

ENERGIA FOTOVOLTAICA – ESTUDO DO FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO E SUA VIABILIDADE NO BRASIL

Ezequiel Bastos Ribeiro

*Discente do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(ezequielbastosr@hotmail.com)*

Eduardo Martins Toledo

*Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de
Anápolis (eduardomtoledo@gmail.com)*

Leandro Daniel Porfiro

*Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de
Anápolis (fisicoleandro@yahoo.com.br)*

RESUMO

O trabalho em questão foi realizado no intuito de melhor apresentar e esclarecer uma fonte de energia renovável, que é muito promissora no Brasil e também muito pouco explorada, pelo fato da falta de conhecimento e até mesmo um “pré-conceito” que a maioria das pessoas têm sobre o assunto. A energia fotovoltaica, que é proveniente da luz solar incidente na Terra, surge através do efeito fotovoltaico e vem demonstrando índices de crescimento ao longo dos anos, tanto no Brasil, quanto mundialmente, e neste presente trabalho foi apresentado como se dá a transformação em energia elétrica, elementos e materiais utilizados como placas fotovoltaicas, inversores e cabeamentos, forma de instalação. Já para o estudo de caso foi feita uma análise da viabilidade de se adquirir essa fonte de energia em uma residência na cidade de Anápolis, mostrando quais materiais foram utilizados, como foi feita a instalação, valores em geral de economia do sistema fotovoltaico, assim como o tempo de retorno do investimento que se é esperado.

Palavras-chave:

energia renovável, energia fotovoltaica, efeito fotovoltaico, luz solar, energia elétrica, viabilidade, sistema fotovoltaico.

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é umas das formas de energia mais usadas em todo o mundo, e no Brasil, não é diferente. O desenvolvimento da sociedade moderna depende muito da energia, seja para iluminação, aquecimento ou refrigeração, ou mesmo para utilização em processos industriais e eletrônicos.

Na medida em que a população cresce, a demanda por energia elétrica tende a acompanhar esse crescimento. Para atender essa demanda, são usadas várias fontes de geração de energia, como por exemplo, a hidrelétrica, termoelétrica, nuclear, eólica, solar dentre outras. No Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energias, em seu Relatório Final, a fonte hidrelétrica prevalece como maior produtora de energia elétrica, com 68,1% da produção total, essa fonte, que não é considerada uma “fonte limpa”, pelo fato da devastação causada no alagamento para os reservatórios de água. As termoelétricas que também têm posição de destaque apresentam um grande problema ambiental, que é a emissão dos gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e o metano, responsáveis por causar danos à vida, atualmente e futuramente, através do aumento da temperatura a acidez presente no solo. Em contrapartida uma fonte de energia considerada renovável, que não causa poluição ou nada que degrade o meio ambiente, como a solar, só representa 0,01% de toda a produção. (BRASIL, 2017).

Nas últimas décadas e com o avanço nas discussões sobre o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, a principal fonte de energia discutida enquanto saída para os problemas ambientais é a energia solar fotovoltaica, que apesar da baixa escala de uso atualmente, vem tendo um crescimento significativo. Essa fonte que possibilita uma geração de energia elétrica distribuída, sem que seja preciso linhas e torres de transmissão e distribuição. Ela é instalada na própria edificação no meio urbano ou rural, não necessitando de uma área à parte (RÜTHER, 2004).

O Brasil possui a maior parte de sua terra situada na região intertropical, cujos índices de radiação solar são mais altos, favorecendo este tipo de produção de energia.

2 METODOLOGIA

2.1 CENÁRIO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2018), no mês de maio de 2018, já existiam 27.803 sistemas solares fotovoltaicos ligados à rede. Outra marca importante conquistada no mês de maio, foi a de atingir 250 MW de potência instalada, contando sistemas de micro e minigeração distribuída, instalados em residências, indústrias, edificações do governo, comércios e na zona rural. Na análise do número de sistemas instalados o destaque vai para os consumidores residenciais, alcançando 77,4 % do total, já analisando a potência alcançada, o setor que destoa é o de comércio com 42,8 % da potência total do país. Esses dados podem ser considerados muito expressivos, visto que em 2012, apenas 13 locais geravam

eletricidade a partir dessa fonte, a energia solar era utilizada de forma geral apenas para aquecedores de água.

2.2 BASE DA CONVERSÃO DE LUZ EM ENERGIA ELÉTRICA E SEUS COMPONENTES

A energia fornecida pelo sol para a Terra atinge a marca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar por ano. Esse valor comparado com o consumo mundial de energia no mesmo período se faz 10.000 vezes maior. Isso nos indica que a radiação solar, não só tem a capacidade de manter a vida na Terra, como também tem um potencial gigantesco como fonte energética, se utilizados e captados por meio dos sistemas fotovoltaicos (RÜTHER, 2004).

2.2.1 Efeito fotovoltaico

De todo o sistema fotovoltaico, a célula é onde se encontra a base de toda a conversão da luz solar na energia elétrica. A conversão direta da energia radiante solar em corrente elétrica é realizada mediante ao efeito fotovoltaico que se caracteriza pelo surgimento de uma diferença de potencial elétrico. Essa diferença se origina com os fótons que ao incidirem sobre o material semicondutor da célula, promovem um deslocamento nos elétrons. Esses elétrons podem ser capturados antes de voltarem a seus orbitais atômicos, e por meio disso são aproveitados como corrente elétrica, com isso surgem lacunas, que são tratados pela Física como se fizessem o papel de cargas positivas, pois elas atraem os elétrons livres, que conduzem a corrente elétrica (CRESESB, 2006).

2.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos conectados à rede elétrica (ON-GRID)

Esse tipo de sistema é caracterizado pela produção da energia elétrica no próprio local de consumo, porém existe uma interação com a rede elétrica provinda da fonte distribuidora da cidade em questão. Essa interação permite que o consumidor use a energia elétrica convencional para complemento na quantidade total da energia de demanda da residência (RÜTHER, 2004; IEA, 2010).

Os sistemas distribuídos, por serem conectados à rede, não necessitam de baterias em sua composição. Eles são constituídos basicamente pelo painel fotovoltaico e o inversor, além dos componentes de comando e de proteção, como por exemplos chaves, fusíveis e disjuntores.

3 ESTUDO DE CASO: SISTEMA (ON-GRID) INSTALADO EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE ANÁPOLIS

O projeto base para o estudo de caso, foi feito em um residência de Anápolis no ano de 2016, projetado e executado pela empresa Energize, que é uma empresa de Anápolis especializada em Energia Fotovoltaica, no qual o dono foi aluno do curso de Engenharia Civil da Unievangélica.

3.1 NORMATIZAÇÃO

A instalação de um sistema elétrico de baixa tensão e tudo que é necessário, é regido pela ABNT NBR 5410 (2004, p. 1), ela tem que como seu objetivo estabelecer “as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.”

3.2 ELEMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para o projeto executado foram utilizados 05 módulos fotovoltaicos da marca Trinasolar modelo TSM-PD14, com potência de 310 Watt-pico. Foi utilizado 01 inversor interativo (grid-tie) produzido pelo fabricante Fronius modelo Galvo 1.5-1. Este modelo possui 03 entradas de arranjo de módulos fotovoltaicos (MPPT1 = 01 entrada), todas conectadas ao sistema de seguimento do ponto de máxima potência (MPPT, Maximum Power Point Tracking), que assegura que instantaneamente o inversor extraia máxima potência dos módulos fotovoltaicos, variando o valor de sua tensão de operação até o ponto em que o resultado da multiplicação da tensão com a corrente forneça a maior potência naquele determinado momento.

Foram utilizados cabos de cobre com isolamento em HEPR 90°C de 06/1 kV com seção mínima de 6 mm². As seções dos condutores positivos, negativos e proteção são idênticas. Foi utilizado cabo de cor vermelho para o + positivo e de cor preto para – negativo instalados dentro de eletroduto aparente de 1 polegada.

Cada arranjo fotovoltaico deve ter um sistema de proteção próprio. O sistema de proteção contra surtos do arranjo fotovoltaico deve ter uma String Box localizada entre os painéis fotovoltaicos e o inversor, será constituído por um Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS), disjuntor de corrente contínua e um dispositivo de manobra.

O DPS utilizado é de classe 2, adequado para a parte CA depois do inversor e DPS adequado para a parte DC entre o módulo fotovoltaico e inversor.

Além de todos esses elementos, foram também utilizadas placas de sinalização de segurança, que são obrigatórias de acordo com a NTC-71 (2012).

3.3 VIABILIDADE DO PROJETO

O valor total investido pelo cliente, na época (2016) desde o projeto até a instalação do sistema fotovoltaico on-grid foi de 15.000 Reais.

1º Passo - Cálculo da geração em KWh do sistema: Com os 5 módulos fotovoltaicos instalados e de acordo com a potência de cada módulo, inicialmente foi feito o cálculo do índice de radiação em sol pleno de cada mês através do programa SunData, disponibilizado virtualmente pelo CRESESB (Tabela 01). Esse programa destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A primeira versão deste programa teve

elaboração em 1995, e logo um ano depois, já foi adaptado, para consulta via web. Sua primeira versão utilizava dados fornecidos pelo Centro de Estudos de la Energia Solar (CENSOLAR, 1993), e continha informações sobre valores de irradiação solar no plano horizontal para apenas 350 pontos no Brasil. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o CRESESB conseguiu autorização para utilizá-lo como base de dados para o Sun Data, abrindo assim um grande leque de informações e expandindo para 72.000 pontos de acesso em todo o território brasileiro (CRESESB, 2018).

Com a ajuda dessa ferramenta obtemos o índice de sol pleno na cidade de Anápolis.

2º Passo - Cálculo da geração em KWh do sistema: O sistema instalado tem 5 módulos de 310W cada, de potência, como esses módulos estão associados em série, a potência total do sistema é de 310×5 , que multiplicando foi encontrado 1550 Wp, ou seja, 1,55 KWp de potência.

Após encontrada a potência do sistema e o índice de sol pleno a cada mês da cidade de Anápolis, podemos encontrar a geração KWh a cada mês com a seguinte fórmula:

$$T(\text{jan}) = R(\text{jan}) \times 30 \times \text{Perda} \times \text{Pot} \quad [1]$$

Onde:

→ T: Potência Total gerada de energia no mês de janeiro;

→ R: Índice de radiação solar por dia no mês de janeiro;

→ 30: Dias em um mês;

→ Perda: Percentual da perda do sistema em contato com o ambiente (17%);

→ Pot: Potência total do sistema em KWp.

Sabendo o valor gerado a cada mês, próximo passo é fazer o somatório anual:

$$\rightarrow \sum P(\text{ger.}) = 207,26 + 213,04 + 194,52 + 193,36 + 184,48 + 179,08 + 189,12 + 221,92 + 213,82 + 211,89 + 197,61 + 206,87 = 2.412,96 \text{ KWh.}$$

Onde: $\sum P(\text{ger.})$: somatório anual de Potência gerada em KWh.

$$\rightarrow M = \sum P(\text{ger.}) \div 12 = 201,08 \text{ Kwh.}$$

Onde: M: Média mensal de geração em KWh.

Portanto, a geração total do sistema ao longo de um ano é de 2.412,96 KWh, e a média mensal de geração durante os meses do ano é de 201,08 KWh.

3º Passo: Economia mensal do sistema em R\$: Para o cálculo da economia mensal, é utilizada a seguinte fórmula:

$$\cdot \text{Eco}(\text{jan}) = \text{Pot}(\text{total}) \times \text{Valor}(\text{KWh}) \quad [2]$$

→ Eco (jan): Economia gerada no mês de janeiro em reais;

- Pot (total): Potência gerada no mês em questão em KWh;
- Valor (Kwh): valor do KWh consumido (gerado pela concessionária e incluso os impostos ICMS/PIS/CONFINS).

4° Passo - Retorno e viabilidade do investimento: Ao analisar viabilidade da instalação do sistema fotovoltaico, existem alguns itens fundamentais a serem observados.

Um desses itens é o índice de inflação energética anual, pois a cada ano que se passa temos uma variação nos valores de energia. Esse conhecimento de que o valor do KWh tende a estar em crescimento ao longo dos anos, é acompanhado em confirma pelos índices IPCA E IGP-M. Em uma pesquisa realizada de 2003 a 2016, analisando a tarifa anual média de energia elétrica em todo o Brasil, chegou-se a conclusão que durante esse tempo o preço da tarifa energética tem um aumento de 7,33% ao ano. Exemplificando, uma conta de energia no ano de 2003 que custaria R\$ 200,00, no ano de 2016 se equivaleria a uma conta de R\$ 503,00 (ANEEL, 2017).

O outro item de grande importância é o da perda de eficiência que os sistemas fotovoltaicos têm a cada ano. A garantia dada pelo fornecedor dos módulos é de que quando o sistema tiver 25 anos de uso, ele esteja com 80% da sua eficiência ainda funcionando (TRINASOLAR, 2018).

Portanto, já tendo valor de 1.737,33 reais referente à economia do primeiro ano, calculado anteriormente, deve-se incluir os dois itens citados, na fórmula. Sendo assim foi calculado da seguinte forma:

$$\cdot \text{Eco} = \text{Vant} \times \text{Ian} \times \text{Pan} \text{ [3]}$$

- Eco: Economia do ano em questão;
- Vant: Valor economizado no ano anterior;
- Ian: Inflação energética a cada ano adotada;
- Pan: Perda de eficiência anual do sistema (20% após 25 anos).

Seguindo todos esses passos, foram obtidos os valores da Tabela 1 sobre a viabilidade e tempo necessário para se ter retorno nesse investimento.

Tabela 1 - Cálculo do retorno do investimento durante 25 anos

ANO	Poupança acumulada gerada pela economia do sistema fotovoltaico	Valor do investimento	Saldo Retorno do investimento
2016	R\$ 1.737	R\$ 15.000	-R\$ 13.262,67
2017	R\$ 3.593		-R\$ 11.407,32
2018	R\$ 5.574,079		-R\$ 9.425,92
2019	R\$ 7.690,076		-R\$ 7.309,92
2020	R\$ 9.949,821		-R\$ 5.050,18
2021	R\$ 12.363,078		-R\$ 2.636,92
2022	R\$ 14.940,276		-R\$ 59,72
2023	R\$ 17.692,552		R\$ 2.692,55
2024	R\$ 20.631,799		R\$ 5.631,80
2025	R\$ 23.770,721		R\$ 8.770,72
2026	R\$ 27.122,880		R\$ 12.122,88
2027	R\$ 30.702,763		R\$ 15.702,76
2028	R\$ 34.525,839		R\$ 19.525,84
2029	R\$ 38.608,631		R\$ 23.608,63
2030	R\$ 42.968,782		R\$ 27.968,78
2031	R\$ 47.625,132		R\$ 32.625,13
2032	R\$ 52.597,805		R\$ 37.597,80
2033	R\$ 57.908,288		R\$ 42.908,29
2034	R\$ 63.579,532		R\$ 48.579,53
2035	R\$ 69.636,043		R\$ 54.636,04
2036	R\$ 76.103,994		R\$ 61.103,99
2037	R\$ 83.011,335		R\$ 68.011,34
2038	R\$ 90.387,916		R\$ 75.387,92
2039	R\$ 98.265,615		R\$ 83.265,61
2040	R\$ 106.678,473		R\$ 91.678,47

Fonte: AUTORES, 2018.

4 CONCLUSÃO

A energia fotovoltaica é uma realidade que a cada dia ganha mais espaço no Brasil e no mundo. Com grande parte do nosso território nacional iluminado constantemente pelo sol, em seu período diurno, o potencial de produção de energia elétrica a partir de placas fotovoltaicas é uma realidade estratégica e promissora.

No estudo de caso apresentado neste trabalho foi possível compreender a importância deste tipo de produção de energia elétrica na qual o consumidor torna-se também um fornecedor de energia, tendo ao longo do tempo o retorno de seu investimento e um lucro participativo em forma de energia.

O resultado desse estudo de viabilidade e retorno do investimento (considerando a Tabela 6), mostra que 7 anos após a instalação do sistema, o valor economizado em energia cobrirá os 15.000,00 reais investidos para adquirir o sistema. Além disso, analisando a economia em 25 anos, no acumulado total foram economizados 106.678,47 reais, ao tirarmos os 15.000,00 reais investidos, temos o valor positivo de 91.678,47 reais, esse valor que ao ser relacionado como um investimento pode ser chamado de lucro. O estudo foi feito baseado nos 25 anos de garantia a 80 % da eficiência do sistema, que o fornecedor proporciona, mas nem por isso o sistema durará apenas os 25 anos.

Contudo o sistema de produção de energia elétrica a partir das placas fotovoltaicas ainda é elevado para grande parte da população brasileira e algumas políticas, ainda insipientes, têm sido realizadas no tocante a essa temática tentando diminuir os impostos para aquisição de placas, o que diminuirá o custo final para o usuário.

Esta é uma importante e estratégica área de estudos da Engenharia Civil, pois contribui diretamente para o aumento das fontes de energia renováveis e para uma conscientização social do consumo consciente da energia elétrica em nosso país. Acreditamos que este estudo possa contribuir para que tanto alunos, quanto engenheiros ou mesmo leigos, possam compreender como a energia fotovoltaica é produzida e instalada em uma residência.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 5410:2004 – Instalações Elétrica de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ABSOLAR. **Brasil atinge 250 MW em geração solar distribuída**. São Paulo/SP, 2018. Disponível em: <www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/brasil-atinge-250-mw-em-geracao-solar-distribuida.html>. Acesso em: 25 out. 2018.

ALVARENGA, Carlos. Solenerg. **O módulo fotovoltaico para gerador solar de eletricidade**. Disponível em: < <http://www.solenerg.com.br/files/Modulo-Fotovoltaico-Solenerg.pdf> >. Acesso em 28/10/18.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Tutorial de energia solar fotovoltaica**. Brasília/DF. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 25 out. de 2018.

CRESESB. **Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos 2014**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em 30/05/2018.

_____.CRESESB. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em 25/10/18.

_____.CRESESB. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 29/10/18.

ENEL Distribuição. **Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CELG D**. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/go/documentos/NTC71.pdf> 2016>. Acesso em 29/09/18.

_____. **Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição**.<<https://www.eneldistribuicao.com.br/go/documentos/NTC04.pdf> >. Acesso em 29/09/18.

Grupo de Trabalho de Energia Solar Fotovoltaica (CRESESB/CEPEL) - **“Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”**

Ministério de minas e energia. **Boletim mensal de monitoramento do sistema elétrico brasileiro**. Brasília/DF, 2018. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Mar%C3%A7o+-+2018_1.pdf/a87b8720-c030-4bfa-8c10-e19cb8d2854c>. Acesso em: 26 mai. 2018.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, 2004. 114p.