

3.04.04 - Engenharia Elétrica / Sistemas Elétricos de Potência

**IMPACTO ECONÔMICO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE**

Izabella C. D. L. Veiga<sup>1</sup>, Igor C. Torres<sup>2</sup>, Leonardo F. L. Souza<sup>3</sup>

1. Graduanda em Engenharia de Energias Renováveis, CECA/UFAL

2. Professor do Centro de Ciências Agrárias, CECA/UFAL / Coorientador

3. Professor do Centro de Ciências Agrárias, CECA/UFAL / Orientador

**Resumo:**

As perspectivas do aumento do consumo de energia faz da geração distribuída fotovoltaica uma alternativa para suprir a demanda crescente por energia elétrica. Além de diversificar a matriz energética, gerar emprego e promover a sustentabilidade, também permite ao consumidor residencial ou industrial reduzir o gasto com energia elétrica. O objetivo do presente trabalho é analisar o impacto econômico causado por um sistema fotovoltaico (FV) residencial *on-grid*. Inicialmente, foi feito o dimensionamento do sistema elétrico fotovoltaico e, em seguida, a instalação. Os resultados mostram que houve uma economia de 56,76% no gasto com energia elétrica na unidade consumidora avaliada, considerando os dois primeiros meses de operação do sistema.

**Palavras-chave:** Geração Distribuída; Energia Solar; Engenharia Econômica

**Introdução:**

Estima-se que o consumo de energia elétrica no Brasil aumentará em 23,1% até 2050 [1]. Sendo assim, a oferta de energia elétrica deve ser crescente e proporcional ao aumento do consumo. A geração distribuída surge como alternativa viável à solução deste problema. Trata-se do aproveitamento do sol, direta ou indiretamente, para a geração e armazenamento de energia elétrica em pequena escala, próxima à unidade consumidora e interligada à rede elétrica. Tais atributos fragmentam os mecanismos de compra e venda de energia e possibilitam uma melhor distribuição geográfica da geração de energia elétrica.

O Brasil dispõe de várias fontes energéticas renováveis, exploradas de forma desigual. A geração hidroelétrica é predominante no país, e respondeu por 68,1% da oferta em 2016, o que significa 421,7 TWh de energia gerada [2]. Entretanto, observa-se que, por ocasião dos baixos índices pluviométricos observados nos últimos anos, a hidroeletricidade vem perdendo força - em 2011, a oferta hidroelétrica era de 81,8%. Tal fato implica no aumento da participação da geração térmica (cara e poluente) na matriz elétrica brasileira em detrimento das energias renováveis, que tiveram participação reduzida de 88,9% em 2011 para 81,7% em 2016 [2]. Desta forma, percebe-se a necessidade da diversificação da matriz energética brasileira.

Dentre as energias renováveis, a energia solar figura com destaque no Brasil. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500 - 2500 kWh/m<sup>2</sup>) são significativamente maiores que os da Alemanha (900 - 1250 kWh/m<sup>2</sup>), que é atualmente o país líder em geração de energia solar no mundo [3].

As condições naturais favoráveis, os programas de incentivo do governo, as novas linhas de crédito para financiamento de sistemas de geração solar e as melhorias na legislação vigente do setor elétrico, vem contribuindo para o aumento da instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil. Em 2018 já são mais de 21 mil instalações que correspondem a uma potência aproximada de 182 MW [4]. Além de contribuir com o desenvolvimento sustentável e com a diversificação da matriz energética, a geração fotovoltaica pode também representar uma alternativa atraente do ponto de vista econômico para consumidores residenciais e industriais.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto econômico de um sistema de geração fotovoltaico residencial.

**Metodologia:**

O presente trabalho foi fundamentado na instalação de um sistema FV residencial, que está de acordo com a resolução normativa 687 da ANEEL [5], e apresenta uma capacidade de 5.130 kWp de geração.

Os cálculos da estimativa de geração pelo sistema instalado foi feito através de um balanço de energia com base em dados adquiridos através de um software para cálculo de irradiação [6]. Tais dados apontam os valores diários médios de irradiação solar na cidade de Maceió. Com base nestes dados, foi possível construir uma tabela com os valores médios mensais de irradiação. Ao analisá-los, observou-se que a melhor inclinação para fixação dos painéis é  $\beta = 8^\circ$ , e foram instalados numa estrutura de laje coberta com telha colonial.

A quantidade efetiva de painéis fotovoltaicos, a energia diária produzida pelo arranjo, a tensão de operação dos módulos fotovoltaicos e as suas correntes, foram calculadas, respectivamente, pelas equações (1), (2), (3), (3.1) e (4). A configuração geométrica do sistema do sistema FV pode ser vista na Figura 1.

$$N^{\circ}_{\text{painel}} = \frac{P_{\text{sis}}}{P_{\text{max}}} = \frac{5130}{270} = 19 \text{ módulos} \quad (1)$$

$$E_{\text{cc}} = H_{\text{bs}} \times P_{\text{max}} \times N^{\circ}_{\text{painel}} = 5,5 \times 270 \times 19 = 28,2 \text{ kWh/dia} \quad (2)$$

$$V_{n1} = V_{\text{mp}} \times N^{\circ}_{\text{painel}} = 31,7 \times 10 = 317 \text{ V} \quad (3)$$

$$V_{n2} = V_{\text{mp}} \times N^{\circ}_{\text{painel}} = 31,7 \times p = 285 \text{ V} \quad (3.1)$$

$$I_{\text{mp}} = \frac{P_{\text{max}}}{V_{\text{mp}}} = \frac{270}{31,7} = 8,52 \text{ A} \quad (4)$$

Nas quais:

$N^{\circ}_{\text{painel}}$  é a quantidade de painéis necessário;

$P_{\text{sis}}$  é a potência do sistema [W];

$H_{\text{bs}}$  é horas de brilho de sol [h];

$P_{\text{max}}$  é a potência de pico do painel [Wp];

$V_{\text{mp}}$  é a tensão de módulo FV [V];

$E_{\text{cc}}$  é a energia diária produzida pelos gerador FV [kWh];

$V_{n1}$  é a tensão nominal de operação da string FV 1 [V];

$V_{n2}$  é a tensão nominal de operação da string FV 2 [V];

$I_{\text{mp}}$  é a corrente nominal de operação do gerador FV [A].

O sistema foi particionado em duas *strings*, cada uma conectada individualmente a uma entrada CC do inversor (ver Figura 1). A potência máxima de cada *string* foi:

$$P_{m1} = V_{n1} \times I_{\text{mp}} = 317 \times 8,52 = 2700 \text{ Wp} \quad (5)$$

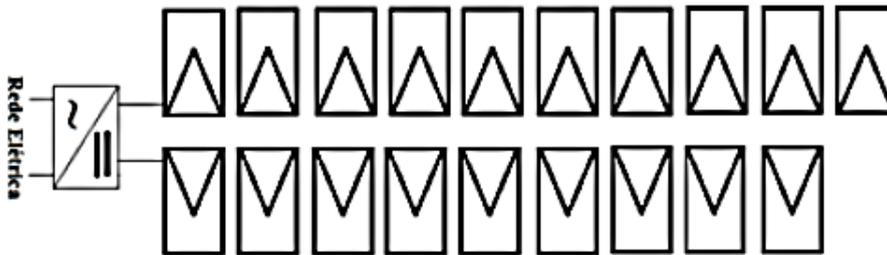
$$P_{m2} = V_{n2} \times I_{\text{mp}} = 285 \times 8,52 = 2428 \text{ Wp} \quad (5.1)$$

Nas quais:

$P_{m1}$  é a potência máxima da *string* 1 [Wp].

$P_{m2}$  é a potência máxima da *string* 2 [Wp].

Figura 1: Disposição do gerador FV.



Fonte: Autoria própria (2018).

A potência total é aproximadamente 5130 Wp. A capacidade de geração média, dos 19 módulos interligados em série, é 28,2 kWh/dia e 846 kWh/mês, o que caracteriza um sistema superdimensionado considerando o consumo da residência em estudo. Os resultados das equações (6) e (7) comprovam que o inversor foi dimensionado dentro dos limites técnicos.

$$FDI = \frac{P_{\text{Inv}}}{P_{\text{sis}}} = \frac{5000}{5130} = 0,97 \quad (6)$$

$$CN = \frac{P_{\text{sis}}}{P_{\text{Inv}}} = \frac{5130}{5000} = 102\% \quad (7)$$

Nas quais:

FDI é o fator de dimensionamento do inversor;

CN é o carregamento nominal do inversor;

$P_{\text{Inv}}$  é a potência nominal do inversor.

O projeto do sistema fotovoltaico é composto por:

- **Módulo Fotovoltaico Policristalino (JKM270PP da JINKO SOLAR)** – com 16,5% de eficiência de conversão;
- **Inversor (PHB5000D-NS – 5kW)** - tolera uma potência máxima de 6500 W de módulos FV em sua entrada primária;
- **Cabos para energia solar fotovoltaica (isolação de 1KV)** - cabo com seção transversal de 4 mm<sup>2</sup> e corrente nominal CC de 42 A. Cabo com seção transversal de 6 mm<sup>2</sup> e corrente nominal CA de 39 A.
- **String Box** - composto pelos DPS de corrente contínua e alternada, dispositivo seccionador bipolar CC, disjuntor bipolar CA, além de bornes padronizados para conexão ao sistema de aterramento.
- **Estruturas de fixação de módulos;**
- **Sistema de aterramento.**

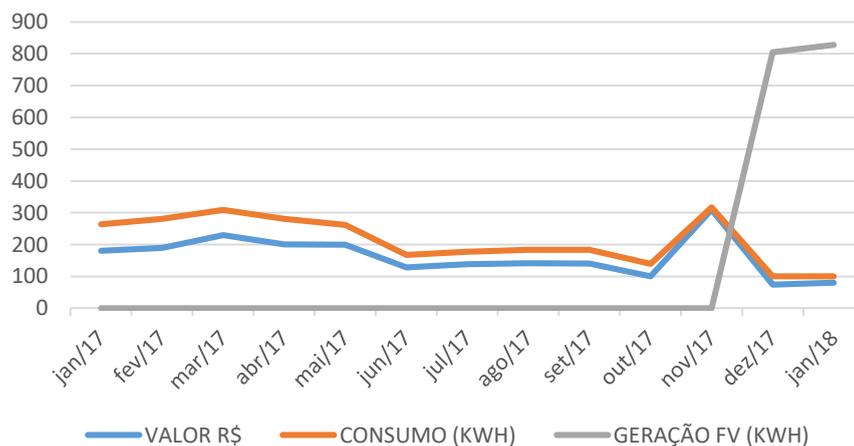
A carga instalada foi determinada através do somatório das potências nominais utilizadas na unidade. O total da potência elétrica consumida é de 10,52 kW. De acordo com [5], para uma unidade consumidora em entrada coletiva, e considerando a demanda calculada, tem-se que a tensão fornecida deve ser monofásica, com tensão de fase nominal de 220 V.

Feito a instalação do sistema FV, foi realizado um levantamento de gasto de energia, geração e consumo da residência no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018 e, em seguida, uma estimativa de geração com base no sistema projetado em [7].

### Resultados e Discussão:

As informações coletadas de consumo, geração e valor do gasto com energia durante um ano pela residência são mostradas na Figura 2. Dentre os parâmetros analisados, observa-se que o consumo anual médio é de 223 kWh. A energia média gerada nos dois primeiros meses do ano é de 816.5 kWh. O gasto médio mensal com energia elétrica foi de R\$178,08 durante o período de janeiro a novembro de 2017. Vale ressaltar que para o mês de dezembro 2017 e janeiro 2018 o gasto referiu-se à taxa mínima, R\$77,00 em média, já que a geração fotovoltaica foi implantada no mês de dezembro. Observa-se que há uma economia de 56,76% comparado com o gasto médio mensal para o período sem o sistema FV.

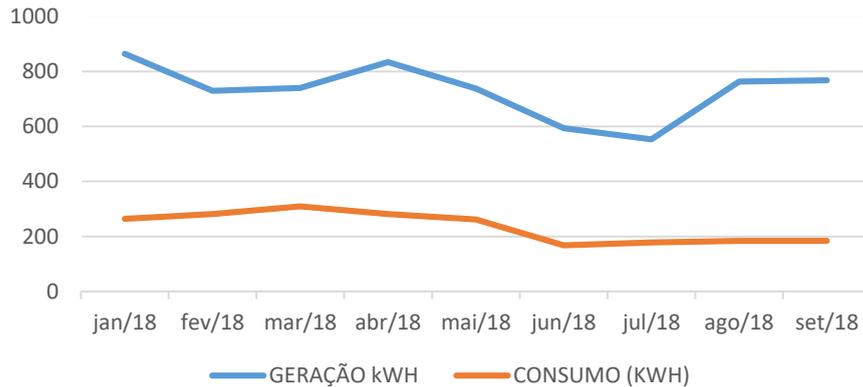
**Figura 2:** Dados de valor(R\$), consumo (kWh) e geração FV (kWh) da unidade consumidora, no período de um ano.



Fonte: Autoria própria (2018).

Com base nos dados de [7], já que o sistema antigo era instalado no mesmo local do sistema atual, foi feita uma estimativa de geração levando em consideração a potência do sistema e a eficiência do inversor do sistema atual, para o período de fevereiro de 2018 a setembro de 2018, como mostra a Figura 3. O consumo foi considerado o mesmo ao longo de 2017.

Além da redução do valor a ser pago nas contas, deve-se considerar a energia excedente injetada na rede elétrica, em torno de 738,6 kWh, que gera créditos servindo para abater o valor da energia consumida da distribuidora e ainda ser usado em outras unidades consumidoras cadastradas pelo proprietário do sistema.

**Figura 3:** Estimativa de geração FV (kWh) e consumo (kWh) para 2018.

Fonte: Autoria própria (2018).

É importante destacar que, como a geração de excedente será sempre maior que o consumo (caracterizando um sistema superdimensionado), o consumidor terá como despesa apenas a taxa mínima do custo de disponibilidade cobrada mensalmente. Como essa taxa varia mensalmente em função de variáveis políticas, econômicas e sociais imprevisíveis (impostos, inflação e bandeiras de energias), não se tem como estimar um valor a ser pago durante o ano de 2018.

### Conclusões:

O presente estudo mostra que o sistema fotovoltaico instalado em residências é vantajoso. Isso implica na redução das contas de energia a serem pagas pelo consumidor, além de possibilitar o uso de excedente em outras unidades pertencentes ao proprietário do gerador FV.

O estudo apresentou uma redução de 56,76% nas contas de energia nos dois primeiros meses de operação do sistema, e uma geração de excedente média de 738,6 kWh, a partir de dezembro de 2017 a setembro de 2018. Para esse sistema, o proprietário terá apenas a taxa mínima como despesa mensal de energia, pois a geração será sempre superior ao consumo.

Diante de tais resultados, conclui-se que é necessário um maior incentivo político-científico para a disseminação da geração fotovoltaica, tornando a geração distribuída mais presente nas residências brasileiras e, conseqüentemente, trazendo movimentação econômica entre consumidor e concessionárias de energia. Trabalhos futuros serão feitos considerando os dados reais de geração e consumo durante o período de um ano para o sistema FV analisado.

### Referências bibliográficas

- [1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro, 2017.
- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco energético nacional 2017: ano base 2016**. Rio de Janeiro, 2017.
- [3] SOUZA, L.F. **Projeto e caracterização de uma máquina elétrica linear de fluxo transversal para aplicação em um sistema de geração de eletricidade**. Dissertação de mestrado. 2016. 156 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2016.
- [4] **Unidades consumidoras com geração distribuída com Tipo de Geração: UFV**. ANEEL. Disponível em :< [http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd\\_fonte\\_detalhe.asp?tipo=12&pagina=23](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?tipo=12&pagina=23)>. Acesso: 06 de fevereiro de 2018.
- [5] ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687 de 2015: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília – DF, Brasil, 2015.
- [6] SILVA, A.D.L. **Protótipo de um sistema fotovoltaico auxiliar com armazenamento de energia elétrica**. Dissertação de mestrado. 2014. 125f. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná. Curitiba, 2014.
- [7] TORRES, I.C. **Análise do desempenho operacional de sistemas fotovoltaicos de diferentes tecnologias em clima tropical - estudo de caso: sistema fotovoltaico comercial conectado à rede**. Dissertação de mestrado. 2016. 114 f. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2016.