



**UFOP**

Universidade Federal  
de Ouro Preto



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**Universidade Federal de Ouro Preto**  
**Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil**  
**Curso de Graduação em Engenharia Civil**

---



Vinícius de Souza Sá

Estudo de Viabilidade de Utilização de Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado  
à Rede no Brasil

**OURO PRETO - MG**  
**2016**

Vinícius de Souza Sá

Estudo de Viabilidade de Utilização de Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado  
à Rede no Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenharia Civil.

Professor orientador: Luiz Fernando Rispoli Alves

**OURO PRETO – MG  
2016**

S111e

Sá, Vinícius de Souza.

Estudo de viabilidade de utilização de sistema de geração fotovoltaica conectado à rede no Brasil [manuscrito] : energia fotovoltaica no Brasil / Vinícius de Souza Sá. – 2016.

40f.: il., color., graf., tab. e mapas.

Orientadores: Prof. Dr. Luiz Fernando Rísoli Alves.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.  
Área de concentração: Engenharia Civil.

1. Engenharia civil. 2. Energia -- Fontes alternativas. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Energia solar. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU:624

Fonte de catalogação: [bibem@sisbin.ufop.br](mailto:bibem@sisbin.ufop.br)

Vinícius de Souza Sá

Estudo de Viabilidade de Utilização de Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado  
à Rede no Brasil

Monografia de conclusão de curso para obtenção do Grau de Engenharia Civil na Universidade Federal de Ouro Preto, defendida e aprovada em 16 de Março de 2016, pela banca examinadora constituída pelos professores:



---

Prof. Luiz Fernando Rispoli Alves, (D.Sc.)  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Orientador



---

Prof. Paulo de Barros Monteiro, (D.Sc.)  
Universidade Federal de Ouro Preto



---

Prof. Geraldo Donizetti de Paula, (D.Sc.)  
Universidade Federal de Ouro Preto

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram nos meus estudos, a todos os professores da civil que me ajudaram durante o curso e ao professor Rispoli pelo incentivo e ajuda neste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os principais geradores de energia elétrica no Brasil ao final do ano 2014.....	11
Figura 2 - Participação dos eletrodomésticos no consumo de eletricidade das residências, Regiões Sudeste do Brasil, referente a 2005. ....	14
Figura 3 - Capacidade de geração de energia fotovoltaica no mundo de 2004 a 2014.....	17
Figura 4: Gráfico demonstrando a capacidade de produção de energia fotovoltaica adicionada em 2014 e a já instalada até 2013.....	20
Figura 5 - Nível de incidência solar no Brasil.....	21
Figura 6 - Nível de incidência solar na Alemanha.....	22
Figura 7- Potencial Técnico Fotovoltaico/Consumo Residencial.....	23
Figura 8 - Residência com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	27
Figura 9 - Distribuição típica dos custos <i>1000 roofs program</i> alemão.....	31
Figura 10 - Projeção do crescimento da capacidade instalada e Custos .....	32
Figura 11 - Selo PROCEL e selo de eficiência .....	33
Figura 12 - Exemplo de uma instalação de aquecimento solar. ....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade elétrica instalada.....	11
Tabela 2 - Consumo de energia elétrica no Brasil.....	12
Tabela 3 - Consumo mensal médio da casa.....	34
Tabela 4 – Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico .....	35

## RESUMO

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida a partir de luz solar, e hoje aparece como uma interessante opção para complementar a matriz energética brasileira. A tecnologia que já é amplamente adotada nos países desenvolvidos finalmente ganha espaço no mercado brasileiro, tornando-se uma alternativa altamente viável para ser utilizada até mesmo no setor de pequena geração de energia, como exemplo o setor residencial. A possibilidade da implantação de um sistema de geração de energia limpa e distribuída atrai cada vez mais a atenção de investidores e pesquisadores para esta área. Atualmente existe uma grande preocupação e cooperação global com as questões ambientais, sendo a geração de energia um dos principais tópicos de discussão em diversas ocasiões. O Brasil se apresenta como um dos países com maior potencial para se tornar um dos maiores usuários dos sistemas fotovoltaicos, tendo em vista a posição privilegiada em que se encontra no globo, recebendo uma incidência solar maior do que a maioria dos países desenvolvidos.

**Palavras Chave:** energia fotovoltaica, matriz energética, solar, meio ambiente, sistema fotovoltaico conectado à rede.

## **ABSTRACT**

Photovoltaic solar energy is electricity produced from sunlight, and today appears as an interesting option to complement the Brazilian energy resources. The technology which is already widely adopted in developed countries finally is gaining ground in Brazil, becoming a highly viable alternative for use even in small power generation sector, for example the residential sector. The possibility of implementing a power generation system clean and distributed is increasingly attracting the attention of investors and researchers to this area. Nowadays exist a major concern and comprehensive cooperation about the environmental topics, being power generation one of the main topics of discussion on several occasions. Brazil presents itself as one of the countries with the greatest potential to become one of the largest users of photovoltaic systems, considering a privileged location on the globe which receives a higher incidence of sunlight in comparison with developed countries.

**Keywords:** photovoltaic energy, energy sources, solar, environment, grid conected photovoltaic cell.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
2.1 Objetivo Geral.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>10</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
4.1 Produção de energia elétrica no Brasil .....	11
4.2 Consumo energético no Brasil .....	13
4.3 Crise energética brasileira .....	15
4.4 Impacto causado pelas fontes de geração de energia convencionais.....	16
4.5 Energia fotovoltaica no mundo .....	17
4.7 Energia Solar .....	24
4.8 Sistemas Fotovoltaicos .....	25
4.8.1 Os Componentes do Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado à Rede .....	27
4.8.2 Vantagens e desvantagens do sistema.....	29
4.8.3 Custos .....	31
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>33</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia mundial cresce a todo o momento. Isso se deve ao aumento populacional e também a busca incansável pelo desenvolvimento econômico e social. Nos países desenvolvidos, em um esforço conjunto para diminuir os efeitos da emissão excessiva de dióxido de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis, os avanços tecnológicos na produção de energia limpa são uma realidade.

Como mostram os dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2014), a principal fonte de energia elétrica no Brasil é a hidrelétrica, sendo responsável por cerca de 65,2% da produção de eletricidade doméstica. Com isso o país acaba sendo dependente desse tipo de energia tornando-se um problema, tendo em vista as diversas crises hídricas enfrentadas pelo país nas últimas décadas.

O impacto ambiental gerado durante a implantação de uma hidrelétrica é sempre de grande proporção. Por estas, em sua maioria, estarem afastados dos grandes centros urbanos, esses efeitos são ignorados pela população, tornando essa alternativa atrativa. Assim a diversificação da matriz energética é necessária, e deve ser considerada a implantação de fontes de energia renováveis não convencionais, como exemplo a energia eólica, fotovoltaica e biomassa.

A boa oferta de radiação solar que o país recebe durante todo o ano, faz com que a utilização da energia fotovoltaica seja uma alternativa interessante para auxiliar na demanda de energia que a população necessita. A produção de energia junto ao consumidor final pode apresentar diversas economias para o setor, como exemplo a redução de gastos quanto à transmissão e distribuição de energia elétrica. Além de apresentar uma menor perda de energia que ocorre também nesses dois processos.

Observando a tendência mundial, devido ao maior investimento e estudos relacionados à energia limpa, o custo dos componentes do sistema de geração de energia fotovoltaica apresenta uma constante queda em diversos mercados. Em contrapartida paga-se no Brasil a cada ano, mais pela energia elétrica. Existe também uma conscientização do governo, que passa a regulamentar e tomar algumas medidas que possibilitam a viabilidade em se utilizar a energia fotovoltaica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade econômica e técnica da utilização da tecnologia de geração distribuída de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos no Brasil assim como apresentar a situação atual dos avanços no setor em diversos países, assim como fatores favoráveis presentes no país que possibilitam um maior proveito dessa tecnologia.

Por fim será apresentado um modelo residencial com consumo de energia sustentável, com o objetivo de apresentar intervenções que são benéficas tanto para o consumidor final quanto para o meio ambiente.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Fazer um estudo geral sobre energia fotovoltaica, evidenciando o crescimento da utilização da tecnologia em todo o mundo.
- Apresentar um modelo de residência adotando produção de energia elétrica por meio de um sistema fotovoltaico conectado à rede pública.

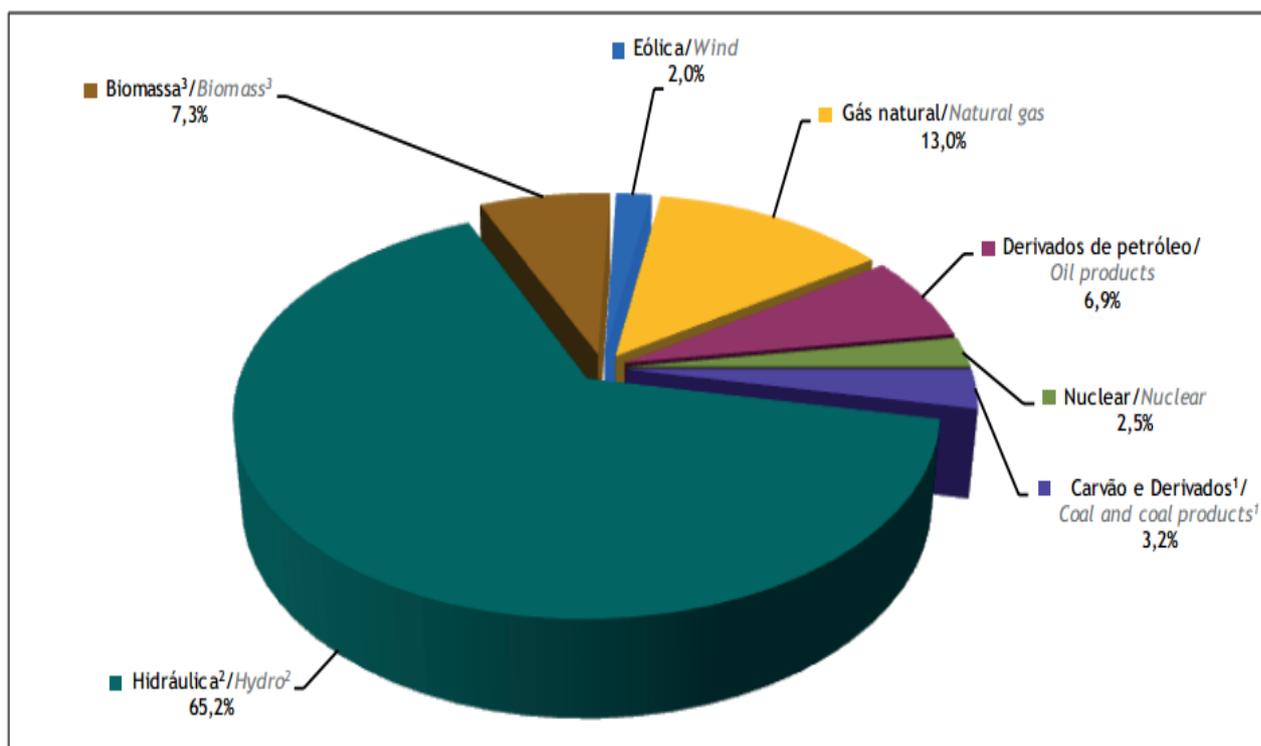
### **3 METODOLOGIA**

Para realização deste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica sobre sistemas fotovoltaicos através de artigos, livros, revistas e sites relacionados. Foram levantados dados sobre a situação atual da matriz energética no Brasil, sobre o consumo e produção de energia elétrica no país. Em seguida foi realizada uma revisão com a finalidade de avaliar os pontos críticos do modelo atual de geração e distribuição de energia, bem como os impactos advindos desse setor. Foram analisados dados sobre o emprego da tecnologia fotovoltaica em diversas regiões do mundo e posteriormente foram levantadas as condições naturais favoráveis presentes no Brasil, que possibilitam a implantação de sistemas fotovoltaicos.

Por fim foi realizado um estudo de caso, onde foi proposto um modelo de residência dotado de sistemas tecnológicos ligado ao aproveitamento da energia solar, que também busca fazer o uso racional e eficiente da energia elétrica.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Produção de energia elétrica no Brasil



**Figura 1.** Os principais geradores de energia elétrica no Brasil ao final do ano 2014.(Fonte: EPE, 2015)

O Brasil gerou em 2014, 590 TWh de energia elétrica, o que representa 3,4% a mais do que o ano anterior. As centrais de serviço público foram responsáveis pela geração de 84,1% dessa energia. Os 15,9% restantes foram gerados por autoprodutores, das 94,0 TWh produzidas por esse grupo 53,3 TWh foram consumidos in loco.

A principal fonte de energia elétrica do país continua sendo a hidráulica. Apesar de apresentar uma queda 4,5% em relação a 2013, ainda representa 65,2% da matriz energética brasileira. Esta foi a terceira queda consecutiva registrada, na qual pode ser explicada pelas condições hídricas desfavoráveis. (EPE, 2015).

As fontes de energia renováveis representam 74,6% da oferta interna. A geração de energia através de fontes não renováveis apresentou um aumento: Em 2013 a produção era de 23,3% e passou para 26,9%.

Tabela 1. Capacidade elétrica instalada

Fonte	2014	2013	Δ 14/13
Hidrelétrica	89.195	86.018	3,7%
Térmica <sup>1</sup>	37.827	36.528	3,6%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
Eólica <sup>2</sup>	4.903	2.207	122,2%
<b>Capacidade disponível</b>	<b>133.914</b>	<b>126.743</b>	<b>5,7%</b>

<sup>1</sup>Inclui biomassa, gás, petróleo e carvão mineral

<sup>2</sup>Inclui solar

**Tabela 1.** Capacidade de geração de energia elétrica instalado no Brasil ao final do ano de 2013 e 2014. (Fonte: EPE, 2015).

A capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil apresentou um acréscimo de 7.171 MW em 2014, totalizando 133.915 MW. Os fatores determinantes para essa expansão foram instalações de centrais hidráulicas, contribuindo com 44,3% do crescimento. As centrais térmicas contribuem com 18,1% e as usinas eólicas e solares, juntamente, representam 37,6% do aumento da capacidade de geração.

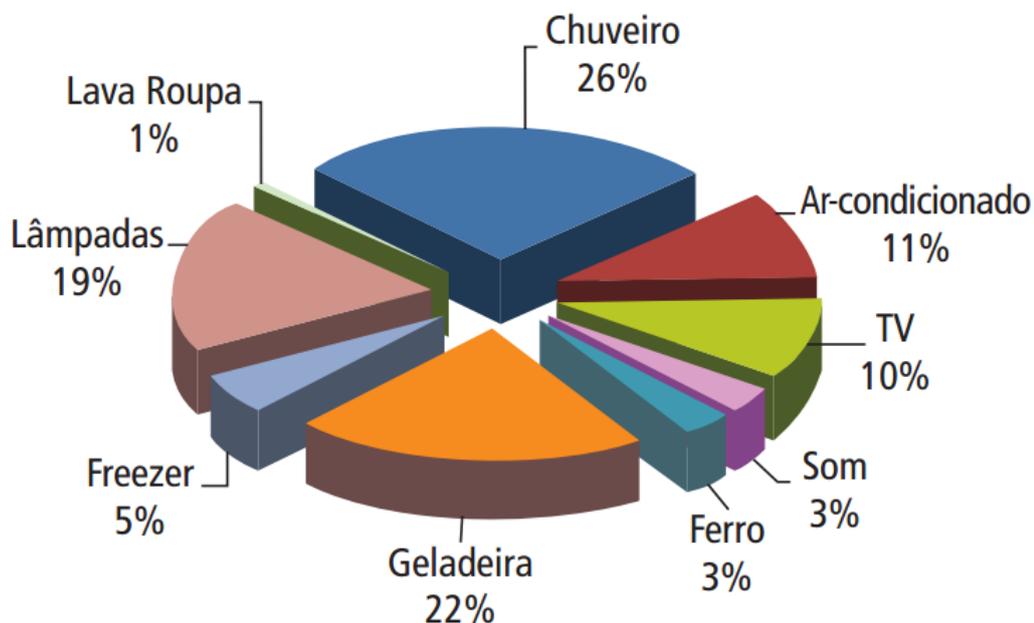
## 4.2 Consumo energético no Brasil

Tabela 2. Consumo de energia elétrica no Brasil

SETORES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	%
SECTORS											
CONSUMO FINAL (10 <sup>3</sup> tep)	32.267	33.536	35.443	36.829	36.638	39.964	41.363	42.861	44.373	45.655	FINAL CONSUMPTION (10 <sup>3</sup> toe)
SETOR ENERGÉTICO	3,6	3,7	4,2	4,3	4,3	5,8	5,0	5,3	5,8	5,9	ENERGY SECTOR
RESIDENCIAL	22,2	22,0	22,1	22,3	23,6	23,1	23,3	23,6	24,2	24,9	RESIDENTIAL
COMERCIAL	14,3	14,2	14,2	14,6	15,5	15,0	15,4	16,0	16,4	17,1	COMMERCIAL
PÚBLICO	8,7	8,5	8,2	8,1	8,3	8,0	7,9	8,0	8,0	8,0	PUBLIC
AGROPECUÁRIO	4,2	4,2	4,3	4,3	4,2	4,1	4,5	4,7	4,6	5,0	AGRICULTURE AND LIVESTOCK
TRANSPORTES	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	TRANSPORTATION
INDUSTRIAL	46,7	47,0	46,7	46,1	43,8	43,8	43,5	42,1	40,7	38,8	INDUSTRIAL
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

**Tabela 2.** Consumo de energia elétrica no Brasil entre os anos de 2005 e 2014. (Fonte: EPE, 2015)

Os dados do EPE mostram que as edificações residências e comerciais são responsáveis por 42% do consumo de energia elétrica no Brasil. O consumo elétrico brasileiro apresentou uma alta de 2,9% em relação a 2013. Dentre os fatores responsáveis por esse aumento podemos citar como principais o setor residencial, que registrou 5,7% de consumo maior em relação ao ano anterior e o comercial, que consumiu 7,4% a mais do que em 2013. Já o setor industrial apresentou queda de 2,0% no consumo energético em relação a 2013. (EPE, 2015)



**Figura 2.** Participação dos eletrodomésticos no consumo de eletricidade das residências, Regiões Sudeste do Brasil, referente a 2005. (Fonte: ELETROBRAS; PROCEL, 2007).

De acordo com os dados da PROCEL (2007) o item responsável pelo maior consumo nas residências da região Sudeste do Brasil é o chuveiro elétrico, representando 26% do consumo total, seguido pela geladeira que é responsável por 22% do consumo. Na região Nordeste, onde ocorrem as temperaturas mais elevadas do país, o eletrodoméstico que apresenta maior consumo é a geladeira, seguido pelo Ar-condicionado. Os dois juntos representam cerca de 60% do consumo final. O consumo de cada região varia de acordo com o clima local e também com os costumes (ELETROBRAS; PROCEL, 2007).

### 4.3 Crise energética brasileira

O aumento do consumo desenfreado de energia e a falta de investimento nesta área são fatores responsáveis por uma das maiores crises energéticas da história brasileira. Constantes ondas de apagão em diversas cidades confirmam tal crise (VOGT, 2001).

Apesar de prevista por diversos órgãos da sociedade, a crise energética foi negada pelo governo e, desta forma, medidas preventivas foram negligenciadas (TUZEY, 2015).

Os motivos do surgimento da crise energética são inúmeros, tendo fatores históricos associados. 90% da energia utilizada no Brasil é proveniente de energia hidrelétrica e a falta de investimento na transmissão, distribuição e conservação de energia, assim como a falta de incentivos em diferentes matrizes energéticas foram alguns dos aspectos primordiais (TUZEY, 2015).

Especialistas afirmam que a falta de chuva, alegada pelo governo como principal motivo da crise, só reforça um problema já previsto. Desde 1994 a água contida nos reservatórios tem sido utilizada, pouco a pouco, para manter as turbinas funcionando. O que deveria ser feito era armazenar esta água e utilizá-la para a geração de energia a água que cai inevitavelmente todos os anos (TUZEY, 2015).

O Brasil já enfrentou outros períodos de seca, sendo a mais drástica entre 1951 e 1956. Neste período a média das aflúências anuais do Rio Grande, atingiram os índices inferiores de 60% - a média de 95%. Nos anos de 68-71 e 89 o Brasil também passou por uma fase crítica, entretanto o sistema de abastecimento não sofreu interferências. Em 1997 e 1998, os índices de aflúência ficaram 20% acima da média (VOGT, 2001).

Em 1999, o Ministério das Minas e Energia (MME) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) desenvolveram um Plano Emergencial de Energia Elétrica com o intuito de combater uma crise já anunciada para 2011 (VOGT, 2001).

Em 2015 o Governo Federal impôs metas de redução do consumo energético na tentativa de controlar a situação (TUZEY, 2015).

Medidas para buscar soluções energéticas estão sendo discutidas por autoridades, sociedade e especialistas, dentre elas, a substituição da energia hidrelétrica (VOGT, 2001).

#### **4.4 Impacto causado pelas fontes de geração de energia convencionais**

O principal fator a ser considerado para determinar o local de instalação de uma hidrelétrica é a disponibilidade de recursos, neste caso, rios com vazões elevadas. Quanto maior for a produção energética pelo sistema, menor será o custo da energia gerada. Essa prática é denominada “Ganho em escala”. Sendo assim o setor elétrico no país foi implantado utilizando-se de grandes centrais geradoras, em áreas que apresentavam recursos naturais suficientes e que normalmente são afastadas dos centros urbanos.

Obras de grande porte geram impactos ambientais consideráveis, a crescente preocupação com o meio ambiente e o surgimento de novas leis visando à preservação ambiental, acaba por dificultar a implantação de hidrelétricas. A falta de disponibilidade de recursos financeiros necessários para realizar grandes obras é outro fator que nos leva a buscar novas alternativas energéticas.

A Comissão Mundial de Barragens (2000) aponta como principais problemas socioambientais advindos da construção de hidrelétricas:

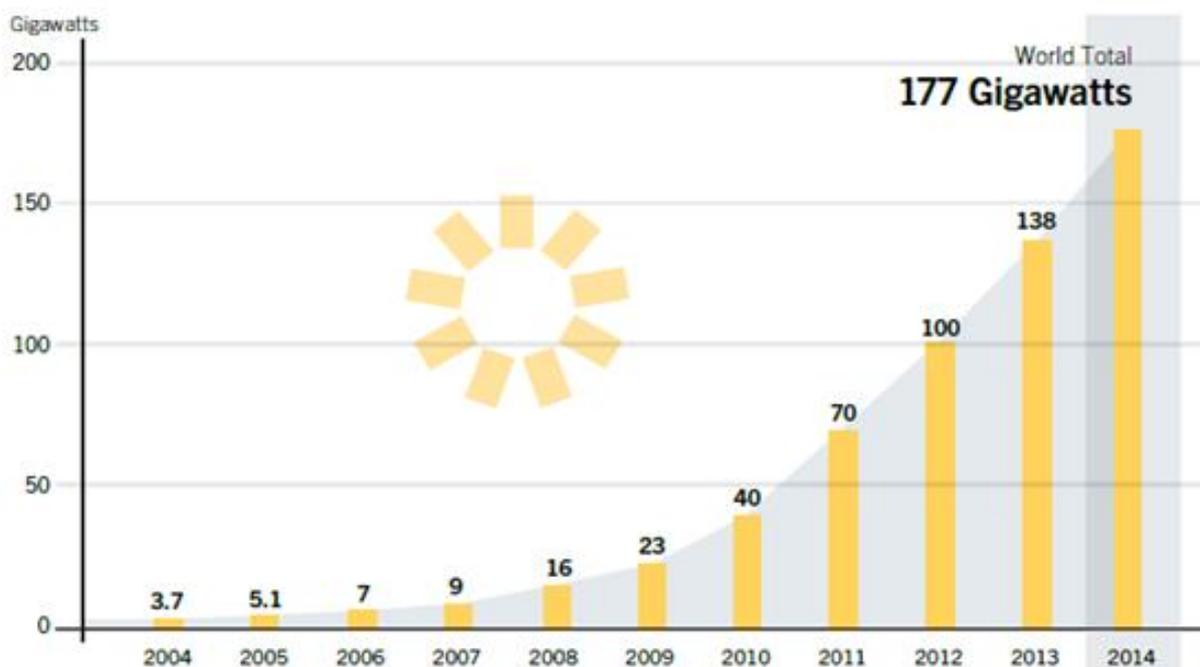
- Redução da área de desova de peixes;
- Diminuição da biodiversidade aquática;
- Destruição da mata nativa e desaparecimento de espécies devido à inundação da área do reservatório;
- Perda de terras férteis pelo alagamento que poderiam ser utilizadas para agricultura.
- Salinização e acidificação da água, tornando-a imprópria para o consumo e agricultura;
- Grilagem de terras e desmatamentos;

- Emissão de gases tóxicos e gases causadores de efeito estufa (com ênfase para o metano – CH<sub>4</sub>).

Com o avanço tecnológico no setor de geração de energia não convencional, foram desenvolvidos meios de produção elétrica que degradam menos o meio ambiente e podem ser implantados para geração em pequenas escalas e próximos ao consumidor final. Estes meios de produção viabiliza a geração de energia distribuída. (OLIVEIRA, 2002)

#### 4.5 Energia fotovoltaica no mundo

O ano de 2014 foi marcado pelo crescimento recorde do aumento da capacidade de energia gerada por células fotovoltaicas. Foram adicionadas 40 GW neste ano, totalizando a capacidade de geração em 177 GW. Mais de 60% da capacidade fotoelétrica do mundo em operação até o fim de 2014, foram instaladas nos últimos 3 anos.



**Figura 3.** Capacidade de geração de energia fotovoltaica no mundo de 2004 a 2014. (Fonte: *Global Status Report* – REN, 2015)

Os três principais mercados que ampliaram os investimentos na energia fotovoltaica no último ano foram a China, Japão e os Estados Unidos. Estes vêm seguidos do Reino Unido, Austrália, Alemanha, França, Austrália, Coreia do Sul, África do Sul e Índia. Quatro países alcançaram mais de 1 GW de energia fotovoltaica a sua rede, contra nove novos entrantes em 2013.

A capacidade de produção em diversos países vem sendo ampliada, e novas instalações foram feitas em países que ainda não contavam com esta tecnologia à medida que os preços apresentavam quedas. Com isso, ao final de 2014, 20 países possuem mais de 1 GW de capacidade de geração. Os líderes de produção de energia fotovoltaica por habitante são Alemanha, Itália, Bélgica, Grécia, República Checa e Japão.

A Ásia se destacou frente aos demais mercados, sendo responsável por quase 60% do crescimento do setor. A China somou mais 10,6 GW a sua capacidade de produção, chegando a 28 GW. Mais de 80% da nova capacidade da China corresponde à produção de energia em usinas de grande escala. O restante foi distribuído em sistemas residenciais (instalados em telhados e outras instalações de pequena escala). A infraestrutura de transmissão não acompanhou o rápido crescimento da capacidade de produção, impossibilitando que regiões do Sul e do leste do país recebessem receber essa energia.

O Japão também continua com uma rápida expansão no setor, adicionando a sua rede 9,7 GW. Isso acarreta um aumento em sua capacidade total para 23,3 GW. Apesar do crescimento recorde, o mercado de sistemas residenciais apresentou a seu primeiro declínio desde 2007, com 0,9 GW adicionado para um total de 7,5 GW.

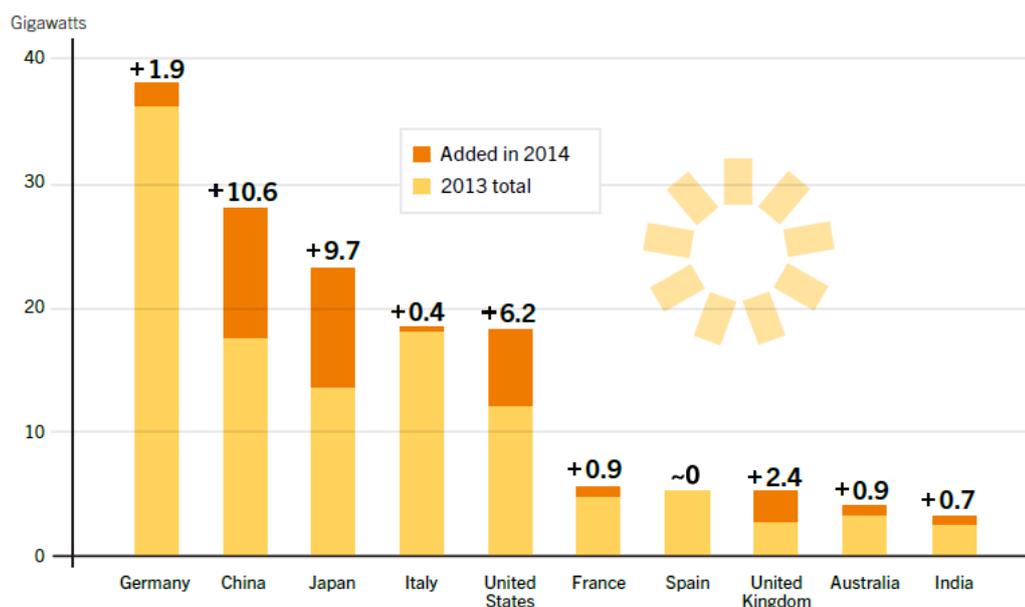
A Coreia do Sul, com adição 0,9 GW em sua rede, Índia, com acréscimo de 0,7 GW e Tailândia com 0,5 também se destacaram no continente asiático.

Na América do Norte, os Estados Unidos apresentaram um aumento de 30% em sua capacidade de produção, totalizando 18,3 GW. A queda dos custos de instalação foi o principal fator para esse resultado. O Canadá por sua vez aumentou sua capacidade de produção em aproximadamente 0,5 GW.

A União Europeia segue liderando o setor com a capacidade de geração de 87 GW. A região teve sua capacidade de produção aumentada em 6,3 GW, bem abaixo do maior crescimento do setor, alcançado em 2011, de 22GW. O Reino Unido

teve mais 1,9 GW instalados, totalizando ao final de 2014, 5,2 GW. Foram instalados painéis de energia fotovoltaica em mais de 125.000 telhados residenciais no país. A Alemanha ainda é o país com maior capacidade de produção mundial, com o acréscimo de 1,9 GW chegou a 38,2 GW. As medidas de incentivo no país como a *Renewable Energy Law (EEG)* possibilitam alcançar tais resultados.

A Austrália chegou a capacidade de produção de 4,1 GW, apresentando um aumento de 0,9 GW ao final de 2014. Aproximadamente 14% das residências, e mais de 15.000 prédios comerciais já possuem o sistema solar fotovoltaico instalado. O país possui ainda projetos em estágio avançado para produção de energia fotovoltaica em grande escala.



**Figura 4:** Gráfico demonstrando a capacidade de produção de energia fotovoltaica adicionada em 2014 e a já instalada até 2013. (Fonte: *Global Status Report – REN,2015*)

A América do Sul apresenta pequenos crescimentos no setor em diversos países. O Chile adicionou 395 MW aos 12MW já instalados. O crescimento no país

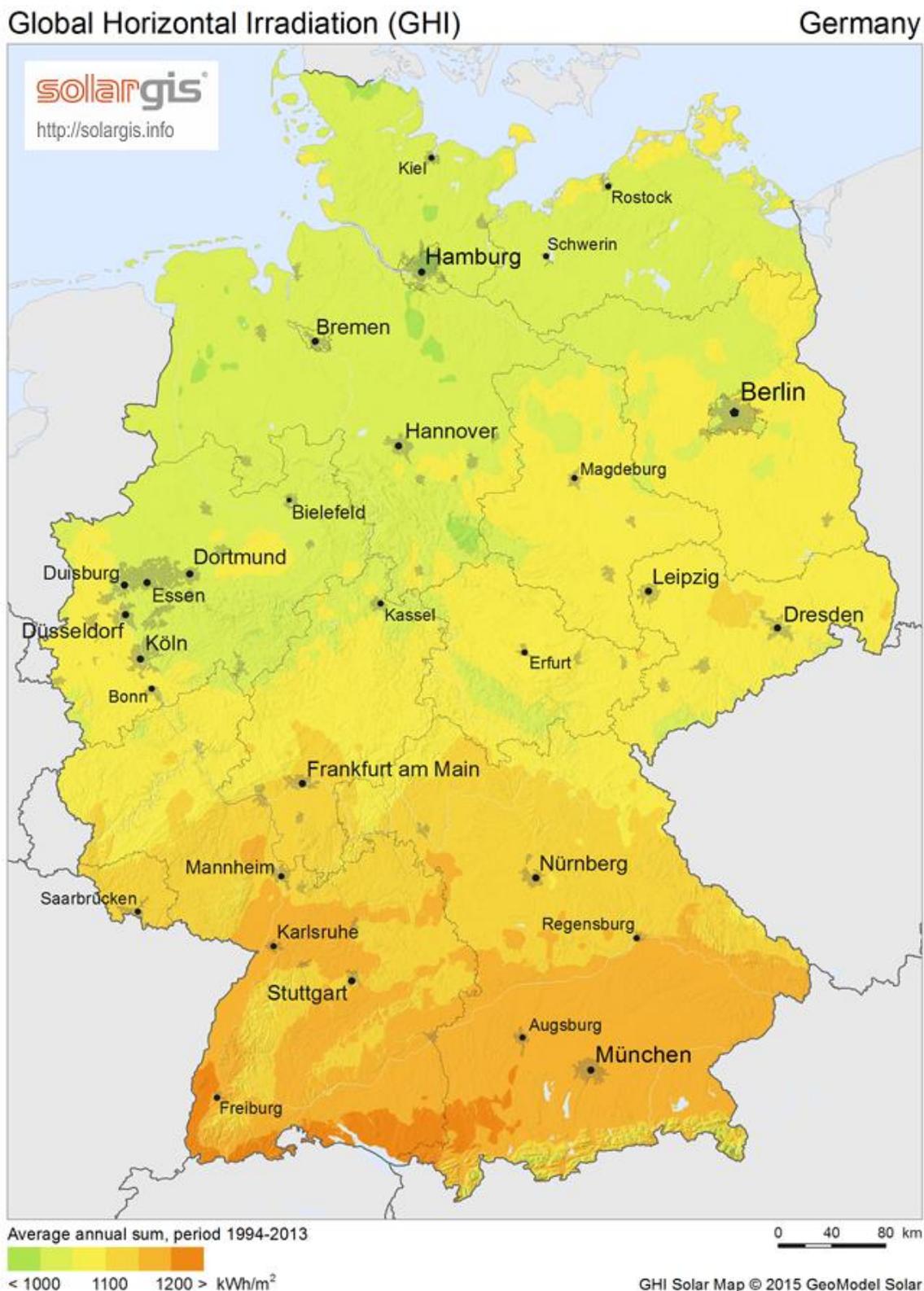
se dá pela necessidade de suprir a demanda do setor minerador. O México também apresentou crescimento de 64MW.

Na África o país que se destaca é a África do Sul, que agora possui uma capacidade de produção de 0,9 GW. Ruanda possui a capacidade de 8,5 MW instalados. O Egito apresentou programas para produzir 2,3 GW de energia, enquanto o Quênia investe em sistemas isolados em zonas distantes de centros urbanos. (SAWIN, et al. 2015).

#### 4.6 INCIDÊNCIA DE RAIOS SOLARES NO BRASIL



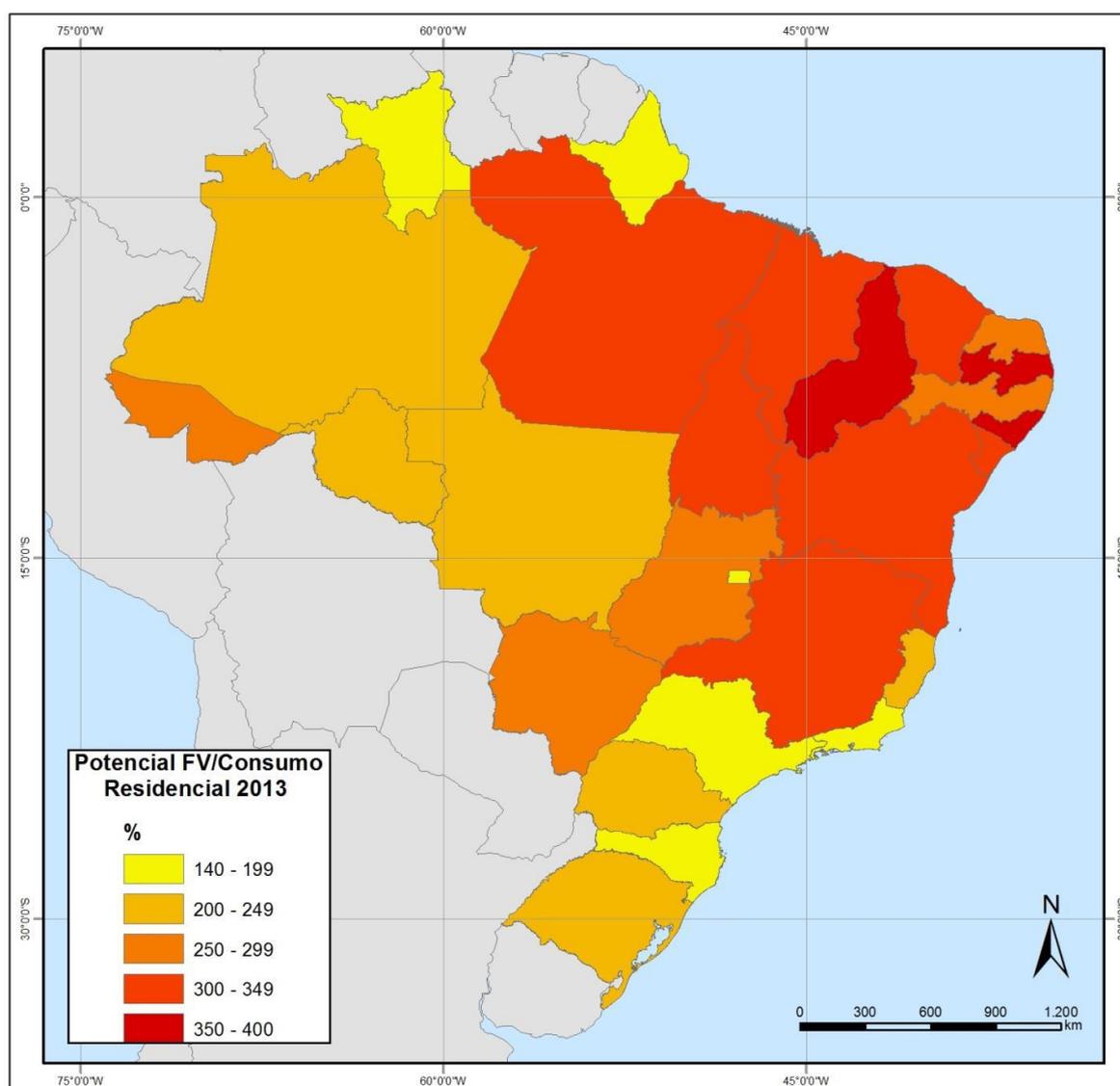
**Figura 5:** Nível de incidência solar no Brasil (Fonte: SolarGIS, 2015).



**Figura 6:** Níveis de incidência solar na Alemanha. (Fonte: SolarGIS, 2015)

De acordo com o Atlas de Irradiação Solar no Brasil (2006), incide no Brasil diariamente entre 4500 a 6300 Wh/m<sup>2</sup>.dia. A região Nordeste apresenta o maior índice de radiação solar, que está próximo à 6300 Wh/m<sup>2</sup>.dia A região Sul apresenta

os menores índices. A radiação média anual no Brasil varia entre 1500 a 2300 kWh/m<sup>2</sup> ano (fig.7), enquanto a radiação média na Alemanha, que atualmente é o país que mais produz energia fotovoltaica no mundo, é muito menor, alcançando no máximo 1200 kWh/m<sup>2</sup> ano (fig.8). A variabilidade da incidência solar no Brasil apresenta baixa variação, o que possibilita um alto aproveitamento energético durante todas as estações do ano. (PEREIRA, 2006)



**Figura 7** - Potencial Técnico Fotovoltaico/Consumo Residencial (Ano Base 2013) por estado brasileiro.(Fonte: Nota Técnica DEA 19/14– Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos)

A figura 7 relaciona o potencial fotovoltaico e o consumo de eletricidade residencial em cada estado. Para o cálculo do potencial de geração foi levado em conta a área de telhado das residências e a irradiação solar de cada região. De acordo com os resultados obtidos todos os estados teriam condição de suprir seu consumo elétrico residencial na totalidade utilizando o sistema de geração de energia fotovoltaica. A média entre todos os estados apresenta o potencial é 2,3 vezes maior que o consumo. Os maiores potenciais de geração, em termos absolutos, estão nas regiões mais povoadas do país, onde uma possível menor irradiação é compensada pelo maior número de domicílios e, conseqüentemente, maior área de telhados.

#### **4.7 Energia Solar**

A energia proveniente do sol pode ser aproveitada pelo homem de maneiras distintas. Um edifício é considerado energeticamente eficiente quando proporciona condições ambientais de conforto ao seu usuário, com o menor consumo energético possível (LAMBERTS et al., 2010).

- **Arquitetura Bioclimática:**

A arquitetura bioclimática é o estudo que consiste em criar e adotar soluções arquitetônicas e urbanísticas com a finalidade de harmonizar as construções ao clima e características locais. Desta maneira ocorre o aproveitamento da luz natural e do calor proveniente do sol. Existe uma preocupação também com os sistemas existentes em uma edificação, responsáveis pelo aquecimento de água, circulação de ar e iluminação. Com um projeto bem pensado é possível alcançar uma economia de diversos recursos além de obter um ambiente mais agradável.

- **Energia solar térmica:**

O efeito fototérmico é responsável por captar a irradiação solar transformando-a diretamente em calor. Os coletores solares são aquecedores de fluidos, tanto líquidos como gasosos. Uma vez aquecido, o fluido é armazenado em

reservatórios isolados. É um método bastante difundido no país pelo preço acessível e pela grande economia obtida nas contas de luz. Esse sistema é utilizado em sua maioria para o aquecimento de água do sistema sanitário e para o aquecimento de piscinas.

- Efeito Fotovoltaico:

A energia fotovoltaica consiste na conversão direta de energia luminosa (fótons) em eletricidade. Alguns materiais exibem uma propriedade conhecida como o efeito fotoelétrico, que faz com que eles absorvem fótons de luz e liberem elétrons. Quando estes elétrons livres são capturados, é gerada uma corrente elétrica que pode ser utilizada como energia. O elemento responsável por essa conversão é a célula fotovoltaica. (GREENPRO, 2004)

Visto que a matéria prima utilizada no sistema fotovoltaico é inesgotável e está disponível em todo o globo, é possível a instalação do sistema em locais alternativos. A energia solar é uma energia limpa, que não emite nenhum poluente durante a geração de energia, além de não interferir no meio em que está inserida. Um fator interessante para o setor é a não obrigatoriedade em se obter licenças ambientais para usinas fotovoltaicas.

A capacidade total instalada de sistemas fotovoltaicos no Brasil, considerando tanto os sistemas conectados à rede quanto os sistemas isolados, está entre 30 a 40 MW. A produção mundial de células fotovoltaicas em 2012 foi de 36,2 GW. A indústria de células fotovoltaicas apresenta um grande crescimento, nos últimos dez anos esse crescimento foi de 54,2%. (CEPEL, 2015).

#### **4.8 Sistemas Fotovoltaicos**

Dentro dos sistemas fotovoltaicos temos duas classificações: sistemas isolados e sistemas conectados à rede. Os sistemas isolados não estão conectados à rede pública de energia. Normalmente são utilizadas baterias para o armazenamento da energia produzida durante o período em que ocorre a radiação

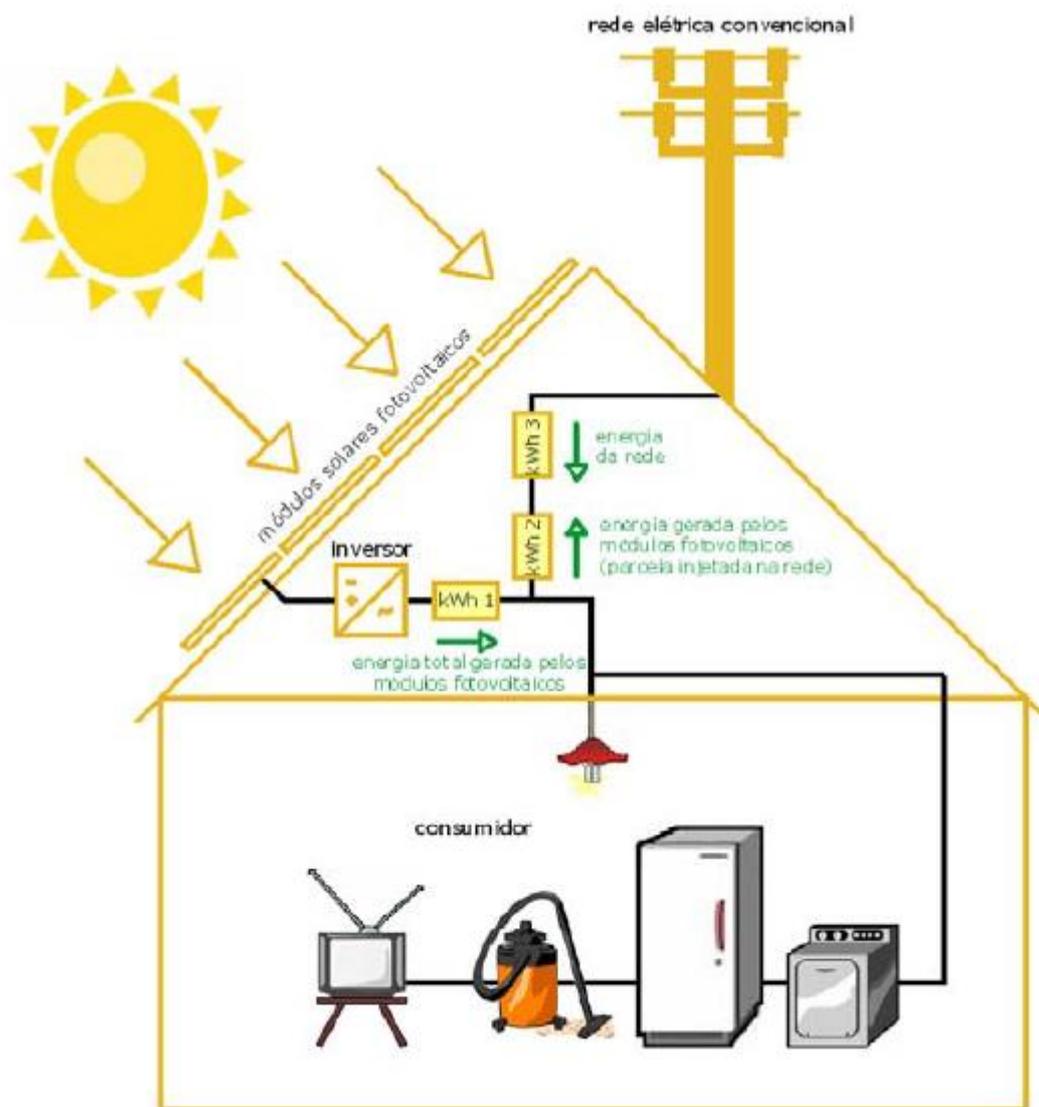
solar, possibilitando a utilização da mesma durante os períodos onde não ocorre a geração de energia. Os principais componentes do sistema fotovoltaico nesse caso são: painel fotovoltaico, controlador de carga, banco de baterias e inversor.

Nos sistemas conectados à rede pública não é necessário à utilização de banco de bateria. Toda a energia gerada é injetada diretamente na rede. Esse tipo de instalação já é utilizado amplamente em prédios públicos, escolas, empresas e também em edificações residências, nos países desenvolvidos, como Alemanha, Estados Unidos, Espanha e Japão. Cada um desses países possui suas próprias regulamentações que incentivam a utilização deste sistema. O objetivo principal da utilização desses sistemas é reduzir a emissão dos gases responsáveis pelo efeito estufa gerados pela queima dos combustíveis fósseis contribuindo também com a matriz elétrica do país (PINHO & GALDINO, 2014).

A energia excedente gerada, caso exista, é destinada a rede pública podendo ser utilizada por outros consumidores. Em situações em que a energia gerada não for o suficiente para que as necessidades da edificação sejam atendidas, ocorrerá a utilização da energia das redes públicas. Por não haver a necessidade de linhas de transmissão, sistemas desta natureza aplicados a edificações evitam perdas de energia nestas linhas. Em casos em que as plantas são centralizadas, as linhas de transmissão transportam a energia gerada até os consumidores, ocorrendo assim desperdícios energéticos. (LAMBERTS et al., 2010)

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O primeiro de grande geração de energia, que ocorre de forma centralizada em uma central de geração. Já no segundo tipo, a geração é feita de maneira descentralizada, instalado junto ao consumidor. (OLIVEIRA, 2002).

De acordo com os dados da *International Energy Agency*, em 2020, 60% da energia fotovoltaica gerada será composta pelos sistemas residências e comerciais, as grandes centrais geradoras serão responsáveis por 30% da geração e os 10% restantes será gerado em sistemas isolados. A tendência é que os preços sejam reduzidos em até 50% entre os anos 2010 e 2020, o que influenciará o investimento em sistemas de geração fotovoltaica de pequeno porte. (OECD/IEA, 2015)



**Figura 8:** Residência com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. (Fonte: RÜTHER, 2004)

#### 4.8.1 Os Componentes do Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado à Rede

Os dois principais componentes de um sistema de energia fotovoltaica conectada à rede são o gerador fotovoltaico e o inversor CC/CA. Os outros componentes estão relacionados à fixação das placas à edificação e a manutenção da segurança do sistema (RODRÍGUES, 2002).

## Módulo fotovoltaico

Os módulos são formados por células fotovoltaicas. A transformação da energia proveniente dos raios solares em energia elétrica ocorre no módulo fotovoltaico. As células fotovoltaicas quando expostas a luz solar produzem corrente elétrica e a potência instalada é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais, que são conectados em paralelo ou em série.

## Células Fotovoltaicas

As células solares fotovoltaicas são fabricadas com materiais semicondutores. O efeito fotovoltaico ocorre justamente nessas células. Os semicondutores utilizados na produção dessas células são: silício cristalino(c-Si), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS).

A tecnologia fotovoltaica mais aplicada é o c-Si, que consiste no uso de lâminas cristalinas de 10 cm de diâmetro e com espessura entre 300 a 400 µm. A eficiência de conversão fotovoltaica dessa tecnologia para produção de energia elétrica chega a 15%. Em 2002 representava 80% da produção de placas. A tecnologia que produz filmes finos possui rendimento entre 7 a 10%.

## Inversores CC/CA

A energia gerada pelos módulos solares fotovoltaicos é em corrente contínua. O inversor ou conversor CC/CA é o equipamento eletrônico utilizado para transformar essa corrente em corrente alternada, com as características compatíveis à rede elétrica pública, possibilitando assim a interconexão à rede.

#### 4.8.2 Vantagens e desvantagens do sistema

Os sistemas fotovoltaicos integrados à rede apresentam uma série de pontos positivos para o sistema elétrico. Segundo Ruther (2004), os fatores positivos relacionados à utilização do sistema são:

- Os custos e as perdas envolvidas na transmissão e distribuição da energia são minimizados, uma vez que o consumidor está próximo aos geradores de energia (RUTHER, 2004).
- Como a instalação pode ser feita junto às edificações, não é necessário ocupar novos espaços (RUTHER, 2004).
- Redução da demanda da energia gerada em grande escala
- Incentivo ao desenvolvimento do setor de produção de energia limpa
- Maior velocidade na instalação do sistema, devido à praticidade do mesmo
- O sistema por ser modular possibilita a ampliação do mesmo caso houver o espaço necessário
- A ausência de emissão, de qualquer tipo, durante sua operação é um dos fatores mais benéficos do sistema. Por outro lado, a fabricação e disposição dos módulos e dos demais componentes do sistema causam emissões de gases precursores do efeito estufa. Essa é uma grande preocupação dos fabricantes do setor.

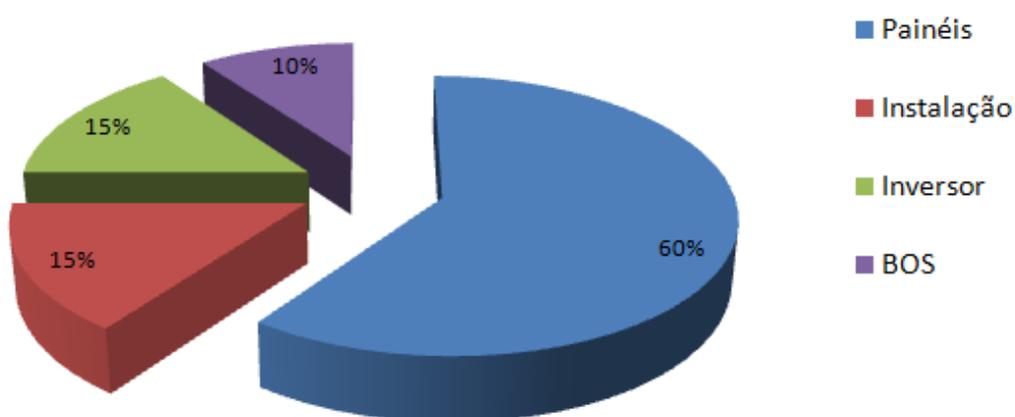
- Painéis fotovoltaicos possuem dupla função. Além de geração de eletricidade, podem ser utilizados como elementos arquitetônicos, na cobertura de telhados, paredes, janelas e fachadas. Os painéis possuem uma grande vida útil, são elementos projetados para serem expostos as diferentes condições do tempo, como chuva e sol intenso. (RUTHER, 2004)

Podemos citar como principais desvantagens da energia fotovoltaica:

- A necessidade de tecnologia de alto nível para produção de células fotovoltaicas
- Investimento inicial elevado destinado à instalação do sistema fotovoltaico
- A produção de energia depende de fatores externos, como alto índice de radiação, quantidade de nuvens dentre outro
- Não é possível produzir energia no período noturno

### 4.8.3 Custos

A figura abaixo representa a distribuição dos custos dos sistemas fotovoltaicos utilizados na Alemanha durante implantação do programa “1000 Roofs”. Os painéis fotovoltaicos são responsáveis por 60% do custo final do sistema. 15% do custo é destinado à instalação do sistema e também destinado para o aparelho inversor. O restante do montante, indicado como BOS (*Balance of System*) é destinado para componente complementares, como cabos, estrutura de fixação e elementos de proteção do sistema. A sigla BOS se refere ao termo *Balance of Systems*, que designa todos os componentes complementares de um sistema solar fotovoltaico (cabos, conectores, estrutura de fixação, proteção).

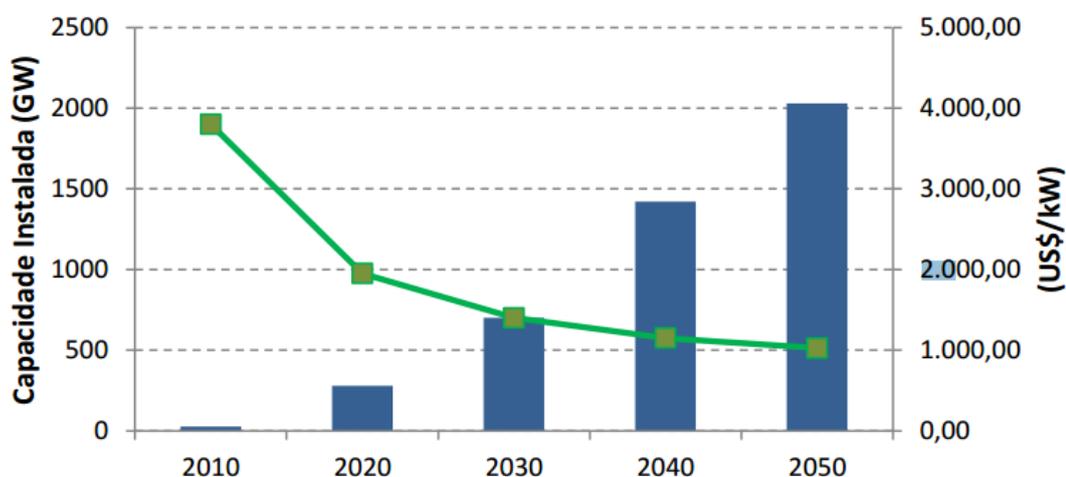


**Figura 9:** Distribuição típica dos custos *1000 roofs program* alemão, para sistemas fotovoltaicos residenciais interligados à rede elétrica com potências de 2 kW (Fonte: SICK & ERGE, 1996).

Estão inclusos no custo final de um sistema fotovoltaico todos os equipamentos e materiais necessários e também os custos referentes aos serviços de instalação, como mão de obra e logística. Esses custos advindos dos serviços apresentam variações dependendo da região onde será instalado o sistema. A

região Norte, por exemplo, apresenta custos maiores, devido à dificuldade de acesso a determinados locais. A Região Sudeste oferece muitas vezes a mão de obra para o setor, portanto para instalações em regiões mais distantes aparecem alguns custos adicionais, como o de transporte da equipe e hospedagem da mesma.

Em termos de perspectivas mundiais, a IEA (2012) prevê que a capacidade instalada de fotovoltaico ultrapasse 27 GW em 2010, para cerca de 280 GW em 2020, o que representa expansão média anual de 26% ao ano neste período.



**Figura 10:** Projeção do crescimento da capacidade instalada e custos até 2050. (Fonte: Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. EPE, 2014).

O crescimento da capacidade de geração de energia elétrica instalada tende a prosseguir nas próximas décadas ao passo que o custo do sistema fotovoltaico residencial indica um decréscimo como se pode inferir pelo gráfico acima (fig. 10).

## 5 ESTUDO DE CASO

Com a finalidade de demonstrar o uso eficiente e racional da energia vamos propor um modelo de residência dotado de sistemas tecnológicos ligados ao aproveitamento da energia solar.

Segundo o último censo feito pelo IBGE em 2010, a média de ocupação em uma residência no Brasil é 3,3 pessoas, portanto, vamos supor que a residência modelo seja ocupada por 4 pessoas. A casa é composta por três quartos, uma sala de estar, uma sala de jantar, dois banheiros, uma cozinha, garagem e área externa, o que caracteriza uma residência comum nas regiões urbanas do país.

Os eletrodomésticos como a geladeira, o televisor, a lavadora de roupa e o forno micro-ondas, escolhidos para compor a casa são considerados de alta eficiência energética, proporcionando um menor gasto energético ao final do mês.

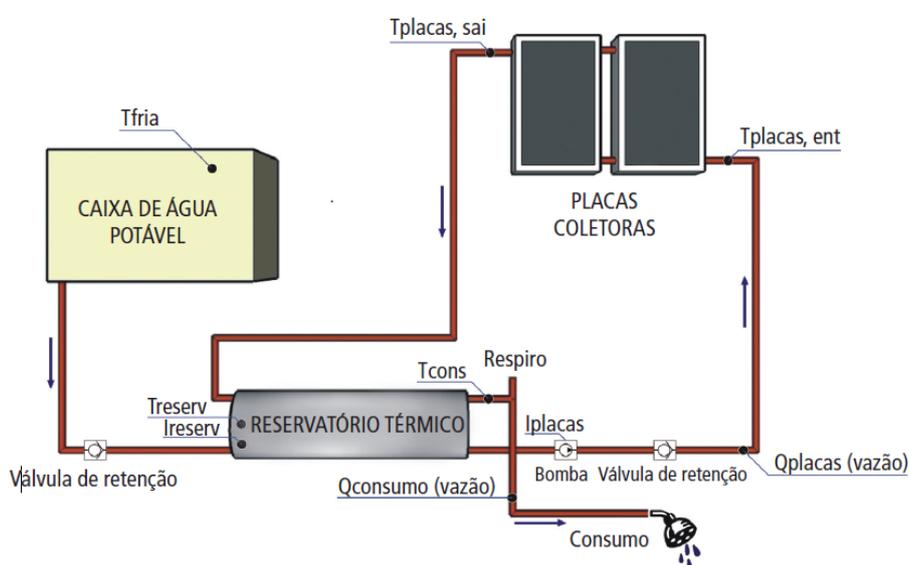


**Figura 11:** Selo PROCEL e selo de eficiência. (Fonte: INMETRO)

Os produtos que possuem esses selos apresentam melhores níveis de eficiência energética. O objetivo do selo é estimular a comercialização e fabricação de produtos mais eficientes, reduzindo assim os impactos ambientais.

Para a iluminação interna e externa da residência foram escolhidos lâmpadas de LED de 7 W e 10 W. O uso das lâmpadas de LED proporciona uma economia de energia considerável em compráramos com outros tipos de iluminação mais comumente empregados, como por exemplo, as lâmpadas fluorescentes de 20 W.

Para o aquecimento de água utilizada nos chuveiros será utilizado o sistema com 2 coletores solares de 2 m<sup>2</sup> cada e um reservatório de 300 litros. Dispensaremos o uso do chuveiro elétrico, que seria necessário somente em períodos de dias chuvosos em sequência.



**Figura 12.** Exemplo de uma instalação de aquecimento solar. (Fonte: Casa Eficiente, 2010).

Dispensaremos o uso dos aparelhos de ar condicionado. Apenas a ventilação natural será utilizada para manutenção do conforto térmico.

A casa contará ainda com um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica conectada a rede pública. Levando-se em conta o consumo elétrico estimado para a casa modelo e considerando a radiação solar média do estado de Minas Gerais, calculamos a potência do sistema fotovoltaico a ser instalada para suprir a demanda necessária. Assumimos a eficiência do projeto fotovoltaico em 80% considerando as perdas na geração e transmissão de potência.

Consideramos que o sistema fotovoltaico será instalado de maneira a obter a maior produtividade possível, os módulos fotovoltaicos serão instalados voltados para o Norte e com inclinação indicada para tal localização.

Tabela 3: Consumo mensal médio da casa

	Quantidade	Potência	Uso mensal	Horas	Consumo mensal
		W	(dias)	por dia	(kWh)
<b>Geladeira Frost Free Duplex Brastemp Clean</b>	1	65	30	24	46,8
<b>Iluminação quartos</b>	3	10	30	4	3,6
<b>Iluminação banheiros</b>	4	7	30	2	1,68
<b>Iluminação sala de estar</b>	4	7	30	3	2,52
<b>Iluminação sala de jantar</b>	2	7	30	2	0,84
<b>Iluminação cozinha</b>	2	10	30	4	2,4
<b>Iluminação área de serviços</b>	2	10	30	3	1,8
<b>Iluminação externa</b>	8	10	30	1	2,4
<b>Micro-ondas Consul CM020 20 Litros</b>	1	620	30	0,5	9,3
<b>Aspirador de pó Eletrolux - Air Speed</b>	1	200	8	1	1,6
<b>Lavadora de roupa Eletrolux Turbo 10 Kg</b>	1	310	8	1	2,48
<b>Ferro elétrico</b>	1	150	8	2	2,4
<b>Televisor Samsung Led Curva</b>	2	130	30	3	23,4
<b>Filtro de água</b>	1	6	30	24	4,32
<b>Computador</b>	1	120	30	5	18
<b>Total</b>					<b>123,54kWh/mês</b>

Tabela 3: Dimensionamento do sistema fotovoltaico

<b>Índice solarimétrico local :</b>	<b>5,1</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>/dia</b>
<b>Consumo médio mensal:</b>	123,54	kWh/mês
<b>Consumo médio diário:</b>	4118,00	Wh/dia
<b>Potência de placas necessária (watts)</b>	807,45	watts
<b>Assumindo Eficiência de:</b>	80%	
<b>Utilizando placas de:</b>	250	Wp
<b>Número de placas:</b>	4	placas

Após realizarmos os cálculos, optamos por utilizar um conjunto de 4 placas de 250 Wp cada uma. Esse sistema seria capaz de suprir 100% da demanda energética da casa. O payback do investimento no sistema fotovoltaico acontece entre 6 a 9 anos, com os constantes aumentos das tarifas de energia elétrica no Brasil a tendência é que futuramente o retorno aconteça entre 4 a 5 anos.

Ocorre uma valorização do imóvel, uma vez que a tecnologia implantada poderá ser utilizada sem necessidade de grandes gastos com manutenção por cerca de 25 anos, que é o tempo de vida estimado pelos fabricantes das placas.

## 6. CONCLUSÃO

A diversificação da matriz energética de um país é importante para não ficarmos reféns de apenas um meio de geração de energia. O Brasil sofreu nos últimos anos apagões e racionamentos de energia elétrica, devido ao baixo investimento do governo no setor de geração, transmissão e distribuição de energia. Nas últimas décadas, o país apresentava altos índices de desenvolvimento econômico, mas o setor energético não acompanhou esse crescimento. Isso ficou evidente nos períodos de estiagem, quando nossos reservatórios se encontravam abaixo dos níveis ideais para se produzir energia suficiente para suprir a necessidade de toda população.

Atualmente os países desenvolvidos investem fortemente em tecnologias de geração de energia limpa. O esforço comum tem como principal interesse diminuir os efeitos nocivos gerados pela queima de combustíveis fósseis. Portanto a tendência é que as tecnologias desenvolvidas por esses países estejam cada vez mais acessíveis para o restante do mundo.

O Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado à Rede ganha a cada ano mais espaço no mercado brasileiro. O Brasil apresenta condições naturais favoráveis para aproveitamento da energia solar, tendo em vista os altos níveis de insolação que recebe. A queda nos preços dos sistemas já disponíveis, somado ao constante aumento das tarifas de energia, faz com que seja atrativa a possibilidade de geração da própria energia junto a sua residência. O retorno econômico do investimento já pode ser considerado de pequeno prazo, além de o usuário estar contribuindo de forma significativa para o meio ambiente.

## 7. REFERÊNCIAS

ELETROBRAS. 2007 – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005 – Classe Residencial– Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL.

EPE, N. T. 2014. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Nota técnica. Rio de Janeiro.

EPE. 2015. Balanço Energético Nacional, Ano base 2014. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro.

GREENPRO, A. P. C. 2004. Energia Fotovoltaica-Manual sobre tecnologias, projeto e instalação. Europa: Comissão Europeia.

PEREIRA, E. B. et al. 2006. Brazilian Atlas of Solar Energy.[Atlas Brasileiro de Energia Solar, in Portuguese]. INPE, São José dos Campos.

LAMBERTS, R., GHISI, E., PEREIRA, C. D., & BATISTA, J. O. 2010. Casa eficiente: consumo e geração de energia. Florianópolis: UFSC/LABEE.

OECD/IEA. 2015. Key world Energy Statistics. International Energy Agency.

OLIVEIRA, S. D. 2002. Geração Distribuída de Eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo. São Paulo.

PINHO, J. T., & GALDINO, M. A. 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. CEPEL–CRESESB. Rio de Janeiro.

RODRÍGUES, C. R. C. 2002. Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São Paulo.

RÜTHER, R. 2004. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Editora UFSC.

SAWIN, JANET, L. et al. 2015. Renewables 2015 global status report-Annual Reporting on Renewables: Ten years of excellence.

SICK, F. & ERGE, T. 1996. Photovoltaics in Buildings – A design handbook for architects and engineers, International Energy Agency, James & James Science Publishers.

SOLARGIS. 2015. GeoModel Solar <<http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>> Acesso em dezembro de 2015

TUZEY. 2015. Especial: A crise energética no Brasil <<http://energiainteligenteufjf.com/2015/03/26/especial-a-crise-energetica-brasileira/>> Acesso em: dezembro de 2015

VOGT, C. 2001. Energia, Crise e Planejamento. <<http://energiainteligenteufjf.com/2015/03/26/especial-a-crise-energetica-brasileira/>> Acesso em: dezembro de 2015