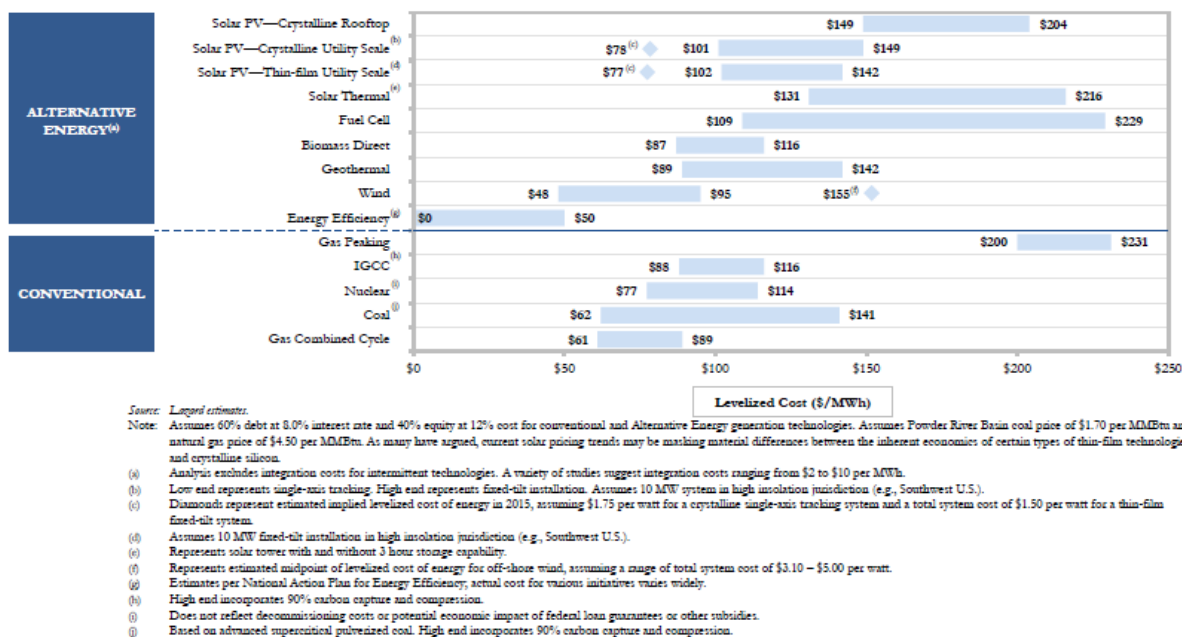
Figura 3 – LOCE – Custo nivelado de eletricidade 2010-2020 (Levelized cost of Electricity 2010-2020) para fazendas solares (ground mounted)

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed única, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setembro 2011. Consultado em 12/09/2013

De acordo com a LAZARD consultancy e seu estudo sobre o LCOE na figura 4 abaixo nós podemos ver que custo da energia de diferentes fontes . Nota-se que o custo da energia fotovoltaica de silício policristalino para fazendas solares (solar PV- Crystalline utility scale) bem como tecnologias de filme fino (Solar PV- Thin film utility scale) tem valores de custo nivelado de geração de eletricidade compatível com fontes como Biomassa (Biomass Direct), Termoelétricas a carvão (Coal), Nuclear e alguns casos até energia eólica (Wind). Podemos ver isto na figura abaixo intitulada Comparação do custo nivelado de energia sem subsídios.

Unsubsidized Levelized Cost of Energy Comparison

Certain Alternative Energy generation technologies are cost-competitive with conventional generation technologies under some scenarios, before factoring in environmental and other externalities (e.g., RECs, transmission and back-up generation/system reliability costs) as well as construction and fuel cost dynamics affecting conventional generation technologies



2 | LAZARD
 Copyright 2012 Lazard.

No part of this material may be copied, photocopied or duplicated in any form by any means or redistributed without the prior consent of Lazard.

Figura 4 – Custo da energia elétrica gerada por fonte na Europa LCOE com base no instituto LAZARD
 Fonte: Intitudo Lazard “Levelized cost of energy report” Disponível em:
<https://www.misoenergy.org/Library/Repository/Meeting%20Material/Stakeholder/PAC/2012/20121221/20121221%20PAC%20Supplemental%20Levelized%20Cost%20of%20Energy%20Analysis.pdf> Acesso em 14/09/2013

Ainda verificamos com a figura 4 que o custo de plantas de gás natural com base de 88 a 116 Eur/MWh em quanto que a energia fotovoltaica para geração de aplicações fazendas solares montadas sob o solo (groud mounted) gira em torno de 101 a 149 Eur/Mwh para tecnologia policristalina e 101 a 142 para tecnologia de filme fino ou seja mostrando a Maturidade do mercado

Assim concluímos que hoje já é efetivo a concorrência entre energia gerada por meios fotovoltaicos com a energia gerada por termoeletricas de ciclo combinado.

Mas e o caso brasileiro como fica?

1.2.2) Tendências de preços energia elétrica mercado Brasileiro e comparativo LCOE da Comunidade europeia

Para que possamos discorrer sobre o preço da energia temos de entender a atual matriz energética brasileira -2011. Atual matriz energética Gerando um total de 115.16 GW instalados de potência. Dos quais 16.116 MW são de geração termoeletrica e apenas 1MW de geração fotovoltaica

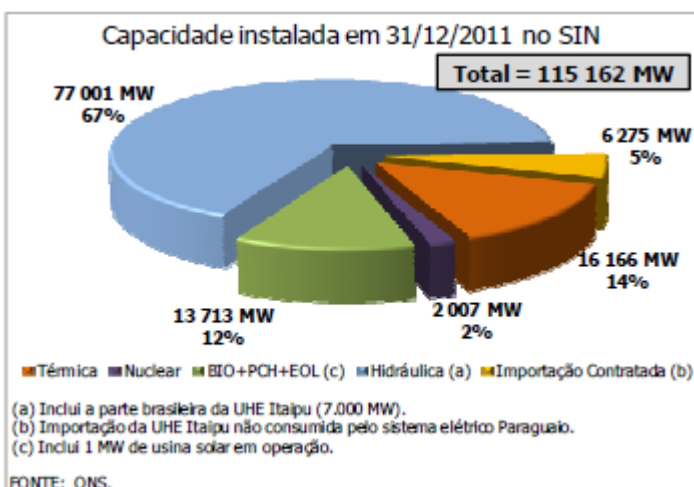
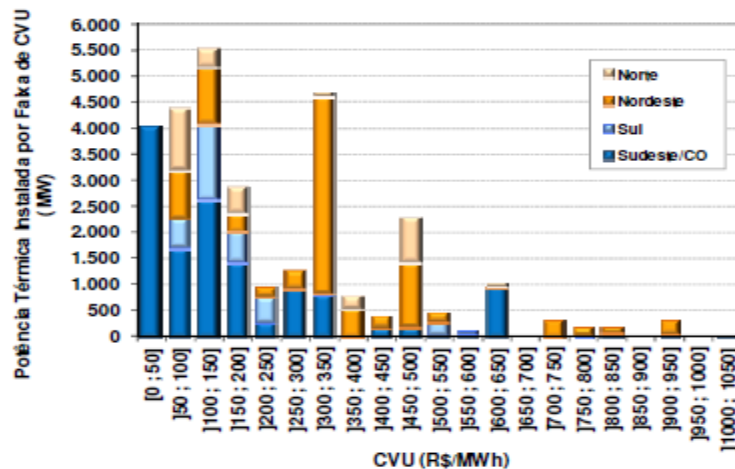


Figura 5 – Capacidade instalada no SIN por fonte geradora em MW

Fonte MME, Secretaria de planejamento e desenvolvimento estratégico- “Plano Decenal de Expansão de Energia 2021, 2012, Pg 67-68

De acordo com o último planejamento energético 2030 do ministério de minas e energia e também de acordo com o plano decenal de energia 2021 da EPE o CVU – custo variável unitário das termoeletricas já operantes e instaladas no SIN (sistema interligado nacional) pode ser visto abaixo por faixa de contrato de CVU



Fonte: EPE.

Obs.: Data de referência dos CVU: PMO de maio de 2012 (ONS).

Gráfico 26 – Distribuição do parque térmico por faixa de CVU e por subsistema (MW)

Figura 6 – Potencia instalada for faixa de CVU da geração térmica – Plano energético Nacional 2021-2012

Fonte : Fonte LOBÃO, EDSON, MME, Secretaria de planejamento e desenvolvimento estratégico- “Plano Decenal de Expansão de Energia 2021, 2012, Pg 86

Analisando o gráfico temos que cerca de 9750 MW ou seja 57% da geração térmica tem CVU entre 200-700 R\$/MWh gerado ou usando um dólar médio de 2012 de 2.035 R\$/U\$ e 0.809 U\$/EURO temos que o CVU seria **igual EU\$/ MWh 79.3 a 278.3**

Somente do custo variável das termos que seria teoricamente o maior custo ligado ao combustível já é equivalente para o menor caso e 2 a 4 vezes para a média maior que o preço de energia fotovoltaica na Europa.

Segundo estudo da Abinee Propostas para Inserção da **Energia Solar Fotovoltaica** na Matriz Elétrica Brasileira temos as tarifas de energia residenciais com impostos em seus respectivos estados na figura 7 abaixo

$$\text{TARIFA COM IMPOSTOS} = \text{TARIFA DISTRIBUIDORA} / (1 - \text{PIS} - \text{COFINS} - \text{ICMS})$$



Figura 7 – Tarifa de energia com impostos para clientes de baixa tensão segundo estudo da Aneel Propostas para Inserção da **Energia Solar Fotovoltaica** na Matriz Elétrica Brasileira.

Fonte Andrade, Leonidas- Grupo setorial fotovoltaico Abinee, “Propostas para inserção da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira” São Paulo, Junho/2012

Desta forma verificamos em na maior parte dos estados brasileiros as tarifas residenciais vão de 348 R\$/MWh a 703 R\$/MWh. Ou em Euro médio de 2011 de 2.35 R\$/Euro teríamos 148 Eu/MWh a 299 Eu/MWh

Para consumidores de alta tensão segundo o mesmo estudo da Aneel verificamos na Figura 7 abaixo o custo médio da tarifa com impostos⁷

irradiação solar no Brasil o que nos traria custos de geração no país ainda menores aos custos hoje observados na Europa uma vez que o Wh gerado por m² de painel instalado seria muito maior comparado ao mesmo painel posto em boa área de insolação na Alemanha.

Pelos últimos leilões da ANEEL tudo leva a crer que a tendência obviamente ainda seria investir nas hidroelétricas como padrão de tipo de energia, porém já há leiloados mais de 7,5GW de eólicas e porque não desenvolver outras formas de energia sustentável como a energia fotovoltaica o que o governo começou com a resolução 482 para redução da TUST e TUSD em 50% para empreendimentos de micro e mini geração e também para a ajuda a conclusão deste trabalho a inclusão de leilões de energia solar juntamente com eólica na modalidade do A-5 em 13 de Dezembro 2013 o que pode impulsionar inclusive a instalação de um parque fabril fotovoltaico no país.

Posto isto este estudo tem a proposta de detalhar os aspectos técnicos, mercadológicos, regulatórios e financeiros para implementação da energia fotovoltaica seja ela em empreendimentos no ambiente regulado seja ela em empreendimento na geração distribuída.

A. .) Aspectos Mercadológicos

2.1) Evolução da Balança comercial de Energia no mundo por fonte.

Para termos uma ideia geral da evolução da balança comercial de energia ao nível mundial segundo o EIA (energy international agency) temos que a produção total de energia primária (incluindo combustíveis fósseis e eletricidade) em milhões de toneladas óleo equivalentes de 6107 Mtoe em 1973 e 12217 Mtoe em 2010 conforme gráfico abaixo

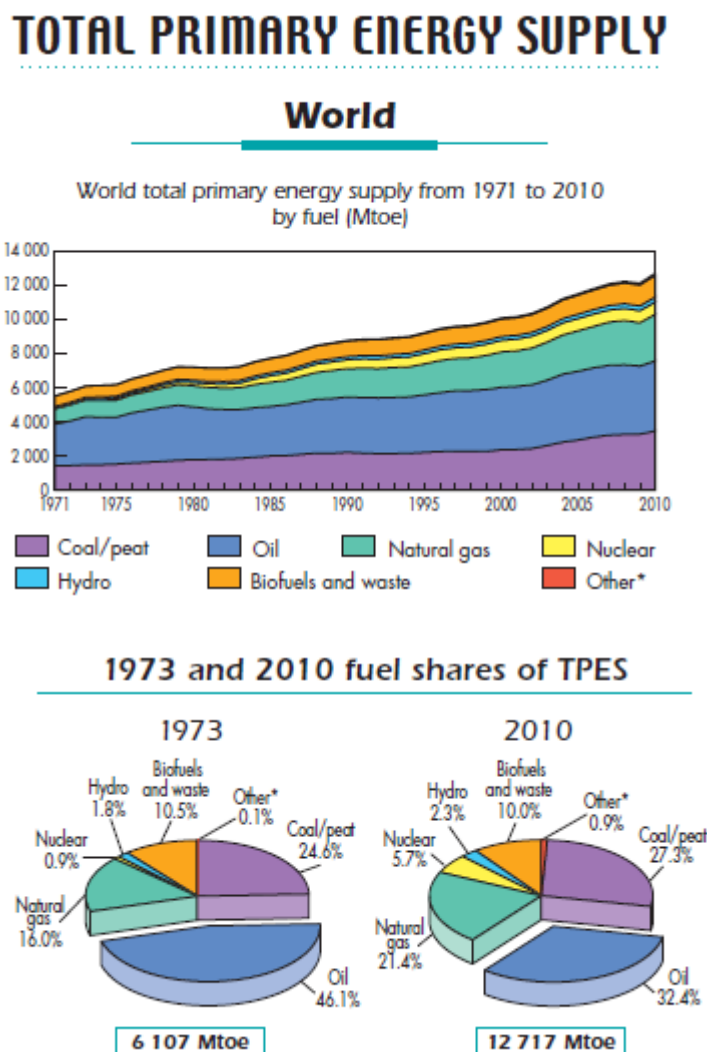


Figura 8 – Total de energia primária gerada em Mtoe- Milhões de toneladas de óleo equivalente
Fonte –“Key World energy statistics”,EIA- Agência internacional de Energia, Paris, 2011 , Ed única., Pg 6

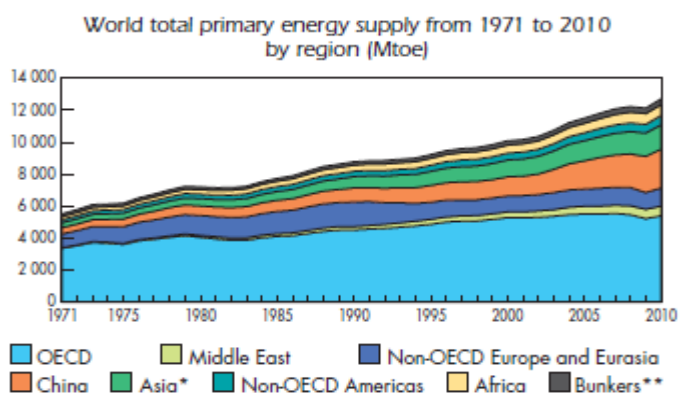
O que se pode ver que ainda em 2010 historicamente o suprimento de energia primária depende de combustíveis fósseis como com 86.7% do total de energia gerada no mundo em 1973 para 81.1% em 2010, porém verifica-se a utilização de uma maior proporção do gás natural de 16% para 21.4% e agora mais ainda acentuada com a vinda do Shale gás dos Estados Unidos.

Verifica-se também que a proporção de energia Hidroelétrica e Nuclear aumentou consideravelmente 1,8% para 2,3% no caso das hidrelétricas e de 0,9% para 5,7% da energia Nuclear, esta por sua vez vem sendo repensada após o acidente de Fukushima no Japão , país considerado referencia na a segurança da geração elétrica a partir de fonte nuclear.

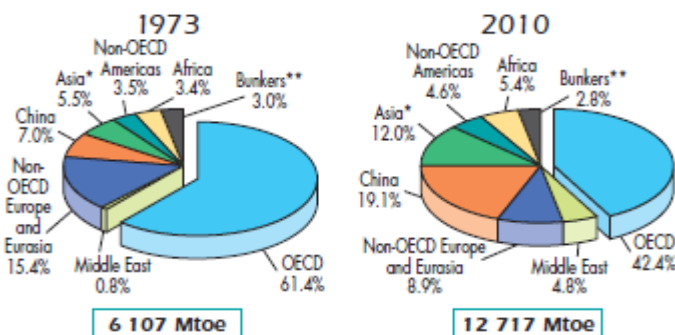
Regionalizando este volume de suprimento de energia primária temos o seguinte cenário

TOTAL PRIMARY ENERGY SUPPLY

World



1973 and 2010 regional shares of TPES



*Asia excludes China.
**Includes international aviation and international marine bunkers.

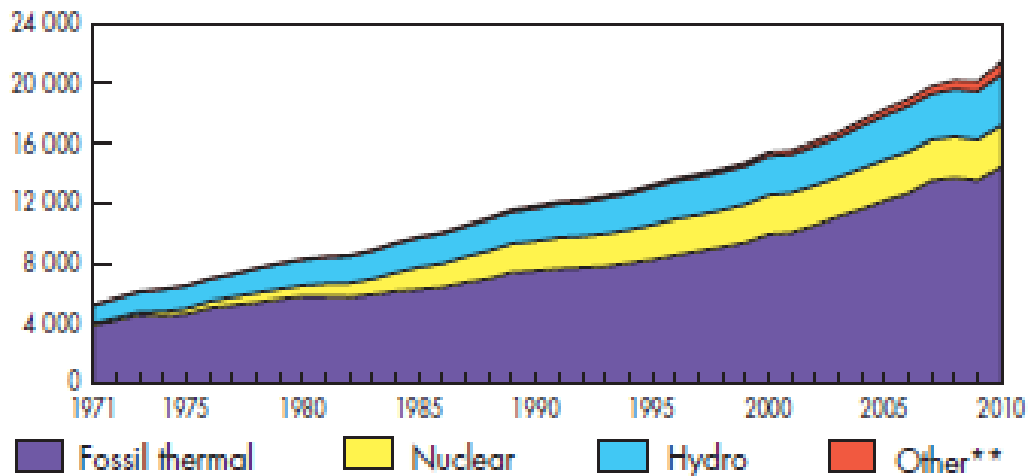
Figura 9- Total de energia primária gerada em Mtoe- Milhões de toneladas de óleo equivalente
Fonte – “Key World energy statistics”,EIA- Agência internacional de Energia, Paris, 2011 , Ed única., Pg 8

Neste gráfico fica evidente o aumento do consumo de energia pela china e Ásia e seguido pela África. Isto está diretamente relacionado ao aumento populacional sendo quem em 2040 75% da população mundial estarão na China, Ásia , África segundo relatório da British petroleum 2013 energy report.

Quando falamos da geração de eletricidade comparando 1973 em plena crise do petróleo e 2010 temos o cenário abaixo da geração de eletricidade for fonte. (Figura 10)

Electricity Generation by Fuel

World electricity generation* from 1971 to 2010
by fuel (TWh)



1973 and 2010 fuel shares of electricity generation*

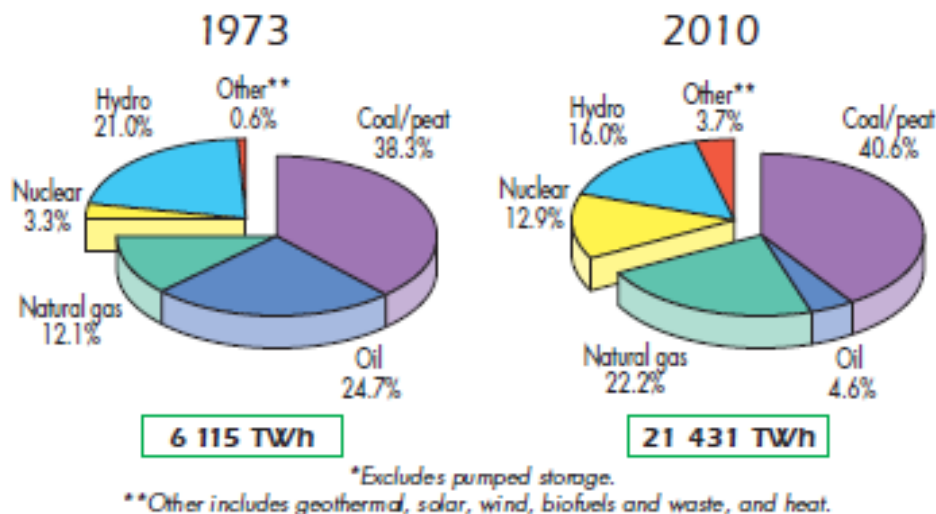


Figura 10 - Geração de eletricidade em TWh (Terawatts hora) em 1973 e 2010

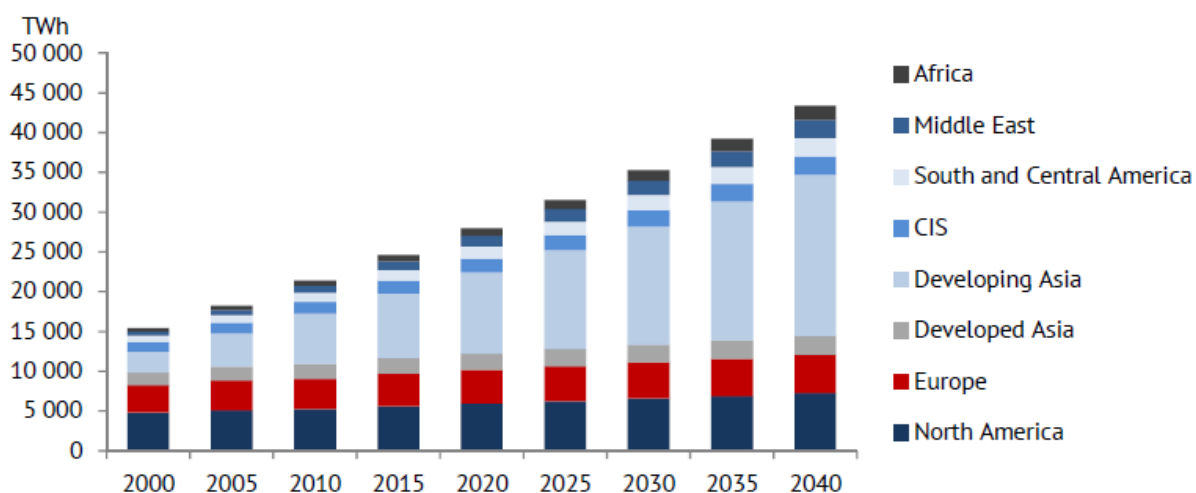
Fonte – Fonte – “Key World energy statistics”, EIA- Agencia internacional de Energia, Paris, 2011 , Ed única., Pg 24

Vemos que a parcela de combustíveis fósseis na geração elétrica continua expressiva de 4592 TW/h (75,1% da energia gerada em 1973) em 73 para 14,444,5 TW/h de geração elétrica por combustíveis fósseis em 2010 (67%)

Outro ponto que verificamos é o expressivo aumento da geração Nuclear que era em 1973 de 201.3 Tw/h em 1973 para 2764.6 TW/h em 2010.

Também vemos o surgimento da geração de eletricidade a partir de energias renováveis (Biocombustíveis, Eólica, Solar e waste to Energy) em 2010 saltando de 37TW/h em 1973 para 793 TW/h incluindo a geração elétrica a partir de fontes hidrelétricas temos praticamente uma manutenção das energias renováveis de 21.6% em 1973 para 19.7% em 2010 , porém em volume um crescimento expressivo da geração elétrica renovável de 1320.8TW/h para 4222 TW/h . Considerando que de 1973 a 2010 houve um crescimento de 250% a geração elétrica renovável.

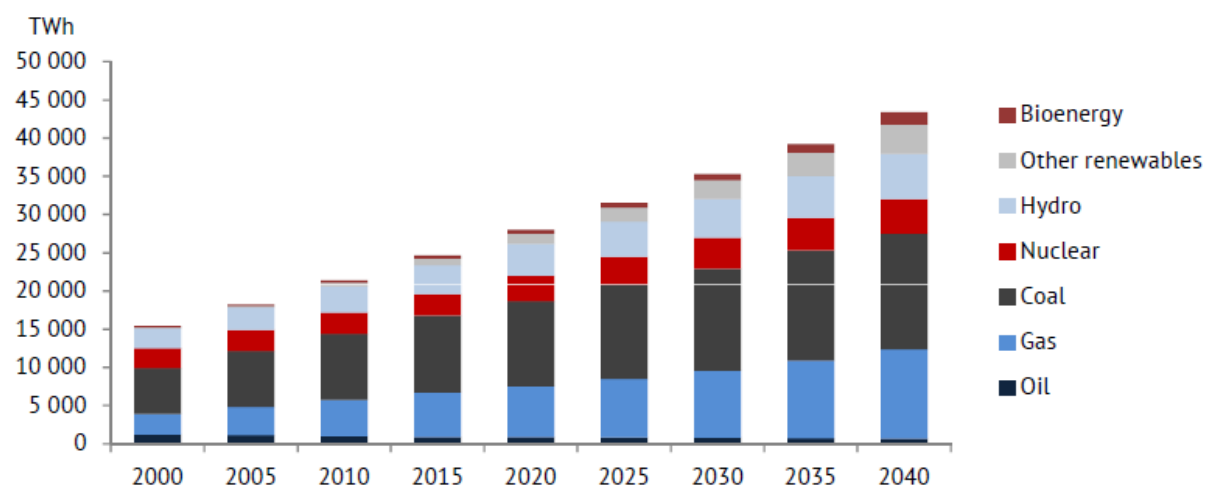
Também segundo o instituto da academia de ciências de pesquisa e energia Russo (Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences) no seu estudo Prepectiva da energia global e russa até 2040 (**GLOBAL AND RUSSIAN ENERGY OUTLOOK UP TO 2040**) Coloca que o Valor total da energia elétrica gerada em 2010 da matriz total energética (que inclui combustíveis fósseis para fins de transporte, indústria e energia térmica) passará de 36% em 2010 para 47% em 2040. Ou seja sairemos de 21431 TW/h para 42500 TW/h em 2040 segundo a figura abaixo para energia gerada a partir de combustíveis fósseis.



Source: ERI RAS

Figura 11 – Geração de eletricidade por região , cenário base

Fonte Makarov, A. A. , “Global and Russian Energy Outlook up to 2040”, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS) and the Analytical Centre of the Government of the Russian Federation (ACRF), Moscou, 2011- Ed unica- Pg 22 e 23



Source: ERI RAS

Figura 12- fig 45 (Gráfico 4) – Geração de eletricidade por tipo de fonte , cenário base

Fonte Makarov, A. A. , “Global and Russian Energy Outlook up to 2040”, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS) and the Analytical Centre of the Government of the Russian Federation (ACRF), Moscou, 2011- Ed unica- Pg 22 e 23

No gráfico acima vemos que segundo o instituto real russo de pesquisas a maior parte do incremento da geração de eletricidade virá das energias renováveis hidráulicas , bioenergias e energias eólica e solar.

Concluimos que há uma coerência entre os institutos de pesquisa que predizem um crescimento do gás natural para geração de eletricidade, mas também um crescimento da geração de eletricidade com base nas energias renováveis dos quais uma importante parcela é a energia fotovoltaica.

2.1.1) Evolução Histórica e previsões da Geração Energia elétrica na Europa com ênfase na energia Renovável e Fotovoltaica

O desenvolvimento das energias renováveis na Europa vem crescendo consideravelmente. Na tabela abaixo podemos ver a evolução histórica da geração de eletricidade na Europa em TW/h segundo o Energy International Association para países membros da OECD e para países non-OECD

	Renewable electricity generation							Share of total generation	
	1990	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2010	2035
OECD	1 339	1 960	2 493	2 963	3 444	3 936	4 436	18%	33%
Americas	718	896	1 105	1 297	1 504	1 724	1 953	17%	29%
United States	379	454	600	750	909	1 074	1 238	10%	23%
Europe	472	887	1 138	1 351	1 545	1 734	1 937	24%	44%
Asia Oceania	149	177	250	315	396	477	546	9%	24%
Japan	102	116	161	199	247	292	325	10%	27%
Non-OECD	977	2 245	3 038	4 037	4 904	5 851	6 906	21%	30%
E. Europe/Eurasia	266	309	315	347	391	446	516	18%	22%
Russia	166	170	176	195	224	260	305	16%	21%
Asia	281	1 090	1 688	2 445	3 039	3 663	4 320	17%	27%
China	127	779	1 223	1 789	2 112	2 400	2 689	18%	27%
India	72	136	213	318	466	644	826	14%	25%
Middle East	12	18	28	46	72	119	208	2%	12%
Africa	57	110	141	198	275	374	495	17%	36%
Latin America	361	718	866	1 000	1 127	1 248	1 367	67%	73%
Brazil	211	437	514	585	646	701	754	85%	79%
World	2 316	4 206	5 531	6 999	8 348	9 786	11 342	20%	31%
European Union	310	687	922	1 113	1 285	1 450	1 626	21%	43%

Tabela 1- Geração mundial de eletricidade segundo tipo de fonte renovável por região e seu respectivo forecast em TWh

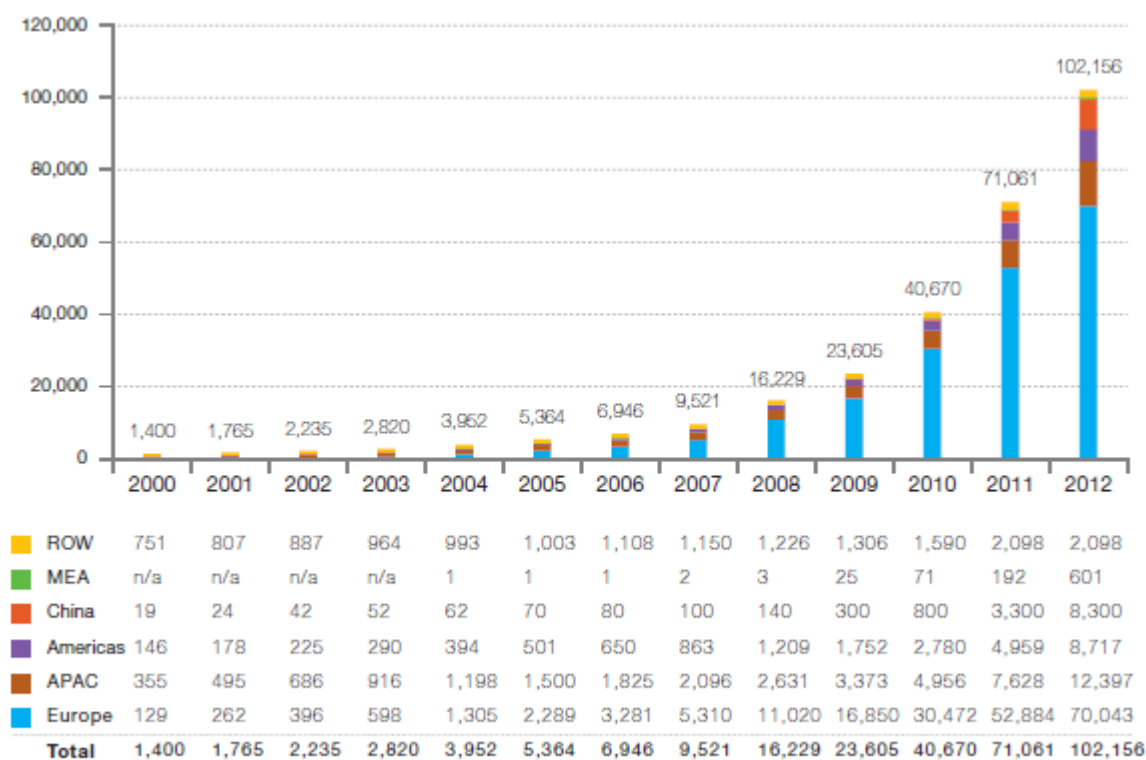
Fonte: "World Energy Outlook 2012" , Agencia Internacional de Energia (EIA), Paris, 2011 , Ed. Única. Pg 218

Para o volume da Europa EU27 (27 países que compõe a união Européia) em 2010 temos um total de 687 TW/h de fontes renováveis e em 2030 um valor de 1450 TW/h ou seja um crescimento de 111% em 20 anos.

Ainda podemos ressaltar o caso brasileiro aqui apenas como observação onde temos 437 TWh gerados de energia renovável contra uma previsão de 701 TWh em 2030.

Se formos verificar a capacidade instalada em 2010 para energia fotovoltaica segundo gráfico 5 abaixo foi de 22412MW valor capaz de gerar 24.7 TW/h de energia.

Em 2012 segundo EPIA Associação Europeia da industria fotovoltaica (European photovoltaic Association) a capacidade instalada cumulativa no mundo era de cerca de 100GW capacidade suficiente para gerar 110TW/h de energia elétrica, ou seja 16% de toda energia Renovável europeia e manter cerca de 30 milhões de residências. A Europa em 2012 continua sendo a líder global na instalação de geração fotovoltaica com capacidade acumulada de 70GW ou 70% da capacidade mundial instalada.



ROW: Rest of the World. MEA: Middle East and Africa. APAC: Asia Pacific.

Figura 13- Capacidade mundial acumulada de instalações fotovoltaicas (MW)

Fonte – “ Global Market Outlook for photovoltaics 2013-2017 , Associação Europeia da indústria Fotovoltaica (EPIA), Bruxelas, Belgica, Ed única. Pg 13 e 14

Ainda a participação da geração solar fotovoltaica segundo a Bloomberg new energy em 2012 conforme figura 14 abaixo é menor que 2% da demanda total de energia elétrica gerada

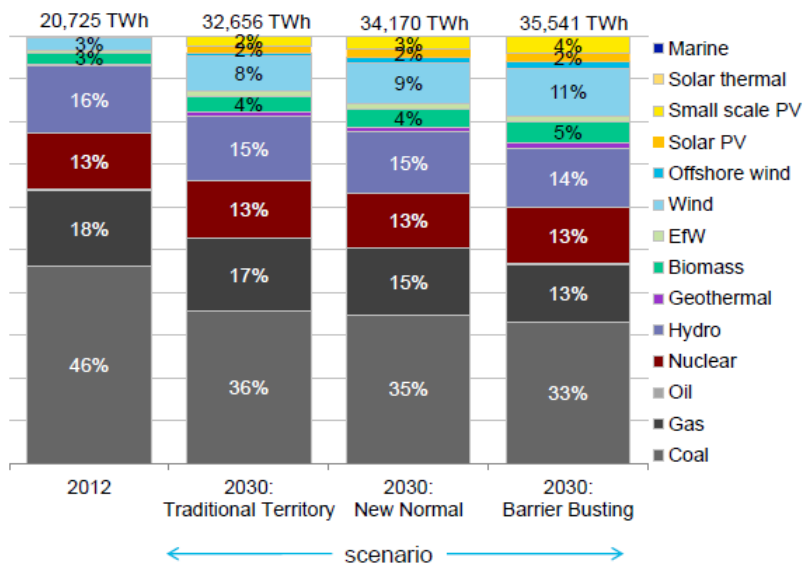
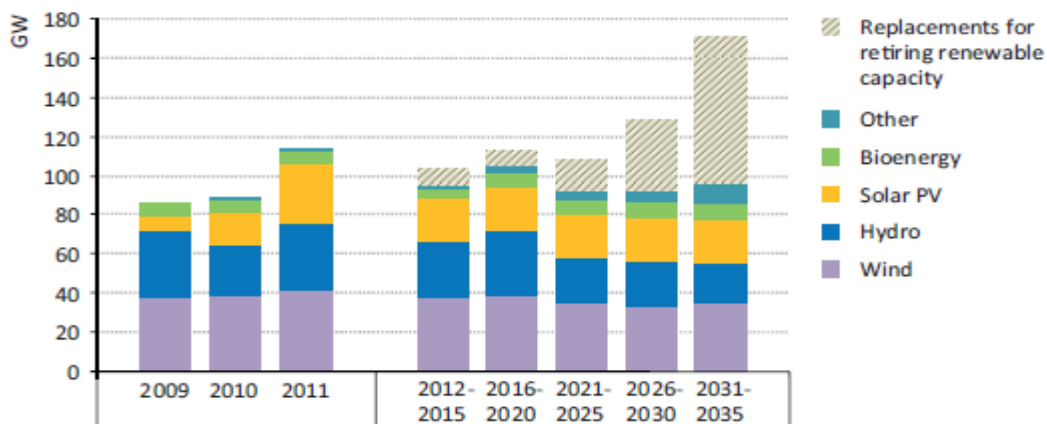


Figura 14- Geração de eletricidade por fonte e respectivos diferentes cenários em 2030
 Fonte –Tuner, Guy, “GLOBAL RENEWABLE ENERGY MARKET OUTLOOK” , Bloomberg New energy , Nova York, 23 APRIL 2013- Ed única (apresentação)

2.1.2 Capacidade instalada de Energia Elétrica de geração fotovoltaica na Europa

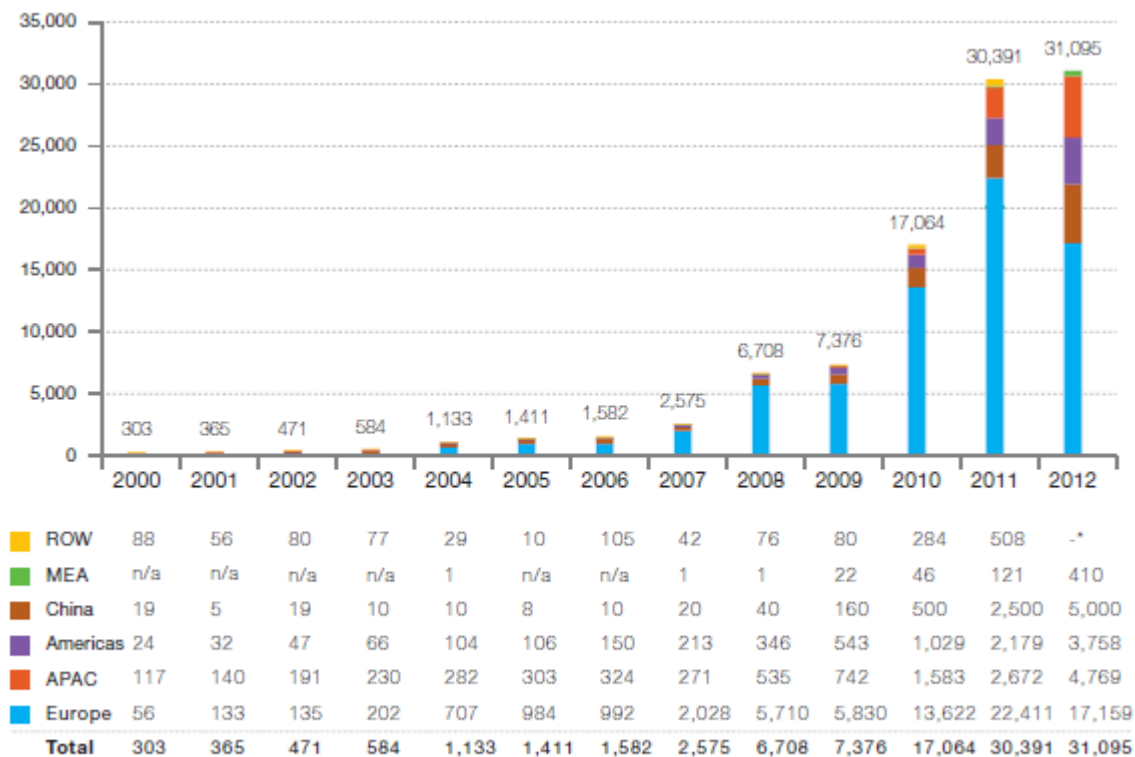
A capacidade instalada global segundo a EIA gira em torno de 118GW em 2011 conforme gráfico abaixo



Notes: Net additions plus replacement of retired capacity equals gross capacity additions. Other includes geothermal, concentrating solar power and marine energy.

Figura 15- Capacidade instalada global de geração de eletricidade renovável em 2011 em GW e respectivo forecast 2013-2035
 Fonte: “World Energy Outlook 2012” , Agencia Internacional de Energia (EIA), Paris, 2011 , Ed. Única. Pg 217

Vemos a seguir na figura abaixo que a capacidade instalada europeia de geração fotovoltaica adicional ano a ano. Verificamos que em 2012 após 12 subseqüentes de crescimentos houve uma retração no total de capacidade instalada e conectada a rede devido a demoras nas licenças ambientais e projetos de conexão a rede.



* From 2012 onwards, these figures are directly integrated into those of the relevant regions.

Figura 16- Evolução da capacidade global anual instalada europeia 2000 a 2012 (MW)
 Fonte – “ Global Market Outlook for photovoltaics 2013-2017 , Associação Europeia da indústria Fotovoltaica (EPIA), Bruxelas, Belgica, Ed única. Pg 13 e 14

2.2.) O cenário Brasileiro

2.2.1) Evolução Demanda de energia elétrica no Brasil

A projeção do consumo total de eletricidade (incluindo autoprodução) e os valores médios quinquenais da elasticidade-renda resultante, assim como os valores pontuais da intensidade do consumo de energia elétrica em relação ao PIB. Ao contrário do PDE anterior ao de 2021, a elasticidade-renda média do consumo de eletricidade, no período decenal, é ligeiramente superior à unidade e a intensidade elétrica da economia aumenta um pouco segundo o PDE de 2021 do MME

Podemos ver abaixo a projeção de demanda de 2012 e 2021 com a respectiva intensidade em KWh/R\$ e relativo a uma projeção do PIB brasileiro

Ano	Consumo⁴ (TWh)	PIB (10⁹ R\$[2010])	Intensidade (kWh/R\$[2010])
2012	500,1	3.956	0,126
2016	619,0	4.717	0,131
2021	773,8	6.021	0,129

Tabela 2- Projeção da demanda de energia elétrica Brasileira (TWh/h) comparativo a um crescimento assumido do PIB e respectiva intensidade

Fonte : MME, Secretaria de planejamento e desenvolvimento estratégico- “Plano Decenal de Expansão de Energia 2021, 2012, Pg 38

É interessante notar aqui que já no plano decenal os crescimentos do PIB estão fora então portanto ao invés do crescimento da demanda média de 20 a 25% a cada 5 anos ou crescimento médio de 5% ao ano com valores de PIB's menores este crescimento provavelmente será de 2.5% na demanda assumindo valores de PIB na ordem de 2%

2.2.1.1) Demanda de Energia por fonte segundo PDE 2021

Vendo a tabela 3 abaixo podemos identificar que em 2012 o Brasil consumiu o total de 43011×10^3 Toneladas equivalentes de petróleo passando a 66544×10^3 em 2021 um acréscimo de 18%, mas o importante ressaltar aqui é segundo a EPE a média de crescimento na demanda de eletricidade que será de 4,9% para o período de 2011 a 2021.

Discriminação	2012		2016		2021		Variação anual ¹²		
	10 ³ tep	%	10 ³ tep	%	10 ³ tep	%	2011/ 2016	2016/ 2021	2011/ 2021
Gás natural	17.867	7,5	22.808	7,8	29.414	8,1	6,1	5,2	5,7
Carvão mineral e coque	12.000	5,0	15.827	5,4	20.016	5,5	6,6	4,8	5,7
Lenha	12.961	5,4	13.726	4,7	14.754	4,1	-3,5	1,5	-1,0
Carvão vegetal	5.733	2,4	7.199	2,4	7.447	2,0	7,6	0,7	4,1
Bagaço de cana	29.032	12,2	39.367	13,4	50.010	13,7	7,6	4,9	6,2
Eletricidade	43.011	18,1	53.232	18,1	66.544	18,3	5,2	4,6	4,9
Etanol	11.353	4,8	21.158	7,2	31.655	8,7	14,5	8,4	11,4
Biodiesel	2.339	1,0	2.865	1,0	3.408	0,9	5,6	3,5	4,6

¹² Contrato nº CT-EPE-002/2011 conforme especificações do Projeto Básico do Edital do Pregão Eletrônico nº PE/EPE.020/2010.

Tabela 3 Consumo final energético e participação por fonte segundo Plano Decenal de Energia Fonte : MME, Secretaria de planejamento e desenvolvimento estratégico- “Plano Decenal de Expansão de Energia 2021, 2012.

2.2.2) Capacidade instalada de Energia elétrica no Brasil por fonte

Novamente na figura 17 repetida abaixo vemos que o Brasil hoje tem capacidade instalada de 115GW sendo que a energia fotovoltaica em operação é Apenas 1MW.

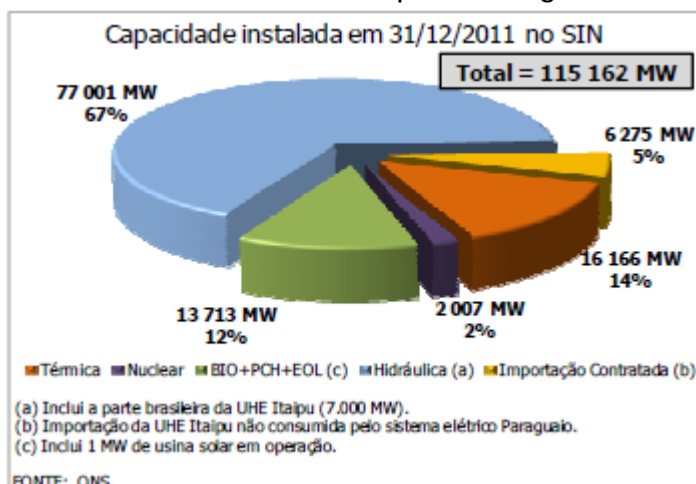


Figura 17 – Capacidade instalada no SIN por fonte geradora em MW

Fonte : MME, Secretaria de planejamento e desenvolvimento estratégico- “Plano Decenal de Expansão de Energia 2021, 2012.

Isto se deve principalmente que hoje a energia fotovoltaica para o ambiente Regulado ACR não Esta regulamentada. Apesar de termos mais de 1.2 GW cadastrados na Aneel de empreendimentos tipo fazendas solares montado sobre solo (Ground mounted) prontos para cadastro em eventuais leilões de energia Solar

Hoje vemos que o Brasil tem somente 13.7 GW instalados de empreendimentos de energia renovável excluindo-se a geração hidrelétrica sendo que grande parte seria de PCH;s e Biomassa ficando as eólicas somente com 2.0 GW instalados em 2012

Ainda consultando o Banco de Geração da ANEEL em 12/10/2013
Temos a seguinte capacidade de geração da matriz energética brasileira

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	424	257.501	258.707	0,21
EOL	98	2.134.960	2.137.364	1,71
PCH	462	4.634.488	4.569.748	3,66
UFV	33	6.770	2.770	0
UHE	194	86.699.255	80.731.224	64,57
UTE	1.757	37.201.197	35.336.517	28,26
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,59
Total	2.970	132.924.171	125.026.330	100

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	1	848	0
EOL	92	2.318.466	11,27
PCH	32	338.961	1,65
UHE	7	14.060.800	68,37
UTE	21	2.495.220	12,13
UTN	1	1.350.000	6,56
Total	154	20.564.295	100

Legenda	
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-elétrica
EOL	Central Geradora Eólica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

Tabela 4 – Capacidade de geração elétrica por fonte geradora –

Fonte: ANEEL, Banco de geração da ANEEL. Disponível em

<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em 12/10/2013

Ou seja verificamos que em 12/10/2013 no banco de geração da ANEEL temos um total de 133GW instalados no País sendo que apenas 5,58% são de energias renováveis que não a usina hidrelétrica. Considerando a fonte de geração por usina hidrelétrica temos um total de 70,15% de capacidade de geração de eletricidade a partir de fonte renovável.

Se considerarmos os empreendimentos outorgados até o momento até ano de 2018 temos uma matriz energética total de 153,5GW com empreendimentos existentes para o ano de 2018 de capacidade instalada sendo que o total de fontes de energias renováveis que não a hidrelétrica é de 7,033 GW Sendo que estão outorgados novos 2658275 KWh (2,66 GW) a serem instalados até 2018 ou 2,66GW. Isto implica um crescimento no Brasil até o momento de 37,7% na capacidade de geração por fonte alternativa ou renovável.

Mas considerando 8760 hs por ano teríamos para esta capacidade instalada 1344,66 TWh/ano total ou 672,33 Twh/ano para um fator de capacidade médio de 50% o que é um pouco mais alto para a demanda de 2016 de 616 Twh

Ainda quando falamos de empreendimentos fotovoltaicos temos hoje apenas a usina de Taua com sua expansão e outros pequenos produtores independentes totalizando 6,77 MW em 33 empreendimentos.

2.2.3) A Evolução histórica da Utilização da Energia Fotovoltaica no Brasil

No Brasil desde 1991 com a lei de informática que criava barreiras alfandegárias para importação de produtos de informática bem como componentes fotovoltaicos que utilizavam silício cristalino teve Resultado modesto na proteção da indústria nacional que com a abertura do plano Collor desabou criando espaço para importações . Nesta época existia uma única indústria de painéis e beneficiamento e produção de células a Heliodinâmica que produzia lingotes de silício monocristalino , células e módulos fotovoltaicos.

O programa Luz para todos

O programa luz para todos veio a estudar e centralizar as necessidades de energia para comunidades carentes principalmente no Norte do país no governo Lula (em seus dois mandatos) e posteriormente no governo Dilma Russef.

Neste programa existiu a modalidade do PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios criado e idealizado no programa Fernando Henrique Cardoso e seguido nos três governos seguintes onde promoveu a aquisição de sistemas fotovoltaicos por meio de licitações internacionais com um estabelecimento total de 5MWp em aproximadamente 7000 comunidades em todo Brasil segundo relatório da Abinee Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira

No total foram implementados com este programa 2046 sistemas fotovoltaicos

A experiência do PRODEEM permitiu que desenvolvessem aplicações como acionamento de bombas através de energia fotovoltaica e experiências como a utilização de sistemas híbridos como os listados abaixo

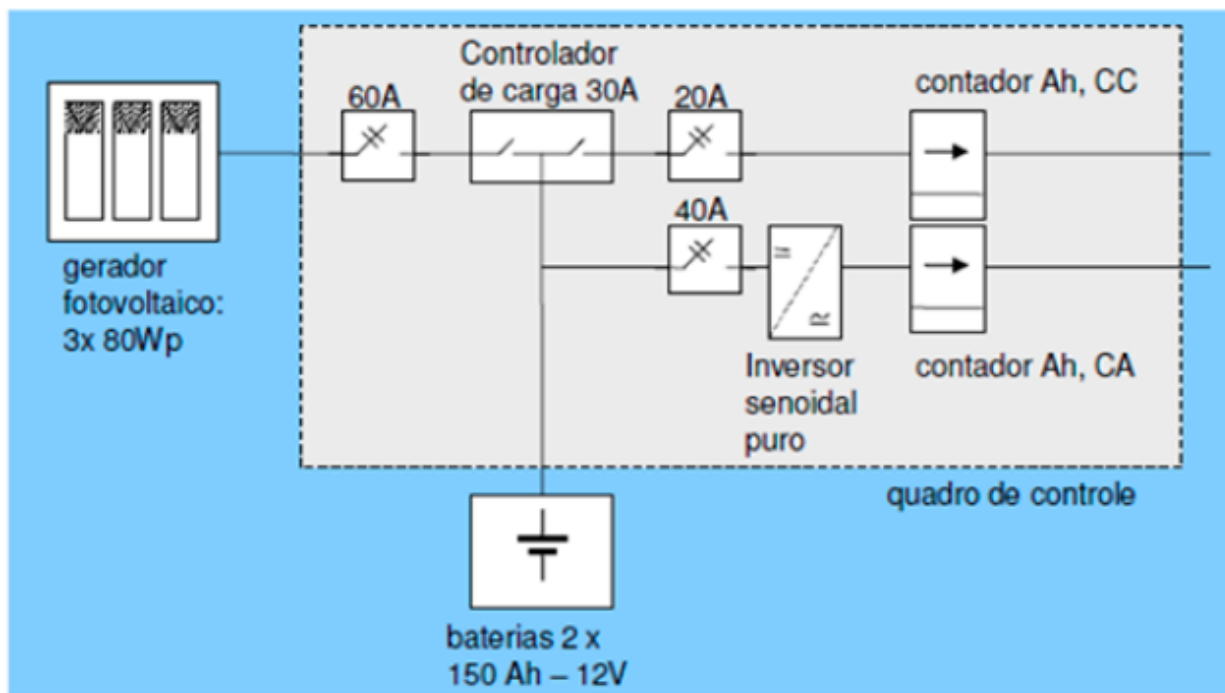


Figura 18 – Sistema Híbrido elétrica de geração por placa fotovoltaica

Fonte Andrade, Leonidas- Grupo setorial fotovoltaico Abinee, "Propostas para inserção da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira", São Paulo, Junho/2012

Também a experiência no PRODEEM permitiu que verificar-se a deficiência dos inversores em altas umidades bem como o ressecamento das guarnições de borracha dos painéis fotovoltaicos entre outros elementos elastoméricos.

A Chamada 13 de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL

No intuito de melhor entender as dificuldades técnicas e econômicas do desenvolvimento fotovoltaico para geração de eletricidade e introdução na matriz energética brasileira a ANEEL buscou lançar e Setembro de 2011 um edital para cadastro de empreendimentos até 3MW de usinas fotovoltaicas visando os seguintes objetivos segundo a ANEEL:

- Facilitar a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira;

- Viabilizar economicamente a produção, instalação e monitoramento da geração solar fotovoltaica para injeção de energia elétrica nos sistemas de distribuição e/ou transmissão;
- Incentivar o desenvolvimento no país de toda a cadeia produtiva da indústria solar fotovoltaica com a nacionalização da tecnologia empregada;
- Fomentar o treinamento e a capacitação de técnicos especializados neste tema em universidades, escolas técnicas e empresas;
- Estimular a redução de custos da geração solar fotovoltaica com vistas a promover a sua competição com as demais fontes de energia; e
- Propor e justificar aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desonerações tributárias que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e da confiabilidade do suprimento de energia.

Várias empresas (mais de 100) se interessaram pelo projeto muitos deles realizado com verbas de pesquisa compulsória das concessionárias total de 0,75% do faturamento. Os resultados são variados e algumas se encontram em operação e coletando dados.

III- Aspectos técnicos da energia fotovoltaica

3.1.1- Sistemas de geração de eletricidade através de painéis fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos são compostos por módulos, inversores, dispositivos de proteção, sistema de fixação e suporte dos módulos, cabos e, opcionalmente, baterias e controladores de carga – mas que são usuais em sistemas isolados

Os sistemas fotovoltaicos geram a eletricidade através de processo fotoelétrico descrito nas seções seguintes que a excitação de elétrons existentes nas camadas exteriores do silício mono ou policristalino gerando a eletricidade através da condução de tais elétrons

Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados nas seguintes situações

- Principalmente na geração distribuída , ou seja para gerar eletricidade a partir de uma residência ou conjunto residencial
- Na geração de movimentação de equipamento em regiões distantes como bombeamento de poços artesianos
- Na agricultura na secagem de grãos com o aquecimento de estufas
- Na geração de eletricidade para sistemas e comunidades isoladas
- Na Geração de eletricidade através de usinas fotovoltaicas de pequena escala < 5MW capacidade para conjuntos habitacionais ou indústrias como produtores independentes de energia
- Na geração de energia elétrica em usinas fotovoltaicas de pequena escala até de 30MW para conexão a Rede elétrica e beneficiamento de redução da TUSD em 50% com redução da conta de energia.
- Na geração de energia elétrica em usinas fotovoltaicas de grande escala a partir de 30MW com a proposta de inclusão fotovoltaica conforme leilão A-5 a ser realizado em 13 de dezembro de 2013

No caso das escalas de tamanhos de geração fotovoltaica temos a geração distribuída e usinas fotovoltaicas conforme os seguintes tipos:

- Geração distribuída com painéis montados tipo Roof top (veja figura 19)
- Ground monted- usinas montadas em grandes áreas (veja figura 20)
- CSP – Concentrated solar Power- usinas com painéis concentradores que direcionam a luz solar para um ponto de coleta (veja figura 21)
- Usinas CSP com painéis com lentes para concentração solar (veja figura 22)



Figura 19 – Exemplo de aplicações tipo instalação sobre telhado (Roof top)



Figura 20- Exemplo de usinas solares fotovoltaicas UFVs tipo fazenda solares montadas sobre solo (ground mounted)

Usinas solares com concentração



Figura 21- Exemplo de usinas tipo CSP – Usinas solares com concentração (Concentred solar omni)

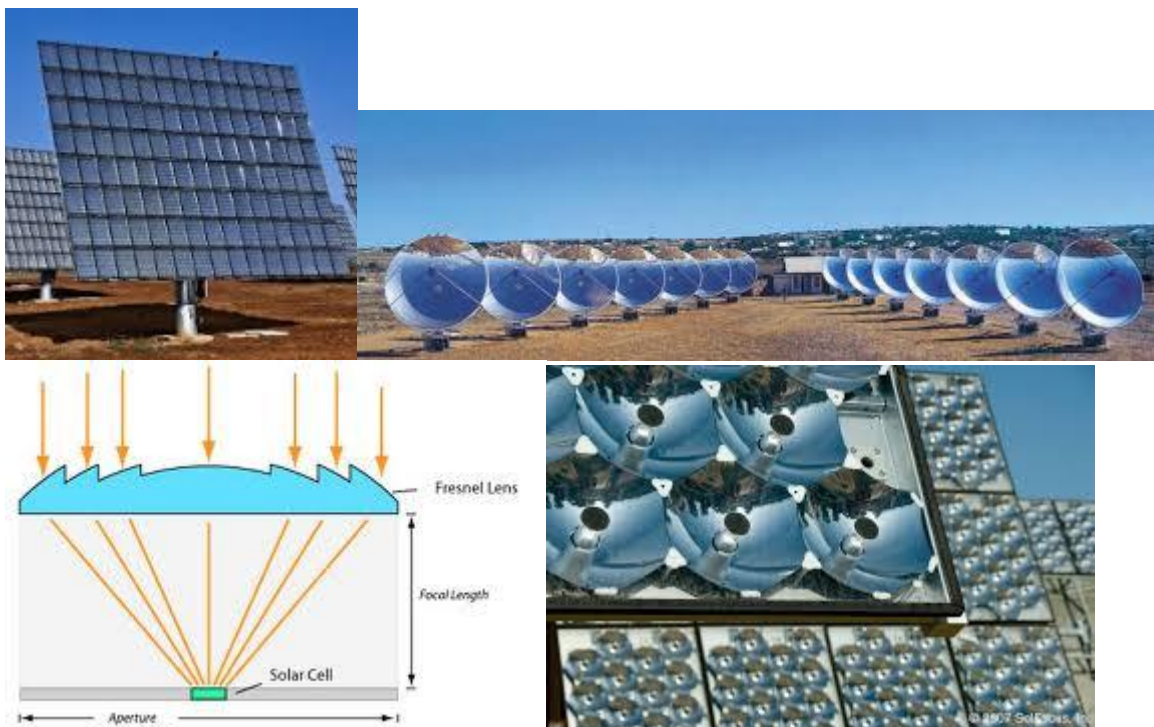


Figura 22- Exemplo de usinas CSP com concentradores Fresnel e funcionamento básico de uma lente ommiss.

3.1.2) Sistemas Fotovoltaicos

Como colocamos os sistemas fotovoltaicos simplesmente são Sistemas para geração de energia elétrica através de uma reação físico-química da excitação electroquímica do silício nas células fotovoltaicas que em conjunto compõem um painel fotovoltaico que por sua vez gera eletricidade em corrente contínua que através de cabamentos específicos são conectados a um inversor de corrente contínua para alternada a filtros e por fim a corrente elétrica alternada pode Ser consumida pela rede ou por uma residência. Podendo ainda tal sistema ter medidores inteligentes da eletricidade gerada e sistemas de acumuladores de chumbo ácido ou lítium para armazenagem da eletricidade

Desta forma os componentes de um sistema fotovoltaico são:

- Módulos e células fotovoltaicas
- Cabeamento fotovoltaico
- Regulador (se necessário)
- Inversor de corrente
- Sistemas de medição inteligente (Smart meter)
- Acumuladores de energia (Baterias)
- Sistema de fixação e suporte dos módulos

Segue abaixo uma figura genérica de um sistema fotovoltaico

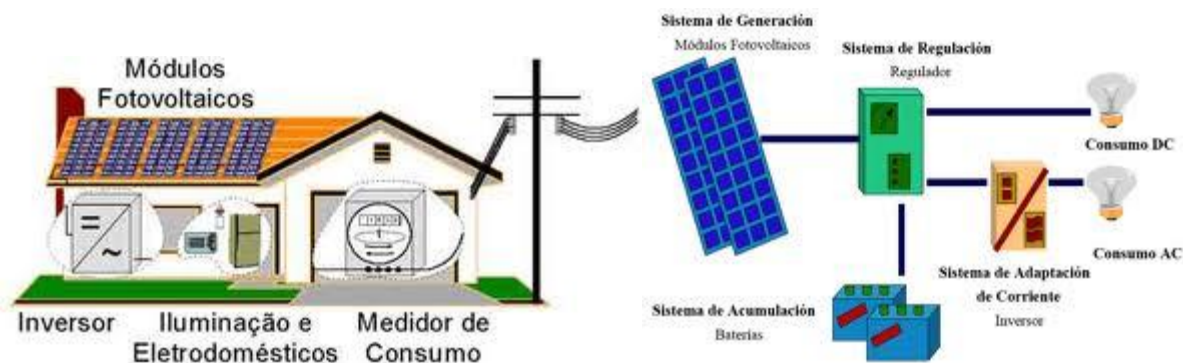


Figura 23 - Exemplo de um sistema fotovoltaico completo tipo instalação sobre telhado (roof top) para residências

3.2) Células solares de silício cristalino



Figura 24-Foto de uma célula solar de silício cristalino

O material a granel mais prevalente para as células solares de silício cristalino é (abreviado como um grupo como o c- Si) , também conhecido como “ de silício de grau solar “ . Massa de silício é separado em várias categorias de acordo com a cristalinidade e tamanho do cristal no lingote resultante , fita, ou bolacha.

- **Células de Silício Monocristalino silício** (c –Si) : muitas vezes feitas utilizando o processo Czochralski . Células wafer de um único cristal tendem a ser caros , e porque eles são cortados a partir de lingotes cilíndricos , não cobre completamente o módulo da célula solar quadrado sem um desperdício considerável de silício refinado . Assim, a maioria dos painéis c –Si descobriram lacunas nos quatro cantos das células.
Silício
- **Células silício Polycristallino ou multicristallino**, (poli –Si ou mc- Si) : feita a partir de lingotes quadrados – grandes blocos de silício derretido cuidadosamente arrefeceu e solidificou . Células Poly –Si são menos caras para produzir do que as células de silício monocristalino , mas são menos eficientes . Dado do Departamento de Energia dos Estados mostram que houve um maior número de vendas policristalinos do que as vendas de silício monocristalino.
- **ribbon silício** é um tipo de silício policristalino : é formado pelo desenho de filmes finos planas do silício fundido e resulta em uma estrutura policristalina . Estas células têm eficiências inferiores as poli- Si, mas economizar nos custos de produção , devido a uma grande redução no desperdício de silício , já que esta abordagem não requer corte de lingotes .
- **Mono –like multi- silício** : Desenvolvido na década de 2000 e introduzida no mercado por volta de 2009 , mono –like- multi, ou cast- mono, usa câmaras de fundição policristalinos existentes com pequenas “sementes” de material mono. O resultado é um material mono –como poli com grandes quantidades em torno dos lados exteriores . Quando serrada para além de processamento, as seções internas são células de alta eficiência (como mono- , mas em vez de quadrada “ cortado “) , enquanto as arestas exteriores são vendidas como poli convencional. O resultado é uma linha que produz mono –como células a preços poli –like.

Abaixo podemos ver a figura de uma célula de polissilício onde temos a junção pn e materiais antirreflexo no topo sendo também uma base de alumínio.

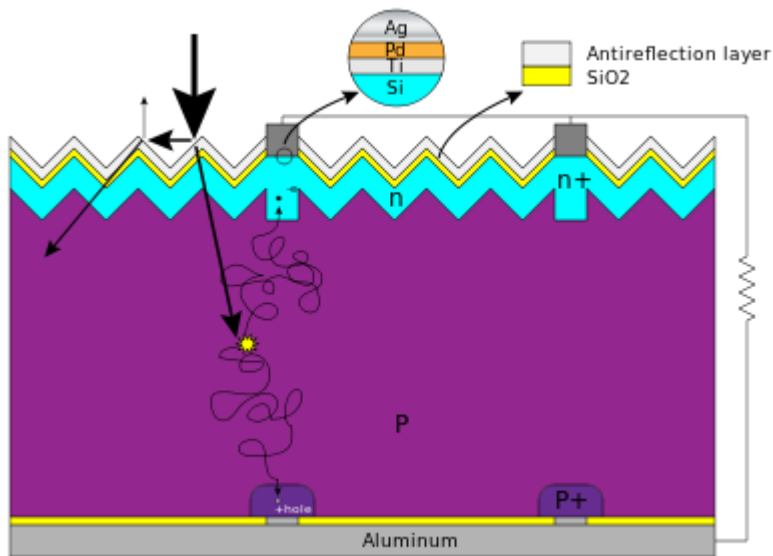


Figura 25- Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício policristalino

3.2.1) Células solares de filmes finos

Uma célula solar de película fina ou filme fino (TFSC), também chamada uma célula fotovoltaica de filme fino (TFPV), é uma célula solar, que é feita através do depósito de uma ou mais camadas finas (filme fino) de material fotovoltaico sobre um substrato. A gama de espessura de uma tal camada é de largura e varia entre algumas dezenas de nanómetros a micrómetros.

Muitos materiais diferentes fotovoltaicas são depositadas com diferentes métodos de deposição sobre uma variedade de substratos. Células solares de película fina são geralmente classificados de acordo com o material fotovoltaico usado:

De silício amorfo (a-Si) e a outra película fina de silício (Si-TF)

Telureto de cádmio (CdTe)

Cobre, índio, Selênio e Cobre , índio, Selênio e gálio respectivamente (CIS ou CIGS)

Células solares sensibilizadas por corante (DSC) e outras células solares orgânicos

É importante ressaltar que os materiais certos devem ser colocados na célula para que tenhamos o efeito fotovoltaico e a correta energia para vencer o gap band.

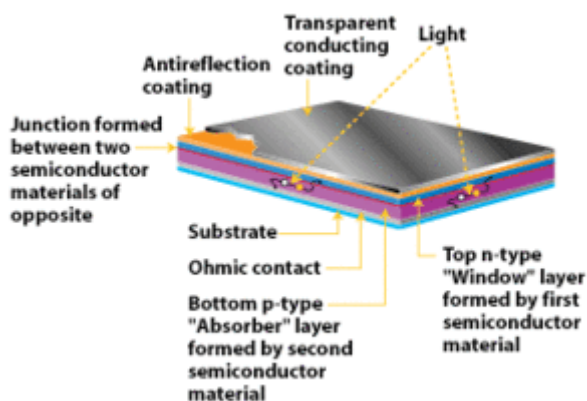


Figura 26 exemplo de uma seção de uma célula de filme fino

A grande vantagem do filme fino seria o seu custo que é menor por não haver a necessidade de produção de lingotes e cortes ou desperdício que ocorre no silício policristalino. São filmes finos produzidos por deposição e sobrepostos para geração do efeito fotovoltaico.

3.2.2) Células solares Tandem ou células solares multijunction

O caminho mais amplamente explorado para células solares de maior eficiência tem sido multijunction células fotovoltaicas (também chamadas “ células tandem”). Estas células utilizam múltiplas junções pn, cada uma delas sintonizada para uma frequência particular do espectro. Isso reduz o problema discutido acima, que um material com um único dado bandgap não pode absorver a luz solar abaixo do bandgap, e não pode tirar proveito da luz solar muito acima do bandgap. Na concepção mais comum, uma célula solar de alta bandgap senta em cima, absorvendo a alta energia de luz de baixo comprimento de onda, e transmitir o resto. Abaixo é uma célula solar de baixo bandgap que absorve parte da luz de comprimento de onda mais longo de menor energia. Pode haver ainda uma outra célula sob aquela, com até quatro camadas no total.

O cálculo dos limites destas células “ tandem” (ou “ multi- células de junção “) eficiência fundamentais funciona de uma forma semelhante aos das células de junção única, com a ressalva de que alguma da luz irá ser convertido em outras frequências e re- emitida dentro da estrutura. Utilizando métodos semelhantes aos da análise Shockley – Queisser original com estas considerações em mente produz resultados semelhantes, com uma célula de duas camadas pode atingir eficiência de 42%, as células de três camadas de 49% e um teórico infinito – camada de células de 68% em não- concentrado luz solar.

A maioria das células em tandem que foram produzidas até à data usam três camadas, sintonizadas para azul (na parte superior), amarelo (médio) e vermelho (inferior). Estas células requerem o uso de semicondutores que podem ser sintonizados para frequências específicas, o que levou a maioria delas sendo feitas de arseneto de gálio (GaAs), muitas vezes compostos de germânio para o vermelho, GaAs para amarelo,

e GaInP2 para o azul . Eles são muito caros de produzir, utilizando técnicas semelhantes à construção microprocessador, mas com tamanhos “ chip” na escala de vários centímetros..

Células em tandem não são restritos a aplicações de alta performance , eles também são usados para tornar a energia fotovoltaica moderada eficiência de materiais baratos , mas menor eficiência. Um exemplo é as células solares de silício amorfo , em que as células em tandem tripla junção estão disponíveis comercialmente a partir de Uni- solares e outras empresas

3.3) Evoluções da tecnologia Fotovoltaica.

Uma das evoluções da tecnologia solar foi descrita acima como as células multijunction ou células tandem o laboratório NREL tem um gráfico de compreensão simples para a evolução da eficiência de uma célula fotovoltaica relacionadas ao tipo de tecnologia e materiais empregados.

Na pagina seguintes vemos um gráfico atualizado da NREL com estas novas tecnologias o que explicamos nas páginas seguintes. O gráfico por si só e as tecnologias descritas mostram toda evolução corrente da tecnologia fotovoltaica na geração de energia

Best Research-Cell Efficiencies

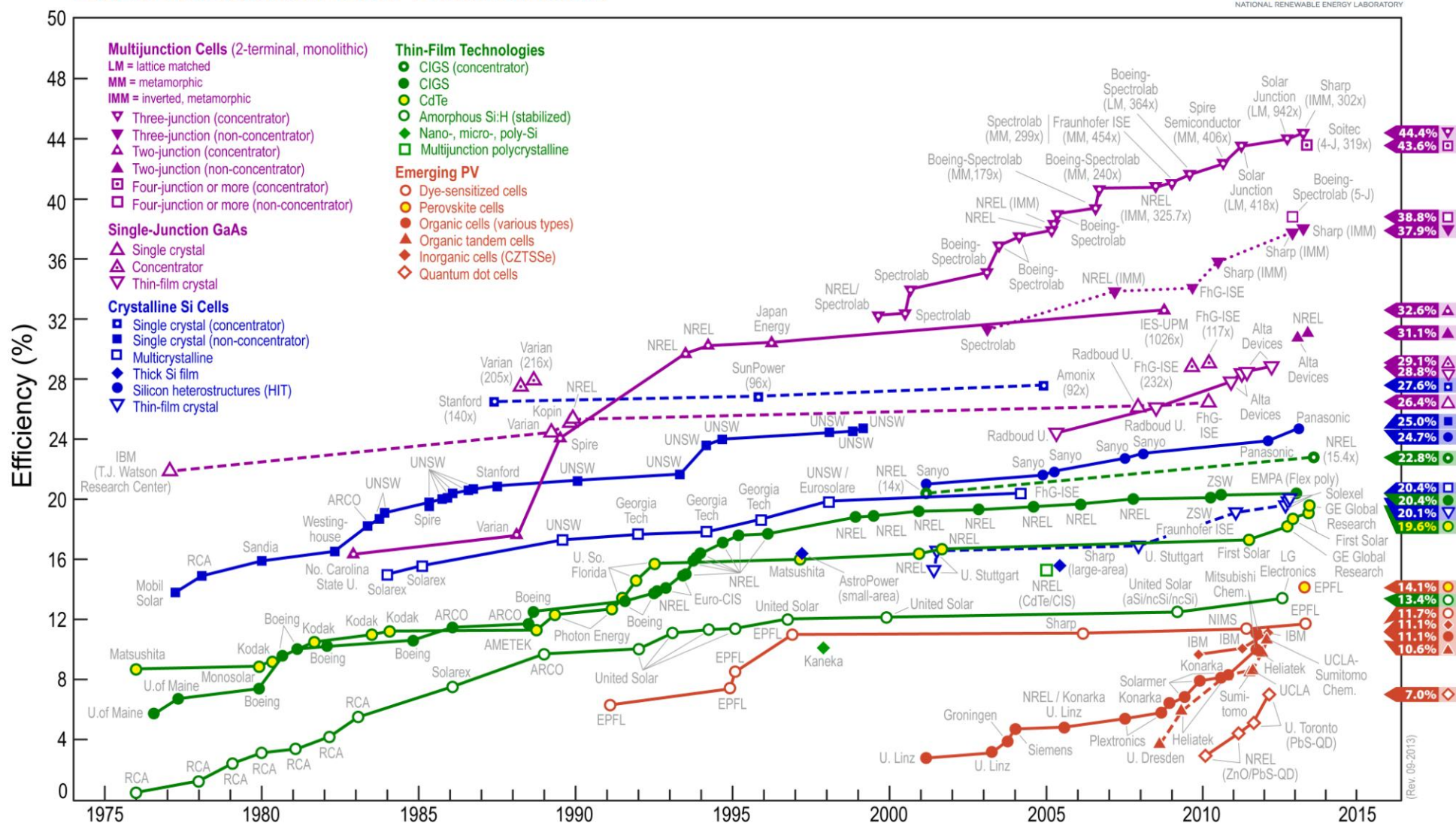


Figura 27 – NREL- Melhores pesquisas de tecnologias de desenvolvimento de células solares e suas respectivas eficiências.

Fonte: NREL (Laboratório Americano nacional de energias renováveis), “Best Research –Cell efficiencies”. Disponível em <
http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg> Acesso em 2/12/2013

No gráfico acima podemos ver que existem diversas tecnologias cada uma sendo representada por uma cor por exemplo em azul tecnologias de silício cristalino para células colares com ou sem concentração.

Também o eixo das ordenadas y encontramos a corrente eficiência da célula solar e no eixo das abscissas encontramos a data do surgimento de tais tecnologias e sua evolução com o tempo. Existem algumas tecnologias que representam a eficiência quando a energia do sol chega concentrada. O número abaixo em parênteses de cada ponto representa o número de vezes possível de concentrar a energia solar daquela célula em específico . A designação em cada ponto significa o nome do laboratório empresa ou universidade inventora da tecnologia.

Assim em azul temos as tecnologias de silício monocristalino da RCA e Mobil solar inicialmente desenvolvidos em 1978 com 13% de eficiência até o último ponto de desenvolvimento da tecnologia em 2000 pela UNSW com células com 24% de eficiência. Ainda na tecnologia do Silício em filmes cristalinos finos da NREL em 2001 com uma eficiência de 15% e sua evolução com a SOLEXEL em 2013 com eficiências de 20,4% ainda dentro desta categoria existem as células multicristalinas iniciadas em 1984 pela empresa Solarex até sua última evolução em 2004 pela FhG-ISE com células de silício multicristalinas com também 20,4% ainda existe tecnologia de silício espesso

Em Verde temos as tecnologias de filmes finos começando em 1976 com a universidade de MAINE com eficiências de 6% até último desenvolvimento em 2013 pela EMPA(flex poly) com filmes com eficiência de 20,4% . Também estão nesta categoria filmes finos nano, poly silício, tecnologias de CIGS (Cobre, indium , galium, silício) em filmes finos com eficiência máxima de 20,4% desenvolvidos pela NREL e EMPA. Também a mesma tecnologia porém com concentração máxima permitida de até 15,4 vezes da Panasonic. E também filmes finos de silício amorfo com eficiência máxima de 13,4% desenvolvido pela LG electronics.

Na categoria Lilás temos o boom da tecnologia fotovoltaica em termos de novos desenvolvimentos que seriam as células multijunction descritas anteriormente . Nesta categoria temos as seguintes tecnologias:

- Células single-junction, Single crystal de arseneto de gálio desenvolvidas pela Radboud universidade em 2009 com eficiências em torno de 26%
- Células de Single Junction – Thin –film crystal de arseneto de gálio- com desenvolvimento final pela alta devices com eficiência de 28,8%
- Células Two Junction sem concentração – desenvolvida na universidade da Carolina do norte inicialmente com maior desenvolvimento pela NREL com eficiência de 31,1% em 2013 e com concentração pela IEL-UPM com concentração máxima de 1026 vezes e eficiência de 32,6%
- Células Three Junction sem e com concentração – sendo a evolução máxima desta tecnologia alcançada pela Sharp com eficiência de 37,9% em 2013 e células com concentração também pela Sharp com 44,4% com concentração máxima de 302 vezes

- Células Four junction ou mais com e sem concentração com eficiência máxima de 43,6% com concentração pela Sharp e sem concentração com eficiência máxima de 38,8% com 4 pnjunctions pela Boeing Spectrolab todos em 2013

Fazem parte das tecnologias novas ou recentes emergentes em células fotovoltaicas tecnologias orgânicas como células sensibilizadas por pigmentos células orgânica tandem e muitas outras porém sua eficiência não ultrapassa 11,5%

De todas tecnologias temos a dificuldades para evolução da energia limpa fotovoltaica no aspecto técnico principalmente a eficiência dos semicondutores que vem sendo batida pelas evoluções das células multijunction porém devido a banda de eletrovalência correspondente a certo comprimento de onda estar presente em apenas determinados tipos de materiais como terras raras torna o custo de obtenção deste matéria e produção das células muito caras ainda em comparação com o silício. Por um outro ponto de vista células pigmentadas ou de material orgânico de não tão difícil obtenção necessitam vencer a barreira da eficiência. Cabe também observar a evolução da tecnologia de silício amorfo que tem obtidos bons resultados como uma alternativa de menor custo.

Tanto no aspecto técnico das células multijunction com a evolução das novas tecnologias mesmo que ainda não acessíveis mostra que a geração solar fotovoltaica no futuro pelo desenvolvimento destas tecnologias será possível a um menor custo popularizando esta aplicação

IV- Aspectos econômicos e viabilidade técnica financeira da energia fotovoltaica **Mundo Vs Brasil**

4.0) Panorama mundial do financiamento e investimento em energias renováveis e respectiva metodologia.

Para o bom entendimento do leitor existem várias formas de se financiar e obter o retorno desejado sobre o capital investido em um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica. Existem vários modelos descritos abaixo:

- 1) Capitalização de risco (Venture Capital)- Dentre estes modelos estão modelos mais agressivos para financiamento de tecnologias novas como os venture capitals que são fundos de investimento de maior risco pois investem em novas tecnologias.
- 2) Bancos de fomento Governamental- existem também sistemas de apoio de bancos de fomento governamental como o caso do BNDES no Brasil que oferecem dinheiro a um certo limite de montante a taxas específicas com ou sem carência, mas para isso exigem regras e garantias.
- 3) Modelos de ajuda financeira (Financial Aid)- Nestes modelos de financiamento governos como os EUA , Korea, Bancos regionais de desenvolvimento como o BID, FMI tem linhas específicas de financiamento para países que são considerados pobres . A classificação de país pobre é medida segundo uma série de critérios como índice de desenvolvimento humano , renda per capita entre outros. Os empréstimos podem chegar a Dez anos de carências com taxas de repagamento de 0,1 a 1% em trinta a quarenta anos
- 4) Financiamentos tipo Financiamento de projeto (Asset Finance) neste tipo de financiamento é mais clássico para constituição de uma empresa com propósito específico que é denominada SPE (Special purpose company) que é na verdade a empresa que representa o empreendimento de geração de eletricidade ou a empresa objeto da formação de um consórcio. Assim um conjunto de empresas se juntam constituem um consórcio dono da SPE e investem uma porcentagem de seu caixa em um novo empreendimento esta porcentagem é chamada de equity. Em contrapartida o restante do montante necessário de investimento para conclusão do investimento é chamado de Debt é financiado por bancos comerciais. Normalmente esta proporção é de 20/80% em outros casos de 30/70% para proporção Equity/ Debt . Todo este sistema de financiamento é chamado de Project finance ou Asset finance type.
- 5) Capitalização privada (Private equity)- Ainda existe o sistema onde a parte do equity ou capital próprio investido é fornecido através de um fundo de investimentos denominado fundos de private equity

Para podemos compreender esta dinâmica a bloomberg New energy finance classifica o tipo de financiamento conforme o tipo de empreendimento : Desenvolvimento de nova tecnologia, aplicação de nova tecnologia, empreendimentos de energia provados, etc e recomenda o tipo de financiamento mais usual conforme Figura 26 Abaixo

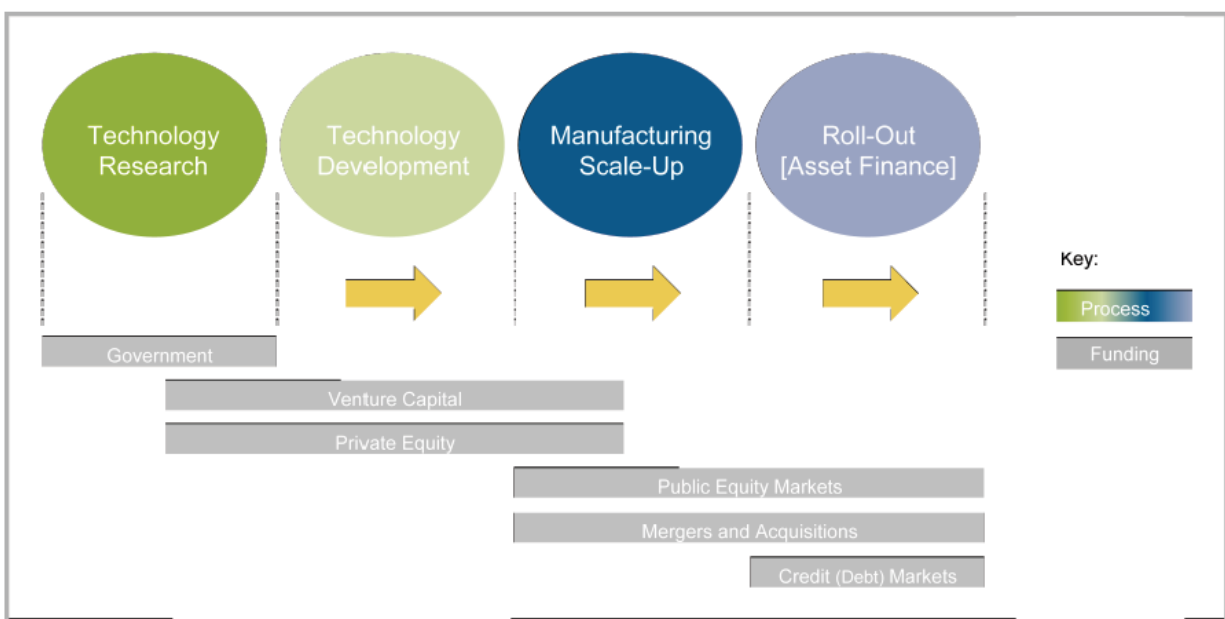
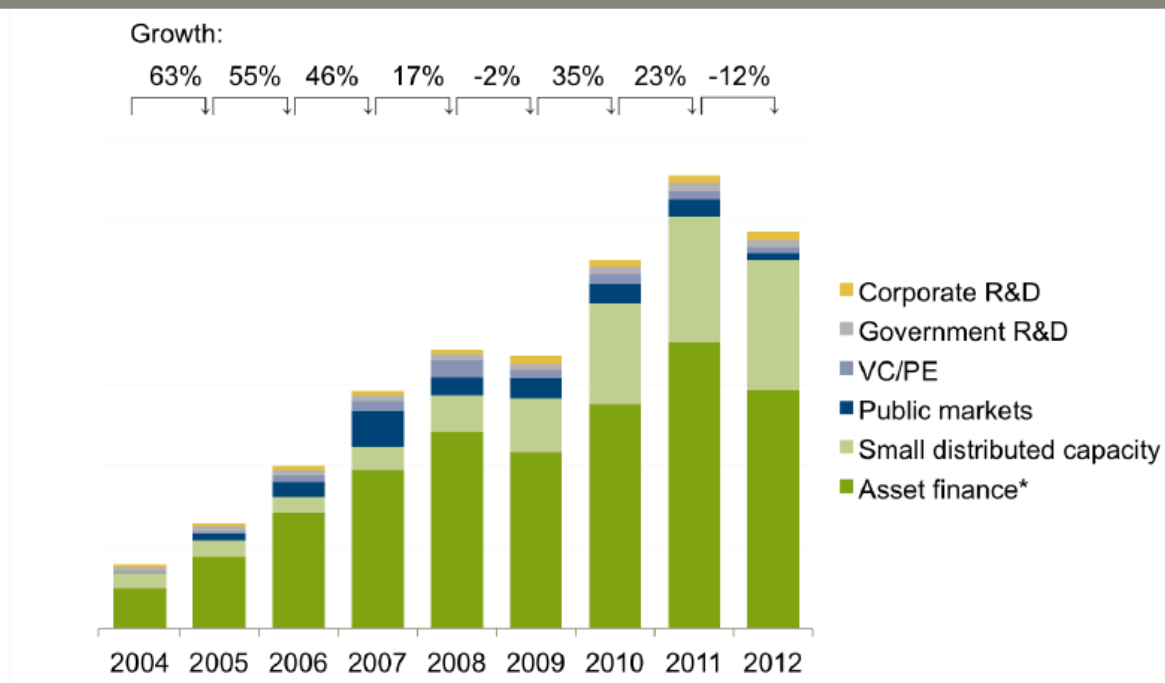


Figura 28- Tipos de financiamento por fase de desenvolvimento da tecnologia ou tipo de empreendimento

Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013.

Podemos sobre o mesmo estudo ver que o investimentos em energias renováveis tem sido substanciais como mostra a figura 27 abaixo

FIGURE 1: GLOBAL NEW INVESTMENT IN RENEWABLE ENERGY BY ASSET CLASS, 2004-2012, \$BN



*Asset finance volume adjusts for re-invested equity. Total values include estimates for undisclosed deals

Source: UNEP, Bloomberg New Energy Finance

Figura 29 –Investimentos mundiais em energias renováveis por tipo de financiamento.

Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013..

O panorama mundial dos investimentos em empreendimentos de energias renováveis por tipo de financiamento (Asset finance “finaciamento de projetos” , Venture capital “capitalização de risco” , government investments “investimento governamental”) e por geografia incluindo o Brasil, pode ser visto na tabela abaixo

FIGURE 3: GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT 2012 DATA TABLE, \$BN

Category	Year Unit	2004 \$bn	2005 \$bn	2006 \$bn	2007 \$bn	2008 \$bn	2009 \$bn	2010 \$bn	2011 \$bn	2012 \$bn	2011-12 Growth %	2004-12 CAGR %
1 Total Investment												
1.1 New Investment		39.6	64.7	100.0	146.2	171.7	168.2	227.2	279.0	244.4	-12%	26%
1.2 Total transactions		48.4	90.7	135.6	204.7	231.0	232.5	285.8	352.5	296.7	-16%	25%
2 New Investment by Value Chain												
2.1 Technology development												
2.1.1 Venture capital		0.4	0.6	1.2	2.2	3.2	1.6	2.5	2.6	2.3	-15%	25%
2.1.2 Government R&D		2.0	2.1	2.3	2.7	2.8	5.2	4.7	4.7	4.8	3%	12%
2.1.3 Corporate RD&D		3.0	2.9	3.3	3.6	4.0	4.0	4.6	4.8	4.8	-1%	6%
2.2 Equipment Manufacturing												
2.2.1 Private equity expansion capital		0.3	1.0	3.0	3.7	6.8	2.9	3.1	2.6	1.4	-46%	20%
2.2.2 Public markets		0.3	3.8	9.1	22.2	11.6	12.5	11.8	10.6	4.1	-61%	41%
2.3 Projects												
2.3.1 Asset finance		24.8	44.0	72.1	100.6	124.2	110.3	143.7	180.1	148.5	-18%	25%
Of which re-invested equity		0.0	0.1	0.7	3.1	3.4	1.8	5.5	3.7	1.5	-60%	-
2.3.3 Small distributed capacity		8.9	10.5	9.8	14.3	22.5	33.5	62.4	77.4	80.0	3%	32%
Total Financial Investment		25.8	49.3	84.7	125.6	142.4	125.3	155.6	192.2	154.8	-19%	25%
Gov't R&D, corporate RD&D, small projects		13.8	15.4	15.3	20.6	29.3	42.7	71.7	86.8	89.6	3%	26%
Total New Investment		39.6	64.7	100.0	146.2	171.7	168.2	227.2	279.0	244.4	-12%	26%
3 M&A Transactions												
3.1 Private equity buy-outs		0.8	3.8	1.8	3.6	5.5	2.5	1.9	3.0	2.4	-19%	14%
3.2 Public markets investor exits		0.0	1.4	2.7	4.2	1.0	2.6	4.7	0.1	0.4	200%	41%
3.3 Corporate M&A		2.4	7.9	12.7	20.4	18.0	21.5	18.0	29.5	7.1	-76%	14%
3.4 Project acquisition & refinancing		5.4	12.8	18.4	30.4	34.9	37.7	33.9	40.9	42.3	4%	29%
4 New Investment by Sector												
4.1 Wind		14.4	25.5	32.4	57.4	69.9	73.7	96.2	89.3	80.3	-10%	24%
4.2 Solar		12.3	16.4	22.1	39.1	59.3	62.3	99.9	158.1	140.4	-11%	36%
4.3 Biofuels		3.7	8.9	26.1	28.2	19.3	10.6	9.2	8.3	5.0	-40%	4%
4.4 Biomass & w-t-e		6.3	8.3	11.8	13.1	14.1	13.2	13.7	12.9	8.6	-34%	4%
4.5 Small hydro		1.5	4.6	5.4	5.9	7.1	5.3	4.5	6.5	7.8	20%	22%
4.6 Geothermal		1.4	0.9	1.4	1.8	1.8	2.7	3.5	3.7	2.1	-44%	5%
4.7 Marine		0.0	0.1	0.9	0.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	13%	30%
Total		39.6	64.7	100.0	146.2	171.7	168.2	227.2	279.0	244.4	-12%	26%
5 New Investment by Geography												
5.1 United States		5.7	11.9	28.2	34.5	36.2	23.3	34.6	54.8	36.0	-34%	26%
5.2 Brazil		0.5	2.2	4.2	10.3	12.5	7.9	7.9	8.6	5.4	-37%	34%
5.3 AMER (excl. US & Brazil)		1.4	3.4	3.4	5.0	5.6	5.9	11.5	8.3	9.5	14%	27%
5.4 Europe		19.6	29.4	38.4	61.7	72.9	74.7	101.3	112.3	79.9	-29%	19%
5.5 Middle East & Africa		0.6	0.6	1.2	1.7	2.7	1.7	5.0	3.5	11.5	228%	46%
5.6 China		2.6	5.8	10.2	15.8	25.0	37.2	40.0	54.7	66.6	22%	50%
5.7 India		2.4	3.2	5.5	6.3	5.2	4.4	8.7	13.0	6.5	-50%	13%
5.8 ASOC (excl. China & India)		6.7	8.3	8.9	11.0	11.5	13.2	18.1	23.8	29.0	22%	20%
Total		39.6	64.7	100.0	146.2	171.7	168.2	227.2	279.0	244.4	-12%	26%

New investment volume adjusts for re-invested equity. Total values include estimates for undisclosed deals.

Source: UNEP, Bloomberg New Energy Finance

Tabela 6- Investimentos globais em 2012 em projetos de energia renovável por tipo de financiamento , por tipo de energia e por região geográfica

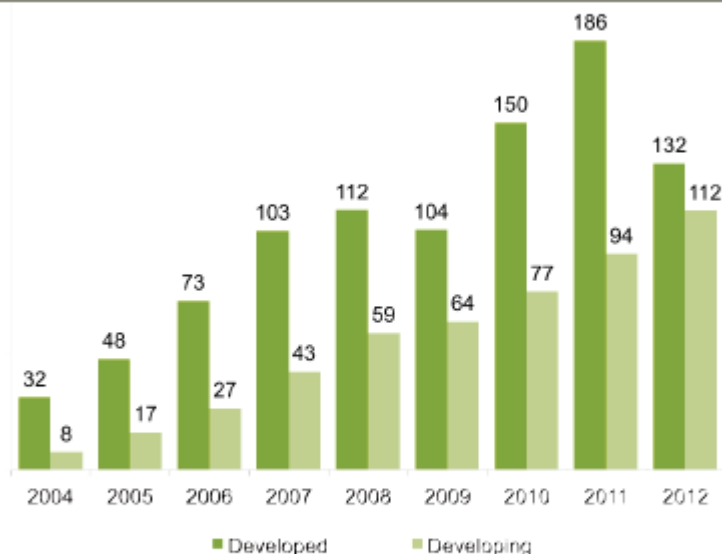
Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013..

Podemos ver que a energia solar fotovoltaica e concentrada dentre as energias renováveis exceto hidroelétrica teve o maior valor de investimentos que totalizam U\$140,4 Bilhões. Ou seja 75% a mais do que a industria de energia eólica.

Enquanto isto o Brasil é listado entre os BRICs o país que menos investe em energias renováveis novas (exceto hidroelétrica) com apenas U\$5,4 Bilhões ou 35% menos que o ano anterior de 2011.

Mas em contrapartida vemos um aumento no investimento em geral em energias renováveis nos países em desenvolvimento entre anos e a diminuição do gap de valor total investido em relação aos países desenvolvidos como mostra a figura abaixo

**FIGURE 4: GLOBAL NEW INVESTMENT IN RENEWABLE ENERGY:
DEVELOPED V DEVELOPING COUNTRIES, 2004-2012, \$BN**



New investment volume adjusts for re-invested equity. Total values include estimates for undisclosed deals. Developed volumes are based on OECD countries excluding Mexico, Chile, and Turkey.

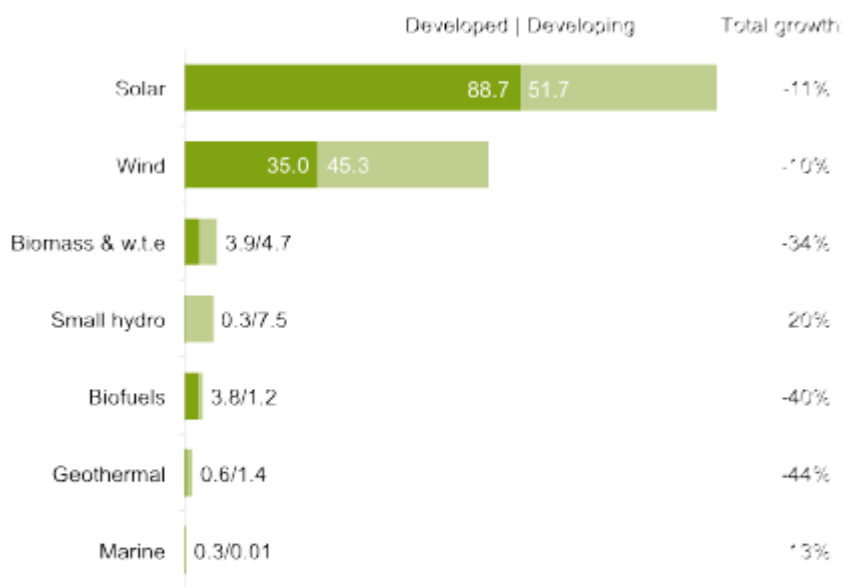
Source: UNEP, Bloomberg New Energy Finance

Figura 30 – Histórico de Investimentos em energias renováveis de países em desenvolvimentos em comparativo a países desenvolvidos

Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013..

Ainda se formos comparar os investimentos por tipo de energia renovável por país em desenvolvimento e desenvolvido temos que a energia solar se sustenta como o maior valor de investimento em 2012 totalizando com U\$140,4 Bilhões sendo que U\$ 51,7 bi sendo em países em desenvolvimento ainda assim um nível menor que 2011 em 11% conforme podemos ver no gráfico abaixo

FIGURE 11: GLOBAL NEW INVESTMENT IN RENEWABLE ENERGY: DEVELOPED V DEVELOPING COUNTRIES, 2012, AND TOTAL GROWTH ON 2011, \$BN



Total values include estimates for undisclosed deals. New investment volume adjusts for re-invested equity. Includes estimates for small distributed capacity, corporate and government R&D. Developed volumes are based on OECD countries excluding Mexico, Chile, and Turkey.

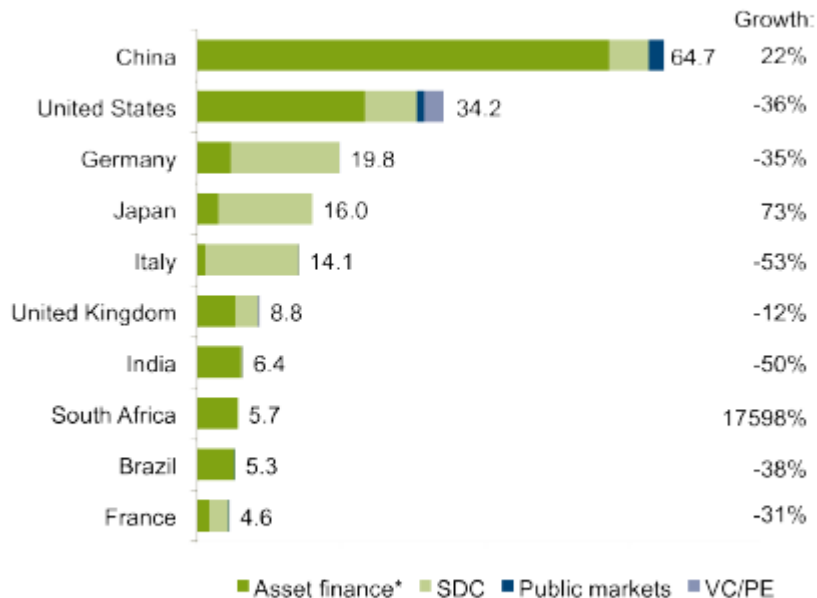
Source: UNEP, Bloomberg New Energy Finance

Figura 31- Investimentos em energias renováveis por tipo de energia dividido em países em desenvolvimento e desenvolvidos.

Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013.

Quando falamos em tipo de financiamento em cada país chave por tipo de financiamento vemos o panorama dos principais países que investem em energia nova renovável abaixo

FIGURE 14: NEW INVESTMENT IN RENEWABLE ENERGY BY COUNTRY AND ASSET CLASS, 2012, AND GROWTH ON 2011, \$BN



Top 10 countries. *Asset finance volume adjusts for re-invested equity. Excludes corporate and government R&D

Source: UNEP, Bloomberg New Energy Finance

Figura 32- Investimentos em energias renováveis por tipo de Financiamento nos 10 países que mais investiram em energias renováveis em 2012

Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013.

Vê-se que o Japão , Itália, China , EUA e Alemanha são os países que mais vem investindo em energias renováveis e empreendimentos do tipo

Se Separarmos os investimentos por tipo de financiamento atendo-se ao caso do investimento mais comumente utilizado que seria o Project/Asset finance temos os maiores investimentos por país abaixo onde O Brasil se destaca como o 5º País

FIGURE 15: ASSET FINANCE OF RENEWABLE ENERGY ASSETS BY COUNTRY, 2012, AND GROWTH ON 2011, \$BN

	2012	% growth on 2011
Ukraine	2.8	205%
Japan	3.0	230%
Canada	3.7	-17%
Germany	4.8	-58%
Brazil	5.1	-39%
United Kingdom	5.3	-10%
South Africa	5.7	23410%
India	6.4	-49%
United States	23.4	-49%
China	57.7	23%

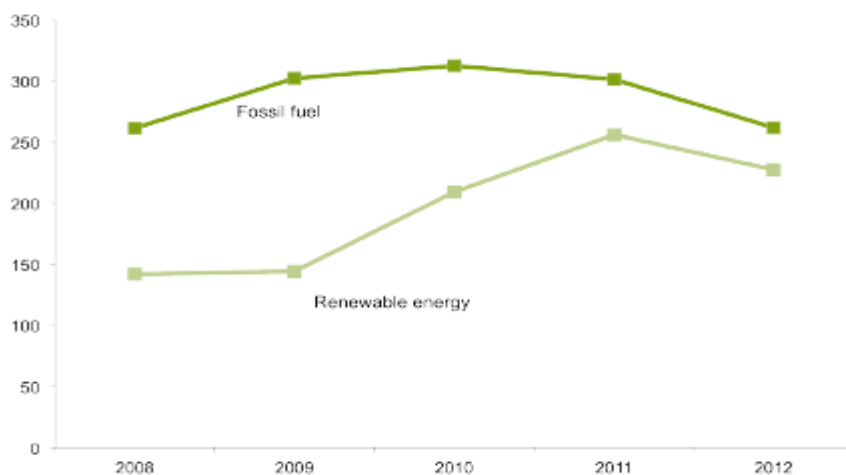
Top 10 countries. Total values include estimates for undisclosed deals

Source: UNEP, Bloomberg New Energy Finance

Tabela 7 –Maiores Investimentos em energias renováveis com financiamento de projeto tipo asset finance por país para empreendimentos de grande escala

Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013.

Finalmente para compararmos os investimentos em energias renováveis e sua evolução em relação aos investimentos em combustíveis fósseis proporcionalmente temos os seguintes montantes que colocam as energias renováveis em destaque comparativamente as energias fósseis convencionais que tem tido investimentos substanciais mais pontuais num total de U\$ 260 Bilhões contra um total de U\$244 Bilhões de energias renováveis. Como podemos ver abaixo



Renewable energy total excludes large hydro. Fossil fuel is gross investment on coal, gas and oil capacity and includes investment to replace capacity retirements. We assume capacity retirement of 3.3%/yr for coal, 4%/yr for gas and 2.5%/yr for oil

Source: Bloomberg New Energy Finance, EIA

Figura 33- Comparativo de investimento anual em empreendimentos de geração de energia renovável e empreendimentos de geração a partir de combustíveis fósseis.

Fonte: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013.

4.1) Panorama da Viabilidade econômica e o custo da Geração global por vários tipos de energia

Para entendermos o custo de um tipo de energia e comparar ao custo de outro tipo de energia foi criado o conceito de LCOE (Levelized cost of Energy)

4.1.1) Custo nivelado de geração e energia elétrica (Levelized cost of Energy).

O custo nivelado de energia é uma metodologia que permite comparar o custo de GERAÇÃO de energia entre fontes considerando diversos custos como CAPEX, OPEX, Custo de combustível considerando diferentes capacidades de plantas e diferentes fatores de capacidade ou utilização do tipo de energia.

A noção de custos nivelados de eletricidade (LCOE) é a de uma ferramenta útil para comparar a unidade de custos de diferentes tecnologias durante o período de vida de um determinado empreendimento.

O LCOE corresponderia ao custo de um investidor assumindo a certeza dos custos de produção e para a estabilidade dos preços da eletricidade. Em outras palavras, a taxa de desconto utilizada no cálculo LCOE reflete o retorno sobre o capital para um investidor, na ausência de riscos específicos de mercado ou de tecnologia. Tendo em conta que tais riscos específicos do mercado e da tecnologia frequentemente existem, Existindo uma lacuna entre o LCOE e verdadeiros custos financeiros de um investidor operando nos mercados de eletricidade reais com suas incertezas específicas verificadas.

Pela mesma razão, LCOE também está mais próximo do custo real do investimento na produção de energia elétrica nos mercados de eletricidade com garantias de empréstimos e preços regulados que em simulações hipotéticas de novos empreendimentos

Basicamente o LCOE pode ser calculado com a seguinte fórmula

LCOE formula

$$\text{LCOE} = \frac{\text{CAPEX} + \text{NPV of total OPEX}}{\text{NPV of total EP}}$$

CAPEX: Capital Expenditure (investment costs)
OPEX: Operations and Maintenance costs
EP: Electricity Production (in kWh)
NPV: Net Present Value

source: IEA/OECD-NEA

Onde, LOCE – Custo nivelado de energia elétrica

CAPEX- Custo de investimento em capital (investimento inicial, equipamentos, instalações)

OPEX- Custo de operação e manutenção da planta de energia

NPV- Valor presente líquido

EP- Produção de eletricidade em KWh

Mas em termos mais específicos considerando os custos de descomissionamento de uma usina nuclear ou custos de combustíveis fósseis de termo elétricas e custos e riscos inerentes ao negócio como taxas de cambio e taxas básicas de juros temos que a formula do LCOE segue :

$$LCOE = P_{electricity} = \frac{\sum_t (Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t) * (1+r)^{-t}}{\sum_t (Electricity_t * (1+r)^{-t})} \quad (\text{equação 1.0})$$

Sendo,

$$P_{electricity} = \frac{\sum_t (Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t) * (1+r)^{-t}}{\sum_t (Electricity_t * (1+r)^{-t})} \quad (\text{equação 2.0})$$

Sendo ,

$$\sum_t (Electricity_t * P_{electricity} * (1+r)^{-t}) = \sum_t (Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t) * (1+r)^{-t} \quad (\text{equação 3.0})$$

Sendo,

Electricity_t: A Quantidade de eletricidade produzida no ano “t” ;

P_{electricity}: O preço constante da eletricidade;

(1+r)^{-t}: O fator de taxa de desconto no ano “t” ;

Investment_t: Os custos de investimentos no ano “t” ;

O&M_t: Os custos de operação no ano “t” ;

Fuel_t: Custos médios de combustível no ano “t” ;

Carbon_t: Custos de créditos de carbon no ano “t” ;

Decommissioning_t: Custos de Decomissionamento no ano “t” .

4.1.2) Panorama da Viabilidade econômica e o custo da Geração Nivelado LCOE por tipo de tecnologia renovável no Mundo.

De acordo com “Projected costs of Generating electricity” da Agencia nacional de energia e organização de energia nuclear dos EUA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, NUCLEAR ENERGY AGENCY ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT)

Temos que os custos totais em 2010 de LCOE para diferentes tecnologias são demonstrados abaixo. Vê-se que ainda em 2010 a energia fotovoltaica ainda se mostrava mais cara que a energia eólica em termos de custos de CAPEX (ou overnight cost) porém já nesta época os custos de manutenção são significativamente menores.

Vemos abaixo o caso de energias renováveis especificamente

Table 3.7d: Renewable power plants: Levelised costs of electricity in US dollars per MWh												
Country	Technology	Net capacity	Load factor	Overnight costs ¹	Investment costs ²		Decommissioning costs		Fuel costs	O&M costs ³	LCOE	
					5%	10%	5%	10%			5%	10%
		MWe	%	USD/kW _e	USD/kW _e		USD/MWh				USD/MWh	USD/MWh
Austria	Small Hydro	2	55%	4 254	4 605	4 767	0.00	0.34	0.00	4.25	48.62	92.58
Belgium	Onshore wind	6	29%	2 615	2 679	2 742	0.81	0.31	0.00	20.54	95.65	136.23
	Onshore wind	2	26%	2 461	2 522	2 581	0.84	0.33	0.00	26.03	104.43	146.78
	Offshore wind	3.6	37%	6 083	6 233	6 380	1.32	0.51	0.00	54.09	188.21	260.80
Canada	Onshore wind	99	30%	2 745	2 813	2 879	0.77	0.30	0.00	24.53/23.85	99.42	139.23
	Offshore wind	400	37%	4 496	4 715	4 937	1.02	0.39	0.00	35.93/34.55	137.28	194.93
	Solar PV (Rack)	10	13%	3 374	3 457	3 538	2.18	0.84	0.00	14.98/14.49	227.37	341.72
	Solar PV (Industrial)	1	13%	4 358	4 465	4 571	2.81	1.09	0.00	13.69/13.29	288.02	435.58
	Solar PV (Commercial)	0.1	13%	6 335	6 492	6 645	4.09	1.58	0.00	11.16/10.83	409.95	625.29
	Solar PV (Residential)	0.005	13%	7 310	7 490	7 667	4.72	1.82	0.00	10.14/9.84	470.30	718.83
	Onshore wind	15	25%	3 280	3 502	3 731	1.15	0.45	0.00	21.92	145.85	219.18
Czech Rep.	Large Hydro	10	60%	19 330	21 302	23 448	0.13	0.01	0.00	6.39	231.63	459.32
	Small Hydro	5	60%	11 598	12 918	14 374	0.08	0.00	0.00	6.97	156.05	299.11
	Solar PV	1	20%	7 381	7 558	7 738	3.25	1.25	0.00	29.95	392.88	614.28
	Geothermal	5	70%	12 887	14 176	15 590	1.27	0.55	0.00	19.02	164.78	269.93
France	Onshore wind	45	27%	1 912	1 971	2 030	0.00	0.00	0.00	20.59	98.26	121.57
	Offshore wind	120	34%	3 834	3 940	4 055	0.00	0.00	0.00	32.35	143.69	194.74
	Solar PV	10	25%	5 588	5 755	5 920	1.53	0.59	0.00	80.97	285.62	388.14
	Bioogas	0.5	80%	2 500	2 686	2 880	0.40	0.18	2.65	41.18	79.67	95.47
Germany	Onshore wind	3	23%	1 934	1 977	2 019	0.74	0.29	0.00	36.62	105.81	142.98
	Offshore wind	300	43%	4 893	4 982	5 070	0.91	0.35	0.00	46.26	137.94	186.78
	Solar PV (Open Space)	0.5	11%	3 267	3 340	3 411	2.71	1.05	0.00	52.85	304.59	459.77
	Solar PV (Rooftop)	0.002	11%	3 779	3 864	3 947	3.14	1.21	0.00	61.05	352.31	508.71
Italy	Onshore wind	50	22%	2 637	2 702	2 749	1.02	0.39	0.00	42.78	145.20	229.97
	Solar PV	6	16%	6 592	6 917	7 247	3.67	1.42	0.00	53.94	418.38	615.88
Japan	Large Hydro	19	45%	8 394	9 237	10 141	0.08	0.00	0.00	36.11	152.88	281.51
	Onshore wind	3	25%	2 076	2 128	2 178	0.73	0.28	0.00	17.83	85.52	122.04
Netherlands	Offshore wind	5	41%	5 727	5 996	6 268	1.13	0.44	0.00	10.63	128.72	198.53
	Solar PV (Industrial)	0.03	10%	5 153	5 280	5 404	4.67	1.80	0.00	35.16	489.93	704.78
	Solar PV (Residential)	0.00035	10%	6 752	6 919	7 082	6.12	2.36	0.00	57.13	628.87	934.63
	Solid BioM and BioG	11	85%	7 431	7 614	7 793	1.11	0.51	74.82	4.49	160.50	197.04
	Solid Biomass	20	85%	5 153	5 280	5 404	0.77	0.35	69.06	4.52	129.88	155.21
Sweden	Large Hydro	70	40%	3 414	3 648	4 334	0.04	0.00	0.00	15.17	74.69	139.69
	Wave	1000	35%	3 186	3 592	4 045	1.16	0.53	0.00	75.86	168.75	234.15
Switzerland	Onshore wind	6	23%	3 716	3 808	3 898	1.48	0.57	0.00	30.55	162.90	234.32
	Small Hydro	0.3	50%	4 001	4 498	5 052	0.67	0.03	0.00	59.73	111.53	169.79
	Onshore wind	150	41%	1 973	2 041	2 109	0.42	0.16	0.00	8.63	48.39	70.47
United States	Offshore wind	300	43%	3 553	4 169	4 394	0.75	0.29	0.00	23.83	101.82	146.44
	Solar PV	5	24%	6 182	6 365	6 545	0.11	0.04	0.00	5.71	215.45	332.78
	Solar Thermal	100	24%	5 141	5 518	5 913	1.85	0.71	0.00	37.59	211.18	323.71
	Solid Biomass	80	87%	3 830	4 185	4 564	0.14	0.03	6.73	15.66	53.77	80.82
	Bioogas	30	90%	2 604	2 799	2 995	0.18	0.06	0.00	24.84	47.53	63.32
	Geothermal	50	87%	1 752	1 892	2 041	0.15	0.06	0.00	18.21	32.48	46.76
	NON-OCCO MCM CASES											
Brazil	Large Hydro	800	55%	1 356	1 471	1 595	0.00	0.00	0.00	2.31/2.42	18.70	34.30
	Large Hydro	300	55%	1 199	1 261	1 328	0.00	0.00	0.00	2.31/2.42	17.41	33.13
	Large Hydro	15	55%	2 408	2 529	2 651	0.00	0.00	0.00	5.20/5.80	38.53	61.48
	Biomass (Woodchip)	10	85%	2 732	3 077	3 495	0.00	0.00	19.13	26.25/31.49	77.73	102.60
	Onshore wind	200	27%	1 223	1 253	1 283	-1.26	-0.48	0.00	15.51	50.95	72.01
China	Onshore wind	50	27%	1 541	1 579	1 616	-1.58	-0.61	0.00	19.54	64.18	90.70
	Onshore wind	35	22%	1 627	1 667	1 707	-2.05	-0.79	0.00	28.33	83.19	117.55
	Onshore wind	30	20%	1 583	1 622	1 660	-2.19	-0.85	0.00	37.11	89.02	125.80
	Large Hydro	18 134	53%	1 583	1 792	2 027	0.014	0.005	0.00	9.85	29.69	51.50
	Large Hydro	6 277	34%	757	857	969	0.010	0.000	0.00	2.54	18.87	33.57
	Large Hydro	4 783	57%	896	1 014	1 147	0.007	0.0003	0.00	1.37	11.49	23.28
	Solar PV	20	21%	2 878	2 949	3 019	-3.80	-1.47	0.00	15.65	122.84	186.54
	Solar PV	10	18%	3 742	3 834	3 934	-5.76	-2.32	0.00	23.73	168.33	282.92
	Solar PV	10	21%	2 921	2 993	3 064	-3.85	-1.49	0.00	15.88	124.70	189.34
	Solar PV	10	18%	3 598	3 686	3 773	-5.54	-2.14	0.00	22.82	179.16	272.04
Russia	Onshore wind	100	35%	1 901	1 939	1 977	0.00	0.00	0.00	15.43	63.39	89.60
INDUSTRY CONTRIBUTION												
EPRI	Onshore wind	100	33%	1 845	1 975	2 108	0.49	0.19	0.00	13.35	61.87	91.31
	Solar Thermal	80	34%	4 347	4 653	4 967	1.11	0.43	0.00	26.86	138.16	202.45
ES&A	Onshore wind	149	30%	2 349	2 452	2 557	0.86	0.33	0.00	11.41	78.89	113.92
	Geothermal	500	85%	3 901	4 445	4 820	0.06	0.01	0.00	5.47	39.48	68.60
	Wave	50	50%	6 354	7 079	7 867	1.44	0.66	0.00	37.87	171.91	241.87
	Tidal	304	30%	2 611	2 823	3 207	1.10	0.51	0.00	185.02/187.50	286.53	347.90
Euroelectric	Wind Onshore	100	21%	1 992	2 000	2 047	0.86	0.33	0.00	34.91	112.71	154.71
	Offshore wind (Close)	100	37%	3 464	3 550	3 633	0.81	0.31	0.00	43.30	126.53	162.89
	Offshore wind (far)	100	43%	4 409	4 518	4 624	0.87	0.34	0.00	53.97	137.17	182.13
	Large Hydro (River)	1 000	80%	3 603	4 174	4 834	0.02	0.00	0.00	5.02	34.74	70.89
	Large Hydro (Pump)	1 000	29%	2 703	3 130	3 625	0.04	0.002	0.00	10.55	72.95	148.88
	Solar PV	1	23%	6 006	6 154	6 299	2.37	0.92	0.00	29.30	244.73	361.03
	Solar Thermal	1	32%	5 295	5 385	5 512	1.48	0.57	0.00	36.62	171.27	243.98
1. Overnight costs include pre-construction (owner's), construction (engineering, procurement and construction) and contingency costs, but not interest during construction (IOC).												
2. Investment costs include overnight costs as well as the implied interest during construction (IDC).												
3. In cases where two numbers are listed under O&M costs, numbers reflect 5% and 10% discount rates. The numbers differ due to country-specific cost allocation schedules.												

1. Overnight costs include pre-construction (owner's), construction (engineering, procurement and construction) and contingency costs, but not interest during construction (IDC).

2. Investment costs include overnight costs as well as the implied interest during construction (IDC).

3. In cases where two numbers are listed under O&M costs, numbers reflect 5% and 10% discount rates. The numbers differ due to country-specific cost allocation schedules.

Tabela 8- Custo LCOE em 2010 para empreendimentos renováveis considerando CAPEX (overnight cost) diferentes tamanhos de empreendimento e fatores de capacidade, Custos de OPEX, combustível, descomissionamento.

Fonte: Agencia Internacional de Energia (IEA) , “Projected costs of Generating electricity” , Paris, Ed Edição de 2010 (ISBN 978-92-64-08430-8)

4.2.) Panorama da Viabilidade econômica e o custo da Geração montado sobre solo “ground Monted” e montado sobre telhado “Roof top” na Europa

4.2.1) Cenários de custo nivelado de energia (LCOE) na Europa e respectivas projeções para diferentes tamanhos de empreendimento, diferentes níveis de irradiação, Cenários de evolução do desenvolvimento da tecnologia e respectiva paridade de grid com atuais fontes não renováveis.

Não temos como falar da viabilidade econômico financeira de sistemas fotovoltaicos sem falarmos da evolução da tecnologia o que possibilitou através do aumento da oferta e evolução tecnológica uma redução significativa nos preços dos painéis solares como mostra a figura abaixo

Em 2012 estamos falando em 1 Euro por Wp de custo de painéis solares

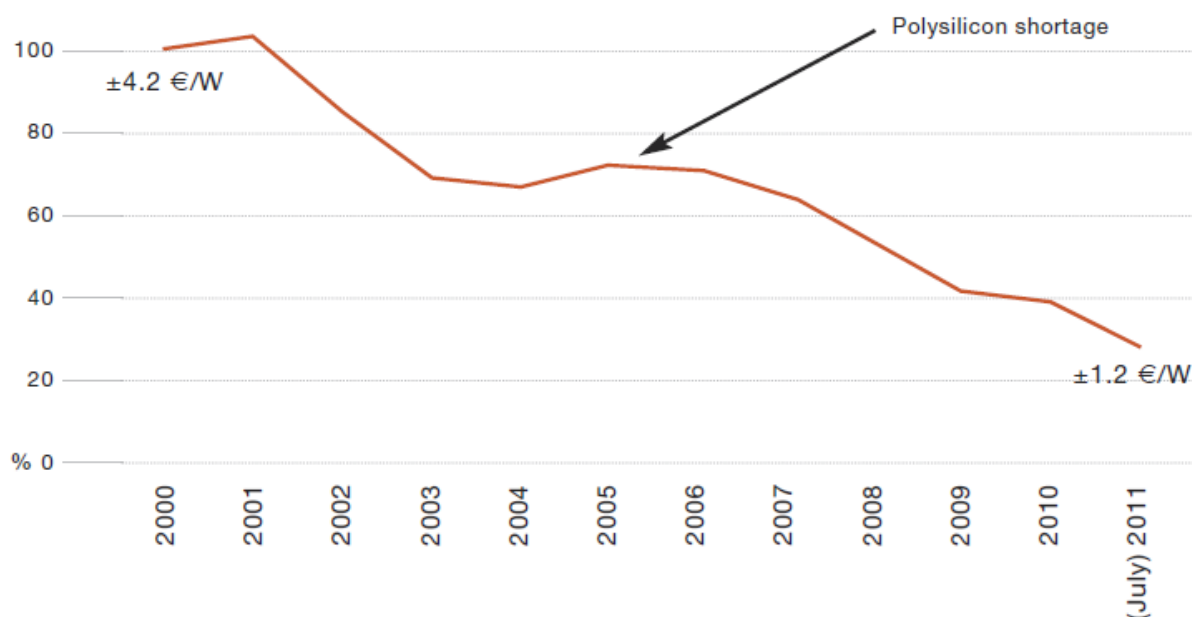


Figura 34- Custo do Wp de módulos solares na Europa

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed única, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setember 2011. Consultado em 12/09/2013

De acordo com o EPIA ainda os custos de sistemas inteiros incluindo os módulos solares, reguladores e inversores podem decrescer até 50% até 2020 conforme mostrado na figura abaixo considerando vários cenários

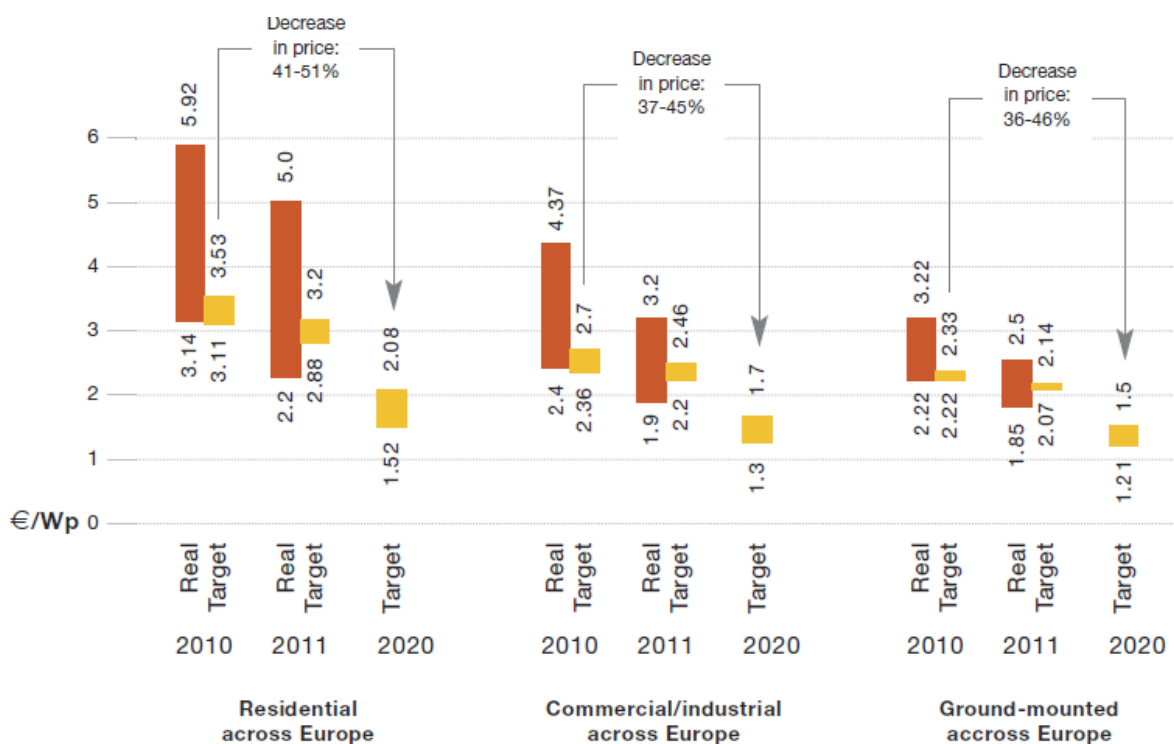


Figura 35- Custos de sistemas inteiros fotovoltaicos em Euro/ Wp para diferentes cenários em empreendimentos montados sobre solo (ground mounted) e montados sobre telhado (roof top) residenciais e comerciais

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed unica, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setember 2011. Consultado em 12/09/2013

O estudo do EPIA conduzido em 2011 prevê preços de hardware europeus competitivos (módulos, inversores, componentes estruturais), bem como preços competitivos de desenvolvimento (incluindo as margens para instaladores). A faixa abaixo reflete, portanto, o custo de geração assumindo preços de mercado maduros. Por conseguinte, o LCOE média europeia para 2010 (0.239 € / kWh) e para o primeiro semestre de 2011 (0.203 € / kWh) é mostrado na figura abaixo. Esse cálculo considera os volumes reais de mercado e segmentação de mercado na Europa mostrando **O LCOE para volumes atuais e projetados a partir de estrutura de fazendas montadas sobre solo (ground mounted) fotovoltaicas**

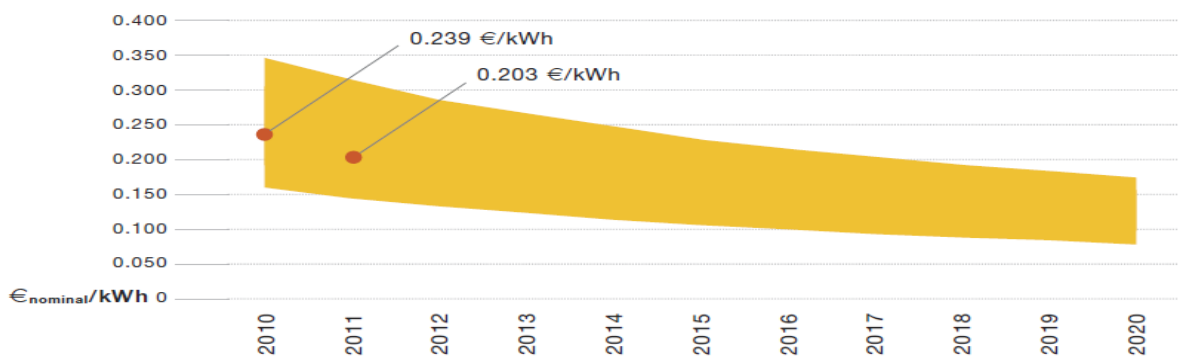


Figura 36- LCOE de empreendimentos ground mounted fotovoltaicos base 2011

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Begica , Ed unica, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setember 2011. Consultado em 12/09/2013

Variando este cenário para diferentes tamanhos de empreendimento temos o gráfico abaixo ai incluindo-se empreendimentos tipo montados sobre telhado (Roof top)

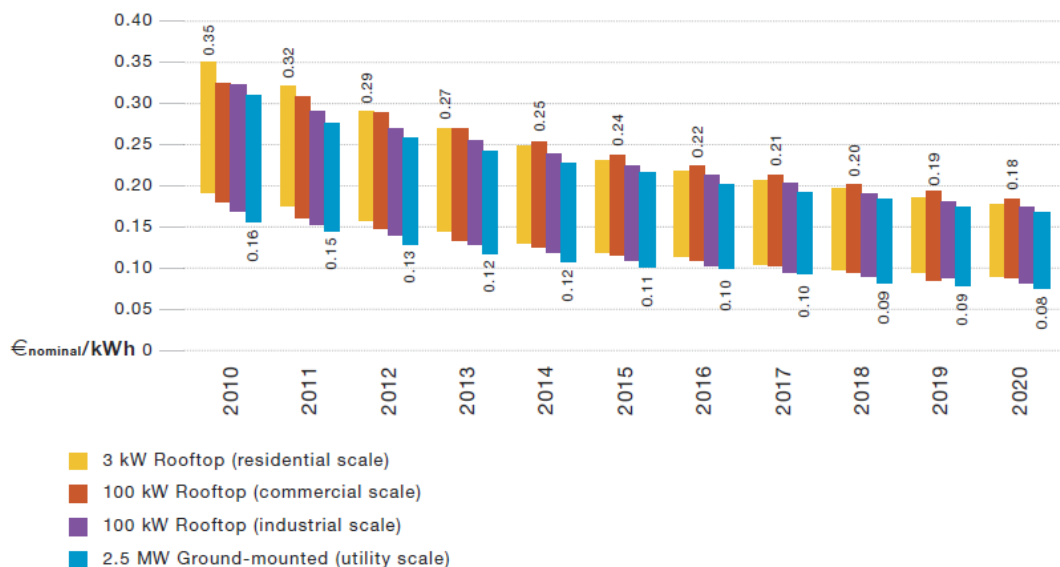


Figura 37- LCOE para mercado europeu de empreendimentos montados sobre telhado (roof top) e montados sobre solo (ground mounted).

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed única, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setember 2011. Consultado em 12/09/2013

Se considerarmos a irradiação solar Alemã e sua variação vemos no gráfico abaixo o efeito que a irradiação solar causa na redução do LCOE o que pode ser considerável na Alemanha em torno de 40%.

Aqui cabe uma observação. Na Alemanha a irradiação varia de 800 a 1800 W/m² enquanto no Brasil este valor no Nordeste varia de 3000 a 5500 W/m². Mesmo com a carga tributária que temos os custos indicam serem bem competitivos como veremos nas seções a seguir

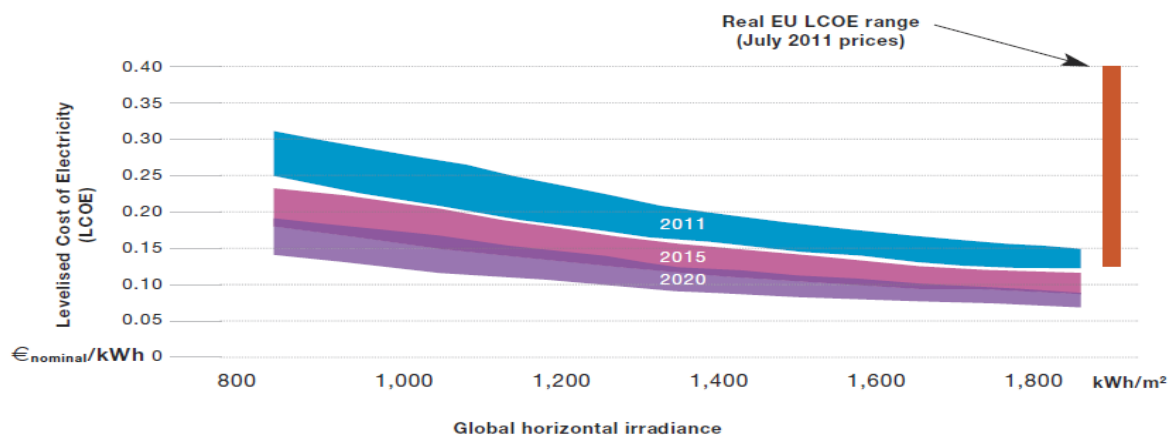


Figura 38- LCOE no mercado Europeu e suas projeções com base em diferentes níveis de irradiação solar

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed única, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setember 2011. Consultado em 12/09/2013

Concluimos desta forma que a irradiação solar e a crescente oferta de tecnologias de painéis solares direcionarão este mercado para países emergentes de boa insolação sendo o Brasil um grande candidato o que nos faz inferir que o governo deveria mais do nunca neste momento incentivar este tipo de geração através da prática de leilões para modalidade de fazendas solares montadas sobre solo (ground mounted) ou mesmo através da resolução 482 que estabelece o netmetering para empreendimentos montados sobre telhado – geração distribuída (Roof top).

Ainda falando de paridade do grid que seria o valor de energia gerada por empreendimentos fotovoltaicos em comparação a empreendimentos tradicionais que no caso do Brasil seriam as hidrelétricas , no caso da Alemanha seria as nucleares e térmicas temos que esta paridade na Alemanha começou a ser alcançada no ano de 2013 como mostra a figura seguinte para empreendimentos montados sobre telhado (tipo Roof top).

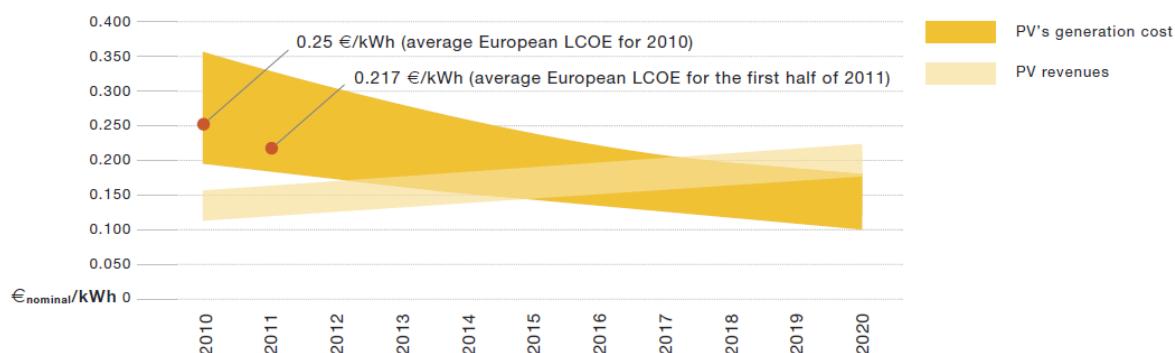


Figura 39- Paridade de grid para sistemas montados sobre telhado (roof top) na Alemanha custos comparativos a térmicas e nuclear.

Fonte : EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed única, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setember 2011. Consultado em 12/09/2013

4.2.2) Custos de “CAPEX” de empreendimentos fotovoltaicos na Europa e Alemanha.

Com dados da EPIA, EIA e LCOE e Lazard de 2007 a 2012 elaboramos um gráfico com o Capex de várias fontes de energia alternativa e convencional sem considerarmos o custo de combustível, taxa de interesse ou tipo de despacho.

CAPEX – CUSTO DE CAPITAL (FEED) NA EUROPA PARA INSTALAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE USINAS POR TIPO DE TECNOLOGIA		
Não considera características de despacho, custo combustível,		
	valor Mínimo (U\$/Kw)	Valor Máximo (U\$/Kw)
Solar FV – Cristalino tipo Rooftop	3000	3500
Solar FV – Cristalino tipo ground mounted (usina)	2000	2750
Solar FV – Filme fino tipo ground mounted (usina)	2000	2500
Usinas Termo Solar	5400	6800
Células de Combustível	3800	7000
Biomassa	3000	4000
Geotérmica	4600	7250
Wind generation on shore	1500	2000
Ciclo combinado térmica a gás	1010	1320
Nuclear	5400	8200
Térmicas a carvão	3200	8400

Elaboração própria com dados EPIA, LAZARD e EIA

Tabela – 9- CAPEX – CUSTO DE CAPITAL (FEED) NA EUROPA PARA INSTALAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE USINAS POR TIPO DE TECNOLOGIA

Gráfico CAPEX por tipo de energia alternativa e convencional em U\$/KW

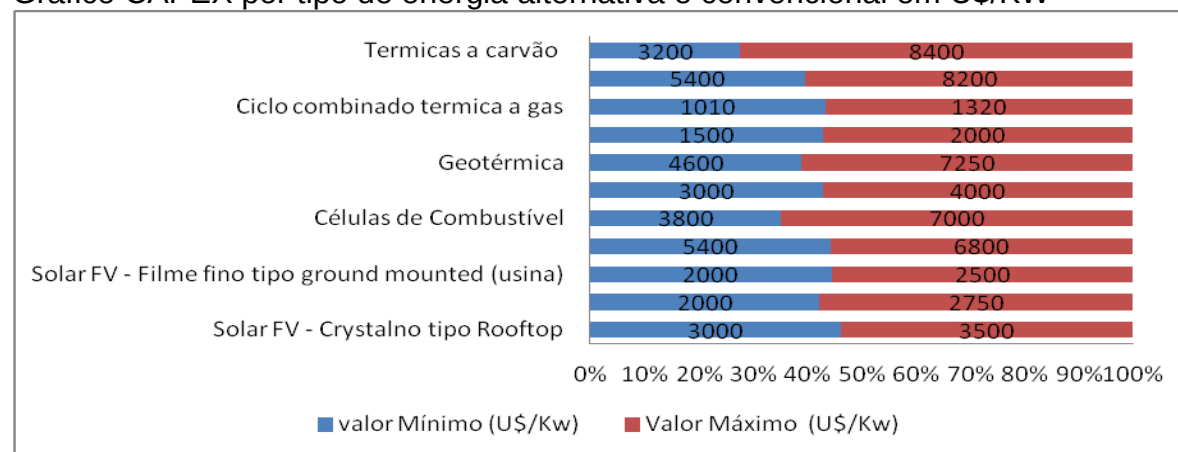


Figura 40 – Faixa de CAPEX para ddiferentes de energia renovável e convencional na Europa e EUA-Elaboração própria com dados da EIA, EPIA, Lazard

4.3) Viabilidade econômica hipotética da geração fotovoltaica no Brasil

4.3.1) O efeito da irradiação na potencia gerada por um painel fotovoltaico

Curva de corrente x tensão (curva I –V)

A representação típica da característica de saída de um dispositivo fotovoltaico (célula, módulo, sistema) denomina-se curva corrente tensão conforme mostrado na figura abaixo.

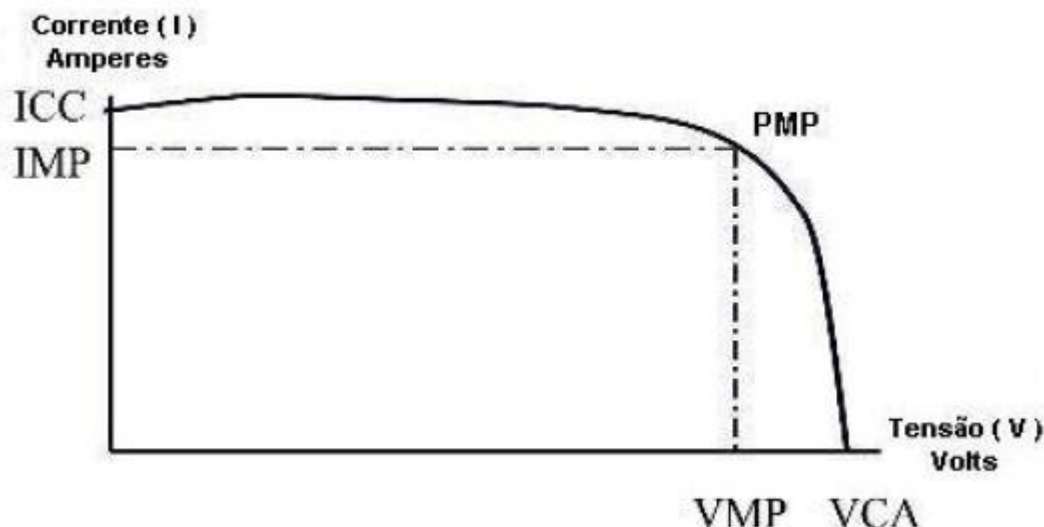


Figura 41- Curva de tensão / corrente de um painel fotovoltaico

Fonte: Solarterra , Guia fotovoltaico Disponível em < <http://www.solarterra.com.br/>> Acesso em 5/04/2013

Onde, Os valores desta curva são:

Corrente de curto-circuito (Icc): Máxima corrente que pode entregar um dispositivo sob condições determinadas de radiação e temperatura correspondendo a tensão nula e consequentemente a potência nula.

Tensão de circuito aberto (Vca): Máxima tensão que pode entregar um dispositivo sob condições determinadas de radiação e temperatura correspondendo à circulação de corrente nula e consequentemente à potência nula.

Potência Pico (Pmp): É o valor máximo de potência que pode entregar o dispositivo. Corresponde ao ponto da curva no qual o produto $V \times I$ é máximo.

Corrente a máxima potência (Imp): corrente que entrega o dispositivo a potência máxima sob condições determinadas de radiação e temperatura. É utilizada como corrente nominal do mesmo.

Tensão a máxima potência (Vmp): tensão que entrega o dispositivo a potência máxima sob condições determinadas de radiação e temperatura. É utilizada como tensão nominal do mesmo.

Como no Brasil existem valores de irradiação solar diferentes de valores na Alemanha e EUA, sabe-se que a irradiação afeta diretamente a corrente gerada por um painel fotovoltaico conforme podemos ver na figura esquemática abaixo.

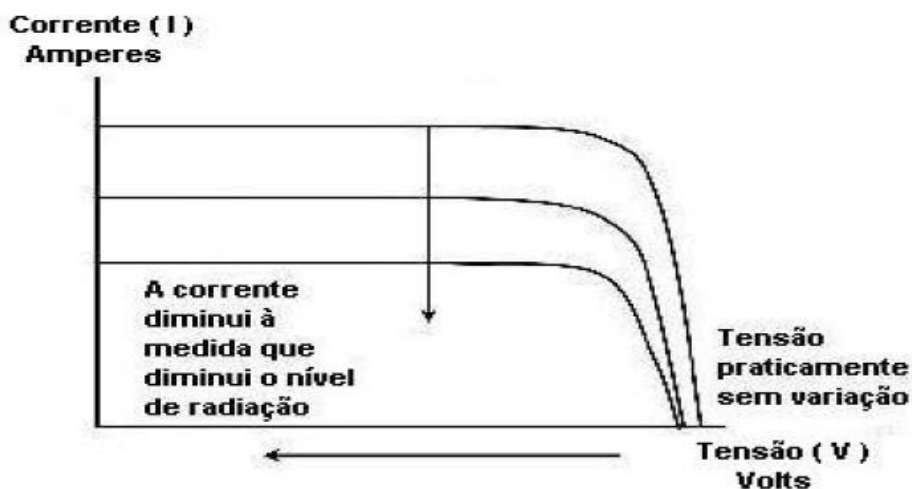


Figura 42- Efeito da corrente gerada em um painel solar em função da irradiação Solar
Fonte: Solarterra , Guia fotovoltaico Disponível em < <http://www.solarterra.com.br/>> Acesso em 5/04/2013

Além deste efeito existe também uma variação diária em função da variação da irradiação solar ao longo do dia , para isto no sistema fotovoltaico utiliza-se de sistemas de regulação / Retificação e muitas vezes um sistema de acumulação (Bateria) que pode armazenar a energia para ser usada em períodos sem a presença de luz solar.

Vemos abaixo o efeito das horas diárias na curva corrente / tensão de um painel solar

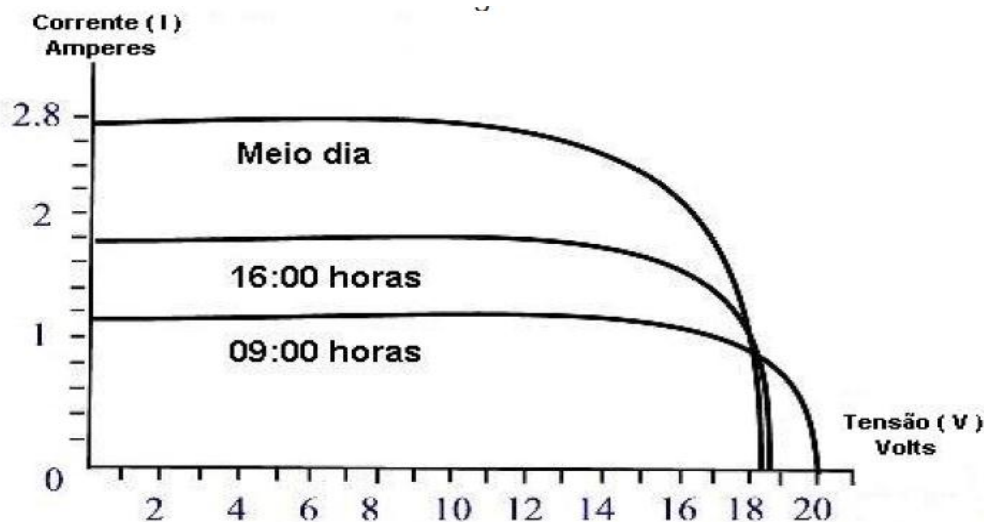


Figura 43- Curva tensão / corrente de um painel solar ao longo do dia e respectiva corrente gerada
Fonte: Solarterra , Guia fotovoltaico Disponível em < <http://www.solarterra.com.br/>> Acesso em 5/04/2013

Ainda para concluirmos podemos ver abaixo o efeito das horas diárias na geração de potencia em um painel solar comum de 12Vcc, onde os valores aproveitáveis de energia gerada regulada seriam no Brasil principalmente das 9 hs as 16:30hs em horário normal (sem considerar horário de verão)

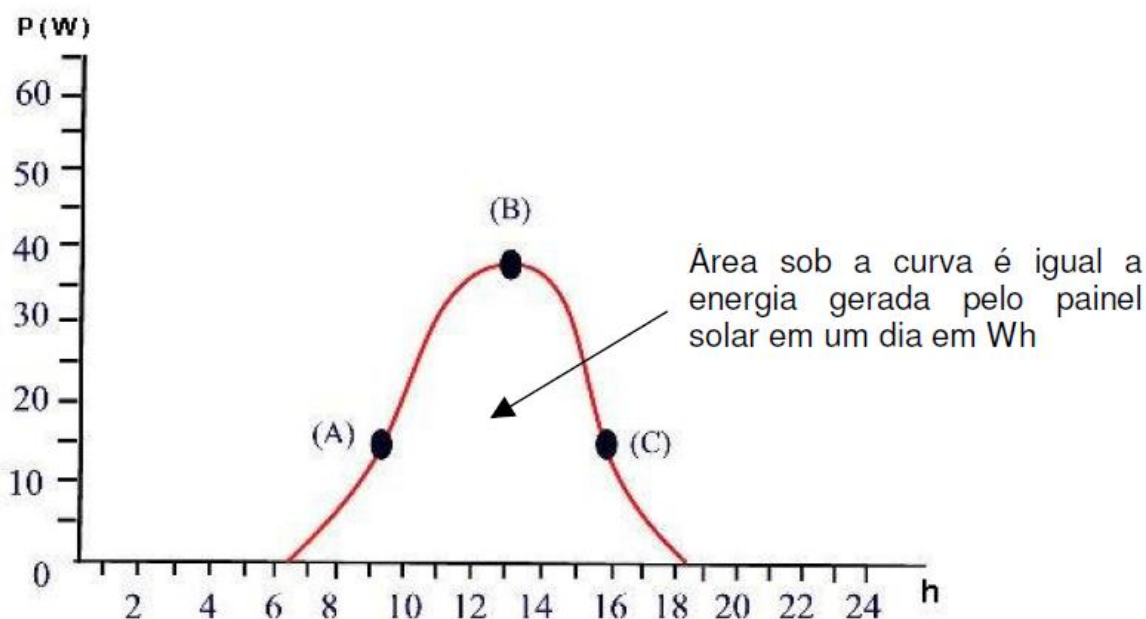


Figura 44- Efeito da irradiação solar horária na curva de potencia de um painel fotovoltaico de 12Vcc com 30 células.

Fonte: Solarterra , Guia fotovoltaico Disponível em < <http://www.solarterra.com.br/> > Acesso em 5/04/2013

Desta Forma considerando que na Alemanha o valor máximo de irradiação média Anual seria de 3400 W/m²/dia enquanto que no Brasil a média Anual varia para mais de 50% do território brasileiro em torno de 5570 a 6200 W/m²/dia ou seja 82% mais irradiação média diária que o maior valor na Alemanha portanto proporcionalmente o mesmo painel solar na Alemanha se estiver no Brasil gera no mínimo o dobro de energia o que impacta diretamente no custo e no retorno sobre investimento de um empreendimento solar.

4.3.2) Custo de CAPEX e OPEX no caso Brasileiro para usinas hipotéticas nacionais

Com dados coletados de empresas do Setor , integradores, dados da empresas estruturadoras como Samsung estima-se com as seguintes premissas

CAPEX no Brasil seria composto de

- Custo de engenharia estimado em 6 a 10% do valor total do Capex na Europa
- Custo de Internalização dos Painéis (Landed cost- Importação), inversores para cada 1 EURO por Wp temos que a internalização no Brasil chegaria a 3,3 R\$/Wp segundo dados do professor Zilles IEE-USP (fonte inova FV 2012)

- Os demais custos de acordo com planilha em anexo foram levantados através de cotações, Levantamentos e dados de companhias estruturadoras de projetos fotovoltaicos as quais não temos autorização para revelação da fonte.
- Custo de painéis e inversores, reguladores e materiais da planta fotovoltaica, incluindo subestações, aterramento seriam responsáveis por 70% do custo total do investimento
- Custos de arrendamento de área para montagem do parque fotovoltaico em torno de 5% a 10% (de 15 a 70 U\$/m²)

Ainda necessitamos enfatizar que os dados demonstrados na tabela abaixo são estimativas não devendo serem levados como valores totalmente reais pois muitas informações não são provenientes de cotações atuais de mercado outros como os módulos são provenientes de cotações reais assim como o arrendamento do terreno. Desta forma deve-se tomar a planilha seguinte como um direcionador.

Ainda enfatizamos que tal planilha no seu aspecto de dimensionamento foi elaborada e cedida pelo grupo setorial fotovoltaico – grupo leilão do qual o autor faz parte.

Seguindo, de acordo com cálculos de internalização O Valor do Wp colocado no Brasil ficaria da seguinte forma segundo exemplo do professor Zilles IEE-USP publicados na INOVAFV de 2012 e através de cálculos próprios usando modelo de importação SISCOMEX

CUSTO DE INTERNALIZAÇÃO DE INVERSORES E MÓDULOS (U\$)				
DESCRILÇÃO	MODULOS	%	INVERSOR	%
ORIGEM	ASIA		EUROPA	
Watts	1.000.000,00		1.000.000,00	
Preço Exworks (EUR)	1,00		0,2	
Frete (30K painel 20K inv)	50.000,00	5%	10.000,00	5%
600 Paineis FLC pa pes				
900 inv FLC 20 pes				
Valor Aduaneiro CIF	1.050.000,00		210.000,00	
Impostos				
II	126.000,00	12%	29.400,00	14%
IPI	0	0%		15%
ICMS	0	0%	43.092,00	18%
PIS	19.404,00	1,65%	4.661,12	1,65%
Cofins	89.376,00	7,60%	21.469,39	7,60%
Subtotal	234.780,00		98.622,51	
Desembaraço , estocagem, manuseio	50.000,00	5%	10.000,00	5%
Total custo internalizado	1.334.780,00	27,12%	318.622,51	51,73%
Fonte : Preparação própria conforme exemplo Professor Zilles IEE INOVA FV 2012 e uso planilha de importação SECEX				

Tabela 10 – Cálculo do landed fielded cost ou custo de internalização de painéis e inversores importados

Fonte: Elaboração própria sobre orientação de exemplo SISCOMEX e do professor Zilles IEE-USP apresentado na INNOVA FV 2012

Ainda se formos calcular com base na custo internalizado acima chegamos a um valor indicativo estimado e hipotético de atualizados para o valor de câmbio atual. Teríamos cerca de para cada MW um custo em Dólares de U\$ 4.319.502 de CAPEX, conforme demonstrado na planilha abaixo

Custo de CAPEX estimado para uma usina fotovoltaica de 1MW

Item	Descrição	Qtd	Unid.	U\$
1 Dados Básicos do Projeto				300.000,00
1.1	Levantamento topografico do terreno	UD	1	
O levantamento topografico deve cobrir as áreas destinadas aos módulos solares, edificação de controle, subestação da planta e subestação de conexão, diretriz da linha de transmissão, acessos e arruamentos.				
1.2	Investigação geológica	UD	1	
Mapeamento e interpretação geotécnica da área, apoiada em sondagens a trado e percussão para caracterização precisa e segura da condição e estabilidade geológica do terreno e das condições pontuais para construção dos blocos de fundação dos módulos fotovoltaicos e das edificações.				
1.3	Licenciamento Ambiental EAS (Estudo Ambiental Simplificado)	UD	1	
Licenciamento Ambiental contemplando todos os estudos necessarios, destacando que cada estado pode fazer uma exigência.				
1.4	Projeto executivo	UD	1	
O projeto básico e o executivo devem abranger a planta fotovoltaica, subestação do Sistema Elétrico, as características principais e a diretriz do traçado linha de transmissão.				
1.5	Aquisição Terreno ou arrendamento	M2	19400	582.000,00
2 Construção Civil				
2.1 Conformação do terreno				
2.1.1	Preparação do Terreno	M2	19400	5.000,00
Limpeza mecânica do terreno para remoção de árvores e vegetação rasteira				
2.1.2	Escavações e Movimentação de Terra	M3	4000	5.000,00
Realizar trabalhos de escavação e transporte de terra dentro da área do empreendimento				
2.1.3	Terraplenagem	M3	2000	50.000,00
Aplainar e aterrar a área do empreendimento.				
2.1.4	Estabilização do solo	M2	19400	15.000,00
Estabilização do solo para fornecer ao terreno maior resistência a cargas, por meio de adição de				
2.1.5	Drenagem pluvial	ML	800	10.000,00
Drenagem de águas pluviais				
2.1.6	Cercado perimetral e portões de acesso	ML	600	15.000,00
Cercado para delimitar a área de empreendimento e portões de acesso				

2.2. Parque fotovoltaico				
2.2.1	Bases e fundações dos conjuntos de módulos	UD	682	136.400,00
Fundações com estacas de acordo com o tipo de terreno				
2.2.2	Vala para cabos BT	ML	170	20.000,00
Vala canalização elétrica (3Ø90mm) incluindo serviço de escavação, tubo 3xØ90 mm, areia, placas PE, fita sinalização e transporte de terra para aterros. Completamente acabado				
2.2.3	Vala para cabos MT*	ML	300	24.000,00
Vala canalização elétrica em concreto (2Ø160mm + 3Ø90mm) incluindo serviço de escavação, tubo 2xØ160mm + 3xØ90 mm, hormigón, placas PE, fita sinalização e transporte de terra para aterros. Completamente acabado				
2.2.4	Caixas de passagem 45x45 cm	UD	14	4.200,00
Caixa de passagem prefabricada de concreto 45x45 cm. Sem fundo, com tampa e vedação fundido. Completamente acabado				
2.2.5	Caixas de passagem 60x60 cm	UD	6	4.800,00
Caixa de passagem prefabricada de concreto 60x60 cm. Sem fundo, com tampa e vedação fundido. Completamente acabado				
2.2.6	Caixas de passagem 120x120 cm	UD	2	2.000,00
Caixa de passagem prefabricada de concreto 120x120 cm. Sem fundo, com tampa e vedação fundido. Completamente acabado				
2.3 Estradas de Acesso				
2.3.1	Vias de Acesso	ML	300	60.000,00
Realização de ruas de acesso e circulação entre os campos fotovoltaicos de 5 metros de largura				
2.4 Base estrutural dos edifícios				
2.4.1	Base civil dos Inversores	UD	1	2.000,00
Construção base civil dos inversores. Feito com concreto com espessura de 30 cm				
2.4.2	Base civil do centro de controle	UD	1	2.000,00
Construção base civil do edifício de controle. Feito com concreto com espessura de 30 cm				
2.5 Estrutura metálica do conjunto de módulos				
2.5.1	Estrutura metálica	UD	1MW	150.000,00
Fornecimento e instalação de estrutura metálica. A forma de fixação da estrutura é fincada no solo. Foi considerado que sobre cada estrutura será colococado 2 módulos fotovoltaico em paralelo.				
2.5.2	Bandeja metálica aberta de 60x60mm	ML	1200	300.000,00
Fornecimento e instalação de bandeja de metal aberta 60x60mm				
2.5.3	Itens Adicionais	PA	1	40.000,00
Quantidades estimadas: cintas plásticas de exterior, elementos de fixação				
3 Modulo fotovoltaico				
3.1	Modulo fotovoltaico	UD	4096	1.334.780,00
Fornecimento e instalação de módulos fotovoltaicos. Tecnologia policristalina de 240 wp				
4 Inversor fotovoltaico				
4.1	Inversor fotovoltaico 1 MW	UD	1	318.622,51
Conjunto inversor fotovoltaico mais transformador, no centro de geração de energia compacta. Composto por inversor de 1MW + Protetores + celdas Entrada/Saída/Proteção + Transformador 1 MW. Acordo a norma ABNT				

Item	Descrição	Qtd	Unid.	U\$
5 Instalações Elétricas				
5.1 Cabeamento CC entre caixas primárias e secundárias				
5.1.1	Cabeamento dos módulos fotovoltaicos 6 MM2	ML	12300	307.500,00
Fornecimento e conexão de cabo unipolar 6 mm2 multicontato de conexão entre os strings de módulos e as caixas primárias				
5.1.2	Cabeamento DPS das Caixas primárias	ML	1200	180.000,00
Cable unipolar duplo isolamento H07 750V de 16 mm2 entre o DPS e terra				
5.1.3	Cabeamento entre caixas secundárias e primarias	ML	3000	90.000,00
Cable unipolar duplo isolamento RV-K 0,6/ 1 Kv de 35 mm2 entre as caixas primárias de conexão e as caixas secundárias				
5.1.4	Cabeamento DPS Caixas secundárias	ML	60	3.600,00
Cable unipolar duplo isolamento H07 750V de 35 mm2 entre o DPS das caixas secundárias.				
5.1.5	Cabeamento entre caixas secundárias e inversores 150 MM2	ML	700	140.000,00
Cable unipolar duplo isolamento RV-K 0,6/1 Kv de 150 mm2 entre as caixas secundárias e os inversores				
5.2 Caixas de paralelos				
5.2.1	Caixa primária de conexão 8 entradas	UD	32	6.400,00
Caixa de conexão de linhas de módulos fotovoltaicos. Fixada mediante suporte a estrutura metálica, com entrada de 8 linhas (positivo e negativo) dos módulos fotovoltaicos de cabo unipolar de 6 mm2, saída (+ e -) cabo unipolar de 35 mm2, conexão a rede de terras - DPS - com cabo unipolar de 16 mm2. Fusíveis de c.c. de 10 A para as entradas e de 80 A para a saída. Base portafusível de até 1000 V.				
5.2.2	Caixa secundária de conexão 4 entradas	UD	8	2.400,00
Caixa de conexão de linhas de módulos fotovoltaicos. Fixada mediante suporte a estrutura metálica, com entrada de 4 linhas (positivo e negativo) das caixas primárias cabo unipolar de 35 mm2, saída (+ e -) cabo unipolar de 150mm2, conexão a rede de terras - DPS - com cabo unipolar de 16 mm2. Fusíveis de c.c. de 80 A para as entradas e interruptor de corte em carga de 400 A para a saída. Base portafusível de até 1000 V.				
5.3 Aterramento				
5.3.1	Linha de Aterramento	ML	400	20.000,00
Fornecimento e instalação de cabeamento principal de terra com conductor de cobre nu de 35 mm2 de seção, enterrado na base das valas.				
5.3.2	Linea de tierra 50 mm2 Cable CU desnudo	ML	35	7.000,00
Fornecimento e instalação de cabeamento principal de terra com conductor de cobre nu de 50 mm2 de seção, enterrado a uma profundidade de 0,8 m.				
5.3.3	Haste de aterramento	UD	20	4.000,00
Fornecimento e instalação de haste metálica de aterramento com 2m de comprimento, fixadas nas caixas de conexão.				
5.3.4	Medição da resistividade do terreno	UD	1	5.000,00
Deve ser verificada a resistividade do solo na área dos módulos fotovoltaicos, subestação da planta, no percurso e extremidades da linha de transmissão. Deve ser medida conforme ABNT NBR 5419. Deve ser feita pelo método Wenner, através de instrumentação aferida pelo INMETRO.				
5.4 Rede de Média Tensão				
	Linha de MT*		300	10.000,00
Instalação de Linha HEPR 240 mm2 de rede elétrica de média tensão enterrada na vala, realizada com cabos condutores HEPRZ de 3 (1x240) Alumínio 12/20 KV, com isolamento dielétrico seco, formados por condutor de mescla semicondutora isolamento de etileno-propileno (EPR)				
6 Monitorização				
	MONITORIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA	UD	1	25.000,00
MONITORIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA INCLUINDO SOFTWARE DE MEDIÇÃO PARA CONTROLE DA PRODUÇÃO, TENSÃO EN CC E BT, INCLUINDO CABEAMENTO.				
7 Serviços auxiliares				
	Poste de iluminação do parque fotovoltaico	UD	6	1.800,00
Fornecimento e instalação de postes de iluminação com 5 metros de altura e lâmpadas de vapor de sódio de 400 W.				
	Sistema de Segurança CCTV	UD	1	1.000,00
Fornecimento e instalação de sistema fechado de televisão com câmeras de segurança composto por 16 torres de 6 metros de altura, conectados ao computador do edifício de controle para registro de imagem. Incluído as canalizações sobre as valas perimetrais do sistema de segurança.				

Item	Descrição	Qtd	Unid.	U\$
8 Subestação e linha de evacuação de energia				
8.1	Subestação	UD	1	50.000,00
Subestação segundo norma da companhia elétrica				
8.2	Linha de evacuação	UD	1	10.000,00
Linha de evacuação segundo norma da companhia elétrica				
9 Vários				
9.1	Comissionamento da Instalação	UD	1	3.000,00
Realização dos testes de operação da instalação				
9.2	Direção de Obra	UD	1	5.000,00
Gerenciamento da obra por engenheiro competente, encarregado de supervisionar e coordenar a obra				
9.3	Saúde e Segurança	UD	1	3.000,00
Custos de saúde e segurança da obra (fornecimento de equipamentos, supervisão da obra por técnico especializado, etc)				
9.4	Topografia	UD	1	20.000,00
Serviços de topografia durante a execução da obra				
9.5	Controle de Qualidade	UD	1	10.000,00
Controle de qualidade de materiais e serviços				
9.6	Vigilância de Segurança	UD	1	4.000,00
Serviços de segurança por vigilantes				
9.7	Seguros e Avais bancários	UD	1	15.000,00
9.8	Estrutura administrativa e financeira a obra	UD	1	15.000,00
	TOTAL GERAL CAPEX INSTALAÇÃO			4.319.502,51
Observações da Planilha				
ML	Metro Linear			
UD	Unidade			
*	Foi considerando 300 metros linear para conectar os campos fotovoltaicos de 1MW a outro campo de 1MW, caso a instalação seja superior a 1MW.			
1EURO	1,3472 U\$ em 22/11/2013			

Tabela 11 – Custo de CAPEX estimado para uma usina fotovoltaica de 1MW considerando importação de painéis fotovoltaicos da Ásia e Inversores da Europa. Fonte: Elaboração própria com base em design básico de uma planta fotovoltaica elaborado pelo grupo setorial fototoltáico da ABINEE- grupo de leilões.

No caso do Custo de OPEX (custo de operação e manutenção da usina “operational expenditure”) pode-se assumir custos semelhantes aos níveis Asiáticos ou Europeus onde teríamos a seguinte hipótese. Custo de O&M U\$ 30000/MWh/ano

Opex			
	<u>CPI Applied</u>	per MW/year	
O&M	yes		30.000
Insurance	yes		4.000
Land Lease Cost	yes		20.870
O&M Contingency			5%
Year Base days			365
Inflation Rate		Yearly	5,50%
Cash Realization Duration	Months		1

Tabela 12 – Custos OPEX para uma planta base de 1MW. Fonte: Samsung C&T,

Desta forma se pudéssemos simplificar consideramos todos custos de investimento como sendo os custos de CAPEX e OPEX listados teríamos que o custo total do empreendimento seria de U\$4,3 Milhões para o CAPEX e U\$ 54.000 para o OPEX tendo um custo total de U\$4,37 Milhões

Considerando um fator de capacidade de 18% teríamos que esta planta poderia gerar de forma simplificada $4.000.000W \times 8760 \text{ h/ano} \times 0,18 = 6.307.200.000 \text{ Wh/ano}$ ou 6307,2 MWh/ano

Caso usássemos painéis de maior eficiência em torno de 23% que é o que existe de ponta para tecnologia policristalina e sem mexer no custo do capex teríamos $4.000.000W \times 8760 \text{ h/ano} \times 0,23 = 8.059.200.000 \text{ Wh/ano}$ ou 8059,2 MWh/ano

Sem considerar taxas de juros ou oportunidade ou entrar em um cálculo mais preciso da taxa interna de retorno e do WACC que não é o objetivo deste trabalho. Teríamos um custo hipotético nivelado de **U\$0,693 / Kwh/ ano ou 1,52 R\$ / Kwh, ou seja ainda não conseguimos encontrar a paridade do grid para competir com atual custo da energia industrial, mas já se aproxima da paridade para energia residencial onde as maiores tarifas 0,7 a 0,8 R\$/Kwh**

Fazendo uma análise de sensibilidade com eficiências maiores em torno de 23% e sem mexermos no CAPEX teríamos LCOEs em torno de 0,5422 U\$/Kwh ou 1,1 R\$/Kwh o que tornaria empreendimentos solares competitivos em alguns casos no Norte e Nordeste

Para alcançarmos a paridade do grid seria necessário custos de CAPEX em torno de U\$ 3,0 Milhões com eficiências de tecnologia acima de 22% aí teríamos Custos competitivos de LCOE em torno de 0,377 U\$/Kwh ou R\$ 0,81 / Kwh para uma taxa de câmbio de 2,2 R\$/U\$

Conclui-se ainda que hipoteticamente segundo premissas descritas nesta seção o custo de CAPEX de gira em torno de U\$ 4,3 Milhões cerca de 22% acima do custo Europeu devido principalmente a carga tributária, mas ainda assim se mostra competitivo a custos de CAPEX de certas usinas eólicas no Brasil com custos semelhantes em torno de U\$ 4,0 Milhões devido ao custo logístico.

Para que possamos responder a TAO DESEJADA PERGUNTA : Qual o Retorno sobre o investimento ou WACC (Weighted Average Cost of Capital) teríamos de fazer um estudo a parte que não é o intuito deste trabalho, mas sim mostrar que sim é possível desenvolver usinas fotovoltaicas no Brasil a custos aceitáveis sobre retornos aceitáveis que se desenvolverão com a maturação desta fonte de energia no Brasil.

4.4) Tarifas de energia elétrica e o valor do Mwha geração fotovoltaica

Segundo estudo da FIERJ publicado nos encontros do setor de energia da Fiesp em 2011 e 2012 o preço da energia para a demanda industrial sem impostos comprado ao preço da energia de outros países encontra-se na figura abaixo

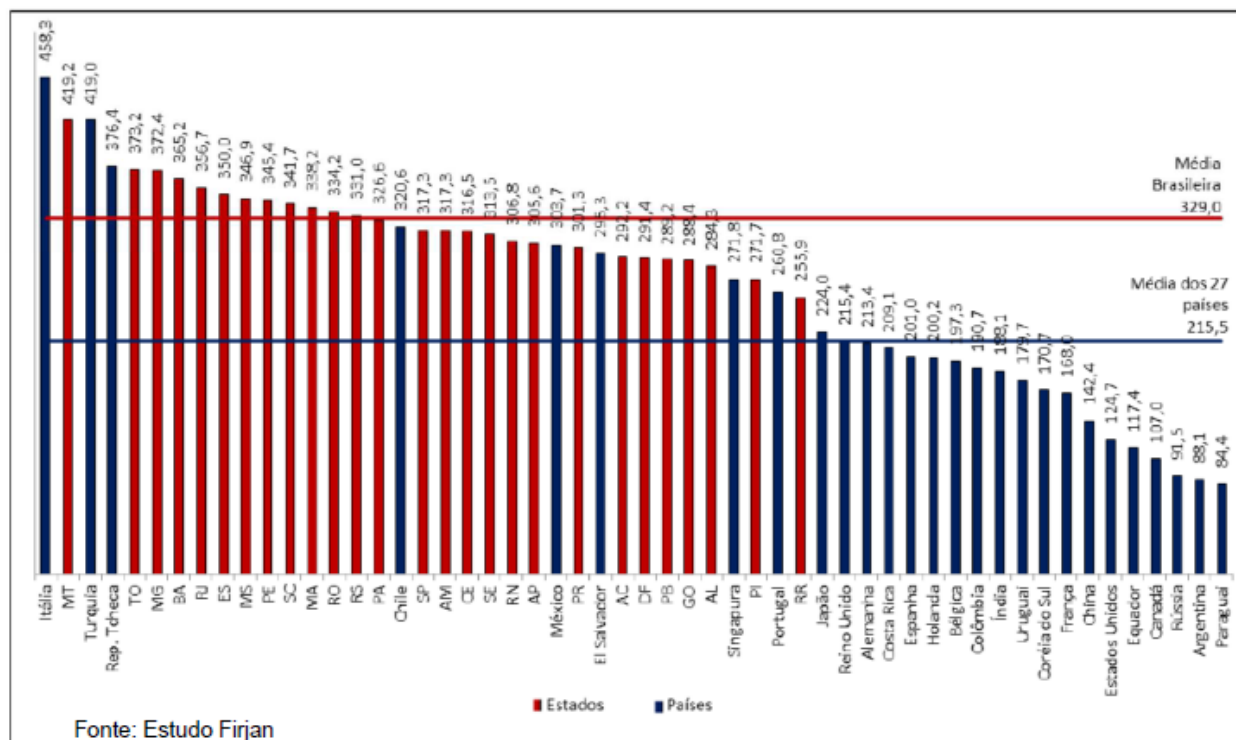


Figura 45- Estudo Firjan preço médio da energia em países e estados brasileiros e estrangeiros sem impostos em R\$/MWh

Fonte : Saldanha, Ronald, 13º Encontro nacional de energia FIESP, 13, 2013, São Paulo, "Evolução do preço e dos serviços de energia"Depende de Nós". Firjam. Consulta Outubro 2013

V- Aspectos Regulatórios da energia Fotovoltaica

5.1) Modelos de Negócios para energias renováveis no Mundo incentivos regulatórios , suporte financeiro.

Com o desenvolvimento de novas formas de energia alternativa e seu avanço tecnológico se faz necessário para que tais energias se tornem competitivas incentivos regulatórios e financeiro , da mesma forma que se faz necessário que o processo de desenvolvimento de políticas para regulação da livre competição e o desenvolvimento de tais tipos de energia tomem lugar. Desta forma este capítulo pretende discorrer sobre os principais tipos de avanços regulatórios em diversos locais do planeta e nos principais países da Europa e do G20.

Para desenvolvimento das energias renováveis objetivando a substituição do uso de combustíveis fósseis vários países , principalmente aqueles componentes do G20 vem adotando targets de implementação de uso de energia limpa e renovável dentre eles a energia solar.

Desde 2005, mais seis do G-20 países adotaram metas de energias renováveis. Muitos outros países têm ampliado ou atualizado suas metas , estabelecimento de metas mais ambiciosas e de longo prazo.

Os Estados Unidos eo Canadá não têm metas federais , embora haja algumas metas no Estado e Província .

Atualmente, quase todos os países do G-20 tem em prática medidas destinadas a catalisar o investimento em geração de eletricidade renovável através de financiamento , preços, fiscal, de licitação pública , e todos fornecem alguma forma de apoio através de políticas de Pesquisa e desenvolvimento. Nos últimos cinco anos, muitos países têm refinado as suas políticas , tais como sistemas tarifários tipo “feed-in”, melhorar o seu impacto na implantação ou desenvolver políticas que produzam vantagens na rentabilidade de um empreendimento de energia renovável.

Vários países têm agora diferentes mecanismos em vigor para os diferentes sectores ou tecnologias. Uma recente tendência forte é a introdução de processos públicos de licitação para geração de energia renovável ou leilões públicos, como é o caso no México, Brasil , Argentina e África do Sul

O fato é que segundo todas experiências , principalmente na Europa é necessária a existência de um pacote de políticas para que seja assegurada o desenvolvimento de tecnologias renováveis. Desta forma seguem abaixo alguns modelos gerais ou políticas adotadas por cada país, Como:

- Uma abordagem estratégica global que coloca energias renováveis no contexto do total nacional do país com objectivos da para energias renováveis dentro do plano de política energética do país, centrado em tecnologias que podem mais facilmente satisfazer as necessidades políticas no curto e longo prazo dentro das condições naturais de cada país;
- A regulação transparente e estável da política de energias renováveis e desenvolvimento de apoio técnico e financeiro , proporcionando uma ambiente propício para o investimento em energias renováveis;
- Tarifas adequadas que incentivem o investimento nas tecnologias renováveis necessárias, mas podem ser ajustados em função da evolução tecnológica e progresso do desenvolvimento da tecnologia e redução de custos, de forma a recompensar aqueles que investem em enegias renováveis
- O acesso prioritário a rede para aqueles que desenvolvam projetos de energias renováveis
- procedimentos administrativos simplificados e um quadro institucional

No quadro abaixo segundo trabalho do G20 encontramos um

PAÍS	OBJETIVOS DA POLÍTICA AMBIENTAL	SUPORTE FINANCEIRO	OUTRAS POLITICAS SUPORTE A ER
ARGENTINA	Alvo: 8% de share Energias Renováveis no consumo total de Energia Elétrica em 2016. Programa Nacional de energia hidrelétrica ofertadas: Chihuidos I (637MW), Cóndor Cliff (1.140 MW), La Barrancosa (600 MW) Programa nacional de energia eólica: em implementação futura	Tender e política fiscal: Esquema Nacional de promoção para o uso de fontes renováveis destinados à produção de energia elétrica. Apoio Financeiro: Fundo Fiduciário destinada ao pagamento de um bônus na geração de energia elétrica renovável. Benefícios fiscais: Lei N ° 26.190 Criação institucional: Secretário de Resolução de energia N ° 712/2009 permite contratos de fornecimento entre Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA) e ENARSA no contexto do Programa GENREN. O apoio financeiro para a construção de Hidroelétricas: Secretaria de Energia Resolução N ° 762/2009	Lei N ° 26.123: Lei de Pesquisa e desenvolvimento para fontes a partir do Hidrogênio Lei N ° 26.190: Esquema de Desenvolvimento para o Uso de fontes renováveis de energia para Produção de Electricidade Lei N ° 26.093: Regulação e Esquema de Promoção para a Produção e Uso Sustentável de Biocombustíveis PERMER: Prgrama de geração de energia para áreas rurais pobres
AUSTRALIA	20% Energia proveniente de fontes renováveis até 2020	Certificados de energias renováveis: Energias Renováveis em pequena escala Scheme (SRES), e em grande escala Alvo de Energia Renovável (LRET) Financing: Constituição de instituto financeiro "clean energy financing Corporation" (CEFC), Bolsas de pesquisa: PRograma de tecnologia e inovação em energia Limpa , Australian Solar Institute, Two for one Base de bolsa de financiamento: Demonstração de energias alternativas, Emerging Renewables: Financiamento para programas de desenvolvimento de energias renováveis, Equity investments: Fundo tipo venture capital para empreendimentos de energia renovável. Suporte de financiamento solar: Suporte financeiro para plantas de geração de energia solar conectados ao grid.	P&D bolsas: Para desenvolvimento de projetos de energia solar e térmica Australina solar Institute (ARENA), Programa de demonstração e pesquisa: Financiamento de programas para desenvolvimento de cidades solares. Uso de energia solar. Política de Carbono: Criação de redução de impostos para uso de energia geotermica .
CANADA		Crédito para uso de energia alternativa para o setor de papel : Pulp and paper green transformation programm. Premio por KWH para aqueles que usem da energia renovável. . Redução de impostos para geração de energia renovável. Tax ACT 43.2 of ANEX II	
CHINA	12 º Plano Quinquenal: 30 GW da capacidade instalada de biomassa em 2020, 16% da eletricidade partir de fontes renováveis até 2020 (incluindo grandes hidrelétricas).	Tarifas Feed in: Para Energia eólica On shore, Plantas fotovoltaicas, Biomassa. Licitações em larga escala para energia eólica e hidroelétricas. Suporte com financiamento do governo para plantas de energia fotovoltaica renovável: Golden Sun program. Premio pago em dinheiro pelo governo para conexão a rede de empreendimentos renováveis: Renewable energy law. Política de impostos: Políticas preferenciais de impostos para empreendimentos em energias renováveis.	Offshore wind expansio: Programa de incentivo a expansão de eólicas offshore. Programas de cooperação internacional para desenvolvimento de tecnologias de energia limpa. Planejamento estratégico. Programa Nacional de Mudanças climáticas.

PAÍS	OBJETIVOS DA POLÍTICA AMBIENTAL	SUORTE FINANCEIRO	OUTRAS POLITICAS SUPORTE A ER
UNIAO EUROPÉIA	Directiva 2009/28/EC- All renewables: 20% de energias renováveis na energia final e um consumo mínimo Quota de 10% de energias renováveis no sector de transportes até 2020 Directiva 2003/87/CE criação de um regime de De licenças de emissão e de trading de créditos de carbono dentro do Comunidade: 21% de créditos de carbono redução em comparação com 2005 até 2020		Framework policy with mandatory application: EU-Directive 2009/28/EC Propoção obrigatória do uso de energia alternativas
ALEMANHA	EU-Directive 2009/28/EC na promoção do uso de energia proveniente de fontes renováveis : 20% de energias renováveis na energia final e um consumo mínimo de 10% de energias renováveis em sector dos transportes até 2020. Conceito de Energia 2010 do Governo Federal: Metas para consumo final bruto de energia renováveis: 2020: 18%, 2030: 30%, 2040: 45%, 2050: 60%. A energia eólica offshore 10 GW até 2020 e de 20 a 25 GW até 2030 Alvos de Geração de electricidade renovável : 2020: pelo menos 35%; 2030: 50%, 2040: 65%, 2050: 80%	Tarifas premio Feed in prioritariamente para energia solar. Renewable energy source act: Tarifas feed in para Biomassa, Energia eólica e geotérmica	Quadro político: Grade Lei de Aceleração expansão (NABEG) Quadro político: Directiva 2009/31/CE sobre a geologia armazenagem de dióxido de carbono R & D de investimento: De 2011 a 2014, EUR 3,4 bilhões serão investido no suporte do pesquisa sobre energia. Cerca de 80% de os recursos serão investidos em pesquisa sobre energia renovável (EUR 1,3 bilhões) e energia eficiência (1 de 2 bilhões de euros) A pesquisa será financiada através do orçamento federal alemão de mudanças climáticas

C

PAÍS	OBJETIVOS DA POLÍTICA AMBIENTAL	SUPORTE FINANCEIRO	OUTRAS POLITICAS SUPORTE A ER
ITALIA	Plano Nacional de Energia ReNovável Plano de Ação (PNAER) / Decreto Legislativo no.28/2011 Directiva 2009/28/CE, Eletricidade a partir de Fontes renováveis: 26,39% em 2020, dos quais 5,33% Eólica, 3,03% a partir de energia solar, 11,21% a partir de hidrelétricas, 5,01% a partir de biomassa, 1,80% de energia geotérmica	Feed in Tariff Conto energético de I a IV: A energia solar fotovoltaica, biomassa, hídrica, geotérmica, das marés e das ondas Feed-in reajuste tarifário / Call para propostas: Decreto 28 de maio de 2011 Tarifa feed-in de pequena escala renovável: Toda a electricidade renovável Certificados negociáveis: Provisões para o sistema de certificados de energia verde	
USA	Embora não haja uma Federal alvo, 24 dos 50 estados dos EUA tem Portfolio de Renováveis e Normas em vigor	Política fiscal: Os exemplos incluem Créditos de impostos; Benefícios fiscais no investimento de empreendimentos renováveis: Redução de impostos para consumo de energia Renovável Residencial . Crédito Tributário Incentivos	

Tabela 13- Principais políticas de incentivos a energias renováveis no mundo

Fonte: Agencia Internacional de Energia (IEA) “G20, clean energy , and energy efficiency deployment and policy progress”, Paris, 2011, Ed unica,

Verificamos então que os principais modelos compreendem os seguintes mecanismos de incentivo

- Tarifas feed in – onde o governo subsidia o modelo de energia pagando por parte da mesma
- Programa de fundos de fomento do governo para empreendimentos em energia como na Alemanha, Canadá e EUA
- Fundos de Venture capital como Austrália

- Redução de tarifa de impostos para consumo de energia renovável como Itália , Alemanha e EUA.
- Net meeting- compensação financeira em redução da conta de eletricidade como EU e agora também no Brasil para energias Renováveis
- Leilões incentivando a competitividade e garantindo a compra de energia por companhias estatais como no Caso do Brasil e Itália

O ideal dos modelos é que haja mecanismos com objetivos bem claros como no caso da Alemanha e que o governo crie fundos de investimentos específicos para Fomentar a energia renovável , bem como sistemas de desoneração fiscal para consumidores que prefiram pela energia alternativa, como é o caso de Alemanha , Itália e EUA. Mecanismos de incentivos em pesquisa e desenvolvimento fortes com pesquisas pagas pelo governo são fundamentais como no caso dos EUA e Austrália e Japão.

Particularmente não acredito que as tarifas feed-in sejam a melhor solução , pois em algum momento por economia de escala ou por desenvolvimento das tecnologias e incentivo a competitividade com o consequente retorno sobre o investimento . Desta forma este benefício deve ser temporário e retirado no momento da maturidade de um sistema que tenha como prática habitual o desenvolvimento de energias alternativas como é o caso da Alemanha.

5.2) O modelo Regulatório Brasileiro

5.2.1) O histórico do desenvolvimento do setor elétrico

O modelo Brasileiro estabeleceu a partir de 1994 o modelo de concessão para a geração elétrica. Desta forma a partir de 1994 muitas empresas de energia passaram a serem privatizadas no montante da geração.

A regulamentação do setor elétrico brasileiro começou em 1995 com a lei 9074 que estabelece sobre as concessões públicas e permitia a iniciativa privada de operar monopólios naturais como a exploração e geração de energia elétrica no Brasil. A criação da ANEEL e o desenvolvimento histórico do sistema elétrico brasileiro pode ser explicado pela história como este desenvolvimento se sucedeu segundo wikipedia, aulas do PECE- ERG011- Geração Distribuída Professor Fernando

A Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, instituiu a ANEEL com suas atribuições de órgão regulador e, em 6 de agosto de 1997, foi criado o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE por meio da Lei nº 9.478. Antes de 1997, o setor elétrico no Brasil era totalmente regulado pelo Ministério de Minas e Energia – MME, que atuava por intermédio do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE. O DNAEE, além de outras, possuía competência para outorgar concessões de geração, transmissão e distribuição de eletricidade e desempenhava importante papel no processo de fixação de tarifas. Atualmente, a competência para fixação de tarifas é atribuída à ANEEL, uma autarquia independente por força da lei que a criou. Já a outorga de concessões compete ao Governo Federal, como Poder Concedente, que atua por meio do MME.

Entretanto, o exercício de tal competência também foi delegado à ANEEL por meio de Decreto Presidencial nº 4.932, de 23 de dezembro de 2003;

Em 1998, o Governo Federal promulgou a Lei do Setor Elétrico, destinada a reformar a estrutura básica do setor elétrico que dispôs sobre as seguintes matérias:

A. .) criação de um órgão auto-regulado responsável pela operação do Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE (substituído pela atual Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE) e pela determinação dos preços de curto prazo;

(ii) exigência de que as distribuidoras e geradoras firmassem os Contratos Iniciais, teoricamente, compromissos de take-or-pay, com preços e quantidades aprovados pela ANEEL. A principal finalidade dos Contratos Iniciais foi assegurar que as distribuidoras tivessem acesso ao fornecimento estável de energia elétrica por preços que garantissem uma taxa de retorno fixa às geradoras de energia elétrica durante o período de transição (2002-2005) que culminaria no estabelecimento de um mercado de energia elétrica livre e competitivo;

(iii) criação do Operador Nacional do Sistema – ONS, pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, responsável pela administração operacional das atividades de geração e transmissão do Sistema Interligado Nacional – SIN;

(iv) estabelecimento de processos licitatórios para outorga de concessões para construção e operação de usinas e instalações de transmissão de energia elétrica;

(v) separação das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização (desverticalização);

(vi) estabelecimento de restrições de concentração a titularidade de ativos nas áreas de geração e distribuição; e

(vii) a nomeação do BNDES, como agente financeiro do setor, especialmente para dar suporte a novos projetos de geração.

Em 2000, o Decreto nº 3.371, de 24 de fevereiro de 2000, criou o Programa Prioritário de Termelétricidade – PPT, com a finalidade de diversificar a matriz energética brasileira e diminuir sua forte dependência das usinas hidrelétricas. Os benefícios conferidos às usinas termelétricas nos termos do PPT incluíam: (i) fornecimento garantido de gás durante 20 anos, de acordo com a regulamentação do MME; (ii) garantia de repasse dos custos referentes à aquisição da energia elétrica produzida por usinas termoeletricas até o limite do valor normativo, de acordo com a regulamentação da ANEEL, e (iii) acesso garantido a programa de financiamento especial do BNDES para o setor elétrico;

Ainda em 2000, a Lei nº 9.991/00, determinou que concessionárias e autorizadas do serviço público de distribuição, geração e transmissão de energia elétrica passassem a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,75% de sua receita operacional líquida, em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico – P&D. As empresas que geram energia, exclusivamente, a partir de instalações eólicas, solares, de biomassa e PCHs estão isentas desta obrigação;

Em 2001, o País enfrentou uma grave crise energética que perdurou até o final do primeiro bimestre de 2002. Como consequência desta crise, o Governo Federal implementou medidas que incluíam:

A. . .) a instituição do Programa de Racionamento nas regiões mais afetadas pela escassez de energia elétrica, a saber, as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil; e

(ii) a criação da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – GCE (por meio da Medida Provisória nº 2.198-5/2001), que aprovou uma série de medidas de emergência prevendo metas de redução do consumo de energia elétrica para consumidores residenciais, comerciais e industriais situados nas regiões afetadas pelo racionamento, por meio da introdução de regimes tarifários especiais que incentivavam a redução. As metas para redução do consumo das classes residenciais e industriais chegavam a 20%;

Em março de 2002, a GCE suspendeu as medidas emergenciais e o Programa de Racionamento, em razão do aumento da oferta (graças à elevação significativa dos níveis dos reservatórios) e da redução moderada da demanda. Em 29 de abril de 2002, o Governo Federal, por meio da Lei nº 10.438/02, conforme alterada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, promulgou novas medidas, tais como:

- (a) previsão da RTE, com vistas a ressarcir as distribuidoras e geradoras das perdas financeiras provenientes do Programa Emergencial de Redução do Consumo de Energia Elétrica;
- (b) criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia – PROINFA, com o objetivo de criar certos incentivos para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, tais como projetos de energia eólica, PCHs e biomassa. Nos termos do PROINFA, a Eletrobrás compra a energia gerada por essas fontes alternativas durante o período de 20 anos e a repassa para os consumidores livres e distribuidoras, as quais se incumbem de incluir os custos do programa em suas tarifas para todos os consumidores finais da área de concessão, à exceção dos consumidores de baixa renda. Em sua fase inicial, o PROINFA está limitado a uma capacidade contratada total de 3.300MW. A maioria dos projetos que se qualificaram para os benefícios oferecidos pelo PROINFA entraram em operação a partir de 30 de dezembro de 2008; e
- (c) estabelecimento de regras para universalização do serviço público de distribuição de energia elétrica, que consiste no atendimento a todos os pedidos de fornecimento de energia elétrica a unidades consumidoras com carga instalada menor ou igual a 50Kw, em tensão inferior a 2,3 kV, inclusive aumento de carga, sem qualquer ônus para o consumidor solicitante, desde que atendidas as condições regulamentares exigidas. A ANEEL estabeleceu as condições gerais para elaboração dos planos de universalização de energia elétrica, prevendo as metas de universalização até 2014 e estipulando multas no caso de descumprimento destas por parte da concessionária distribuidora. Os recursos provenientes das multas impostas serão aplicados prioritariamente no desenvolvimento da universalização do serviço público de energia elétrica, na forma da regulamentação da ANEEL
- (d) mudança nas condições de enquadramento dos consumidores residenciais de baixa renda;

Em 15 de março de 2004, o Governo Federal promulgou a Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico, em um esforço para reestruturar o setor, tendo por meta precípua proporcionar, aos consumidores, fornecimento seguro de energia elétrica com modicidade tarifária. A Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico foi regulamentada por decretos presidenciais dentre os quais o Decreto nº 5.163/04, o qual dispõe, principalmente, sobre a comercialização de energia elétrica.

5.2.2) Alicerces do Setor elétrico Brasileiro

Os primeiros alicerces para a contratação de energia nesta modalidade foram reconhecidos pelo artigo 15 da Lei do Setor Elétrico, o qual estipulou que todos os consumidores com carga maior ou igual a 3 MW, atendidos em tensão maior ou igual a 69 kV, podem optar por contratar seu fornecimento, no todo ou em parte, com qualquer concessionário, permissionário e autorizado, no mesmo sistema interligado (após o ano 2000), ou produtor independente de energia elétrica (após 1995).

Além disso, consumidores com demanda contratada igual ou superior a 500 kW também poderão ser atendidos por outros fornecedores de energia, se tais consumidores passarem a ser supridos por fontes incentivadas de energia alternativa, tais como usinas de biomassa, energia eólica, Pequenas Centrais Hidrelétricas ou sistemas de cogeração qualificada.

Desta maneira, consumidores potencialmente livres são aqueles cuja demanda excede 3MW, em tensão igual ou superior a 69kV ou em qualquer tensão, desde que o suprimento tenha se iniciado após 7 de julho de 1995, podendo optar entre: (i) continuar sendo atendido pelo distribuidor local; (ii) comprar energia elétrica diretamente de um produtor independente ou de autoprodutores com excedentes; ou (iii) comprar energia elétrica por meio de um comercializador.

Existem ainda uma categoria de consumidores livres chamada de Consumidores Especiais, que são aqueles com uma demanda igual ou superior a 500 kW, individualmente ou em conjunto, tal que comprem energia proveniente de fontes incentivadas de energia (eólica, PCH, Biomassa).

Uma vez que o consumidor tenha optado pelo Ambiente de Contratação Livre, este somente poderá retornar ao ambiente regulado se notificar seu Distribuidor Local com 5 anos de antecedência ou em um prazo inferior, a critério da Distribuidora.

Referida preocupação de nosso legislador teve o intento de prevenir a reentrada súbita de consumidores livres no mercado da distribuidora, sem que esta esteja preparada para receber uma excessiva demanda de energia, visto que tais consumidores livres são, via de regra, grandes consumidores de energia (eletrointensivos).

A legislação, a princípio, estabeleceu algumas condições e limites mínimos de consumo e tensão para definir quais os consumidores que poderiam fazer a opção para a categoria de Consumidor Livre. Estes limites seriam reduzidos ao longo dos anos, de forma a permitir que, cada vez mais, um número maior de consumidores pudesse fazer a opção desse direito, até chegar o momento em que todos os consumidores, de todas as classes, pudessem escolher quem será seu fornecedor de energia elétrica. Atualmente, a demanda necessária para que os consumidores façam essa opção é de 3MW. A lei assegurou aos fornecedores e respectivos Consumidores Livres, acesso aos sistemas de distribuição e transmissão de concessionária e permissionária de serviço público, mediante ressarcimento dos encargos de uso da rede elétrica e dos custos de conexão.

5.2.3) O modelo de Concessões

A Lei das Concessões estabelece, dentre outras disposições, as condições que a concessionária deverá cumprir na prestação de serviços de energia elétrica, os direitos dos consumidores de energia elétrica, e as obrigações da concessionária e do Poder Concedente. Ademais, a concessionária deverá cumprir com o regulamento vigente do setor elétrico.

As empresas ou consórcios que desejam construir e/ou operar instalações para geração hidrelétrica com potência acima de 30 MW, transmissão ou distribuição de energia no Brasil devem participar de processos licitatórios. Empresas ou consórcios que desejem atuar em comercialização, geração hidrelétrica com potência superior a 1 MW e igual ou inferior a 30 MW ou geração térmica devem solicitar permissão ou autorização ao MME ou à ANEEL, conforme o caso. Concessões dão o direito de gerar, transmitir ou distribuir energia elétrica em determinada área de concessão por um período determinado. Esse período é limitado a 35 anos para novas concessões de geração e 30 anos para novas

concessões de transmissão ou distribuição. Concessões existentes poderão ser renovadas a exclusivo critério do Poder Concedente, ainda que a respectiva concessionária tenha cumprido com todas as suas obrigações nos termos dos Contratos de Concessão e solicitada a prorrogação dentro do prazo estabelecido. Assim, não há garantia de que as concessões atualmente outorgadas às respectivas concessionárias, inclusive a Companhia, serão prorrogadas pelo Poder Concedente.

As principais disposições da Lei de Concessões estão descritas de forma resumida, abaixo.

- **Serviço adequado.** A concessionária deve prestar serviço adequado a fim de satisfazer parâmetros de regularidade, continuidade, eficiência, segurança e acesso ao serviço.
- **Servidões.** O Poder Concedente pode declarar os bens necessários à execução de serviço ou obra pública de necessidade ou utilidade pública para fins de instituição de servidão administrativa ou de desapropriação, em benefício de uma concessionária. Neste caso, a responsabilidade pelas indenizações cabíveis é da concessionária ou do Poder Concedente.
- **Responsabilidade Objetiva.** A concessionária é a responsável direta por todos os danos que sejam resultantes da prestação de seus serviços, independentemente de sua culpa.
- **Mudanças no controle societário.** O Poder Concedente deverá aprovar qualquer mudança direta ou indireta no controle societário da concessionária.
- **Intervenção do Poder Concedente.** O Poder Concedente poderá intervir na concessão com o fim de assegurar a adequação na prestação do serviço, bem como o fiel

cumprimento das condições contratuais, obrigações regulamentares e legais pertinentes, caso a concessionária falhe com suas obrigações. No prazo de 30 dias contado da intervenção, um representante do Poder Concedente deverá iniciar um procedimento administrativo no qual é assegurado à concessionária o direito de contestar a intervenção. Durante o prazo do procedimento administrativo, um interventor indicado por decreto do Poder Concedente ficará responsável pela prestação dos serviços objeto da concessão. Caso o procedimento administrativo não seja concluído em 180 dias após a entrada em vigor do decreto, cessa a intervenção e a concessão retorna à concessionária. A administração da concessão também retornará à concessionária caso o interventor decida pela não extinção da concessão e o seu termo contratual ainda não tenha expirado.

- **Extinção antes do Termo Contratual.** A extinção do contrato de concessão poderá ser determinada por meio de encampação e/ou caducidade. Encampação é a retomada do serviço pelo Poder Concedente durante o prazo da concessão, por razões relativas ao interesse público, as quais deverão ser expressamente declaradas por lei autorizativa específica. A caducidade deverá ser declarada pelo Poder Concedente após a ANEEL ou o MME terem expedido um ato normativo indicando: (i) a falha da concessionária em cumprir adequadamente com suas obrigações estipuladas no contrato de concessão; (ii) que a concessionária não tem mais a capacidade técnica, financeira ou econômica de prestar o serviço de forma adequada; ou (iii) que a concessionária não cumpriu as penalidades eventualmente impostas pelo Poder Concedente. A concessionária tem o direito à ampla defesa no procedimento administrativo que declarar a caducidade da concessão e poderá recorrer judicialmente contra tal ato. A concessionária tem o direito de ser indenizada pelos investimentos realizados nos bens reversíveis que não tenham sido completamente amortizados ou depreciados. Nos casos de caducidade, deverão ser descontados da indenização os valores das multas contratuais e dos danos por ela causados.

- **Termo contratual.** Quando do advento do termo contratual, todos os bens, direitos e privilégios transferidos à concessionária que sejam materialmente relativos à prestação dos serviços de energia elétrica, serão revertidos ao Poder Concedente. Após o advento do termo contratual, a concessionária tem o direito de ser indenizada pelos investimentos realizados em bens reversíveis que não tenham sido completamente amortizados ou depreciados.

- **Penalidades.** A regulamentação da ANEEL prevê a aplicação de sanções e penalidades aos agentes do setor elétrico e classifica as penalidades com base na natureza e na relevância da violação (incluindo advertências, multas, suspensão temporária do direito de participar em processos de licitação para novas concessões, licenças, autorizações e caducidade). Para cada violação, as multas podem atingir até 2,0% do faturamento da concessionária (deduzido o ICMS), no período de 12 meses imediatamente anterior à notificação de aplicação da sanção. Algumas das infrações que podem resultar em aplicação de multas referem-se à ausência de requerimento, pelo agente, de aprovação da ANEEL, relativos a: (i) celebração de contratos entre partes relacionadas nos casos previstos na regulamentação; (ii) venda ou cessão de bens relacionados aos serviços

prestados, bem como a imposição de quaisquer gravames (incluindo qualquer espécie de garantia, caução, fiança, penhor ou hipoteca) sobre a receita dos serviços de energia; ou (iii) alterações no controle do detentor da autorização, permissão ou concessão. No caso de contratos firmados entre partes relacionadas, a agência pode impor, a qualquer tempo, restrições aos seus termos e condições e, em circunstâncias extremas, determinar sua rescisão.

Em agosto de 1997, foi criado o CNPE para prestar assessoria ao Presidente da República no tocante ao desenvolvimento e criação da política nacional de energia. O CNPE é presidido pelo Ministro de Minas e Energia, sendo a maioria de seus membros ministros do Governo Federal. O CNPE foi criado com a finalidade de otimizar a utilização dos recursos energéticos do Brasil e assegurar o fornecimento de energia elétrica ao País.

5.2.4) Ministério de Minas e Energia – MME

O MME é o principal órgão do setor energético brasileiro, atuando como Poder Concedente em nome do Governo Federal e tendo como sua principal atribuição o estabelecimento das políticas, diretrizes e da regulamentação do setor. Com a promulgação da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico, o Governo Federal, atuando principalmente por intermédio do MME, assumiu certas atribuições anteriormente de responsabilidade da ANEEL incluindo a elaboração de diretrizes que regem a outorga de concessões e a expedição de normas que regem o processo licitatório para concessões de serviços públicos e instalações de energia elétrica. Entretanto, por meio de Decreto Presidencial, o exercício efetivo de tais atribuições foi delegado à ANEEL.

5.2.5) Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL

Respeitada a competência do MME, o setor elétrico brasileiro é regulado também pela ANEEL, autarquia federal autônoma. Com a promulgação da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico, a principal responsabilidade da ANEEL passou a ser regular e fiscalizar o setor elétrico segundo a política determinada pelo MME e com as atribuições a ela delegadas pelo Governo Federal, por meio do MME.

As atuais responsabilidades da ANEEL incluem, entre outras:

- (i) fiscalização de concessões para atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, inclusive aprovação de tarifas de energia elétrica
- (ii) promulgação de regulamentação para o setor elétrico;
- (iii) implementação e regulamentação da exploração das fontes de energia, incluindo a utilização de energia hidrelétrica;
- (iv) promoção do processo licitatório para novas concessões; (v) solução de litígios administrativos entre entidades geradoras e comprador geradoras e compradoras de energia elétrica (vi) definição dos critérios e metodologia para determinação das tarifas de distribuição e transmissão; e
- (v) supervisionar a prestação de serviços pelas concessionárias e impor multas aplicáveis

5.2.6) Operador Nacional do Sistema-ONS

O ONS foi criado em 1998. O ONS é uma pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, formada pelos Consumidores Livres e empresas que se dedicam à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, além de outros agentes privados, tais como importadores e exportadores. A lei do Novo Modelo do Setor Elétrico conferiu ao Governo Federal poderes para indicar 3 membros da Diretoria do ONS. O principal papel do ONS é coordenar e controlar as operações de geração e transmissão no SIN, de acordo com a regulamentação e supervisão da ANEEL. Os objetivos e principais responsabilidades do ONS incluem:

- (i) planejamento da operação da geração e transmissão;
- (ii) a organização e controle da utilização do SIN e interconexões internacionais;
- (iii) a garantia rede de transmissão de maneira não discriminatória a todos os agentes do setor;
- (iv) o fornecimento de subsídios para o planejamento da expansão do sistema elétrico;
- (v) a apresentação ao MME de propostas de ampliações da Rede Básica (proposta planejamento a expansão do sistema de transmissão); e (vi) a proposição de normas para operação do sistema de transmissão para posterior aprovação pela ANEEL, e a elaboração de um programa de despacho otimizado com base na disponibilidade declarada pelos agentes geradores.

5.2.7) Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE

Em 2004, o Governo Federal editou decreto estabelecendo a regulamentação aplicável à CCEE que, a partir de 10 de novembro de 2004, sucedeu o MAE, absorvendo todas as suas atividades, ativos e passivos.

A CCEE foi criada por força da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico, sob a forma de pessoa jurídica de direito privado e sob a regulação e fiscalização da ANEEL. A finalidade da CCEE é viabilizar a comercialização de energia elétrica no SIN, promovendo, desde que delegado pela ANEEL, os leilões de compra e venda de energia elétrica. A CCEE será responsável: (i) pelo registro de todos os Contratos de Compra de Energia no Ambiente Regulado – CCEAR e os contratos resultantes dos leilões de ajustes, bem como dos montantes de potência e energia dos contratos celebrados no Ambiente de Contratação Livre – ACL; e (ii) pela contabilização e liquidação dos montantes de energia elétrica comercializados no mercado, dentre outras atribuições.

A CCEE é integrada pelos concessionários, permissionários e autorizados de serviços de energia elétrica e pelos Consumidores Livres e o seu conselho de administração será composto de 5 membros, sendo 4 indicados pelos referidos agentes e um pelo MME, que ocupa o cargo de presidente.

Em 26 de outubro de 2004, por meio da Resolução Normativa nº 109, a ANEEL instituiu a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica, que estabelece a estrutura e a forma de funcionamento da

CCEE, dispondo, entre outros assuntos, sobre as obrigações e direitos dos agentes da CCEE, a forma de solução dos conflitos, as condições de comercialização de energia elétrica no ambiente regulado e no ambiente livre e o processo de contabilização e liquidação financeira das operações realizadas no mercado de curto prazo.

5.2.8) Empresa de Pesquisa Energética – EPE

Em 16 de agosto de 2004, o Governo Federal promulgou um decreto que criou a EPE e aprovou o seu Estatuto Social. A EPE é uma empresa pública federal, cuja criação foi autorizada por lei, sendo responsável pela condução de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, incluindo as indústrias de energia elétrica, petróleo, gás natural e seus derivados (carvão mineral, fontes energéticas renováveis, dentre outros), bem como na área de eficiência energética. Os estudos e pesquisas desenvolvidos pela EPE subsidiam a formulação, o planejamento e a implementação de ações do MME no âmbito da política energética nacional.

5.2.9) Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE

Em agosto de 2004, o Governo Federal promulgou o decreto que cria o CMSE, que é presidido e coordenado pelo MME e composto por representantes da ANEEL, da Agência Nacional do Petróleo, da CCEE, da EPE e do ONS. As principais atribuições do CMSE consistem em: (i) acompanhar as atividades do setor energético; (ii) avaliar as condições de abastecimento e atendimento ao mercado de energia elétrica; e (iii) elaborar propostas de ações preventivas ou saneadoras visando a manutenção ou restauração da segurança no abastecimento e no atendimento eletroenergético, encaminhando-as ao CNPE.

5.3) O Novo modelo do Setor elétrico

5.3.1) Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico

Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico promoveu alterações significativas na regulamentação do setor elétrico com vistas a (i) proporcionar incentivos a empresas privadas e públicas para construção e manutenção da capacidade de geração; e (ii) assegurar o fornecimento de energia elétrica no Brasil com tarifas adequadas, por meio de processos licitatórios. As principais modificações introduzidas pela Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico incluem:

- (a) a criação de 2 ambientes paralelos para a comercialização de energia, sendo (i) um mercado de venda de energia elétrica para distribuidores, de forma a garantir o fornecimento de energia elétrica para consumidores cativos, chamado de Ambiente de Contratação Regulada; e (ii) um mercado especificamente voltado a atividades não reguladas, do qual podem participar os geradores, Consumidores Livres, PIE e agentes comercializadores e que permitirá um certo grau de competição em relação ao Ambiente de Contratação Regulada, qual seja, o Ambiente de Contratação Livre;
- (b) obrigatoriedade, por parte das empresas de distribuição, de adquirir energia suficiente para satisfazer 100% (cem por cento) da sua demanda;
- (c) em restrições a determinadas atividades das distribuidoras, que incluir a proibição de venda de eletricidade aos Consumidores Livres a preços não regulamentados e de desenvolver atividades de geração e transmissão de energia elétrica.;Existência de Garantia Física de lastro de geração para toda energia comercializada em contratos,
- (d) Proibição das distribuidoras venderem energia a Consumidores Livres a preços não regulamentados e desenvolver atividades de geração ou transmissão de energia elétrica;
- (e) Eliminação da auto-contratação (self-dealing), de forma a proporcionar um incentivo a que as distribuidoras comprem energia aos mais baixos preços disponíveis; e:
- (f) respeito aos contratos firmados anteriormente à vigência da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico.

A Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico determina que as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica que atuem no SIN, não poderão desenvolver atividades: (i) de geração de energia (exceto

Geração Distribuída); (ii) de transmissão de energia; (iii) de venda de energia a Consumidores Livres situados fora de sua área de concessão; (iv) de participação em outras sociedades, direta ou indiretamente, ressalvado quando para captação, aplicação e gerência de recursos financeiros necessários à prestação do serviço e quando disposto nos contratos de concessão; ou (v) estranhas ao objeto social, exceto nos casos previsto em lei e nos respectivos contratos de concessão. Tais restrições não se aplicam (i) ao fornecimento de energia a sistemas elétricos isolados; (ii) ao atendimento de seu próprio mercado desde que inferior a 500 GWh/ano; e (iii) na captação, aplicação ou empréstimo destinados à própria distribuidora ou à sociedade do mesmo grupo econômico, mediante prévia anuência da ANEEL.

Da mesma forma, as concessionárias e as autorizadas de geração ou transmissão que atuem no SIN não poderão ser coligadas ou controladoras de sociedades que desenvolvam atividades de distribuição de energia elétrica no SIN.

As concessionárias, permissionárias e autorizadas de distribuição, transmissão e de geração de energia elétrica tiveram que se adaptar às regras da referida desverticalização até setembro de 2005.

Esse prazo poderia ser prorrogado pela ANEEL, uma única vez, se efetivamente comprovada a impossibilidade do cumprimento das disposições decorrentes de fatores alheios à vontade das concessionárias, permissionárias e autorizadas.

5.3.2) O Ambiente de Contratação Regulada – ACR

No Ambiente de Contratação Regulada, as empresas de distribuição compram suas necessidades projetadas de energia para a distribuição a seus consumidores cativos, por meio de leilões regulados pela ANEEL e organizados pela CCEE. As compras de energia elétrica são feitas com as geradoras,

comercializadoras e importadores de energia elétrica (referidos em conjunto como “Agentes Vendedores”) por meio de 2 espécies de acordos bilaterais: (i) Contratos de Quantidade de Energia; e (ii) Contratos de Disponibilidade de Energia.

Nos termos de um Contrato de Quantidade de Energia, os Agentes Vendedores se comprometem a fornecer uma determinada quantidade de energia e assumem o risco no caso de o fornecimento ser afetado por condições hidrológicas e baixos níveis de reservatórios, ou das variações de preços dos combustíveis (geradores térmicos), e demais riscos inerentes à geração, sendo então responsáveis por quaisquer compras de energia no mercado de curto prazo que sejam necessárias para cumprir seus compromissos contratuais.

De outra forma, nos termos de um Contrato de Disponibilidade de Energia, a unidade geradora se compromete a disponibilizar uma determinada capacidade ao Ambiente de Contratação Regulada. Neste caso, a receita da geradora é garantida e os custos variáveis de despacho são assumidos pelas distribuidoras.

Nos termos da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico, a estimativa de demanda por parte das distribuidoras é o principal fator levado em conta quando da determinação da quantidade de energia que o sistema como um todo deverá contratar. De acordo com o modelo, as distribuidoras são obrigadas a contratar 100% de suas necessidades de

energia. A insuficiência de energia para suprir todo o mercado é verificada no processo de contabilização da CCEE e pode resultar em penalidades às distribuidoras.

As contratações entre as distribuidoras e empreendimentos de geração existentes poderão prever entrega da energia a partir do ano seguinte ao da respectiva licitação e terão prazos de duração de, no mínimo, 3 e, no máximo, 15 anos. As contratações entre as distribuidoras e novos empreendimentos de geração poderão prever entrega da energia a partir do 3º ou do 5º ano contado do ano da respectiva licitação e terão prazo de duração de, no mínimo, 15 e, no máximo, 35 anos.

As distribuidoras de energia têm o direito de repassar a seus consumidores os custos relacionados à energia adquirida por meio de leilões. Nesse repasse, determinados desvios de volumes para maior e para menor são admitidos em virtude da impossibilidade das distribuidoras de declararem montantes exatos e com antecedência em relação à sua demanda de energia elétrica para um determinado período.

As distribuidoras possuem diversos mecanismos para ajustar seu portfólio de contratos ao requisito de carga. As distribuidoras contam com leilões de ajuste e a possibilidade de compra de energia de pequenos geradores localizados dentro de sua área de concessão, podendo ainda ceder e adquirir contratos entre si. Além disso, no caso da saída de consumidores livres podem reduzir seus contratos junto aos geradores.

Com relação à outorga de novas concessões, os regulamentos exigem que as licitações para novas instalações de geração hidrelétrica indiquem, entre outras coisas, a porcentagem mínima de energia elétrica a ser fornecida ao ACR.

Redução Compulsória no Consumo

A Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico estabelece que, em uma situação na qual o Governo Federal venha a decretar a redução compulsória do consumo de energia em determinada região, todos os Contratos de Quantidade de Energia no Ambiente de Contratação Regulada, registrados pela CCEE, deverão ter seus respectivos volumes reajustados na mesma proporção da redução do consumo.

5.3.3) O Ambiente de Contratação Livre – ACL

No Ambiente de Contratação Livre é realizada a compra e venda de energia entre concessionárias de geração, PIE, Autoprodutores, comercializadoras de energia elétrica, importadores de energia e Consumidores Livres.

O mercado livre compreende atualmente cerca de 25% da carga do país. Seus contratos são livremente negociados, as negociações podem ser simplesmente bilaterais, licitações privadas, ou através de leilões privados promovidos tanto por ofertantes (geradores ou comercializadoras), quanto demandantes (consumidores livres e comercializadoras). Os contratos são negociados com diversos prazos de fornecimento, de curto, médio e longo prazos, com distintas condições de entrega, desde o fornecimento contínuo ao fornecimento com montantes variáveis ao longo do ano e ainda flexíveis para um determinado mês, de maneira que os contratos estão permanentemente refletindo características do consumo, assim como as restrições físicas e econômicas dos fornecedores. Os preços bilaterais refletem tanto as condições conjunturais como estruturais, sendo bastante relacionados às expectativas de preços spot e às condições de suprimento futuro.

5.3.4) Eliminação da Auto-Contratação (Self-Dealing)

Tendo em vista que a compra de energia elétrica para distribuição a consumidores cativos é efetuada no ACR, a autorização para as distribuidoras comprarem até 30% de suas necessidades de energia elétrica contratando energia elétrica adquirida de partes relacionadas não é mais permitida (self-dealing), exceto no contexto de contratos devidamente aprovados pela ANEEL anteriormente à promulgação da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico. As distribuidoras podem, no entanto, comprar energia elétrica de partes relacionadas, quando participarem dos processos licitatórios para compra de energia elétrica no ACR e a geradora vencedora da licitação for uma parte relacionada da distribuidora.

5.4) Regras Específicas do Ambiente de Contratação Regulada – ACR

As regras sobre a comercialização de energia elétrica no ACR requerem que as distribuidoras atendam à totalidade de seu mercado, principalmente por meio dos leilões de compra de energia.

Cabe ao MME a definição do montante total de energia a ser contratado no ACR e a relação de empreendimentos de geração aptos a integrar os leilões a cada ano.

Em linhas gerais, a partir de 2005, todo agente de distribuição, gerador, comercializador, autoprodutor ou Consumidor Livre deve declarar ao MME, até 1º de agosto de cada ano, sua previsão de mercado ou carga, para cada um dos 5 anos subsequentes. Cada agente de distribuição deve declarar, até sessenta dias antes de cada leilão de energia proveniente de empreendimentos existentes ou de energia proveniente de novos empreendimentos, os montantes de energia que deve contratar nos leilões.

Além disto, as distribuidoras devem especificar a parcela de contratação que pretendem dedicar ao atendimento a consumidores potencialmente livres, quais sejam, aqueles que apresentam os requisitos para se tornarem consumidores livres, mas ainda não exerceram essa opção.

Os leilões de compra, pelas distribuidoras, de energia proveniente de novos empreendimentos de geração têm ocorrido:

- (i) 5 anos antes do início da entrega da energia (denominados leilões “A-5”); e
- (ii) 3 anos antes do início da entrega (denominados leilões “A-3”).
- (iii) Haverá, ainda, leilões de compra de energia provenientes de empreendimentos de geração existentes realizados no ano anterior ao de início da entrega da energia (leilões “A-1”)
- (iv) e para ajustes de mercado, com início de entrega em até 4 meses posteriores ao respectivo leilão. Os editais dos leilões são elaborados pela ANEEL, com observância das diretrizes estabelecidas pelo MME, especialmente no que diz respeito à utilização do critério de menor tarifa no julgamento.

Os vencedores de cada leilão de energia realizado no ACR devem firmar os CCEAR com cada distribuidora, em proporção às respectivas declarações de necessidade das distribuidoras. A única exceção a esta regra se refere ao leilão de ajuste, no qual os contratos são específicos entre agente vendedor e agente de distribuição interessado.

Os CCEAR provenientes dos leilões “A-5” ou “A-3” terão prazo de 15 a 30 anos, enquanto que os CCEAR provenientes dos leilões “A-1” terão prazo de 5 a 15 anos.

Os contratos provenientes do leilão de ajuste terão prazo máximo de 2 anos. Para os CCEAR decorrentes de leilões de energia proveniente de empreendimentos de geração existentes, há 3 possibilidades de redução das quantidades contratadas, quais sejam:

- (i) compensação pela saída de consumidores potencialmente, livres do Ambiente de Contratação Regulada;
- (ii) Redução, a critério da distribuidora, de até 4% ao ano do montante anual contratado para adaptar-se aos desvios do mercado face às projeções de demanda, a partir do segundo ano subsequente ao da declaração que deu origem à respectiva compra; e
- (iii) adaptação às variações de montantes de energia estipuladas nos contratos de geração firmados antes de 17 de março de 2004, desde que previstas anteriormente a tal data ou relativas a ampliações de PCHs.

No que se refere ao repasse dos custos de aquisição de energia elétrica dos leilões às tarifas dos consumidores finais, foi criado o valor de referência anual (“Valor de Referência Anual”), que é uma média ponderada dos custos de aquisição de energia elétrica decorrentes dos leilões “A-5” e “A-3”, calculado para o conjunto de todas as distribuidoras, o qual será o limite máximo para repasse dos custos de aquisição de energia proveniente de empreendimentos existentes nos leilões de ajuste e para a contratação de geração distribuída.

O Valor de Referência Anual é um estímulo para que as distribuidoras façam a aquisição das suas necessidades de energia elétrica nos leilões “A-5”, cujo custo de aquisição é, teoricamente, inferior ao da energia contratada nos leilões “A-3” e o Valor de Referência Anual é aplicado como limite de repasse às tarifas dos consumidores nos 3 primeiros anos de vigência dos contratos de energia provenientes de novos empreendimentos. A partir do quarto ano, os custos individuais de aquisição são repassados integralmente. Há de se ressaltar a existência das seguintes limitações ao repasse dos custos de aquisição de energia pelas distribuidoras:

- impossibilidade de repasse dos custos referentes à contratação de energia elétrica correspondente a mais de 103% de sua demanda real, com o objetivo de incentivar as distribuidoras a sobre-contratarem e, admitindo o nível de incerteza na previsão de suas necessidades, o MME estabeleceu que as distribuidoras terão o direito de repassar integralmente a seus respectivos consumidores os custos relacionados à energia elétrica por elas adquirida, inclusive a um nível de sobre-contratação de até 103%;
- quando a contratação ocorrer em um leilão “A-3” e a contratação exceder em 2% a demanda, o direito de repasse deste excedente estará limitado ao menor dentre os custos de contratação relativos aos leilões “A-5” e “A-3”;
- Caso a aquisição de energia proveniente de empreendimento existente seja menor que o limite inferior de contratação – correspondente a 96% da quantidade de energia elétrica dos contratos que se extinguem no ano dos

leilões, subtraídas eventuais reduções, o repasse do custo de aquisição de energia proveniente de novos empreendimentos correspondente a esse valor não contratado será limitado por um redutor;

- No período compreendido entre 2005 e 2008, a contratação de energia proveniente de empreendimentos existentes nos leilões “A-1” não poderá exceder a 1% da demanda das distribuidoras, observado que o repasse do custo referente à parcela que exceder este limite estará limitado a 70% do valor médio do custo de aquisição de energia elétrica proveniente de empreendimentos existentes para entrega a partir de 2005 até 2008;

O MME definirá o preço máximo de aquisição de energia elétrica proveniente de empreendimentos existentes;

Caso as distribuidoras não atendam a obrigação de contratar a totalidade da sua necessidade no ano civil, a energia elétrica adquirida no mercado de curto prazo será repassada aos consumidores ao menor valor entre o PLD (Preço de Liquidação de Diferenças) e o Valor de Referência Anual, sem prejuízo da aplicação de penalidades. Outra opção de gerenciar os riscos de desvios de mercado é o Mecanismo de Sobras e Déficits (MCSD) no qual as distribuidoras podem trocar contratos a preço de custo. Neste mecanismo as distribuidoras deficitárias poderão absorver: (i) CCEAR de energia existente associados prioritariamente a redução de CCEAR por distribuidoras que tiverem saída de consumidores para o mercado livre; (ii) redução de CCEAR por distribuidoras que tiverem novos contratos bilaterais iniciando, desde que firmados antes da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico ou relativos à ampliação de PCHs; e (iii) redução de CCEAR por distribuidoras que apresentaram variação de mercado acima do previsto. Também está previsto a modalidade de MCSD após o final do ano, momento em que as distribuidoras deficitárias cederiam contratos, a preço de custo, àquelas que estejam com déficit, sem causar perdas para as cedentes.

5.5) Atual regulação para introdução da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira.

Dentre os avanços regulatórios no sentido da introdução da energia solar na Matriz energética brasileira temos

- 1) Portaria n 17 de 17 de Junho de 2011 – Que cria grupo de trabalho para o desenvolvimento da energia fotovoltaica para geração distribuída e avaliar possíveis adequações do marco legal e regulatório, políticas e planos que visem inserir a energia fotovoltaica no plano energético nacional
- 2) MICT- ASCOF- Acessoria de Coordenação de Fundos Setoriais- Cria estudo sobre desenvolvimento de competências em geração distribuída com sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica de baixa tensão
- 3) Audiência 015/ 2011 – Obter subsídios para aprovação da resolução Normativa que aprimora a forma de aplicação da TUSDg estabelece metodologia de cálculo da TUSDg para centrais geradoras que participem do ACR e altera regime de transição estabelecida da resolução 402.
- 4) Audiência 020/2011- Proposta de resolução normativa que estabelece procedimento de fornecimento de energia por meio de sistemas coletivos ou individuais de geração em comunidades ou povoados isolados

- 5) Audiência 042/ 2011 – Obter contribuições à minuta de Resolução Normativa que busca reduzir as barreiras para a instalação de micro e minigeração distribuída incentivada e alterar o desconto na TUSD e TUST para usinas com fonte solar
- 6) Resolução 482 ANEEL- Estabelece redução da TUSD e TUST para empreendimentos fotovoltaicos abaixo de 30MW em 50%, e também para microgeração e minigeração
- 7) **PORTARIA INMETRO / MDIC No. 004**, publicada no D.O.U de 05 de Janeiro de 2011 Revisão dos Requisitos de Avaliação da conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica.

Na tabela abaixo vemos a classificação do IMMETRO para energias fotovoltaicas

Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - **Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS** - Edição 03/12

Nº Modelos 217

Nº Marcas: 31

02/03/12

CLASSES	ÍNDICE MÓDULO		SILÍCIO CRISTALINO		FILMES FINOS		EE
	SILÍCIO CRISTALINO (MONO-SI / MULTI-SI)	FILMES FINOS	TOTAL	%	TOTAL	%	
A	EE >13,5	EE > 9,5	111	52,9	0	0,0	Mais eficiente
B	13,5 >= EE > 13,0	9,5 >= EE > 7,5	26	12,4	2	28,6	
C	13,0 >= EE > 12,0	7,5 >= EE > 6,5	35	16,7	1	14,3	
D	12,0 >= EE > 11,0	6,5 >= EE > 5,5	10	4,8	4	57,1	
E	EE < 11,0	EE < 5,5	28	13,3	0	0,0	Menos eficiente
			210	100,0	7	100,0	

Tabela 14- Classificação de painéis de módulo fotovoltaico

Fonte: IMMETRO, “Tabelas de Consumo / Eficiência Energéticas- Componentes Fotovoltaicos” – Módulos, Ed. 03/12, 2012, p10.

8) **ABNT CE – 03:082.01 – Sistemas de Conversão Fotovoltaica de Energia Solar**

PN 03:082.01-001 – Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da Conexão à Rede Elétrica

O objetivo desta norma é estabelecer **requisitos elétricos do inversor** para a interconexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica de distribuição.

PN 03:082.01-002 – Procedimento de Ensaio de Anti-Ilhamento para Inversores de SFCR

O objetivo desta norma é fornecer um procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento utilizadas em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR).

PN 03:082.01-003 – PROCEDIMENTO DE ENSAIO DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA INSTALAÇÃO da CE-03:64.01.010 (01/03/2012)

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO FOTOVOLTAICA

Início dos trabalhos de elaboração do projeto 03:064.01-010 de INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO FOTOVOLTAICOS, baseado na IEC

60364-7-712 – ELECTRICAL INSTALLATIONS OF SOLAR PHOTOVOLTAIC (PV) POWER SUPPLY SYSTEMS.

- 9) Portaria MME no 234, de 9 de julho de 2013 – INCISO III- Estabelece o Leilão em 13 de Dezembro de 2013 na modalidade por disponibilidade, com prazo de suprimento até 31 de dezembro de 2037, diferenciados por fontes, para empreendimentos de geração a partir de fonte eólica e solar. Conforme portaria anterior 343 (**Redação dada pela Portaria MME no 343, de 3 de outubro de 2013**)

Aqui cabe que este segundo opinião do autor é o primeiro grande passo para introdução da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira que é a geração de demanda pelo governo porém é com grande pesar que ainda neste leilão a energia solar compita com outras energias neste caso a eólica e a fixação do Valor de referencia VR em R\$ 129/ MWh como teto torna a competitividade de plantas solares muito difícil. Uma vez que a maioria das empresas que vem estudando o setor fala em custo e break even para viabilidade de uma usina solar em 250 R\$/Wh. Segundo fontes do grupo de energia fotovoltaica da ABINEE.

De qualquer forma foram cadastrados para o Leilão da ANEEL os seguintes empreendimentos totalizando as quantidades de energia apontadas abaixo

2º Leilão de Energia A-5 / 2013 – resumo do cadastramento (por fonte):
FONTE PROJETOS OFERTA (MW)

FONTE	PROJETOS	OFERTA (MW)
Eólica	670	16.420
Solar Fotovoltaica	152	3.601
Solar Heliotérmica	10	290
Hidrelétricas	11	2.018
Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs	40	647
Termelétricas a Biogás	2	38
Termelétricas a Biomassa	22	1.147
Termelétricas a Carvão	6	3.340
Termelétricas a Gás Natural	16	7.566
TOTAL	929	35.067

Tabela 15- Empreendimentos cadastrados para 2º Leilão de energia nova para 13 de Dezembro de 2013
Fonte: Aneel, 2º Leilão de Energia A-5/2013 – projetos cadastrados, Disponível em <
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>> Acesso em 18/10/2013

VI-Atuais Barreiras para a Introdução da energia fotovoltaica no Brasil

6.1) Barreiras tecnológicas

Segundo nossa visão e no que discursamos até aqui vemos que dentre as principais barreiras tecnológicas existente hoje podemos listar:

- a) Tecnologias de silício monocristalino com eficiências em nível comercial acima de 24% ainda é raro
- b) As tecnologias de Multijunction que alcançam 42% ainda não tem possível comercialização ainda sendo muito caras
- c) Para as tecnologias de silício cristalino multijunction ainda temos barreiras quanto a temperatura
- d) As promessas de tecnologias mais baratas como as tecnologias emergentes orgânicas ainda tem um longo caminho de maturação e desenvolvimento científico devido a baixa eficiência em torno de 8%
- e) Tecnologias de filmes finos ainda tem eficiência menor que células poli ou monocristalinas, porém tem vantagens em relação ao calor e podem se mostrar uma solução barata para geração distribuída de pequena escala e baixa tensão.
- f) O desenvolvimento tecnológico passa pelo incentivo e ressuscitação da indústria eletro eletrônica no Brasil com desenvolvimento e purificação do Silício. Grandes passos foram dados em relação aos trabalhos das universidades como a PUC-RS, como os trabalhos de purificação do silício do Dr Adriano Moehlecke e Dra Izete Zanesco, bem como os trabalhos do IEE-USP do Professor Doutro Zilles, Bem como os trabalhos de obtenção de painéis solares curvos de alta eficiência do Professor Dr Ricardo Ruther da UFSC, porém a obtenção e construção de células de semicondutores com tecnologia de quartzo brasileiro esta muito longe de acontecer. Sendo necessário o desenvolvimento de todo equipamento e manufatura que possa fazer isto a um custo competitivo e com eficiência.

6.2) Barreiras Regulatórias

Ao ver deste autor dentre os principais barreiras do aspecto regulatório temos:

- a) Leilões de energia nova com introdução de forma competitiva da energia fotovoltaica. Hoje os leilões estão iniciando e o primeiro leilão será em 13 de Dezembro de 2013 gerando uma demanda inicial para energia fotovoltaica porém ainda sem muitos incentivos de forma competitiva. São necessários mais leilões com participação da energia fotovoltaica para esta se consolidar.
- b) Hoje somente existe leilões de energia nova nacionalmente. Seriam necessários Leilões regionais e não nacionais de energia nova. Por exemplo leilões para o Nordeste de energia fotovoltaica e eólica beneficiaria em muito o desenvolvimento de energia limpa para o Nordeste sendo lá uma das energias finais mais caras.
- c) Inexistência de regulação com estabelecimento de leilões por fonte de energia. Hoje. Leilões de energia nova por tipo de fonte possibilitariam uma

maior possibilidade de concorrência da energia fotovoltaica, uma vez que no primeiro leilão a energia fotovoltaica terá de concorrer com a energia eólica ainda mais competitiva.

- d) Existência de poucos incentivos regulatórios para energia fotovoltaica. Hoje apenas a geração Distribuída possui redução da TUSD e TUST para empreendimentos abaixo de 30MWh. Existe muita desconfiança do governo ainda se a energia fotovoltaica é barata esquecendo-se que o Brasil é um país de grande irradiação Solar.
- e) Inexistência de políticas para redução de tarifas na energia para consumo de energia alternativa como existem na Europa.

6.3) Barreiras econômicas

- a) Ainda a Energia fotovoltaica é cara em média o CAPEX para produção de 1MWh gira em torno de 2 a 3 Milhões de Dólares, a valores de venda de energia em torno de 110 R\$/MWh ou seja em torno de U\$ 62 /MWh temos que os projetos financeiramente resultariam em TIRs abaixo de 8%
- b) Inexistência de uma cadeia de valor nacional para fabricação e montagem de células e painéis. Inexistência de benefícios fiscais para instalação de indústrias no Brasil ou estabelecimento de projetos a taxas internas de retorno atrativas
- c) Mão de obra e educação no Setor desqualificada para desenvolvimento de projetos , instalação ou fabricação de sistemas fotovoltaicos.
- d) Outra barreira que onera os sistemas seria a taxa de câmbio que dificulta a importação de painéis, inversores ou células fotovoltaicas.
- e) Inexistência de uma política industrial e investimentos para desenvolvimento de purificação do silício por parte do governo brasileiro.

VII- Conclusões para uma Proposta da Introdução da Energia Fotovoltaica na Matriz Brasileira

Para que tenhamos uma possível proposta de introdução da energia fotovoltaica no Brasil para que seja atrativo empreendimentos fotovoltaicos para empresas estrangeiras e Brasileiras teríamos de ter as seguintes premissas ou condições

- A geração de incentivos governamentais para desenvolvimento de empreendimentos e da tecnologia no Brasil
- A geração de Demanda através de leilões de energia no Ambiente regulado o que poderá ocorrer neste final de ano dia 13 de Dezembro de 2013
- Redução de impostos de importação de módulos e inversores. Não é o momento de proteger uma indústria que não existe. Assim poderíamos ter CAPEXs menores o que poderia nos ajudar a alcançar a paridade do grid
- Uma política efetiva desenvolvimentista de fomento e introdução da energia Fotovoltaica no quesito Roof top com o já instalado net metering , mas também com isenção de impostos para esta modalidade de energia o que tornaria viável o consumo em roof top.
- O fato de uma maior irradiação nos ajuda a produzir mais energia porém a produção e investimento em painéis de maior eficiência e menor custo poderá viabilizar a introdução de empreendimentos de menor escala abaixo de 5MW
- A existência de leilões específicos de tecnologia solar para o Nordeste o que fomentaria a introdução da tecnologia nos estados onde a energia brasileira é mais cara.
- Desenvolvimento de pesquisa e montagem de fábricas de montagem de painéis e células com isenção de impostos ou em zona franca.
- Para termos empreendimentos viáveis de fazendas solares (ground mounted) temos de ter um custo de instalação (CAPEX) de U\$3,0 a 3,5 milhões por MWh

Ainda concluímos que:

No aspecto mercadológico

Se considerarmos os empreendimentos outorgados até o momento até ano de 2018 temos uma matriz energética total de 153,5GW com empreendimentos existentes para o ano de 2018 de capacidade instalada sendo que o total de fontes de energias renováveis que não a hidrelétrica é de 7,033 GW

Sendo que estão outorgados novos 2658275 KWh (2,66 GW) a serem instalados até 2018 ou 2,66GW. Isto implica um crescimento no Brasil até o momento de 37,7% na capacidade de geração por fonte alternativa ou renovável.

Mas considerando 8760 hs por ano teríamos para esta capacidade instalada 1344,66 TWh/ano total ou 672,33 Twh/ano para um fator de capacidade médio de 50% o que é um pouco mais alto para a demanda de 2016 de 616 Twh

Ou seja o planejamento do governo até o momento tende a atender a demanda de energia elétrica

Ainda quando falamos de empreendimentos fotovoltaicos temos hoje apenas a usina de Taua com sua expansão e outros pequenos produtores independentes totalizando 6,77 MW em 33 empreendimentos.

Comparando a capacidade instalada na Europa de 70GW incluindo geração distribuída e o crescimento em empreendimentos deste tipo no Brasil acreditamos pelos custos de instalação de 4,0US\$ milhão/MWh possível viabilizar a geração distribuída no Norte e nordeste.

No aspecto tecnológico

De todas tecnologias temos a dificuldades para evolução da energia limpa fotovoltaica no aspecto técnico principalmente a eficiência dos semicondutores que vem sendo batida pelas evoluções das células multijunction porém devido a banda de eletrovalência correspondente a certo comprimento de onda estar presente em apenas determinados tipos de materiais como terras raras torna o custo de obtenção deste matéria e produção das células muito caras ainda em comparação com o silício. Por um outro ponto de vista células pigmentadas ou de material orgânico de não tão difícil obtenção necessitam vencer a barreira da eficiência. Cabe também observar a evolução da tecnologia de silício amorfo que tem obtidos bons resultados como uma alternativa de menor custo.

Tanto no aspecto técnico das células multijunction com a evolução das novas tecnologias mesmo que ainda não acessíveis mostra que a geração solar fotovoltaica no futuro pelo desenvolvimento destas tecnologias será possível a um menor custo popularizando esta aplicação

No aspecto regulatório

O fato é que segundo todas experiências , principalmente na Europa é necessária a existência de um pacote de políticas para que seja assegurada o desenvolvimento de tecnologias renováveis. Desta forma seguem abaixo alguns modelos gerais ou políticas adotadas por cada país, Como:

- Uma abordagem estratégica global que coloca energias renováveis no contexto do total nacional do país com objetivos da para energias renováveis dentro do plano de política energética do país, centrado em tecnologias que podem mais facilmente satisfazer as necessidades políticas no curto e longo prazo dentro das condições naturais de cada país;
- A regulação transparente e estável da política de energias renováveis e desenvolvimento de apoio técnico e financeiro , proporcionando uma ambiente propício para o investimento em energias renováveis;
- Tarifas adequadas que incentivem o investimento nas tecnologias renováveis necessárias, mas podem ser ajustados em função da evolução tecnológica e progresso do desenvolvimento da tecnologia e redução de custos, de forma a recompensar aqueles que investem em energias renováveis
- O acesso prioritário a rede para aqueles que desenvolvam projetos de energias renováveis
- procedimentos administrativos simplificados e um quadro institucional

E no aspecto de custo benéfico verificamos que:

A energia fotovoltaica esta no caminho de alcançar a paridade de grid para empreendimentos brasileiros com a inclusão deste tipo de energia no leilão A-5 do ACR, porém ainda esta um pouco distante de competir com tecnologias como o custo da energia hidroelétrica , mas pode sim ser alternativa as térmicas e até empreendimentos eólicos

Portanto concluímos que:

Sem considerar taxas de juros (ou taxa de oportunidade) ou entrar em um cálculo mais preciso da taxa interna de retorno e do WACC que não é o objetivo deste trabalho. Teríamos um custo hipotético nivelado **de U\$0,693 / Kwh/ ano ou 1,52 R\$/ Kwh, ou seja ainda não conseguimos encontrar a paridade do grid para competir com atual custo da energia industrial, mas já se aproxima da paridade para energia residencial onde as maiores tarifas 0,7 a 0,8 R\$/Kwh**

Fazendo uma análise de sensibilidade com eficiências maiores em torno de 23% e sem mexermos no CAPEX teríamos LCOEs em torno de 0,5422 U\$/Kwh ou 1,1 R\$/Kwh o que tornaria empreendimentos solares competitivos em alguns casos no Norte e Nordeste

Para alcançarmos a paridade do grid seria necessário custos de CAPEX em torno de U\$ 3,0 Milhões com eficiências de tecnologia acima de 22% ai teríamos Custos competitivos de LCOE em torno de 0,377 U\$/Kwh ou R\$ 0,81 / Kwh para uma taxa de câmbio de 2,2 R\$/U\$

Porém ainda que hipoteticamente segundo premissas descritas nesta seção o custo de CAPEX de gira em torno de U\$ 4,3 Milhões cerca de 22% acima do custo Europeu devido principalmente a carga tributária, mas ainda assim se mostra competitivo a custos de CAPEX de certas usinas eólicas no Brasil com custos semelhantes em torno de U\$ 4,0 Milhões devido ao custo logístico.

Por fim esperamos que com os empreendimentos cadastrados para o próximo leilão A-5 sendo entre eles 152 empreendimentos fotovoltaicos totalizando 3600 MW possamos dar um passo definitivo no estabelecimento da introdução da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira.

APÊNDICE A

APECTOS TECNICOS ENERGIA FOTOVOLTAICA – O EFEITO FOTOVOLTÁICO.

A. Aspectos técnicos da energia fotovoltaica

A.1) Detalhes técnicos da Energia solar e especificamente da energia fotovoltaica

Hoje de acordo com medições bem conhecidas a potência solar que chega a terra fora da atmosfera da terra conhecida como Constante solar é de 1366 W/m², assim considerando que cada dia tem 86400 segundos e em média cada ano tem 365,2422 distância média do sol a terra em $(2/\pi) \times 10^7$ temos que o valor de energia solar que chega a terra em forma de irradiação nos diversos comprimentos de onda do espectro solar é de:

5,46 x 10¹⁵ TW (tera wats hora)

Ou seja podemos concluir que mundialmente sobre todas as formas de energia conforme gráfico 2 onde temos consumo em 2010 de 21400 TWh estamos utilizando 3,2 x 10⁻¹⁰ % da energia que chega ao planeta.

Obviamente como demonstrado em saudosas e prazerosas aulas do eloquente professor doutor Claudio Pacheco esta energia tem de passar por toda atmosfera onde sofre algumas perdas e dependendo do ponto onde estamos no planeta , conforme hora solar, Mês e dia do ano, ângulo de incidência, ângulo zenital , na prática estamos em pé deitados ou inclinados, para onde estamos virados esta energia chega com diferente intensidade daí a importância das medições solarimétricas, e do mapa solarimétrico Mundial e brasileiro

A.1.1) Distribuição irradiação solar geograficamente no mundo

Conceito de irradiação solar

A irradiação solar seria a unidade de densidade de energia solar que chega em um ponto de latitude e longitude definidas em determinado período de tempo

Em média temos que dos 1366 W/m² chegam a atmosfera em média 1000 w/m² . Também segundo dados da NASA um número genérico de irradiação diária no planeta seria de 6000W/m² se dividirmos isto pelas 24 hs do dia temos que genericamente recebemos ao nível do mar uma radiação de 250 w/m² por hora.

Posto isto para determinados pontos do planeta onde seria maior a irradiação definimos a medição através de satélites ou de medidores chamados piranômetros vide figura 7 abaixo



Figura 46- Pirânometro cedido pelo PECE –USP professor Cláudio Pacheco

Também podemos ver abaixo na figura 8 que 65% do valor da energia que cheda do sol ao nosso planeta é dissipada por perdas com reflexão de nas , reflexão na superfície terrestre de 3% , perdas por desvios e pela camada de ozônio de 7% chegando somente 65% a superfície terrestre.

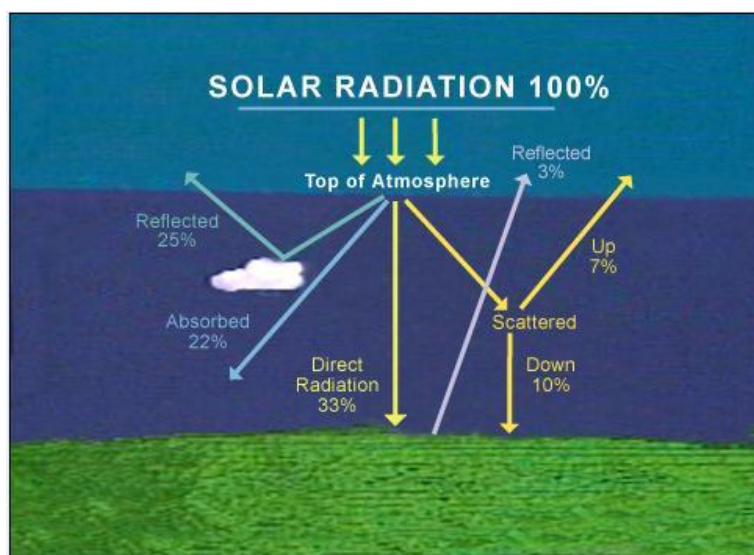


Figura 47- Dados obtidos do site <http://www.everredtronic.com/Solar.Download.html> consulta em 18/10/2013

Desta forma temos que no mundo em geral uma média anual de irradiação ocorre de acordo com a Figura 9 abaixo

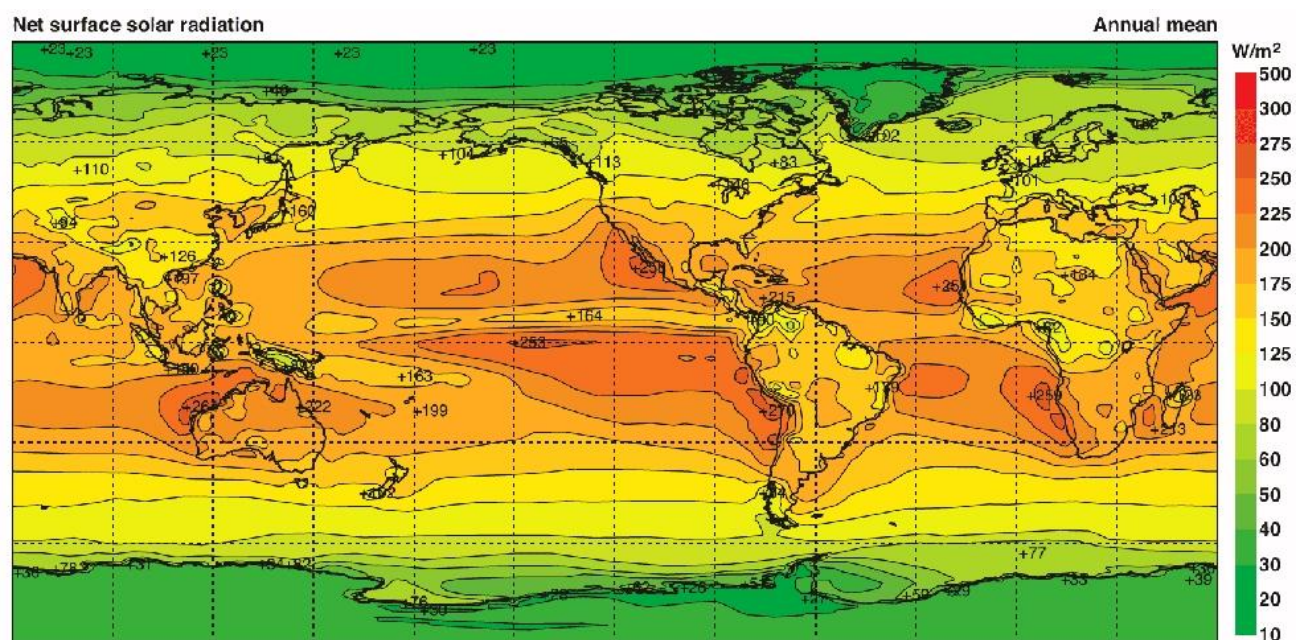


Figura 48 – Irradiação horária solar horizontal média anual em Wh/m² fonte <http://realneo.us/blog/serendipity/leading-the-world-in-solar-power>. Dados de 2011 . Consulta em 18/10/2013

A.1.2) Radiação solar no Brasil

Na irradiação solar no Brasil segundo últimos dados do solargis e NREL temos que para o Brasil a irradiação média direta fica conforme figura 10 abaixo

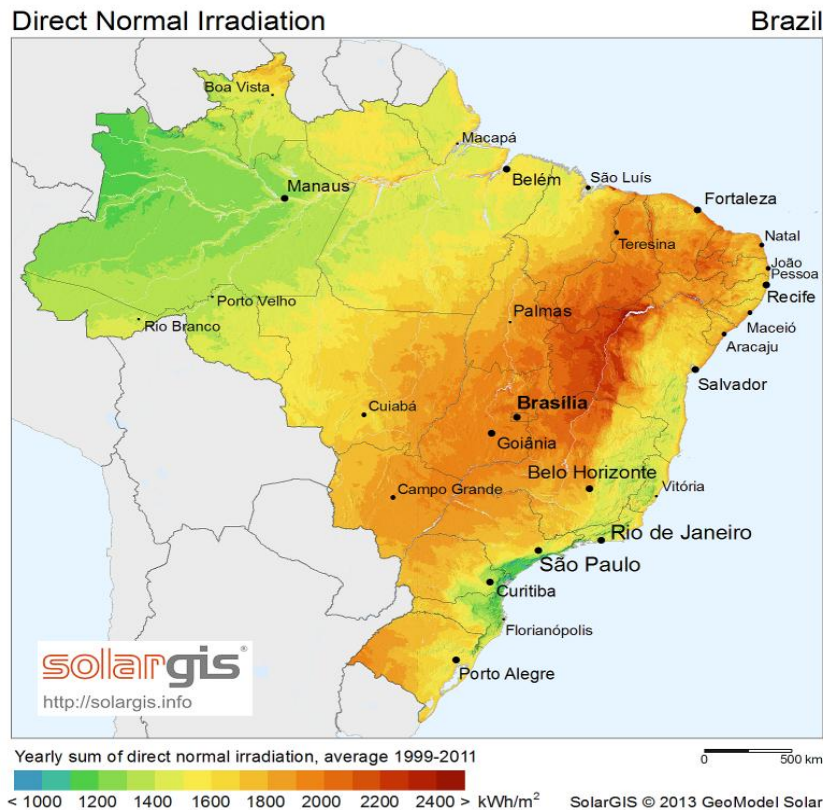


Figura 49 irradiação direta média de dados 1999-2011 em KWh/m² 2013- Fonte Solargis maps

No caso da irradiação Global, ou seja total do sol no Brasil utilizamos os dados do SWERA conforme abaixo na figura 11 considerando uma média anual em KWh/M²/dia ficando a maioria de nosso país com irradiação entre 5,57 a 6,10 KWh/m²/dia na Alemanha o valor máximo de irradiação total seria de 3,4 KWh/m²/dia

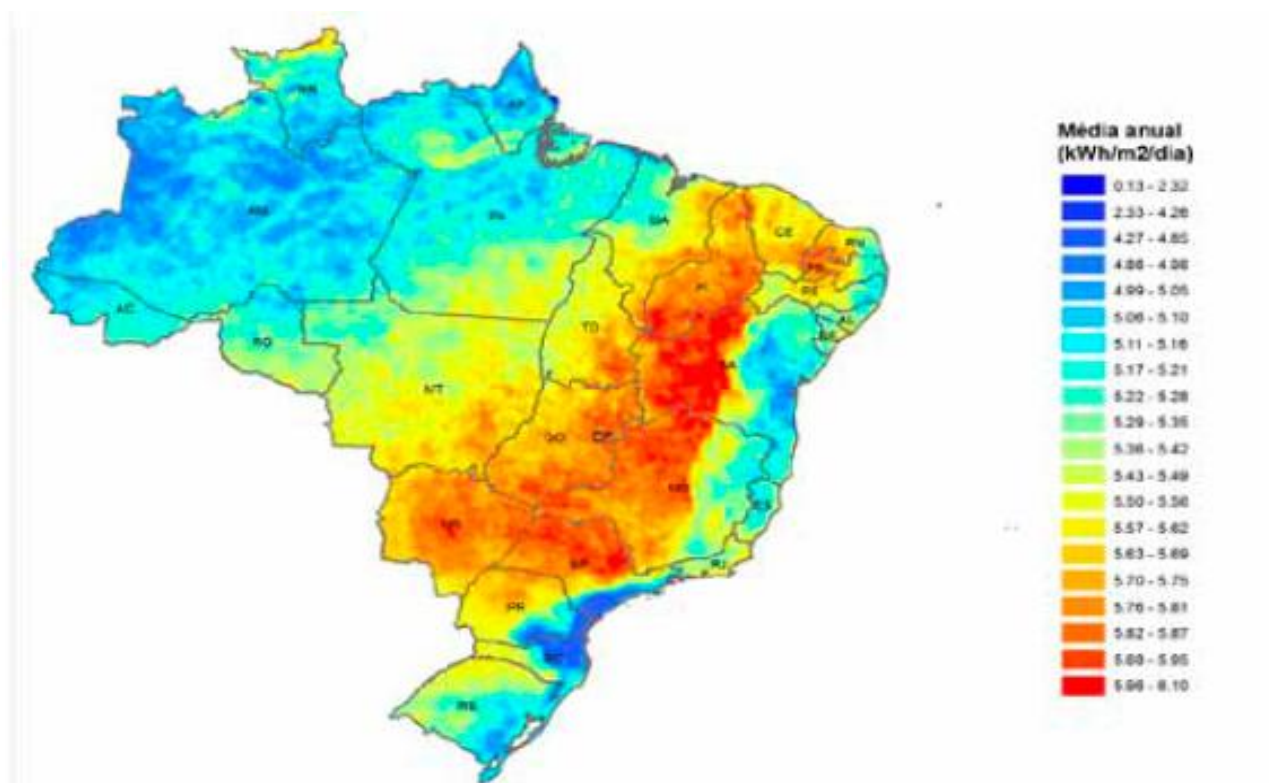


Figura 50 – Dados solarimétricos SWERA– Consulta Maio de 2012

Para verificarmos a acuracidade em relação as fontes de dados mais conhecidas podemos ver a figura abaixo que estima média de erro das medições de +- 3,5%

Comparison of SolarGIS with other solar data sources

	SolarGIS	Meteonorm	NASA	NREL	PVGIS-CMSAF
Fonte de dados	Satélite	Estações em solo (+ Satélite)	Satélite	Satélite	Satélite
Cobertura Geográfica	Global	Global	Global	Américas, África, Sul da Ásia e China	Europa, Oriente Médio e África
Incerteza nos valores anuais GHI	2 % to 7 %	2 % to 22 %	desconhecida	desconhecida	Não provido
Resolução espacial	Acima de 90 x 90 m	Interpolação	110 x 110 km	40 x 40 km	1 x 1km
Resolução de tempo	15/30 minutos	Mensal	Mensal	Mensal	Mensal
Período de tempo	1994/1999 ao Presente (18+/13+ anos)	1960 a 1991 1995 a 2005 (32+10 anos, irregularidade distribuída)	1983 to 1993 (10 anos)	1985 to 1991 (6 anos)	1998 to 2011 (14 anos)
Disponibilidade de dados recentes	Sim	Não	Não	Não	Não
Aproveitável para	Sim	Não	Não	Não	Não

monitoramento					
Possibilidade de auto adaptação	Sim	Não	Não	Não	Não

Podemos ver que o Brasil tem média anual de 1800 a 2200 Kwh/m2 de irradiação direta

Apenas para definição

Mapa de irradiação global horizontal é Radiação horizontal Global (GHI) é a soma da radiação direta e difusa no plano horizontal. Às vezes GHI é identificado com a radiação solar total

Irradiação direta normal (DNI) é a quantidade de radiação solar recebida por unidade de área de uma superfície que é sempre realizada perpendicular (ou normal) para os raios que vêm em uma linha reta na direção do sol em sua posição atual no céu.

A.1.3) Aplicações da energia solar

Hoje existe basicamente duas aplicações da energia solar

Aquecimento de água através de coletores termo solares

Aquecimento de água para residências e conjuntos habitacionais onde a água é armazenada em reservatório corre para tubulações do coletor solar que pode ser aberto ou fechado, ou tubo a vácuo e que recebem por transferência de calor por condução, adsorção e energia solar

Hoje o estado de São Paulo tem legislação específica Decreto 49148 de 21 de janeiro de 2008 para uso dos coletores solares onde se aplica um cálculo simplificado da demanda de energia elétrica, fração solar estabelecida que seria a fração do calor que será aproveitado d o Sol. Com isto é calculado a quantidade de energia necessária para o aquecimento de um certo volume de água

$$E = \frac{V \times C_p \times (T_2 - T_1) \times 30}{3600}$$

Sendo,

E= demanda de energia em KWh/mês

V= Volume diário de água quente a ser aquecida em litros

Cp= Calor específico da água 4,18 KJ/Kg C

T2= Temperatura da água quente requerida para uso

T1= Temperatura da água fria geralmente a 20 Celcius

Com a energia requerida determina-se a produção média dos coletores no estado de SP conforme tabela IMMETRO específica

$P_{me(sp)} = P_{me(immetro)} \times 0,65$

$P_{me}(\text{o})$ = Produção média mensal de energia em SP em KWh/m² por mês

A partir daí determina-se a área dos coletores e número de coletores para o projeto

$AC = \frac{F_{cd} \times CS \times E}{P_{me}(\text{o})}$

Onde

F_{cd} = Fator de correção para posicionamento do coletor em relação ao norte geográfico

CS = Fração solar

$P_{me}(\text{o})$ – Produção média mensal de energia do coletor especificado pelo fabricante no estado de São Paulo

AC = Área em m² dos coletores

Que dividido pela área fornecida pelo fabricante nos dá o número de coletores necessários para o projeto

Podemos ver algumas figuras esquemáticas abaixo dos coletores solares e esquemas de montagem dos sistemas de aquecimento de água



Figura 51- Esquema básico de um sistema de aquecimento de água por coletor solar fonte fledler.arq.br

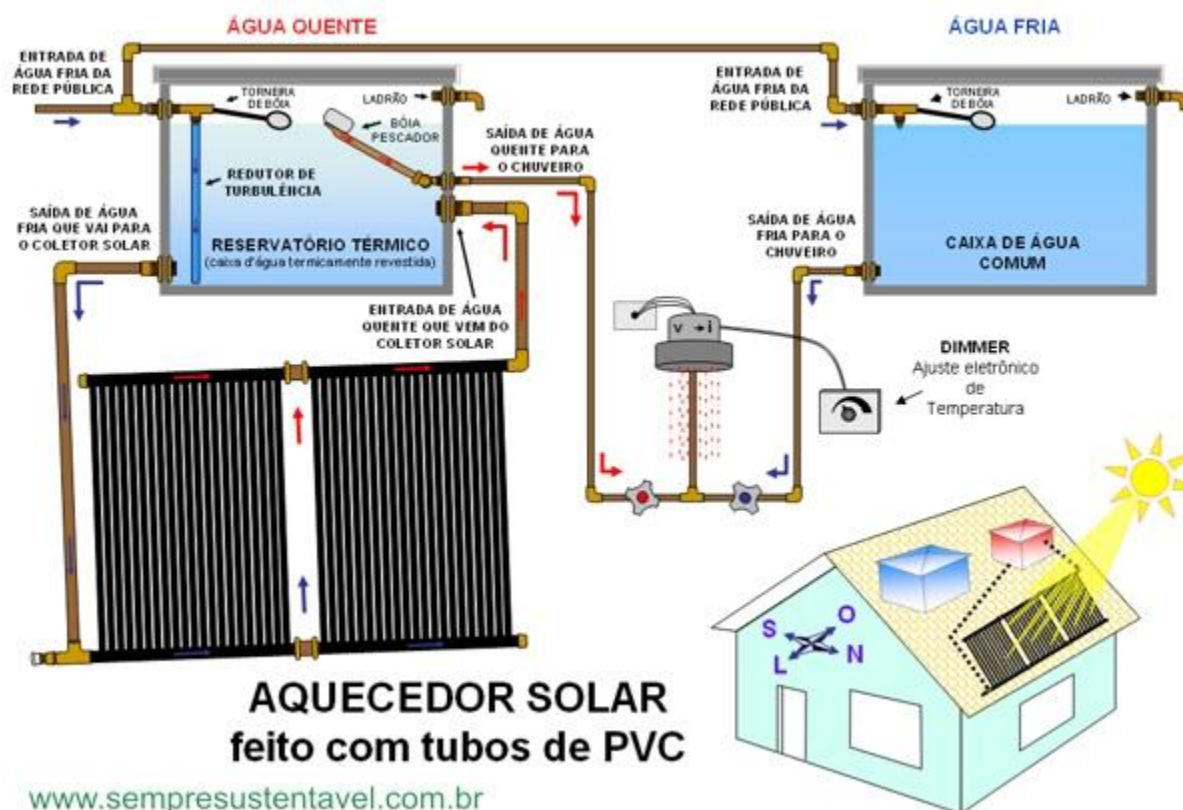


Figura 52-Sistemas de aquecimento mais detalhado de água através de coletores solares com conexões intermediárias em PVC fonte www.sempresustentavel.com.br consulta 20/10/2013

Sistemas de geração de eletricidade através de painéis fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos são compostos por módulos, inversores, dispositivos de proteção, sistema de fixação e suporte dos módulos, cabos e, opcionalmente, baterias e controladores de carga – mas que são usuais em sistemas isolados

Os sistemas fotovoltaicos geram a eletricidade através de processo fotoelétrico descrito nas seções seguintes que a excitação de elétrons existentes nas camadas exteriores do silício mono ou policristalino gerando a eletricidade através da condução de tais elétrons

Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados nas seguintes situações

- Principalmente na geração distribuída, ou seja para gerar eletricidade a partir de uma residência ou conjunto residencial
- Na geração de movimentação de equipamento em regiões distantes como bombeamento de poços artesianos
- Na agricultura na secagem de grãos com o aquecimento de estufas
- Na geração de eletricidade para sistemas e comunidades isoladas

- Na Geração de eletricidade através de usinas fotovoltaicas de pequena escala < 5MW capacidade para conjuntos habitacionais ou indústrias como produtores independentes de energia
- Na geração de energia elétrica em usinas fotovoltaicas de pequena escala até de 30MW para conexão a Rede elétrica e beneficiamento de redução da TUSD em 50% com redução da conta de energia.
- Na geração de energia elétrica em usinas fotovoltaicas de grande escala a partir de 30MW com a proposta de inclusão fotovoltaica conforme leilão A-5 a ser realizado em 13 de dezembro de 2013

No caso das escalas de tamanhos de geração fotovoltaica temos a geração distribuída e usinas fotovoltaicas conforme os seguintes tipos:

- Geração distribuída com painéis montados tipo Roof top (veja figura 19)
- Ground monted- usinas montadas em grandes áreas (veja figura 20)
- CSP – Concentrated solar - usinas com painéis concentradores que direcionam a luz solar para um ponto de coleta (veja figura 21)
- Usinas CSP com painéis com lentes concentração solar (veja figura 22)



Figura 19 – Exemplo de aplicações tipo instalação sobre telhado (Roof top)



Figura 20- Exemplo de usinas solares ommission as UFVs tipo fazenda solares montadas sobre solo (ground mounted)



Figura 21- Exemplo de usinas tipo CSP – Usinas solares com concentração (Concentrated solar ommi)

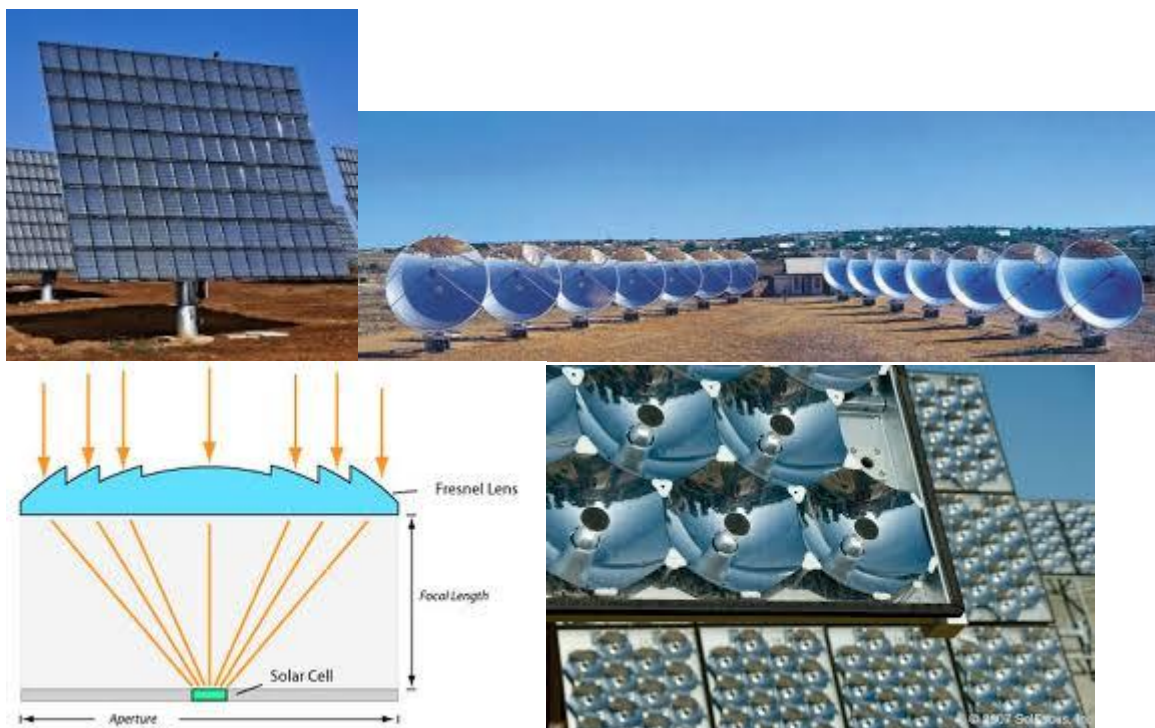


Figura 22 – Exemplo de usinas CSP com concentradores Fresnel e funcionamento básico de uma lente

A.1.4) Sistemas Fotovoltaicos

Como colocamos os sistemas fotovoltaicos simplesmente são Sistemas para geração de energia elétrica através de uma reação físico-química da excitação electroquímica do silício nas células fotovoltaicas que em conjunto compõem um painel fotovoltaico que por sua vez gera eletricidade em corrente contínua que através de cabeios específicos são conectados a um inversor de corrente contínua para alternada a filtros e por fim a corrente elétrica alternada pode Ser consumida pela rede ou por uma residência. Podendo ainda tal sistema ter medidores inteligentes da eletricidade gerada e sistemas de acumuladores de chumbo ácido ou lítium para armazenagem da eletricidade

Desta forma os componentes de um sistema fotovoltaico são:

- Módulos e células fotovoltaicas
- Cabeamento fotovoltaico
- Regulador (se necessário)
- Inversor de corrente
- Sistemas de medição inteligente (Smart meter)
- Acumuladores de energia (Baterias)
- Sistema de fixação e suporte dos módulos

Segue abaixo uma figura genérica de um sistema fotovoltaico

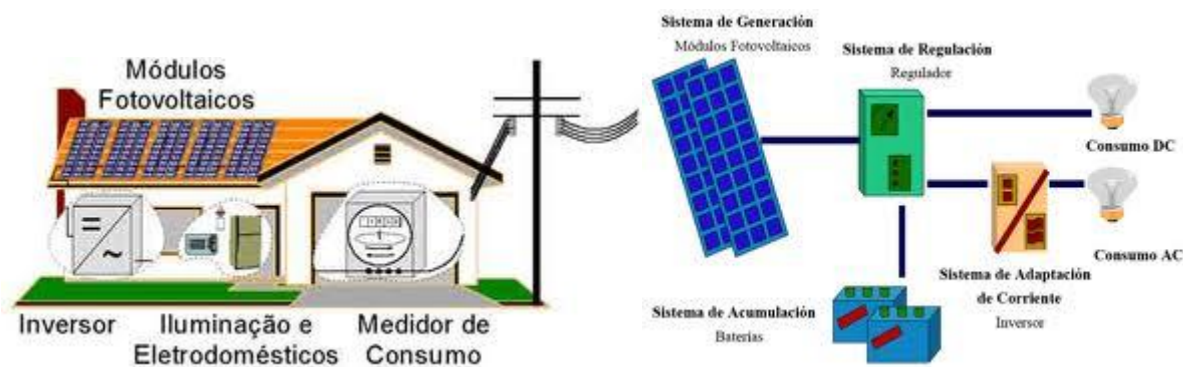


Figura 23 - Exemplo de um sistema fotovoltaico completo tipo instalação sobre telhado (roof top) para residências

A.2) O efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico e a eletroquímica solar

O efeito fotovoltaico foi descoberto primeiramente por Alexandre Edmond Becquerel em 1839 em eletrodo imerso em líquido condutor.

O efeito fotoelétrico é a ejeção de elétrons das bandas externas de valência de uma órbita de um material específico após absorção de energia eletromagnética.

Já o efeito fotovoltaico seria a absorção de energia do sol em forma de fótons com a consequente mudança de elétrons em bandas de valência para bandas de condução dentro do próprio material ocorrendo com o ganho de energia denominada E necessária para a mudança de estado quântico e resultando no desenvolvimento de uma tensão elétrica e consequentemente corrente elétrica.

O efeito fotovoltaico pode ocorrer também quando dois photons são absorvidos ao mesmo tempo num processo chamado de efeito fotovoltaico simultâneo por dois fótons.

A diferença do efeito fotoelétrico e do efeito fotovoltaico é que no fotoelétrico existe a “ejeção do elétron” para o vácuo enquanto no efeito fotovoltaico existe a passagem do elétron de uma camada de material para outra requerendo menos energia já que não passa pelo vácuo.

Sabemos que a emissão de fótons pelo nosso sol excita certos materiais como o silício causando a eletrovalência de certas orbitas neste sentido conforme publicação de Julian Chen “Physics of Solar Energy” temos que a energia potencial para um elétron se desprender de uma orbita potencial em uma direção seria

$$E = n^2 \pi^2 \frac{h^2}{8 m_e L^2}$$

$$\frac{h^2}{8 m_e L^2}$$

onde n é um inteiro, L é a variação do comprimento de onda da função do Elétron, Me é o potencial elétrico necessário e L é o máximo comprimento da onda do elétron

No caso de semi-condutores a energia necessária chamada “band gap”

Existe um estado quântico do monocristais

A.2.1) Detalhes do efeito de paridade lacuna –elétron (efeito fotovoltaico) na valência do silício grau solar

Quando um fóton atinge um pedaço de silício , um das três coisas podem acontecer :

1. os fótons podem passar diretamente através do silício – isto (geralmente) acontece por fótons de energia mais baixos.
2. os fótons podem refletir fora da superfície ,
3. Os fótons podem ser absorvidos pelo silício , se a energia dos fótons é mais elevada do que o valor de intervalo de banda de silício. Isso gera um par elétron- buraco e , por vezes, o calor, dependendo da estrutura de banda.

Diagrama de banda de uma célula solar de silício , sob condições de curto-circuito quando um fóton é absorvido , a sua energia é dada para um elétron na rede cristalina . Normalmente, este elétron está na banda de valência , e está fortemente ligado em ligações covalentes entre átomos vizinhos e, portanto, incapaz de se mover muito . A energia que lhe é dada pelo fóton “ excita “ que na banda de condução , onde é livre para se movimentar dentro do semicondutor. A ligação covalente que o elétron era anteriormente parte da órbita tem agora menos um elétron – isto é conhecido como um buraco ou lacuna.

A presença de uma ligação covalente com elétron faltante permite que os elétrons ligados dos átomos vizinhos a se mudarem para o “buraco” ou lacuna , deixando um outro buraco ou lacuna para trás, e desta forma um buraco ou lacuna pode mover-se através da grade . Assim, pode-se dizer que fótons absorvidos no semicondutor criam pares de elétrons-lacuna celulares.

Um fóton precisa só ter energia maior do que o “band gap” ou abertura de valência a fim de excitar um elétron a partir da banda de valência para a banda de condução . Sabe-se que o espectro de frequências do espectro solar, se aproxima de um corpo negro a cerca de 5800 K, e, como tal , a maior parte da radiação solar que atinge a terra é composta de fótons com energia suficiente superiores a lacuna de banda de silício motivos pelo qual o silício é usado como material semi condutor.

Estes fótons de energia mais elevada serão absorvidos pela célula solar, mas a diferença de energia entre esses fótons e a gap do silício é convertido em calor(através de vibrações da rede- fonons)

Aqui cabe uma observação; Devido este efeito de aquecimento do material semicondutor muitas células solares tem limitações de temperatura de operação o que levou a pesquisa e desenvolvimento dos filmes finos que podem operar em temperaturas maiores

O efeito fotovoltaico também pode ocorrer quando dois fótons são absorvidos simultaneamente em um processo chamado efeito fotovoltaico de dois fótons . No entanto, a altas intensidades ópticas são necessárias para este processo não linear.

Veja abaixo a física e band gap provido pelos photons que chegam a terra capazes de “excitar” materiais como silício, selênio e mais alguns

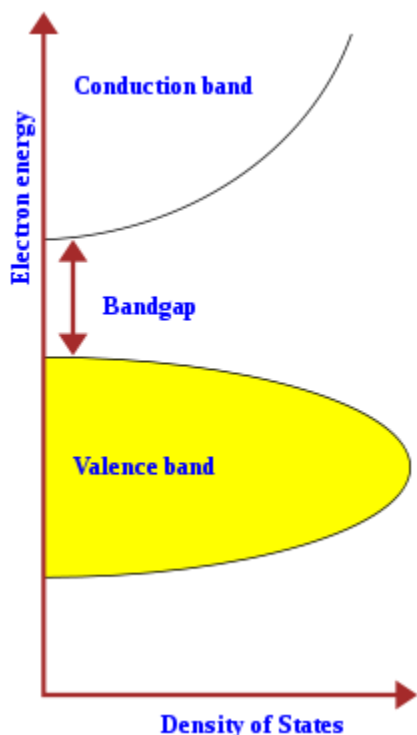


Figura 53- Gap de energia provida dos Fótons solares para valência e transferência de um elétron para banda de condução gerando voltagem e corrente elétrica. Fonte “physics of solar energy”

A.2.2) Semicondutores p-tipo e n-tipo

Semicondutor tipo N- tipo

Semicondutores n tipo tem uma concentração maior do que a concentração de electróns que a quantidade de lacunas estes são conhecidos como tipo n semicondutores. A frase “ n –type ‘ vem da carga negativa do elétron . Em semicondutores tipo n , os elétrons são os portadores majoritários e os buracos ou lacunas são os portadores minoritários.

N- tipo semicondutores são criados por doping um semicondutor intrínseco com impurezas doadoras (ou dopagem um semicondutor do tipo p como é feito na fabricação de chips CMOS) .

Em um semicondutor do tipo n, o nível de energia de Fermi é maior do que a do semicondutor intrínseco e encontra-se mais perto da banda de condução do que a banda de valência

Semicondutor P- tipo

Ao contrário de semicondutores tipo n , p – semicondutores tipo tem uma concentração maior de lacunas do que a concentração de electróns ou buracos de tipo n. A frase “ tipo p “ refere-se a carga positiva do buraco ou lacuna. Em semicondutores tipo p , os buracos são os portadores majoritários e os elétrons são os portadores minoritários. Os do tipo P são criados por uma dopagem do semicondutor intrínseca com impurezas aceitadoras (ou dopagem de um semicondutor do tipo n) .

A P-tipo dopante comum é Boro . P-tipo semicondutores têm níveis de energia de Fermi abaixo do nível de energia intrínseca Fermi . O nível de energia de Fermi está mais perto da banda de valência do que a banda de condução de um semicondutor do tipo p

A.2.2) Formação de pn-Junctions

Quando os semicondutores tipo n e tipo p são colocados juntos há uma geração de diferença de potencial, como os semicondutores tipo n estão tem níveis de energia Fermi próximo do “nível de fundo” da energia necessária para condução E_c e semicondutores tipo p tem energia próximo ao “nível de topo” da área de valência é criado uma diferença de potencial que cria uma voltagem e consequente corrente. Isto é possível porque o nível de energia Fermi do semiconductor tipo n é maior que o tipo p.

A.3) Semicondutores e Células solares

A.3.1) Conceitos básicos

Uma célula solar fotovoltaica é uma célula em estado sólido que converte luz solar através de um processo fotoquímico. O conceito básico de eletricidade está na valência de elétrons de uma banda de valência de um átomo de silício para uma banda de condução através da inserção de energia de um photon. Assim toda vez que um elétron vai para a fase de condução pela teoria de transições quânticas a radiação de um photon interagindo com o material silício provoca geração da movimentação de um elétron e criação de um buraco (pn- Junctions) criando uma diferença de potencial entre as células semicondutoras tipo n e tipo p gerando diferença de potencial e portanto corrente elétrica.

Para que este efeito seja possível o material atingido pelo fóton deve gerar uma diferença de potencial maior que o valor de potencial necessário para movimentação da banda de Valência deste material para banda de condução. A figura 21 mostra como este processo ocorre com o tempo

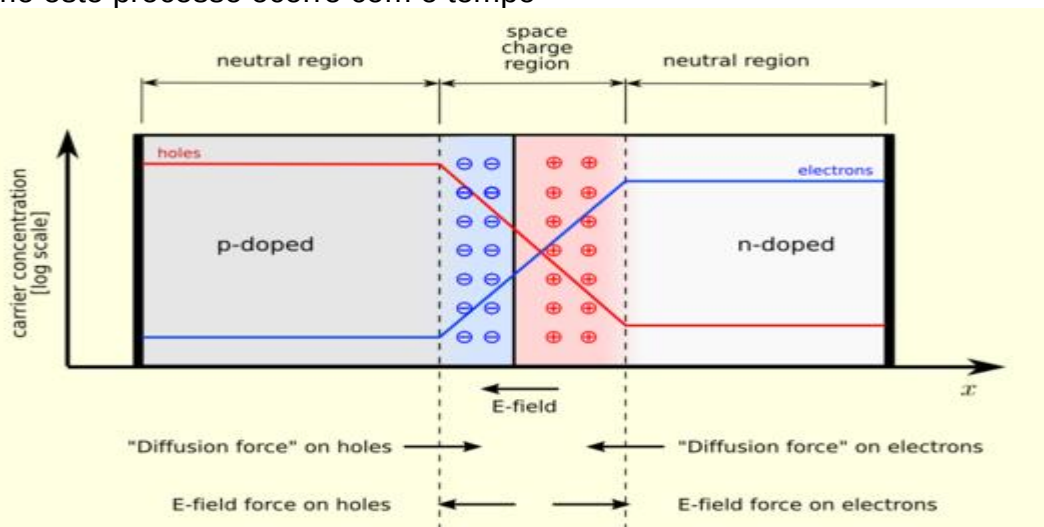


Figura 54- difusão de elétrons da banda de Valência para condução criando um campo de diferença de potencial e pares elétron-buraco que se propagam no material. Wikipidia
https://en.wikipedia.org/wiki/Pn_junction

Assim a quantidade de energia para ocorrência do processo de geração de diferença de potencial afeta diretamente a eficiência da célula solar. Dependendo da posição do

topo da banda de Valencia e da posição de baixo da banda de condução. Assim descobriu-se que existem dois tipos de semicondutores. Os diretos e os indiretos como segue

Semicondutores diretos- São aqueles que conseguem vencer a barreira entre camada de baixo e camada de topo de uma junção pn com a energia direta de um photon, e isto se mede por um coeficiente chamado coeficiente de absorção . Materiais como o GaAs. (Galium aresenium, selenium) ou CIGS (cobre , indium, galium Selenio)

Semicondutores indiretos- São aqueles que o photon e sua energia absorvida não são incapazes de excitar o elétron para vencer a barreira da parte de baixo de Valencia para a parte de cima da banda de condução necessitando assim uma energia adicional chamada lattice vibration. São estes os casos de selênio e silício. E portanto estes materiais tem coeficientes de absorção menores e portanto células com menor nível de eficiência.

PROPIEDADES DE CELULAS SOLARES COMUNS					
MATERIAL	Ge	CuInSe2	Si	GaAs	CdTe
TIPO	Indireto	Direto	Indireto	Direto	Direto
BAND GAP (eV)	0,67	1,04	1,11	1,43	1,49
DISTANCIA PARA ABSORSCAO (microm meters)	1,85	1,19	1,12	0,87	0,83
Coeficiente de absorção (cm-1)	5,0x10e4	1,0x10e5	1,0x10e3	1,5x10e4	3,0x10e4
Tabela 5- propriedades comuns de células solares Physiscs of solar energy. C Julien Chen (Jonh Wysley e sons inc) 2011					

Podemos ver o potencial de Valencia de vários semicondutores no link abaixo

https://en.wikipedia.org/wiki/Semiconductor_materials

A.3.2) A lei Chockley- Queisser limit e a eficiência fotovoltaica

O limite de Shockley-Queisser (SQ) dá a máxima eficiência possível de uma célula solar

com uma única junção *pn* como função da banda de energia dos semicondutores. Se a banda de energia for muito alta, a maior parte dos fótons não é absorvida; se for muito

baixa, a maioria dos fótons tem mais energia que a necessária para excitar elétrons, e o restante é desperdiçado. Não é coincidência que os semicondutores mais empregados

possuam banda de energia próxima ao ponto máximo da curva de SQ. Como exemplo, citamos as células de silício (1.1eV) e de telureto de cádmio (1.5eV)

A.3.3) A eficiência de células solares, as perdas devido ao comprimento de onda da luz e o gap band

Uma vez que o ato de mover um elétron da banda de valência para a banda de condução requer energia, apenas fótons com mais do que essa quantidade de energia vai produzir um fotoelétrons . No silício a banda de condução é cerca de 1,1 eV longe da banda de valência , o que corresponde a luz vermelha. Em outras palavras, fótons de luz vermelha, verde e azul, irá contribuir para a produção de energia , enquanto que infravermelhos, microondas ou ondas de rádio não . Isto coloca um limite de imediato sobre a quantidade de energia que pode ser extraído a partir do sol. Dos 1.000 W / m² em AM1.5 luz solar, cerca de 19 % dos que tem menos de 1,1 eV de energia , e não vai produzir energia em uma célula de silício. Outra contribuição importante para as perdas é que toda a energia para além da energia de bandgap está perdido, enquanto a luz azul tem aproximadamente duas vezes a energia da luz vermelha, que a energia não é capturada por dispositivos com uma única junção pn . O elétron é ejetado com maior energia ao ser atingido por um fóton azul , mas perde essa energia extra , uma vez que viaja em direção à junção pn (a energia é convertida em calor) . Isso representa cerca de 33% da luz solar incidente, o que significa que a partir de perdas de espectro sozinho existe uma eficiência de conversão teórica de cerca de 48 % , ignorando todos os outros factores

a eficiência definida como a potência entregue em relação a incidência de radiação de um fóton que determina a eficiência de uma célula fotovoltaica dependendo do tipo de material semiconductor.

O limite coloca a máxima eficiência de conversão de energia solar em torno de 33,7% assumindo uma única junção pn com uma lacuna de banda de 1,34 eV (usando um espectro AM 1,5 solar) . Isto é, toda a energia contida na luz solar que incide sobre uma célula solar ideal (cerca de 1000 W / m²), apenas 33,7% do que poderia ser transformado em energia elétrica (337 W / m²). O material da célula solar mais popular, silício, tem uma lacuna de banda menos favorável de 1,1 eV, resultando numa eficiência máxima de 29%. Células solares mono-cristalino comerciais modernas produzem cerca de eficiência de conversão de 22%, as perdas devido em grande parte às preocupações práticas, como reflexo da superfície frontal e bloqueio de luz dos fios finos em sua superfície

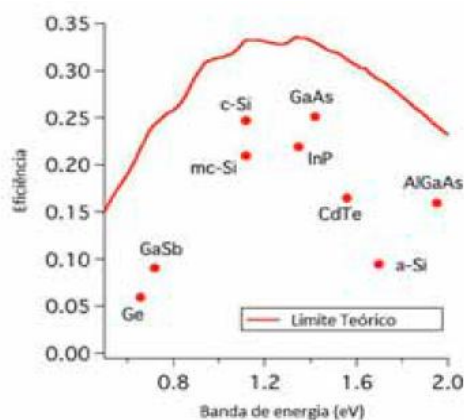


Figura 55- O limite Chockley – queisser em função do comprimento de onda da luz solar e a c curva de eficiência em função do gap da banda de valência-condução e material semiconductor – Proposta de inserção da energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira – ABINEE

Aqui cabe um detalhe importante. Toda energia que chega do sol em forma de fótons que é capaz de vencer a barreira do gap entre valência/condução é absorvida porém aquela energia de comprimento de onda que excede o valor do gap é transformada em energia térmica , por este motivo as células aquecem

Também vemos aqui um problema intrínseco da tecnologia que é que certos comprimentos de onda como o amarelo e ondas mais curtas tem energia insuficiente para excitar um elétron movendo-o através do band gap e outros comprimentos de onda como o azul tem energia a mais necessária que é dissipada através de calor isto que limita a eficiência teórica de uma célula solar em cerca de 33% vem sendo resolvido através de células com materiais que tem um “band gap” na medida certa daquele fóton emitido a certo comprimento de luz assim surgiu a ideia das células Multi junção (multi junction) ou tandem cells descritas mais a frente.

Bibliografia

- *Blue sol educacional, Energia solar*, Disponível em < <http://www.blue-sol.com/energia-solar/histria-rpida-da-energia-solar-fotovoltaica/> > Acesso em: 05 set 2013
- “European Commission Quarterly Report on European Electricity Markets”, Europese Commissie, B-1049 Brussel – Belgium, March 2013.
- EPIA PUBLICATIONS, Bruxelas, Bélgica , Ed única, 2011 “Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the road to competitiveness” – Ed única –Setember 2011. Consultado em 12/09/2013
- Intitudo Lazard “Levelized cost of energy report” Disponível em: <<https://www.misoenergy.org/Library/Repository/Meeting%20Material/Stakeholder/PAC/2012/20121221/20121221%20PAC%20Supplemental%20Levelized%20Cost%20of%20Energy%20Analysis.pdf>> Acesso em 14/09/2013
- MME, Secretaria de planejamento e desenvolvimento estratégico- “Plano Decenal de Expansão de Energia 2011, 2012,
- Andrade, Leonidas- Grupo setorial fotovoltaico Abinee, “Propostas para inserção da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira” São Paulo, Junho/2012
- “Key World energy statistics”,EIA- Agencia internacional de Energia, Paris, 2011 , Ed única.
- Makarov, A. A. , “Global and Russian Energy Outlook up to 2040”, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS) and the Analytical Centre of the Government of the Russian Federation (ACRF), Moscou, 2011- Ed unica.
- “World Energy Outlool 2012” , Agencia Internacional de Energia (EIA), Paris, 2011 , Ed. Única.
- “ Global Market Outlook for photovoltaics 2013-2017 , Associação Europeia da indústria fotovoltaica (EPIA), Bruxelas, Belgica, Ed única.
- Tuner, Guy, “GLOBAL RENEWABLE ENERGY MARKET OUTLOOK” , Bloomberg New energy , Nova York, 23 APRIL 2013- Ed única (apresentação)
- “World Energy Outlool 2012” , Agencia Internacional de Energia (EIA), Paris, 2011 , Ed. Única
- ANEEL, Banco de geração da ANEEL. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em 12/10/2013
- NREL (Laboratório Americano nacional de energias renováveis), “Best Research –Cell efficiencies”. Disponível em < http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg > Acesso em 2/12/2013.
- Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF and Bloomberg New energy , Frankfurt, 2013, Disponível em < <http://www.fs-unep-centre.org> > Acesso em 17/11/2013.
- Agencia Internacional de Energia (IEA) , “Projected costs of Generating electricity” , Paris, Ed Edição de 2010 (ISBN 978-92-64-08430-8).
- Solarterra , Guia fotovoltaico Disponível em < <http://www.solarterra.com.br/> > Acesso em 5/04/2013.
- Saldanha, Ronald, 13º Encontro nacional de energia FIESP, 13, 2013, São Paulo, “Evolução do preço e dos serviços de energia”Depende de Nós” . Firjam. Consulta Outubro 2013.
- Agencia Internacional de Energia (IEA) “G20, clean energy , and energy efficiency deployment and policy progress”, Paris, 2011, Ed única.
- IMMETRO, “Tabelas de Consumo / Eficiência Energéticas- Componentes Fotovoltaicos” – Módulos, Ed. 03/12, 2012, p10.
- : Aneel, 2º Leilão de Energia A-5/2013 – projetos cadastrados, Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf> > Acesso em 18/10/2013.
- ANEEL- RESOLUÇÃO NORMATIVA No 482 , DE 2011, Disponível em <http://www.aneel.gov.br>, Consulta em 22/05/2013.

- Nota Técnica nº 0043/2010-SRD/ANEEL Em 8 de setembro de 2010. Processo: 48500.004924/2010-51, “Proposta de abertura de Consulta Pública para o recebimento de contribuições visando reduzir as barreiras para a instalação de geração distribuída de pequeno porte, a partir de fontes renováveis, conectada em tensão de distribuição”, , Disponível em <http://www.aneel.gov.br>, Consulta em 22/05/2013.
- Nota Técnica nº 0002/2012-SRD/ANEEL, Disponível em <http://www.aneel.gov.br>, Consulta em 22/05/2013.
- Martins, Fernando- Pereira, Enio – Echer, Mariza, “Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário . o Projeto Swera (Solar energy resources assesment using geostationary satellites in Brasil . Swera Project)”, USP, 2002
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), “ SPE CHAMADA NO 013/2011 PROJETO ESTRATÉGICO: “ARRANJOS TÉCNICOS E COMERCIAIS PARA INSERÇÃO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA”, 2012, Ed única
- Samsung do Brasil – Global Stragy Group Samsung C&T Brazil Entry Strategy Photovoltaics.

Glossário de Termos

A- Termo representante da medida da corrente elétrica Ampères

A-3- Termo do leilão em ambiente regulado que define o tempo máximo de 3 anos para término da construção e respectivo início de operação de um empreendimento de geração.

A-5- Termo do leilão em ambiente regulado que define o tempo máximo de 3 anos para término da construção e respectivo início de operação de um empreendimento de geração.

Ah- Medida de durabilidade de um acumulador (bateria) em Ampères-Hora.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

BRIC- Termo que define o conjunto de países com crescimento acelerado correspondendo a Brasil, Rússia, Índia, China.

BID- Banco Interamericano do Desenvolvimento.- Responsável por financiamento de muitos projetos com financiamento de ajuda (Aid Financing) na América Latina.

BNDES- Banco Nacional do Desenvolvimento – Banco responsável por financiar muitos dos atuais empreendimentos de energia elétrica.

CAPEX- Do inglês (Capital expenditure) – É o montante de investimento inicial para desenvolvimento de um empreendimento podendo ser de geração.

CdTe- Um tipo de célula fotovoltaica composta de Telúrio de Cadmio.

CIS- Materia utilizado nas células fotovoltaicas feitas de CuInSe₂ – Cobre, Índium e Selênio.

CISG- Materiais que compões outro tipo de célula , normalmente multijunction composta de Cobre, Índio, Selênio, Gálio.

C-Si- Silício cristalino utilizado em células solares

CSP- Do termo em inglês “concentred solar Power” se refere a empreendimentos / centrais solares com espelhos curvos que são capazes de concentrar os raios de sol aumentando a eficiência das células solares.

CVU- Custo variável unitário , muito utilizado na manufatura e também na avaliação do retorno sobre investimento de centrais termoeletricas.

DOU- Diário Geral da União.

FMI- Fundo monetário internacional

EIA- Agência internacional de Energia.

EP- Eletricidade prroduzida para medição do custo nivelado de produção de energia elétrica (LCOE).

EPE- Empresa de Pesquisas Energéticas.

EPIA- do termo em inglês

INMETRO- Instituto Nacional de Metrologia Pesos e Mediddas.

INNOVA Fv- Evento do Setor que trata sobre energia fotovoltaica e ocorre anualmente

LCOE – Do inglês “ Levelized cost of Energy” Custo Nivelado de Energia que compara o custo de geração de energia elétrica de diferentes fontes.

MDIC- Ministério da Industria e comércio.

MToe- Millhões de Toneladas de óleo equivalente. Medida que compara a energia de um tipo de combustível com energia de outros tipos nivelando o valor energético de diferentes tipos de combustíveis.

Mc-Si- Silício Monocristalino usado para painéis e células solares de menor eficiência.

NPV- Valor presente líquido do inglês “ Net Present Value” utilizado na medida do valor positivo resultante de um fluxo de caixa de um investimento.

NREL- Laboratório Nacional do Estados Unidos de Energias Renováveis

OPEX – Do inglês “ Operational Expenditure” É o montante de custos de operação e manutenção de um empreendimento de geração de energia elétrica.

PCHs- Pequenas Centrais hidrelétricas – Centrais com menos de 30 MW de Capacidade de geração de energia elétrica.

PDE- Plano Decenal de Energia do Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisas Energéticas.

PIB- Produto Interno Bruto.

Poli-Si- Silício Policristalino utilizado em mais de 80% das Células solares comerciais.

PRODEEM – Programa de desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios.

SISCOMEX- Sistema Integrado de Comércio Exterior.

SPE / SPC- Sociedade formada para constituição de um empresa com fim específico denominada Sociedade de propósito específico do Inglês “ Special Purpose Enterprise ou Special Purpose Company”. Instrumento jurídico para formação geralmente de empreendimento de geração de energia.

SIN- Sistema Integrado Nacional.

TFSC- Célula solar de Filme fino

TFPV- Célula solar fotovoltaica de filme fino

TUSDg- Tarifa de uso do sistema de distribuição

TUSTg- Tarifa de uso do sistema de Transmissão

WACC- Do inglês “Weighted Average Cost of Capital” Ou custo de capital por média ponderada. É o valor que mede o custo do capital e retorno de um investimento. É o custo do capital para diferentes taxas de juros com diferentes porcentagens de valor investido próprio (equity) e valor investido de bancos (debt) que são devidos acrescidos de juros pelos operadores dos empreendimentos de geração.