



**PREVISÃO DE POTENCIAL DE MERCADOS EMERGENTES DE  
TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA**

por

António Ricardo Sones Henriques

Dissertação de Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Orientada por:

Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro

2012

## Nota Biográfica

António Ricardo Sones Henriques, nasceu em 13 de Maio de 1982 em Santa Maria no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Licenciou – se em Economia pelo Centro Universitário Franciscano (UNIFRA – RS/Brasil) em 2009.

Entre os anos de 2007 e 2009, participou de alguns projetos vinculados a UNIFRA, sendo um deles, como pesquisador do projeto “O Índice do Custo de Vida”, apresentado os resultados e publicado todos os meses em jornais e revistas locais. O outro projeto foi realizado na Câmara de Indústria e Comércio (Cacism), cujo título “Excelências” referente aos 150 anos da cidade.

Participou como expositor do projeto perfil empreendedor “Reciclagem uma Idéia Sustentável” sendo um dos finalistas do projeto. Ainda antes de concluir o curso teve uma passagem pela Assessoria Hoepers S/A Assessoria de cobrança do Banco Bradesco no Brasil.

Em 2010, ingressou no curso de Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente da Faculdade de Economia da Universidade do Porto – FEP, tendo participado, desde então, em várias conferências e encontros científicos como I conferência de Energia da UP, realizada na FEUP/2012. Voluntariado na feira de Mestrados na FEP/2012. Voluntariado na IX Mostra de Ciências, Ensino e Inovação da Universidade do Porto/2011.

---

## Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro, pela transmissão de conhecimentos e experiências, disponibilidade e orientação que me concedeu ao longo deste trabalho.

A todos os professores do MEGA e amigos que desde a primeira hora estiveram presentes neste empreendimento, expresso o meu reconhecimento e o meu muito obrigado.

Aos meus pais e familiares, que sempre estiveram presentes em todos os momentos, manifestando boa disposição e me concedendo força para continuar.

---

## Resumo

Através deste trabalho tem-se como objetivo desenvolver metodologias de avaliação do potencial de competitividade das tecnologias fotovoltaicas e relativamente à aquisição de energia da rede elétrica. A tecnologia fotovoltaica tem como finalidade gerar eletricidade diretamente a partir da radiação solar, sendo o efeito fotovoltaico.

Este efeito permite a produção de energia elétrica como Corrente Contínua.

Será levado em conta a evolução tecnológica e políticas de promoção através de subsídios aos sobrecustos da tecnologia fotovoltaica. O estudo foi aplicado para o Brasil, tendo em conta o Estado do Rio de Janeiro, nas diferentes posições geográficas.

Serão considerados vários cenários de promoção do fotovoltaico. Com base na análise de viabilidade econômica, na perspectiva do promotor do sistema, será quantificado o mercado regional para estas tecnologias.

Será feita uma análise para analisar a viabilidade da utilização do fotovoltaico para a obtenção e produção de energia, sendo uma energia renovável, calculando-se o custo nivelado de eletricidade.

**Palavra – Chave:** Painéis Fotovoltaicos, Custo Nivelado de Eletricidade e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.

---

## Abstract

The aim of this thesis is to develop methodologies to assess the potential competitiveness of photovoltaic technologies regarding the acquisition of utility power. Photovoltaic technology aims to generate electricity directly from sunlight resorting the photovoltaic effect. This effect allows the production of electricity as direct current DC.

You will be taken into account the technological developments and promotion policies by subsidizing the extra costs of photovoltaic technology. The study was applied to Brazil, focused in the perimeter of the State of Rio de Janeiro, in different geographical locations.

Several scenarios will be considered to promote PV. Based on the analysis of economic feasibility, in view of the promoter system, the regional market for these technologies will be considered. There will be made an analysis to learn if there is viability to obtain energy from the photovoltaic technology.

**Keyword:** Photovoltaic panels, levelised cost o electricity and photovoltaic systems connected to the electric grid

---

# Índice Geral

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>4</b>
2.1	OBJETIVOS .....	4
<b>3</b>	<b>POLITICAS DE INCENTIVO A ENERGIA SOLAR E PARIDADE COM A REDE ELÉTRICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONVENCIONAL. ....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>A PARIDADE NA EUROPA.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA PARA CALCULAR A PARIDADE COM A REDE (GRID PARITY).....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>A RADIAÇÃO SOLAR RECURSOS PRIMÁRIOS .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO .....</b>	<b>11</b>
7.1	EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DOS PAINÉIS SOLARES PV .....	12
<b>8</b>	<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO NO BRASIL .....</b>	<b>16</b>
<b>9</b>	<b>CUSTO NIVELADO X PARIDADE COM A REDE ELÉTRICA NO BRASIL.....</b>	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>CASO DE ESTUDO O ESTADO DO RIO DE JANEIRO .....</b>	<b>22</b>
10.1	CENÁRIO DE PENETRAÇÃO PV NA REDE DE BAIXA TENSÃO .....	22
<b>11</b>	<b>A EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DE ELETRICIDADE DO CONSUMO DOMÉSTICO .....</b>	<b>25</b>
<b>12</b>	<b>O CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE (CNE) OU LEVELIZED COST OF ELECTRICITY (LCOE) .....</b>	<b>27</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>33</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>36</b>

## Índice Figuras

FIGURA 1 ATRATIVIDADE ECONÓMICA DE TECNOLOGIAS SOLARES QUANDO OS DANOS AMBIENTAIS DE TECNOLOGIAS DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS SÃO CONTABILIZADOS.....	6
FIGURA 2: CRESCIMENTO FOTOVOLTAICO NO MUNDO .....	8
FIGURA 3: CAPACIDADE MUNDIAL INSTALADA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	11
FIGURA 4: CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA POR PAÍSES .....	12
FIGURA 5: EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DOS MÓDULOS SOLARES POR WATT PICO NOS ESTADOS UNIDOS E EUROPA NA ÚLTIMA DÉCADA.....	12
FIGURA 6: A EVOLUÇÃO MUNDIAL DE ENERGIA PV INSTALADA E ACUMULADA NAS PRINCIPAIS REGIÕES DO MUNDO DE 2000 A 2011 EM MW.....	14
FIGURA 8 – AMPLA PREÇO RESIDENCIAL R\$/kWh .....	25
FIGURA 9: ESTIMATIVA DOS PREÇOS EM R\$/kWh.....	26
FIGURA 10: CÁLCULO DO CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE .....	28
FIGURA 11: PREÇO – CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE.....	29

## Índice Tabelas

TABELA 1 COMPARAÇÃO ENTRE BRASIL A ALEMANHA E A ESPANHA NA CAPACIDADE INSTALADA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LIGADOS A REDE.....	16
TABELA 2: MOSTRA TODOS OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE DE 1995 ATÉ O ANO DE 2008. ....	17

## **Lista de Símbolos, Siglas e Abreviaturas**

**ANEEL** - Agência Nacional de Energia Elétrica

**BT** – Baixa Tensão

**CC** – Corrente Contínua

**CELESC** – Centrais Elétricas de Santa Catarina

**CEMIG** – Companhia de Energia de Minas Gerais

**CEPEL** – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**CH<sub>4</sub>** - Metano

**CHESF** – Companhia Hidroelétrica do São Francisco

**CNE** – Custo Nivelado de Eletricidade

**CO<sub>2</sub>** - Dióxido de carbono

**COFINS** – Contribuição para Financiamento da seguridade Social

**COPPE** – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

**CPFL** – Companhia Paulista de Força e Luz

**FAE** – Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energias

**FIT** – Feed -in- tariff

**GW** – Gigawatt

**ICMS** – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços

**IEE** - Intelligent Energy Europe

**kWh** - quilowatt-hora

**kWp** – quilowatt-Pico

**Lab**- Laboratório

**LCOE** - Levelized Cost of Energy

**LH2** – Laboratório de Hidrogênio

**LSF** – Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

**MW** - Megawatt

**N<sub>2</sub>O** - Óxido de Nitroso

**PASEP** – Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

**PIS** – Programa de Integração Social

**PV** – Fotovoltaico

**R\$** - Real (moeda brasileira)

**TIR** – Taxa Interna da Rentabilidade

**TWh** – Terawatt-hora

**UFJF** – Universidade Federal de Juíz de Fora

**UFPE** – Universidade Federal de Pernanbuco

**UFRGS** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**UFRJ** – Universidade Federal do Rio de Janeiro

**UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina

**USP** – Universidade de São Paulo

# 1 Introdução

O aquecimento global tem sido foco de muitas discussões entre países do mundo inteiro. Nas mais diversas áreas, a idéia e a necessidade de preservação ambiental vêm crescendo entre as nações. O aumento da concentração de determinados gases na atmosfera, nomeadamente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido de nitroso (N<sub>2</sub>O), está na origem das alterações climáticas com que a humanidade se vem debatendo (Miranda e Cascais, 2008).

A economia é a ciência que trata das questões ligadas ao crescimento progresso ao desenvolvimento.

Na visão otimista acredita-se que o Desenvolvimento Sustentável, ocorre naturalmente com o crescimento. Os otimistas acreditam que mais capital compensa menos recursos naturais, que a escassez é igual a elevação de preços, substituição equivale ao uso "ótimo", com isso internalizar as "externalidades" (Souza, 2008).

Em contrapartida os pessimista, acham que as mudanças exigidas são tão difíceis que inviabilizam o ideal de Desenvolvimento Sustentável. Não acreditam nas alternativas e nas possibilidades de "ajuste". O Desenvolvimento Sustentável será uma "ilusão", um "mito".

A humanidade sempre buscou, e continua buscando, alternativas que garantam o crescimento e melhorem o padrão de vida, ou seja, o desenvolvimento na melhoria da qualidade de vida, com a utilização da luz solar para a produção de energia renovável; para isso será feito um estudo para analisar a possibilidade de obter-se a paridade na produção de energia e conciliar o crescimento com o meio ambiente (Souza, 2008).

As energias renováveis são as fontes de energia de maior crescimento atualmente no mundo inteiro.

Fazendo uma comparação com os combustíveis que são mais utilizados para geração de eletricidade no mundo, As fontes renováveis vêm crescendo cada vez mais.

A participação dos combustíveis vêm diminuindo ao longo do tempo sendo feita uma projeção de que 40% da produção total em 2008, do carvão cai para 37% em 2035 .

A quota de líquidos da geração total também cai no caso de referência. Como os preços do petróleo permanecem altos, combustíveis alternativos são substituídos por *liquid-fired* geração onde possível, e a participação da geração de líquidos cai de 5% em 2008, para pouco mais de 2% em 2035. Em contraste com o carvão e líquidos. Com o aumento de recursos renováveis de 19% para 23% a geração de energia elétrica provinda dessa fonte é a de maior crescimento no mundo, subindo a uma média anual de 3% e superando os aumentos médios anuais de gás natural (2,6%), energia nuclear (2,4 %), e carvão (1,9%). Políticas governamentais e incentivos em todo o mundo apoiam a construção de novas fontes renováveis para geração de energia (US Energy Information Administration International Energy Outlook, 2011).

Uma das formas que vem despertando o interesse mundial para mudar este cenário é a utilização da energia solar, por ser mesma renovável e abundante em toda a superfície. Um dos métodos que vem corroborar para a redução da poluição e na produção de novas fontes de energias renováveis é o sistema fotovoltaico. A energia fotovoltaica é gerada por painéis contendo células fotovoltaicas ou solares que, na incidência do sol, produzem energia elétrica. A principal vantagem desse tipo de fonte energética é seu baixo impacto ambiental, que é limitado a geração de resíduos sólidos com a substituição dos painéis solares que apresentam um tempo de vida longo, resíduos esses que podem ser reciclados. Outra questão que poderia se levantar seria a ocupação de espaço físico e o comprometimento da beleza cênica pelo espaço ocupado pelos painéis solares. É importante ressaltar que tais painéis solares não necessitam propriamente de um espaço físico exclusivo, podendo ser instalados em paredes inclinadas, telhados de casas, prédios, armazéns e indústrias etc..., gerando energia de forma autônoma, sem a necessidade da instalação de grandes centrais de captação e distribuição. Novamente, aqui a criatividade é o limite na seleção de espaços alternativos para a instalação de painéis solares, aproveitando áreas já utilizadas por ocupações urbanas (Seiffert, 2009, pp.103).

Outra vantagem dos painéis solares é que contribuem naturalmente na redução da formação de ilhas de calor em nível local e efeito estufa em nível global. Isso se verifica em virtude de que, a radiação solar incidente passe a ser convertida pelas

células fotovoltaicas em fonte de energia para os processos produtivos, não ficará mais disponível no ambiente urbano na forma de calor. A instalação de painéis solares apresentam um grande potencial para melhorar o conforto térmico no espaço urbano (Seiffert, 2009, pp 104).

Pretende-se com este trabalho desenvolver metodologias de avaliação do potencial de competitividade das tecnologias fotovoltaicas relativamente à aquisição de energia da rede elétrica. Estas metodologias terão em conta a evolução tecnológica e políticas de promoção através de subsídios aos sobrecustos da tecnologia fotovoltaica.

Esta pesquisa caracteriza-se por ser inicialmente, uma pesquisa bibliográfica, buscando esgotar o máximo a literatura sobre o assunto e objetivando prover respaldo teórico ao estudo do caso proposto. Conforme Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica propicia o exame de um tema sobre um novo enfoque ou abordagem, chegando, deste, modo a conclusões inovadoras, não sendo uma mera repetição do que foi anteriormente dito ou escrito sobre determinado assunto.

Além disso, também se fará uma pesquisa exploratória do tipo descritiva, que consiste na exploração de um problema para prover critérios e a compreensão, caracterizando-se por ser uma pesquisa qualitativa, que procura alcançar uma compreensão das razões e motivações subjacentes (Malhotra, 2001). Como fonte de pesquisa serão usados artigos científicos sobre o tema, livros e documentos, papers e pesquisas em sites na internet.

## 2 Metodologia

A metodologia será aplicada no Brasil, tendo em conta os custos de produção dos sistemas nas diferentes localizações geográficas. Serão considerados vários cenários de promoção do fotovoltaico. Com base na análise de viabilidade económica, na perspectiva do promotor do sistema, será quantificado o mercado regional para estas tecnologias. Servirá como uma ferramenta de apoio à decisão sobre o planeamento e investimento em fontes alternativas e renováveis para a geração de energia elétrica, no Estado do Rio de Janeiro (Brasil). Indicando as melhores áreas para seu investimento. Portanto, o objetivo é avaliar o potencial de geração distribuída a partir da energia fotovoltaica e seu impacto no negócio de distribuição de energia, na região de estudo.

### 2.1 Objetivos

O objetivo principal deste estudo é colaborar para a redução da poluição e na produção de novas fontes de energias renováveis, nesse caso o sistema fotovoltaico. Pretende-se investigar e desenvolver uma metodologia de avaliação do potencial de competitividade das tecnologias fotovoltaicas relativamente à aquisição de energia da rede elétrica. Estas metodologias terão em conta a evolução tecnológica e políticas de promoção através de subsídios aos sobrecustos da tecnologia fotovoltaica.

A seguir os objetivos específicos do presente estudo:

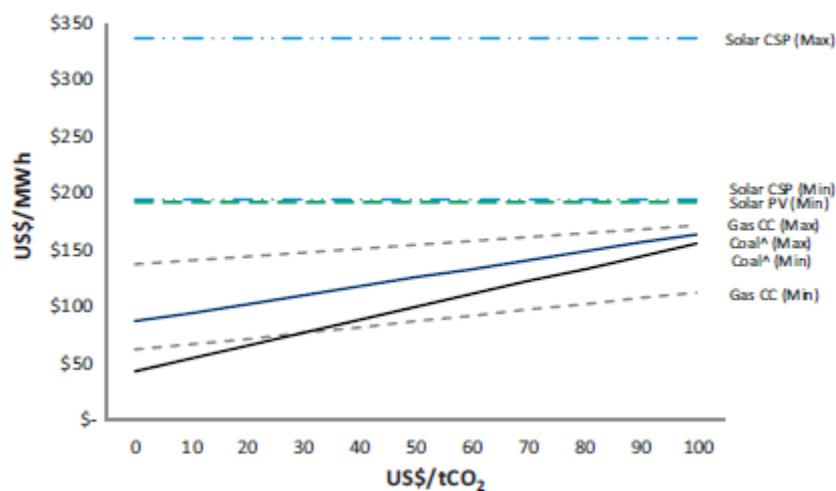
- Colaborar com estudos que promovam a aplicação de conhecimentos a redução da poluição e a produção de novas fontes de energias renováveis, nesse caso o sistema fotovoltaico;
- Promover o desenvolvimento energético do país, buscando expandir cada vez mais para lugares que ainda encontram-se sem energia elétrica e de difícil acesso;
- Avaliar os tipos de cenários que há no Brasil, na busca de uma viabilidade económica que melhor se adapte ao país.

### **3 Políticas de incentivo a energia solar e paridade com a rede elétrica na geração de energia elétrica convencional.**

As tecnologias de energia solar ainda não são um custo competitivo com as *commodities* de energia (gás, carvão e outros..), pois ainda detêm de um custo muito elevado, Instrumentos de política de apoio ao desenvolvimento de energia solar convencionais ou os níveis de atacado ou varejo estão sendo adotadas para que se promova mais o uso deste recurso. Portanto, a implantação de qualquer significativa da energia solar não será possível a menos que haja incentivos políticos importantes.

Um grande número de governos já perceberam isso e apoiam o desenvolvimento da energia solar através de incentivos fiscais, instrumentos de mercado, regulamentação e outros. Um número de estudos recentes, destacam a utilização da energia renovável, incluindo a solar, a nível global, bem como para um determinado país. Na verdade, o forte crescimento nos mercados de energia solar, nomeadamente o de energia fotovoltaica e solar térmica aquecimento de água, tem sido impulsionada pela implementação sustentada de instrumentos de política na Europa, Japão e os Estados Unidos na produção de energia (markets, economics and policies, 2011).

Figura 1 Atratividade económica de tecnologias solares quando os danos ambientais de tecnologias de combustíveis fósseis são contabilizados.



Fonte: Policy instruments to support solar energy development in solar energy: markets, economics and policies (2011).

A comparação feita entre as tecnologias solares com os combustíveis fósseis é que quando ocorre um dano ambiental a perda é muito maior para se reparar este dano e muito maior será o gasto financeiro com a reabilitação de uma determinada área como por exemplo, a exploração de uma mina de carvão. No caso fotovoltaico o único problema seria no final da vida útil de um painel o que fazer com ele, mas isso já está sendo resolvido, pois será reciclado e reutilizado.

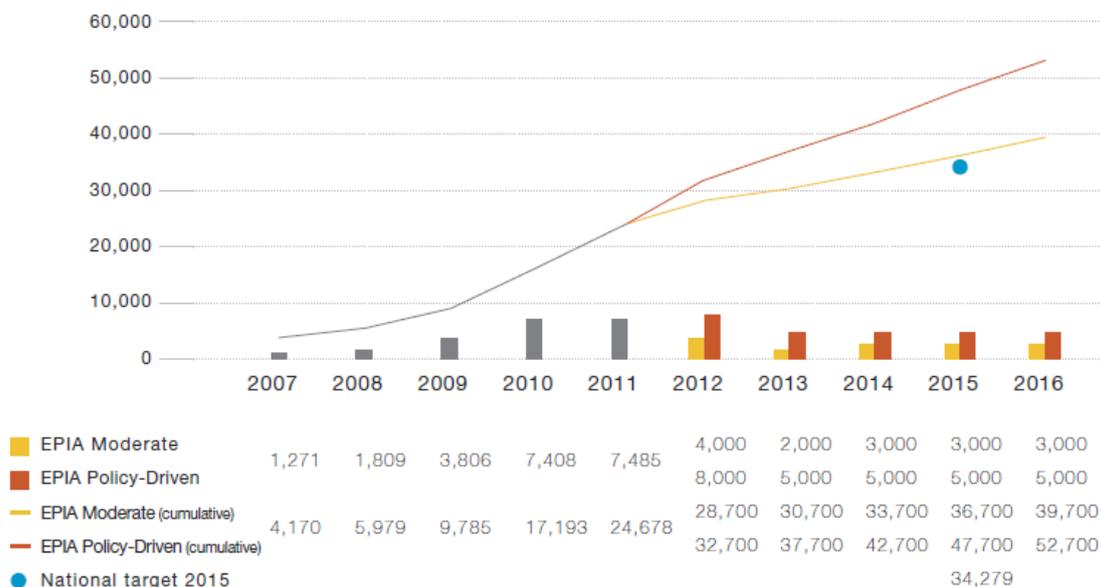
## 4 A paridade na Europa

Um exemplo do sucesso das renováveis é na Alemanha, sendo o mecanismo para este tipo de produção de energia PV é baseado na obrigatoriedade de compra pela operadora de rede de toda a eletricidade gerada pelas fontes renováveis pagando ao gerador uma tarifa prêmio que é distinta para cada tecnologia. Os recursos captados através de um pequeno acréscimo na tarifa de todos os consumidores são depositados em um fundo sendo utilizado para reembolsar (em forma de tarifa prêmio) os consumidores que tenham instalado os sistemas fotovoltaicos. Neste caso, o incentivo é pago gradualmente, como um prêmio por kWh ao longo de vários anos, permitindo que os consumidores recuperem os seus investimentos num período de 10 a 12 anos (Salamoni e Ruther, 2007).

Os objetivos do programa são facilitar o desenvolvimento sustentável do suprimento de energia, controlar o aquecimento global, proteger o meio ambiente e atingir um aumento substancial na porcentagem das energias renováveis no suprimento do consumo. Com 7.485 MW de capacidade recém-instalada em 2011, a Alemanha voltou a bater o seu anterior registro. A rápida diminuição dos preços de sistema, em 2011, em combinação com a ausência do ajuste Fit esperado em Julho, levou a um trimestre extremamente forte com cerca de 3 GW de novos sistemas elegíveis para o ajuste só em Dezembro. Mesmo que ainda não esteja claro se estes 3 GW foram realmente instalados e ligados em Dezembro de 2011 (devido ao conceito de "colocação comercial" que permite que um sistema possa ser registrado antes de sua verdadeira ligação para a rede), isso mostra mais uma vez a forte reatividade dos mercados na expectativa de novas reduções Fit, e destaca a necessidade de um mecanismo de controle rigoroso e dinâmico mercado. Mais uma vez, em 2012, já foram instalados 1,9 GW no primeiro trimestre, em reação à anúncio de uma redução significativa do ajuste em Abril de 2012, juntamente com uma transição do período (European Photovoltaic Industry Association EPIA, 2012).

Apesar da vontade do governo para restringi-lo. No entanto, em diversos segmentos de mercado o Fit novo na Alemanha está agora abaixo do varejo do preço da eletricidade. Este nível muito baixo deve favorecer o auto-consumo, e a indústria pode continuar a ser rentável com os níveis baixos de apoio que estão agora no lugar. Conforme a figura (2).

Figura 2: Crescimento Fotovoltaico no Mundo



Fonte: European Photovoltaic Industry Association (EPIA), 2012.

## **5 Metodologia para calcular a paridade com a rede (grid parity)**

A paridade de rede é atingida quando os custos da energia fotovoltaica e da energia convencional são os mesmos para o consumidor final.

A compreensão da relação custo-eficácia e viabilidade de tecnologias de energias diferentes é fundamental na determinação de políticas de gestão de energia para qualquer nação. O real preço da eletricidade depende do custo marginal da eletricidade gerada pela usina, dado e baseado no mercado. Várias usinas podem competir para fornecer eletricidade em lances diferentes, de forma que o preço da eletricidade de fornecedores varia de acordo com a proposta aceita. Para reduzir essa volatilidade, os cálculos são utilizados pelos varejistas para assumir um sistema fixo ou variável que é previsível para os consumidores e que conta para qualquer volatilidade no preço da eletricidade fornecida.

Assim o preço da eletricidade final pago pelo consumidor será diferente, o custo da geração a abstração é feita para remover preconceitos entre as tecnologias. O método considera a energia da vida gerada e os custos para estimar um preço por unidade de energia gerada. O método normalmente não incluem riscos e diferentes formas de financiamento disponíveis reais para as diferentes tecnologias (K. Branker; M.J.M. Pathak, J.M; Pearce, 2011).

## **6 A radiação solar recursos primários**

Os sistemas fotovoltaicos tradicionais utilizam a radiação solar global, que inclui a radiação direta incidente no plano do painel solar e a radiação difusa. Sob condições de céu limpo, 85% da radiação solar corresponde à componente direta da radiação e 15% à luz difusa que é a que vem de todos os ângulos. A energia produzida por uma determinada central fotovoltaica é, em geral, diretamente proporcional ao recurso solar.

Desta forma, os locais com maior radiação solar oferecem preços de eletricidade nivelados mais atraentes, sendo este fator o que tem o impacto mais significativo sobre os custos do sistema fotovoltaico (Böhmer, 2006).

O processo de conversão fotovoltaico não consegue aproveitar toda a energia solar incidente no painel fotovoltaico. Assim, como cada painel fotovoltaico aproveita apenas uma pequena parte da radiação solar incidente para a produção de energia elétrica, tornando – se necessário estudar o comportamento da radiação solar no local da instalação da central.

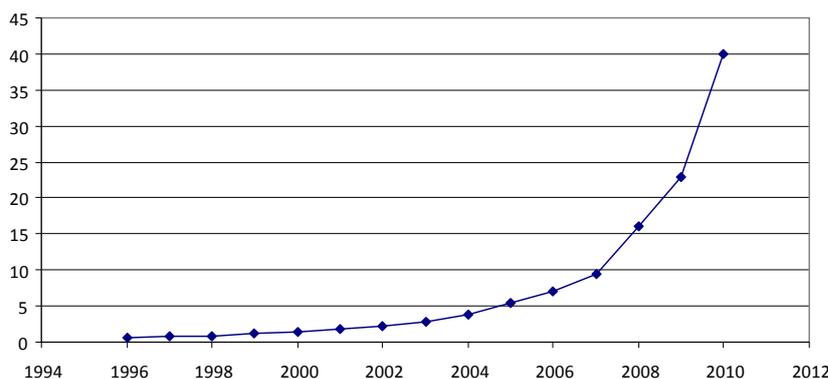
A energia produzida por uma central fotovoltaica é influenciada pela orientação e pelo ângulo de inclinação com a horizontal. Estes dois fatores provocam uma variação da radiação solar recebida pelo painel e, conseqüentemente, uma variação de energia produzida. Um posicionamento correto dos módulos fotovoltaicos em relação ao sol, permitirá um maior aproveitamento da radiação solar incidente e, conseqüentemente, uma maior produção de energia elétrica (Böhmer, 2006).

## 7 A tecnologia fotovoltaica no mundo

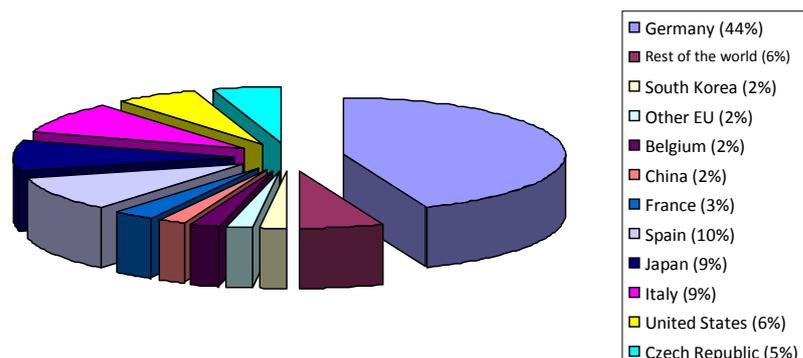
“A capacidade de produção de painéis solares do mundo começou a despertar em 1998, uma vez que o preço do petróleo começou a sua ascensão vertiginosa também.

O preço do petróleo aumentou sete vezes 1998-2008 e, ao mesmo tempo a capacidade de geração de eletricidade a partir de painéis solares fotovoltaicos foi multiplicado por 20. Mas em 2008 e 2009, apesar da queda acentuada dos preços do petróleo a capacidade de produção de eletricidade a partir de células fotovoltaicas, continuou a crescer, porque a crise provocou uma queda nos custos de fabrico e porque os preços a longo prazo do petróleo continuam com uma tendência de vies muito alta. O aumento da capacidade de geração de eletricidade a partir de painéis solares no mundo foi de 70% em 2008 e 47% em 2009 (36% ao ano em média desde 1998), é uma área onde o sol brilha, apesar da crise (Ziles Energia Solar e Fotovoltaica, 2012).”

Figura 3: Capacidade Mundial Instalada de Energia Solar Fotovoltaica



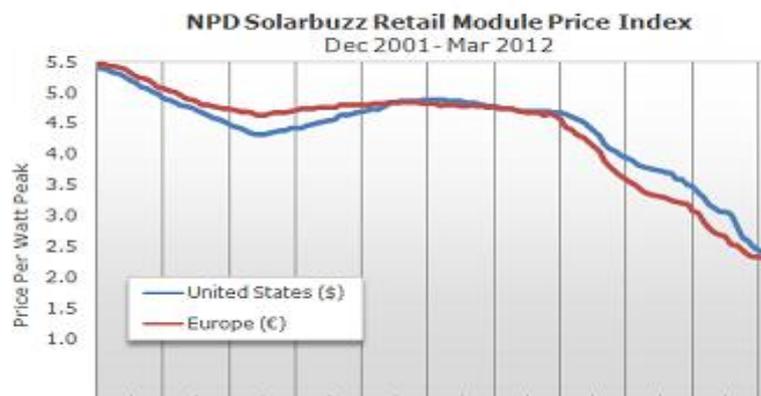
Fonte: Renewables (2011). Global Status Report. Renewable energy policy network for the 21<sup>st</sup> century (ren21).

Figura 4: Capacidade Instalada de Energia Solar Fotovoltaica por países<sup>1</sup>

Fonte: Renewables (2011). Global Status Report. Renewable energy policy network for the 21<sup>st</sup> century (ren21).

## 7.1 Evolução dos preços dos painéis solares PV

Figura 5: Evolução dos preços dos módulos solares por Watt pico nos Estados Unidos e Europa na última década



Fonte: Disponível em: <http://www.solarbuzz.com>, acessado em 19 de julho de 2012.

Com o aumento nos últimos anos na produção e no uso de novas tecnologias PV com a participação de novos fabricantes como os Chineses e os Taiwaneses, conseguiu-se reduzir os valores para a produção de módulos solares, fazendo com que o preço de venda, nos Estados Unidos da América - (EUA) e também na Europa baixas-se, sendo que no mês de Março de 2012. O menor preço de retalho para um módulo solar de silício policristalino foi de R\$ 1,06 por watt (€ 0,78 por watt) a partir de um Varejista

<sup>1</sup> Capacidade instalada por MW.

alemão. O menor preço de retalho para um módulo de silício monocristalino é de R\$ 1,10 por watt € 0,81 por wat também de um varejista alemão.

O custo do módulo é de cerca de 35-40% do custo total instalada de um sistema de energia solar. Os preços são baseados para compra de um único módulo solar e são exclusivos de impostos sobre as vendas (Solarbuzz, 2009).

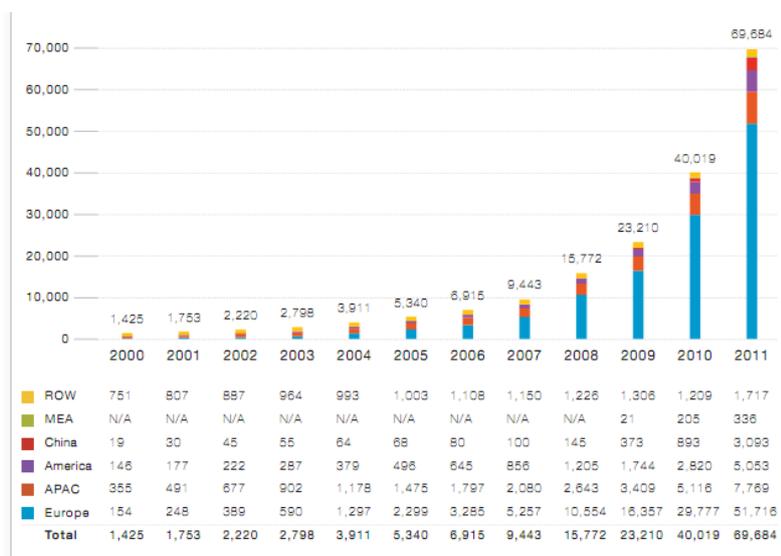
Até o final de 2008, a potência fotovoltaica instalada, aproximava-se dos 16GW e em 2009, atingiu os 23GW instalados a nível mundial, produzindo cerca de 25TWh de eletricidade. A Europa segue sendo a grande pioneira com quase 16GW de capacidade instalada em 2009, com uma representação de 70% da potência PV instalada em todo o mundo, seguida pelo Japão e os EUA com 2,6 GW e 1,6GW respectivamente (Global Market Outlook for photovoltaics until projeção, 2014).

Estudos mais recentes já mostram a evolução das instalações das fotovoltaicas pelo mundo inteiro, e o seu aumento da capacidade de produção, continuando a Europa ainda a liderar com mais de 51 GW instalados a partir de 2011. Isto representa cerca de 75% de PV total do mundo capacidade cumulativa. Seguida pelo Japão (5 GW) e EUA (4,4 GW), também pela China (3,1 GW), que atingiu o seu primeiro GW em 2011.

Muitos dos mercados fora da Europa, em particular a China, EUA, Japão e a Austrália (1,3 GW) e Índia (0,46 GW), abordaram apenas uma parte muito pequena de seu enorme potencial, vários países de regiões grandes como a África, o Oriente Médio, Sudeste da Ásia e América do Sul também começaram a investir em novas tecnologias de produção de energia, como a fotovoltaica.

A capacidade fora da Europa quase duplicou entre 2010 e 2011, demonstrando o reequilíbrio em curso entre a Europa e o resto do mundo e refletindo mais de perto os padrões de consumo de eletricidade (European Photovoltaic Industry Association EPIA, projeção, 2014).

Figura 6: A evolução mundial de energia PV instalada e acumulada nas principais regiões do Mundo de 2000 a 2011 em MW



Fonte: EPIA, Global Market Outlook for photovoltaics until projeção 2016, pesquisa efetuada em 2012<sup>2</sup>.

Segundo pesquisas recentes mostram que a redução não está ligada com os preços dos módulos fotovoltaicos, mas com a mão-de-obra do marketing e os inversores de corrente e o balanço de sistema. As políticas estatais e locais de promoção do fotovoltaico estimularam a concorrência e permitiram uma maior eficiência na instalação de equipamentos.

“Os sistemas instalados em 2006 e 2007 com menos de 2 kW custaram em média 9 dólares/watt enquanto que aqueles com mais de 750 kW custaram 6,8 dólares/watt. O Estado Norte-Americano com os preços médios mais baixos neste período foi o Arizona, com 7,6 dólares/watt. Já o estado com maiores custos foi a Maryland, com 10,6 dólares/watt. A instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios novos foi cerca de 60 centísimos mais barata do que em edifícios adaptados. O estudo concluiu igualmente que os programas estatais e locais de financiamento direto sofreram um declínio entre 1998 e 2007. Inversamente, os programas federais de isenção fiscal aumentaram, tendo atingido o valor recorde de 3,9 dólares/watt em 2007 (wikienergia, 2012).

<sup>2</sup> ROW – Resto do Mundo, MEA – Oriente Médio e África, APAC - Asia Pacífico.

Sendo o custo de instalação de sistemas fotovoltaicos reduziu-se em 28% nos últimos dez anos nos Estados Unidos da América (EUA). Estudos relatados em documentos internacionais reportam para o ano de 2050 que 50% da geração de energia no mundo virá de fontes de energias renováveis. Dessa demanda, mais ou menos 25% provem das da energia solar fotovoltaica. Sendo até o final deste século a população dependerá em até 90% das renováveis, e das quais 70% da energia será fotovoltaica (IEI - International energy agency, 2009).

## 8 Sistema Fotovoltaico no Brasil

No Brasil, os sistemas fotovoltaicos que estão conectados a rede são ainda muito poucos e de caráter experimental. As aplicações da tecnologia solar fotovoltaica é relativamente utilizada para o serviço de telecomunicação, à eletrificação rural, aos serviços públicos e ao bombeamento de água. Com uma potência de cerca de 20 MW, dos quais estão localizados nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, de sistemas conectados a rede de 0,153MW (International energy agency - IEI, 2009).

O Brasil possui um grande potencial de irradiação solar, sendo maior que o potencial de um dos maiores investidores neste tipo de energia renovável que é Alemanha. Abaixo na tabela segue uma comparação entre o Brasil, Alemanha e a Espanha na capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos ligados a rede.

Tabela 1 Comparação entre Brasil a Alemanha e a Espanha na capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos ligados a rede.

	Alemanha	Espanha	Brasil
Capacidade instalada(MW)	3.800	451	0,152
Potencial (kWh/m2.ano)	900	900	1950

Fonte: International energy agency IEI, ( 2009)

Foram instalados no Brasil 120,4 kWp em sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica.

Tabela 2: Mostra todos os sistemas fotovoltaicos conectados a rede de 1995 até o ano de 2008.

Sistema fotovoltaico	Ano de instalação	Potência (kWp)
CHESF	1995	11
Lab. Solar (UFSC)	1997	2,1
LSF (IEE/USP)	1998	0,75
COPPE (UFRJ)	1999	0,85
Lab Solar (UFSC)	2000	1,1
Grupo FAE- UFPE (Fernando Noronha)	2000	2,5
LSF (IEE/USP)	2001	6,3
labsolar	2002	10
CEPEL	2002	16
HR	2002	3,3
Grupo FAE – UFPE (Fernando Noronha)	2002	2,5
CELESC (3x 1,4 kWp)	2003	4,2
LSF – IEE/USP	2003	6,0
UFRGS	2004	4,8
CEMIG	2004	3,0
Escola Técnica de Pelotas-RS	2004	0,85
LSF-IEE/USP	2004	3,0
Grupo FAE-UFPE	2005	1,7
C Harmonia (SP)	2005	1
CEMIG (3x3 kWp)	2006	9
UFJF	2006	30
GREENPEACE (SP)	2007	2,9
Grupo FAE-UFPE	2007	0,15
Residência Particular, Recife	2007	1
Lh2 Projeto CPFL	2007	7,5
Residência Particular , São Paulo	2008	2,9
Solaris Leme-SP	2008	1
Zepini, Motor Z	2008	2,4
Zepini, Fundação Estrela	2008	14,7
<b>Total</b>		<b>152,5 kWp</b>

Fonte: International energy agency IEI, ( 2009)

Os sistemas fotovoltaicos interligados à rede de distribuição apresentam características vantajosas, diminuindo a perda nas redes de transmissão e distribuição.

Havendo um investimento maior em tecnologia e desenvolvimento em um recurso que é inesgotável e livre de emissão de gases causadores do efeito estufa. O Brasil dispõe abundantemente deste recurso que são horas de sol e não possui um histórico de investimento e aplicação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede. Conforme está citado no quadro acima.

No Brasil, ainda não há uma campanha ambiental forte em relação a energia solar, pois a necessidade de substituir os combustíveis fósseis é menor. Mas o Brasil precisa investir mais neste mercado de energia fotovoltaica, pois a demanda energética do país vem crescendo cada vez mais e este fato sobrecarrega a rede elétrica. A necessidade de grandes expansões acarreta grandes investimentos.

Assim as prioridades e os objetivos que o Brasil precisa para incentivar a utilização das energias renováveis, mais precisamente a solar, são:

- O fornecimento da utilização de recursos locais;
- O estabelecimento de geração distribuída;
- O estabelecimento de uma indústria local forte;
- A contribuição para a geração de novos postos de trabalho;
- A diversificação da matriz energética;
- O auxílio no suprimento da crescente demanda energética nacional, através da utilização de uma fonte complementar de energia;
- O reforço ou abastecimento de energia em comunidades locais, contribuindo para a erradicação da pobreza no país;
- A redução dos impactos sociais e ambientais oriundos da implantação de fontes convencionais de energia

A fim de começar a determinar o seu espaço estratégico no mercado e garantir um desenvolvimento sustentável da tecnologia solar nacional e de riquezas sociais e ambientais no futuro (Salamoni e Rüther, 2007).

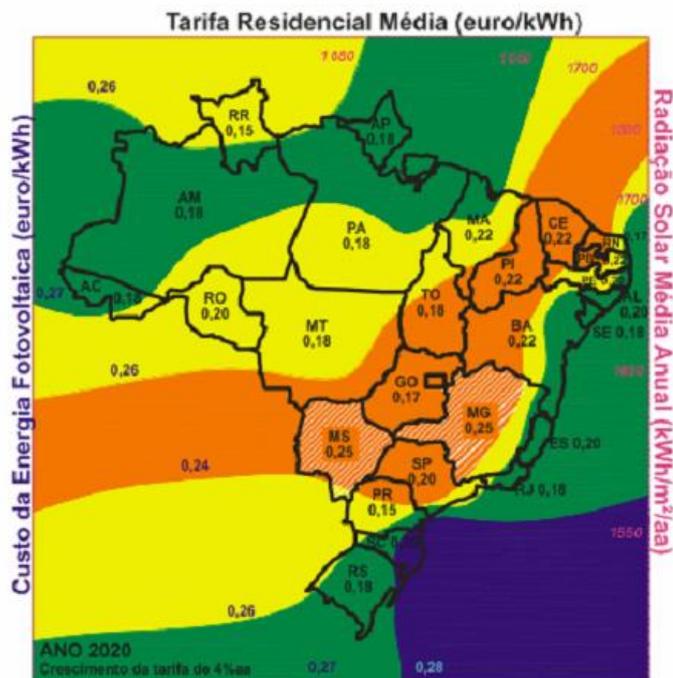
## **9 Custo nivelado x paridade com a rede elétrica no Brasil**

Segundo Salamoni e Rüther (2007), que realizaram um estudo de quando é que poderia ocorrer a paridade no Brasil com os valores referentes à tarifa de energia para o setor residencial. Foram inseridos na figura abaixo dentro de cada estado o custo da energia fotovoltaica sendo colocado à esquerda do mapa. Em cada faixa de radiação solar, o custo da energia fotovoltaica é diferente. Esse custo é válido para todas as regiões contidas dentro da mesma faixa de radiação. As áreas representam as regiões que atingiriam paridade de rede, ou seja, que teriam o custo da geração fotovoltaica no mínimo equivalente ao custo da geração convencional para o consumidor residencial.

Havendo também uma Taxa de Investimento de Retorno (TIR). Conforme depara-mos com o novo valor, fazendo-se uma compração para todas as regiões do Brasil.

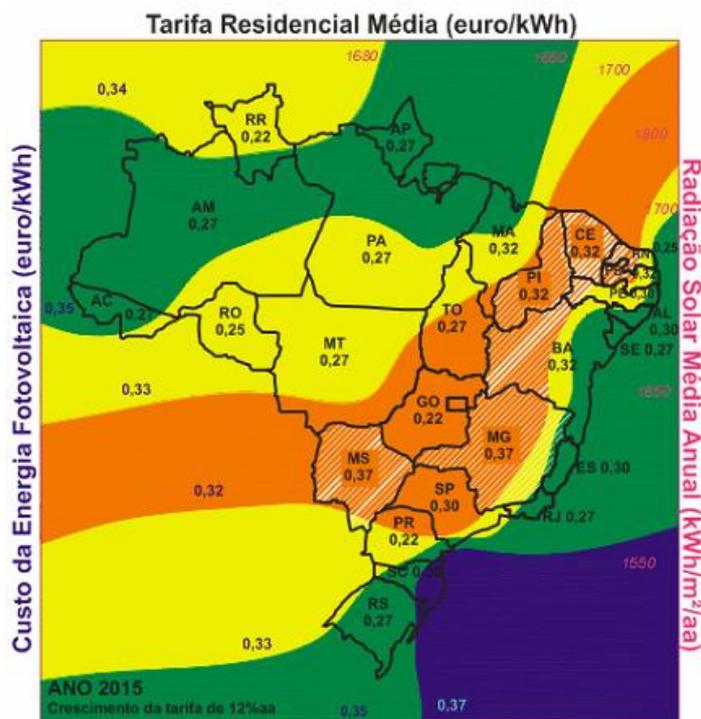
De acordo com os cenários, considerando uma evolução nas tarifas residenciais de 4%aa, o Brasil atingiria paridade de rede em 2020, no estado do Mato Grosso e parte de Minas Gerais. Nesse caso, a energia fotovoltaica estaria custando 0,60 R\$/kWh (0,24 €/kWh), enquanto que a tarifa convencional para o setor residencial estaria custando aproximadamente 0,62 R\$/kWh (0,25 €/kWh).

Figura 6: Paridade de rede para o ano 2020, considerando uma taxa de crescimento na tarifa convencional de energia residencial de 4% a.a.



Fonte: Salomoni e Ruther (2007)

Figura 7: Paridade de rede para o ano 2015, considerando uma taxa de crescimento na tarifa convencional de energia residencial de 12% a.a.



Fonte: Salomoni e Ruther (2007)

Na análise, que considerou um crescimento nas tarifas de 12%aa (Fig.7) a paridade total de rede seria atingida no ano de 2015, exceto nos estado de Roraima e Paraná. Hoje em dia a tecnologia fotovoltaica é aparentemente cara, por outro lado, as suas perspectivas de redução de custo ao longo dos anos são de acordo com estudos feitos no ano de 2007 para estas estimativas de crescimento das tarifas de energia convencional e com as previsões de redução de custos dos sistemas fotovoltaicos (Salamoni e Rüther, 2007).

Agora será feito uma análise para os próximos anos com base em 2012 que devido a descoberta de novas tecnologias e novos produtores que entraram no mercado na produção de painéis e derivados para a execução deste tipo de energia renovável, teremos outras situações do mercado fotovoltaico, pegamos de base para este estudo o Estado do Rio de Janeiro.

## 10 Caso de Estudo o Estado do Rio de Janeiro

A viabilidade económica não só vai permitir o estudo da competitividade do potencial entre as tecnologias renováveis, no Estado do Rio de Janeiro, mas também servirá para avaliar qual seria o custo de investimento de instalação de uma capacidade tecnológica como no caso dos painéis fotovoltaicos e qual seria a política energética para fazer o investimento de uma tecnologia renovável ser mais atraente.

### 10.1 Cenário de Penetração PV na Rede de Baixa Tensão

No caso das centrais fotovoltaicas distribuídas de baixa potência conectada à rede de baixa tensão foi desenvolvido um cenário que representa uma projeção alternativa do futuro sob o seguinte conjunto de suposições: esta projeção foi criada assumindo um custo da energia em BT de cerca de 0,379 R\$/kWh em 2010 fornecido pela AMPLA.

O aumento do custo da energia da rede BT dar-se-á da seguinte forma:

- 0,5% em 2011 e 2012;
- 1% em 2013 e 2014;
- 2% em 2015 e 2016;
- 3% em 2017 e 2018;
- 4% em 2019 e 2020;

Apesar de ainda ser uma solução cara atualmente frente a outras soluções, é a tecnologia que apresenta a maior taxa de crescimento e queda nos custos. Os avanços tecnológicos e novas descobertas são bastante promissores para baratear ainda mais os seus custos. Assumiu-se um decréscimo do custo nivelado de 5% ao ano, face aos avanços da tecnologia PV. A partir do momento em que o custo da tecnologia PV for inferior ao da rede de distribuição, o investimento nesta tecnologia por unidade de área dependerá unicamente da possibilidade financeira dos consumidores e da concentração de edifícios no local.

Com o objetivo de quantificar a capacidade de energia renovável em potencial que irá penetrar facilmente na rede e no sistema elétrico. A evolução das capacidades renováveis instaladas será fortemente dependente dos parâmetros econômicos e políticos sobre os cenários de promoção renováveis. Portanto, a conclusão será uma descrição de como as projeções da capacidade instalada poderia ser possível até 2020.

No Estado do Rio de Janeiro há um grande potencial de fontes renováveis ainda a ser explorado. Com exceção da produção de energia hidroelétrica que é muito utilizado já, seguindo esta linha de pesquisa, verificou-se que o custo de eletricidade nivelado da fonte renovável encontraria paridade com a rede entre 2012-2013, só que isto ainda não veio há ocorrer, pois a variação dos preços da rede elétrica não foram com estas proporções. Em 2016, o Levelized Cost of Electricity (LCOE) desta tecnologia é inferior ao preço da eletricidade em quase toda a área do Estado do Rio de Janeiro, que significa que, a partir deste ano, é que ocorrerá a paridade com a rede elétrica. A taxa de fração fotovoltaica painel por unidade de área, como mencionado anteriormente, iria depender dos clientes das finanças e da densidade por unidade de área (INESC- Porto, 2012).

Para considerar esses dois fatores, a área do Estado do Rio de Janeiro foi classificada de acordo com a densidade residencial como: concentrado baixo, concentrada e altamente concentrado, e em acordo com a classe social dos seus habitantes como: baixo mediana ou superior. Considerando-se estes critérios, sete zonas, onde a instalação fotovoltaica seria competitiva, foram identificadas e classificadas por tipologia e densidade, e sua área útil em Quilômetros. A tecnologia solar fotovoltaica apresenta certamente o maior potencial técnico, no entanto, ainda não é, nem será, disponível a custos mais baixos do que a rede elétrica. A difusão da tecnologia presente exigiria a execução de ações de promoção e mecanismo de incentivá-las a ser empregue. No entanto, a mesma tecnologia dispersa nas estações de capacidade mais baixa irá alcançar a paridade com a grade em 2016, permitindo a instalação de cerca 55 MW até 2020. Este é o resultado e está diminuindo os custos de eletricidade nivelado nos últimos anos (INESC – Porto, 2012).

Serão descritos os aspectos que foram levados em conta, no processo de avaliação do potencial e viabilidade economica de um dado local, para desenvolvimento

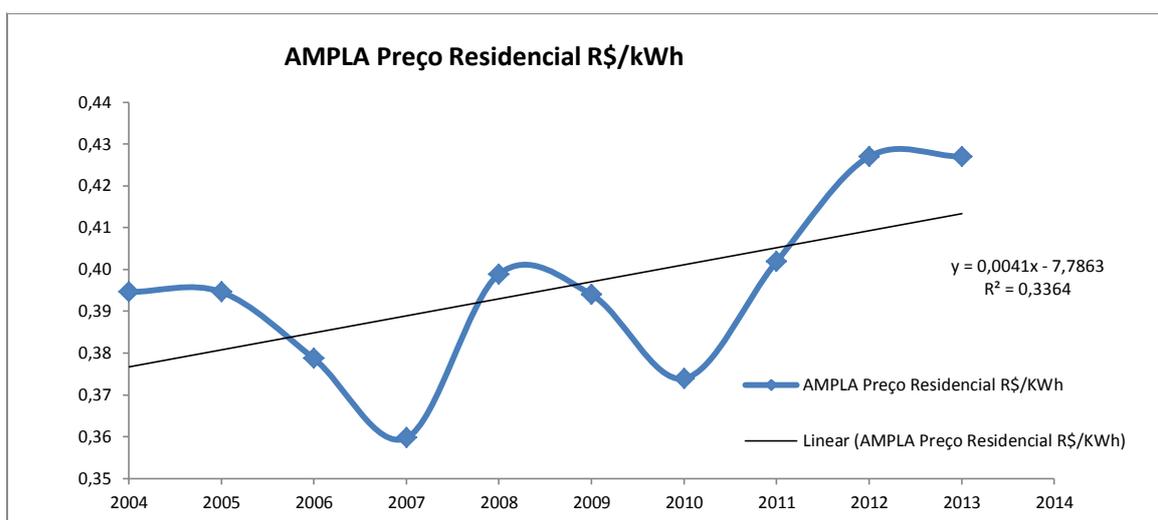
de centrais fotovoltaicas de pequena (dispersa) e de grande (centralizada) dimensão, bem como adaptações que foram feitas devido às limitações dos dados disponíveis.

Assumiu-se ainda que o número de sistemas a ser instalados iria crescer de ano para ano consoante a zona. No caso de um local “superior” o número de sistemas instalados aumenta de 40%. No caso de um local “médio” o número de sistemas instalados aumenta de 20 %. Para as restantes localidades a taxa de crescimento mantém-se constante, ou seja, 2 sistemas por km<sup>2</sup>. Atuando da mesma forma que nos processos anteriores conclui-se que em 2020, a área de estudo terá um capacidade instalada de cerca de 55 MW, uma capacidade bem inferior às tecnologias estudadas anteriormente. Desses 50 MW distribuídos pelo Estado, cerca de 34 MW encontram-se numa zona constituída pelos seguintes municípios: Maricá, Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá, Rio Bonito, Teresópolis, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias, Petrópolis e São João de Merit.

## 11 A evolução dos Preços de Eletricidade do Consumo Doméstico

Conforme segue abaixo os valores foram calculados com base nos dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Mais especificamente com a companhia de energia elétrica AMPLA energias e serviços S/A, que é uma das companhias que presta serviços para o Estado do Rio de Janeiro.

Figura 7 – AMPLA Preço Residencial R\$/kWh



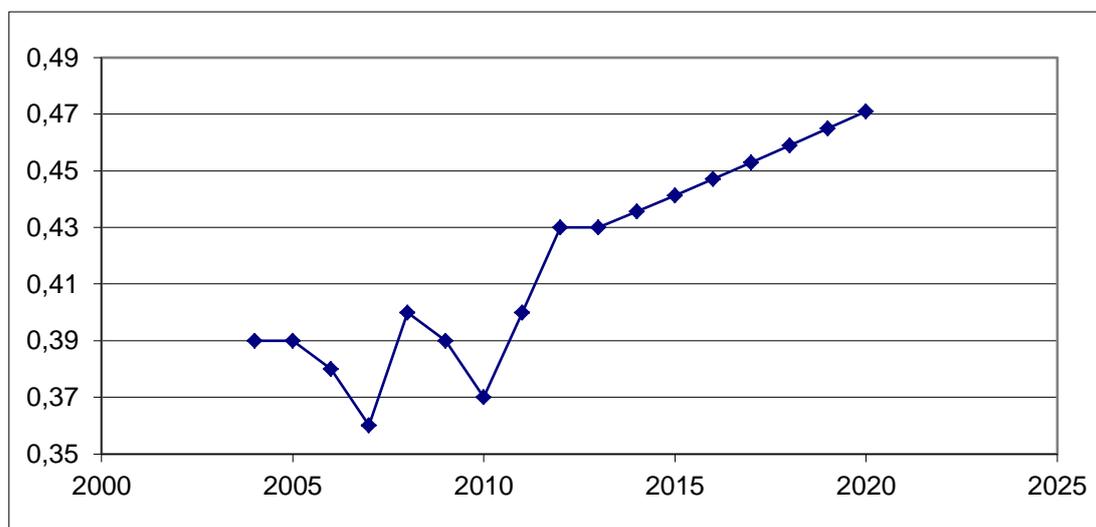
Fonte: ANEEL; AMPLA (2012).

Os valores referem-se às tarifas homologadas pela ANEEL, expressas na unidade R\$/kWh (reais por quilowatt-hora) e não contemplam tributos e outros elementos que fazem parte da fatura de energia elétrica final do consumidor, tais como: ICMS, Taxa de Iluminação Pública e Encargo de Capacidade Emergencial, cuja cobrança foi encerrada em 22 de dezembro de 2005. Para as tarifas homologadas a partir de 1º de Julho de 2005, os valores relativos à cobrança dos tributos PIS/PASEP e COFINS passaram a ser considerados também em destaque na fatura de energia elétrica (ANEEL, 2012).

O preço residencial do ano de 2005 até o ano de 2013 são os valores em Reais por Quilowatt - hora que foram fornecidos pela ANEEL junto a companhia AMPLA energias e serviços S/A.

Sendo feito uma estimativa para os próximos anos de qual será o preço de R\$/kWh, de 2005 até o ano de 2020 fazendo uma comparação ao preço do carvão, por exemplo, conforme segue na figura (8) ocorre uma oscilação nos preços com um viés de alta.

Figura 8: Estimativa dos Preços em R\$/kWh.



Fonte: Elaboração própria com a utilização de dados fornecidos pela AMPLA, 2012.

Atualmente a questão energética vêm sendo uma preocupação mundial. Com inúmeras crises do setor elétrico que são cada vez mais frequentes. Durante os últimos anos, os setores de energia de diferentes países sofreram grandes transformações, com tendência à desverticalização e ao estímulo à descentralização da geração de energia. Impondo à rede de distribuição um papel central nesta nova reformulação.

O Brasil por dispor de uma elevada área para produção de energia seja ela na hídrica que é maior fonte de produção de energia no país, como também pode diversificar este mix com outros tipos de energias que podem ser renováveis. Como no caso dos painéis fotovoltaicos e para isso será feito um cálculo para saber -se será viável ou não o custo de eletricidade através da obtenção da energia fotovoltaica. Será calculado o Custo Nivelado de Eletricidade para os próximos anos tendo o seu início em 2012 até 2020 para o Estado do Rio de Janeiro. A tecnologia fotovoltaica como geração distribuída, é cada vez mais inserida nos sistemas de distribuição nível mundial,

sendo no âmbito de programas e regulamentos de incentivos. O mercado fotovoltaico apresenta um constante crescimento, e interesse.

## 12 O custo nivelado de eletricidade (cne) ou levelized cost of electricity (lcoe)

Essa análise foi desenvolvida através de cenários em que a energia fotovoltaica poderia ser competitiva com a geração convencional. O procedimento aplicado para se realizar o cálculo para o custo nivelado de eletricidade.

O CNE representa o custo equivalente de produção de eletricidade para uma determinada central, tendo em conta um valor anual nivelado de todos os custos e um valor anual da energia produzida.

Os custos de geração CNE serão apresentados em (R\$/kWh). Todos os custos associados à implementação, interligação, operação e manutenção da central a instalar:

- Estimativa do valor esperado de produção (kWh/ano) do sistema. Assim, o CNE obtém-se:

$$CNE = \frac{\sum_e (\tau_e \times I_e + OM_e)}{EAP}$$

Onde:

$$\tau_e = \frac{t \times (1 + t)^{ne}}{(1 + t)^{ne} - 1}$$

$I_e$  representa o investimento no ano 0 para o equipamento em (R\$),  $OM_e$  o custo anual de operação e manutenção (R\$/ano), EAP a energia anual assegurada (kWh/ano),  $t_e$  o fator de anualização para o equipamento e,  $t$  a taxa de atualização e  $ne$  o tempo de vida do equipamento em (anos).

Para o cálculo do CNE, foi considerado a instalação de sistemas típicos de 3,6 kW com um custo de 5.500 R\$ por cada sistema (painéis solares, inversores e suportes)

mais um custo de 10% para a instalação do sistema. Foi considerado também 20 anos de vida útil dos equipamentos e uma taxa de atualização de 9%, conforme segue na figura (9).

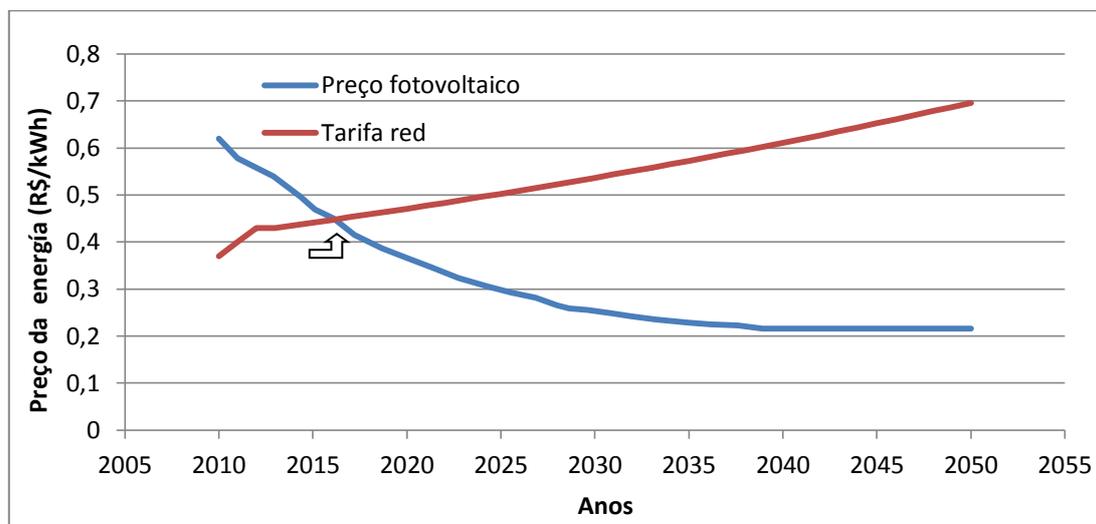
Figura 9: Cálculo do Custo Nivelado de Eletricidade

Custo nivelado de electricidade		
Ie (R\$/kW)	5500	Ie o investimento no ano 0 para o equipamento
Psyst (kW)	3,6	Potência
EAP (kWh/y)	5026,05	EAP a energia anual produzida (kWh/ano)
OMe	R\$ 50,00	OMe o custo anual de operação e manutenção (R\$/ano)
Te	0,110	te o fator de anualização para o equipamento
ne	20	tempo de vida do equipamento em anos
t	9%	t a taxa de atualização e ne o tempo de vida do equipamento em anos
CNE (R\$/kWh)	0,442	CNE representa o custo nivelado de eletricidade (R\$/kWh)
CNE (Euro/kWh)	0,177	CNE representa o custo nivelado de eletricidade (€/kWh)

Fonte: Elaboração Própria, 2012.

Conforme o cálculo acima percebe-se que o investimento para se instalar um sistema fotovoltaico já está se tornando viável. Na figura (10) nota-se que para os próximos anos tornaria-se viável o investimento em fotovoltaicas, pois os custos tendem a baixar com a evolução de novas tecnologias e novos investimentos, assim os preços ficaram mais baixos, com isso poderá haver novos investimentos nas energias fotovoltaicas.

Figura 10: Preço – Custo Nivelado de Eletricidade



Fonte: Elaboração Própria, 2012.

Na figura (10) a estimativa do custo nivelado de eletricidade com o preço da rede ocorreria a paridade com a rede elétrica entre 2015 e 2016 aproximadamente. No Estado do Rio de Janeiro, teríamos o preço de 0,44 R\$/kWh (0,17 €/kWh) e seria viável a utilização de sistemas fotovoltaicos na produção de energia elétrica e para comercialização junto a rede elétrica.

## 13 Conclusão

O Brasil apresenta um amplo conjunto de alternativas para novos investimentos e o setor energético é um dos mais promissores, principalmente por contar com as energias renováveis. O país, já na década de 1970, investiu em pesquisas e incentivos através do Proálcool, que foi um programa bem sucedido de substituição em larga escala dos derivados de petróleo. O Programa determinou que fosse incorporada uma fração de álcool anidro na gasolina pura consumida pelos automóveis. No período de 1975 a 2000, evitou-se a emissão de 110 milhões de toneladas de dióxido de carbono (BIODIESELBR, 2007).

Com este estudo, concluímos que as fontes de energia renovável estudadas neste trabalho têm um grande potencial para gerar energia elétrica em alguns casos a custos competitivos com a energia convencional.

A tecnologia solar fotovoltaica tem certamente o potencial técnico mais significativo, no entanto ainda não está, nem estará tão cedo, disponível a custos inferiores ao da rede elétrica. A potência verá a paridade ser atingida com a rede em 2016, permitindo a instalação de cerca de 55 MW até 2020. Esta situação dever-se-á diminuição dos custos dos constituintes destes sistemas nos próximos anos.

Conforme David Ricardo, 1982, a generalização do raciocínio da renda estática para os demais recursos naturais já constava na discussão sobre a renda da terra, conforme citação:

Se o ar, a água, a elasticidade do vapor e a pressão atmosférica tivessem diferentes qualidades; se pudessem ser apreendidas e se cada qualidade existisse apenas em quantidade moderada, esses agentes, assim como a terra, dariam origem à renda, à medida que as diferentes qualidades fossem sendo utilizadas. (Ricardo, 1982, p. 69)

Observa-se claramente que a utilização dos recursos renováveis podem ser considerados como uma renda a ser auferida. No texto clássico de Ricardo sobre a renda da terra o mesmo já induz a idéia que todo o recurso natural que se torna escasso, pode gerar uma renda, cita-se, portanto, a teoria ricardiana sobre a renda que é apropriada para os recursos naturais, ou seja, estes agentes adquirem algumas características semelhantes a qualquer outro ativo existente na economia. Ao não serem mais bens livres passam a ser considerados bens economicos, como o fator da utilização do sol como fonte de energia (Reis e Santin, 2006).

A utilização de sistemas fotovoltaicos apresentou um crescimento acentuado na última década no cenário mundial. Este cenário apresenta uma boa oportunidade para o Brasil. O material que é usado para a fabricação das células fotovoltaicas é o silício e o país possui grandes jazidas de quartzo de silício e um parque industrial capaz de transforma-lo em silício para a produção de painéis (Salamoni e Rütther, 2007).

Apesar do elevado potencial de aproveitamento solar que o país dispõe, no decorrer do ano, poucas tentativas foram realizadas visando incentivar a energia solar fotovoltaica.

Por mais alta que seja a tecnologia fotovoltaica no momento, seus custos estão declinando ao longo dos anos e as suas perspectivas são de reduções ainda maiores. Ao mesmo tempo, não há nenhuma estimativa de redução dos custos da geração convencional para o consumidor final.

Com a paridade de rede entre a geração convencional e a geração fotovoltaica, a utilização dessa fonte renovável de energia poderá não somente auxiliar na diversificação da matriz energética, mas também trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais ao país.

No caso de estudo do Rio de Janeiro, teríamos a paridade da rede elétrica com o sistemas fotovoltaicos entre os anos de 2015 e 2016, fazendo com que este tipo de investimento se torne mais atraente no país. As vantagens das tecnologias fotovoltaicas são que ecológicamente não poluem, não possuem peças móveis e os seus sistemas podem ser dimensionados para aplicações em kW ou MW.

Quando atingida a paridade de rede, a demanda fotovoltaica irá aumentar significativamente, pois os consumidores irão pagar por esta energia o mesmo preço ou até mesmo menos do que o preço da energia convencional, mas, com um adicional de estarem consumindo uma energia vinda do sol, que é ambientalmente sustentável e limpa.

## Bibliografia

ANEEL (2012) – Agência Nacional de Energia Elétrica; AMPLA <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?Idarea=550>, acessado em 10 de Maio.

Böhmer, C.R.K. (2006) – **Otimização da inclinação de módulos fotovoltaicos em função da radiação solar incidente na região de Pelotas**, Rio Grande do Sul/ Brasil.

BIODUSELBR (2012) – **Crédito Carbono – Mecanismo Desenvolvimento Limpo**. Disponível em: <http://www.biodiselbr.com/credito-de-carbono/mdl/index.htm>. acesso em 05 de Agosto.

DECC - Department of Energy & Climate Change Crown copyright (2011) – PDF 3 Whitehall Place London SW1A 2AW [www.decc.gov.uk](http://www.decc.gov.uk) . URN 11D/875.

Energy Self Reliant States: <http://energyselfreliantstates.org/>, Acessado em 25 de Julho de 2012.

Energy Information Administration: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/>, Acessado em 05 de Setembro de 2012.

Energy Information Administration: [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2012\)](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2012)), Acessado em 05 de Setembro de 2012.

European Photovoltaic Industry Association EPIA (2012) – Global market outlook for photovoltaics until Projeção para 2014.

European Photovoltaic Industry Association EPIA (2012) – Global market outlook for photovoltaics until Projeção para 2015.

European Photovoltaic Industry Association EPIA (2011) – Global Market Outlook for photovoltaics until Projeção para 2016.

International Energy Agency photovoltaics power systems programme annual report IEA PVPS - (2011).

INESC (2012) – Instituto de Engenharia de Sistemas de Computadores do Porto, Acessado em Julho.

Jäger-Waldau A. PV status report (2010) – Research, solar cell production and market implementation of photovoltaics. European Commission, DG Joint Research, Institute for Energy, Renewable Energy Unit Centre.

Lakatos, E. M.; Marconi, M. de A. (2009) – **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisas bibliográficas, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 5. ed. São Paulo: Atlas.

Miranda, A. P.; Cascai, T. (2008) – **O Protocolo de Kioto e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. [S.I.: s.n.], (Artigo de opinião).

REN21 Renewables global status report (2011) – Renewable energy policy network for the 21st Century.

Reenova Energia. Matriz Energética (2012) –  
Brasiliera<http://www.b2i.us/profiles/investor/fullpage.asp?F=1&bzid=1698&to=cp&Nav=1&langid=3&s=0&ID=12090> acessado em 10 de Agosto.

REIS, Alexandre; SANTIN, Maria F.D. de L. A teoria da renda ricardiana: um marco unificador entre as economias da poluição e dos recursos naturais, 2006.

Seiffert, M. E. B. (2009) – **Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto: oportunidades de negócios na busca da sustentabilidade**. São Paulo: Atlas.

Souza, O. T. (2008) - Artigo Desenvolvimento Econômico, Agropecuário e Meio Ambiente no Rio Grande do Sul: Instrumentos e Possibilidades de reconciliação. Prof. Departamento de Economia e do Programa de pós-graduação em economia na PUCRS.

Solar Buzz: <http://www.solarbuzz.com>, Acessado em 19 de Julho de 2012.

Tsioliaridoua, E., Bakosa, G.C. and Stadler, M., (2006) – A new energy planning methodology for the penetration of renewable energy technologies in electricity sector application for the island of Crete. *Energy Policy* 34 3757–3764.

Wiki energia: <http://www.wikienergia.pt>, Acessado em 26 de Julho de 2012.

Ziles Energia Solar e Fotovoltaica: <http://www.dani2989.com>, Acessado em 27 de Julho de 2012.

## Anexos

### 1. Relação do LCOE com a Tarifa

Anos	LCOE (\$/kWh)	LCOE (R\$/kWh)	Anos	Tarifa (R\$/kWh)	Tarifa (\$/kWh)
2010	0,307814639	0,619345349	2010	0,37	0,18389
2011	0,287229571	0,577926702	2011	0,4	0,1988
2012	0,268021127	0,539277921	2012	0,43	0,21371
2014	0,246658954	0,496295681	2013	0,43	0,21371
2015	0,233372022	0,469561412	2014	0,435633	0,216509601
2016	0,223878669	0,450460099	2015	0,441339792	0,219345877
2017	0,206034796	0,414556934	2016	0,447121344	0,222219308
2018	0,192256243	0,386833487	2017	0,452978633	0,225130381
2019	0,181899856	0,365995686	2018	0,458912653	0,228079589
2021	0,172101343	0,346280368	2019	0,464924409	0,231067431
2022	0,160592086	0,323122909	2020	0,471014919	0,234094415
2024	0,151941372	0,305717046	2021	0,477185214	0,237161051
2025	0,145760541	0,293280766	2022	0,483436341	0,240267861
2026	0,13983114	0,281350383	2023	0,489769357	0,24341537
2027	0,132298769	0,266194706	2024	0,496185335	0,246604112
2028	0,128686134	0,258925823	2025	0,502685363	0,249834625
2029	0,12691698	0,255366157	2026	0,509270541	0,253107459
2030	0,123451304	0,248392966	2027	0,515941985	0,256423167
2031	0,120080264	0,241610189	2028	0,522700825	0,25978231
2033	0,116801276	0,235012627	2029	0,529548206	0,263185458
2035	0,113611825	0,228595222	2030	0,536485288	0,266633188
2036	0,11204991	0,225452536	2031	0,543513245	0,270126083
2037	0,110509468	0,222353055	2032	0,550633269	0,273664734
2038	0,107491826	0,216281341	2033	0,557846564	0,277249742
2041	0,107491826	0,216281341	2034	0,565154354	0,280881714
2043	0,107491826	0,216281341	2035	0,572557876	0,284561265
2044	0,107491826	0,216281341	2036	0,580058385	0,288289017
2046	0,107491826	0,216281341	2037	0,587657149	0,292065603
2048	0,107491826	0,216281341	2038	0,595355458	0,295891663
2049	0,107491826	0,216281341	2039	0,603154615	0,299767843
2050	0,107491826	0,216281341	2040	0,61105594	0,303694802
			2041	0,619060773	0,307673204
			2042	0,627170469	0,311703723
			2043	0,635386402	0,315787042
			2044	0,643709964	0,319923852
			2045	0,652142564	0,324114855
			2046	0,660685632	0,328360759
			2047	0,669340614	0,332662285
			2048	0,678108976	0,337020161
			2049	0,686992203	0,341435125
			2050	0,695991801	0,345907925

## 2. Cálculo do custo nivelado de energia (LCOE)

Anos	Painel (\$/Wp)	CC (\$)	LCOE (\$/kWh)
2010	1,96	14122,69782	0,307814639
2011	1,83	13178,24406	0,287229571
2012	1,71	12296,95054	0,268021127
2014	1,57	11316,84277	0,246658954
2015	1,49	10707,23133	0,233372022
2016	1,43	10271,67131	0,223878669
2017	1,31	9452,985014	0,206034796
2018	1,23	8820,817752	0,192256243
2019	1,16	8345,661254	0,181899856
2021	1,10	7896,100308	0,172101343
2022	1,02	7368,049528	0,160592086
2024	0,97	6971,150203	0,151941372
2025	0,93	6687,57042	0,145760541
2026	0,89	6415,526394	0,13983114
2027	0,84	6069,937228	0,132298769
2028	0,82	5904,187646	0,128686134
2029	0,81	5823,017934	0,12691698
2030	0,79	5664,010889	0,123451304
2031	0,77	5509,345791	0,120080264
2033	0,74	5358,904078	0,116801276
2035	0,72	5212,570421	0,113611825
2036	0,71	5140,908939	0,11204991
2037	0,70	5070,232646	0,110509468
2038	0,68	4931,781636	0,107491826
2041	0,68	4931,781636	0,107491826
2043	0,68	4931,781636	0,107491826
2044	0,68	4931,781636	0,107491826
2046	0,68	4931,781636	0,107491826
2048	0,68	4931,781636	0,107491826
2049	0,68	4931,781636	0,107491826
2050	0,68	4931,781636	0,107491826