



V Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
V EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
22 e 23 de outubro de 2020



ESTUDO DE CASO DE INSTALAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UNIDADE CONSUMIDORA RESIDENCIAL

FRANSLEI APARECIDO NASCIMENTO¹, PEDRO HENRIQUE AQUINO BARRA²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade de Araraquara – UNIARA, fransleinascimento1998@gmail.com

² Orientador/Docente do curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Araraquara – UNIARA, Doutorando em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, phabarra@uniara.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Engenharia Elétrica – 3.04.00.00-7

RESUMO: O presente trabalho apresenta um estudo de caso sobre a viabilidade de instalação de painéis solares para geração de energia fotovoltaica em unidade residencial. Vale ressaltar que a importância do trabalho vem de encontro com a demanda crescente por fontes de energia renováveis. As iniciativas sustentáveis de produção de energia têm ainda um caráter de observar se uma dada opção é vantajosa tanto financeiramente, quanto para o futuro do consumo energético. Este estudo analisa o esquema *on-grid* de geração, que tem como principal característica a ligação direta à rede elétrica, atendendo a demanda de energia do local instalado, mesmo que de forma parcial. Nesse tipo de estrutura, a concessionária e a unidade consumidora continuam com um vínculo, pois se injeta na rede todo o excedente da produção. Dessa forma, o montante de energia injetada à rede, pelo arcabouço regulatório vigente, transforma-se em um crédito gerado para a unidade consumidora, reduzindo significativamente o valor da fatura. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma análise de viabilidade econômica da utilização de placas fotovoltaicas como forma de geração de energia elétrica residencial.

PALAVRAS-CHAVE: energia solar; fontes renováveis; investimento; meio ambiente; viabilidade econômica.

INTRODUÇÃO

Inúmeros são os benefícios propiciados à sociedade pela eletricidade, desde a sua descoberta. Vários avanços aconteceram relacionados à geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Não obstante, ainda constata-se uma dependência muito grande de diversos países por fontes não renováveis de energia elétrica. Apesar de atenderem as demandas crescentes por eletricidade, estas fontes emitem gases poluentes, implicando em contraproducentes consequências, como o efeito estufa e elevação gradativa das temperaturas ao longo da terra.

Percebe-se, no contexto apresentado, um movimento mundial incentivando a utilização de fontes renováveis de energia, buscando garantir a sustentabilidade energética e mitigar os efeitos já causados. Várias razões para o uso das fontes renováveis de energia podem ser apontadas:

- Preocupações com a emissão de CO₂, aquecimento global e atendimento do Acordo de Paris;
- Redução na importação de energia e dependência de outros países;
- Estimulação do desenvolvimento de energia limpa no país;
- Fortalecimento das economias locais e promoção da justiça social, estimulando pequenos produtores, ou mesmo cooperativas, a gerarem sua própria energia, trazendo retorno aos mais pobres e sua menor exposição aos preços voláteis de outros tipos de energia.

Em relação à energia fotovoltaica, o cenário brasileiro é otimista. Apesar de apenas cerca de 200 mil brasileiros usufruírem da tecnologia para obter reduções em contas de energia, o número de instalações em unidades residenciais triplicou de 2018 para 2019 (35 mil sistemas para 114 mil). No entanto, como barreira para um desenvolvimento ainda maior na área está relacionada a diversos fatores, que vão desde a escassez de fabricantes nacionais de módulos, até a falta de programas federais específicos para a geração solar

(MORRIS, 2015). Destaca-se que programas semelhantes são encontrados para incentivo à geração eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (CALDAS; MOISÉS, 2016).

O uso de usinas fotovoltaicas residenciais além de contribuir para a diminuição dos efeitos causados ao meio ambiente visa principalmente diminuir a fatura de energia elétrica das unidades consumidoras (WEG, 2020). Nesse tipo de sistema, a luz solar captada pelas placas fotovoltaicas são transformadas em energia elétrica ao transferirem a energia dos fótons da luz aos elétrons, capacitando-os a se movimentarem e gerar a corrente elétrica. Há uma vasta gama de utilização desses sistemas em ambientes residenciais, industriais, comerciais e até mesmo em propriedades rurais.

De forma a regulamentar os aspectos relacionados à energia fotovoltaica, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) publicou em abril de 2012 a Resolução Normativa nº482/2012. Esta normativa autoriza os consumidores a realizarem a troca de energia gerada com a concessionária por meio de mecanismos de compensação de energia elétrica. Assim, as unidades residências utilizam a concessionária como um sistema de armazenamento de energia; isto é, quando o sistema fotovoltaico gera mais do que o necessário, a energia é exportada para a concessionária. Em momentos que a geração está abaixo da demanda da unidade, por exemplo, durante a noite, a energia fornecida pela concessionária é compensada. Mesmo diante de um ambiente regulado, a falta de incentivos e o retorno dos investimentos em longo prazo, afasta uma grande quantidade de consumidores.

Diante do contexto apresentado, este trabalho tem por objetivo avaliar e analisar condições técnico-econômicas de instalações de painéis fotovoltaicos para o atendimento de unidades residenciais. Para tanto, apresenta-se um estudo de caso de uma residência localizada na região sudeste do país, cuja média de consumo é aproximadamente 128 kWh/mês. Dessa forma, três diferentes possibilidades foram analisadas, quais sejam: i) sistema com geração média de 83 kWh/mês, equivalente à aproximadamente 60% da demanda local; ii) sistema com geração média de 155 kWh/mês, atendendo integralmente a demanda; iii) sistema com geração média de 500 kWh/mês, configurando uma possibilidade em que o proprietário gera a energia concentrada em apenas um local e utiliza os créditos excedentes em outra localidade. Ao longo do artigo, apresenta-se uma fundamentação teórica sobre os sistemas fotovoltaicos, apresentam-se os cálculos para a especificação do sistema e como resultados, uma análise de retorno dos investimentos é apresentada.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para analisar a viabilidade econômica e o retorno de investimento dos cenários elencados, os valores dos equipamentos envolvidos em um sistema fotovoltaico foram considerados. Nesta seção de fundamentação teórica, uma breve descrição é apresentada sobre estes componentes.

Modulo fotovoltaico: O modulo fotovoltaico é definido na norma NBR 10899, como a unidade básica de um sistema fotovoltaico. A célula fotovoltaica é um dispositivo capaz de transformar luz solar em energia elétrica gerando o efeito fotovoltaico, que ocorre através da absorção dos fótons, partículas de energia provenientes da radiação solar. As placas solares são formadas por materiais semicondutores. Assim, ao atingirem as células fotovoltaicas, os fótons fazem com que alguns elétrons se desprendam dos átomos gerando uma corrente elétrica (PORTAL SOLAR, 2020).

Cabos: O cabeamento é responsável pela ligação entre os componentes, promovendo o fluxo de corrente entre eles.

Inversor: Equipamento que recebe a corrente gerada pelos painéis solares e converte a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). O inversor também é responsável por ajustar o valor da tensão ao nível necessário para o funcionamento dos equipamentos, medir a energia produzida pelos painéis solares, bem como pela sincronização do sistema com a rede elétrica (MUNDO DA ELETRICA, 2018).

Estruturas de fixação: Responsável pela fixação e instalação dos módulos fotovoltaicos, sejam eles no telhado ou solo. São três os tipos de fixações existentes hoje no mercado: os imóveis (fixos), móveis em um eixo, ou móveis em dois eixos (PORTAL SOLAR, 2020).

Medidor bidirecional: Como neste novo cenário, o fluxo de potência não é mais sempre da concessionária para a unidade consumidora, torna-se imperativo a utilização de um medidor bidirecional. Este é responsável pelo registro da energia consumida/injetada. Em acordo com a regulamentação atual, a concessionária é responsável pela substituição e programação desse medidor, sendo que todos os reparos necessários não

implicam em custos ao consumidor. Este medidor é instalado pela concessionária após vistoria final e aprovação do projeto.

METODOLOGIA

Em projetos associados à geração de energia solar, algumas etapas podem ser apontadas: i) análise da fatura da unidade consumidora e perfil do investidor; ii) análise da irradiação solar no local para melhor posicionamento das placas solares; iii) realização dos orçamentos; iv) submissão do projeto à concessionária; v) instalação do sistema. Após a instalação das placas solares, inversor, estruturas de fixação e da distribuição de todos os cabos seguindo as normas estabelecidas pela ANEEL, é realizada uma vistoria ao final da instalação por um representante da concessionária. Após esses passos e à aprovação do projeto, medidor bidirecional é instalado junto à rede elétrica da distribuidora. Inicia-se aí o sistema vigente de compensação de energia.

Neste projeto, adota-se o sistema do tipo *on-grid*, em que existe uma conexão direta do sistema fotovoltaico com a distribuidora, não necessitando, portanto, de um sistema de armazenamento de energia (VILLALVA, 2012). A vida útil da placa solar utilizada neste trabalho é de vinte e cinco anos, valor este fornecido pelo fabricante. Para levar em conta o rendimento decrescente de captação solar em função do tempo, nos primeiros doze anos de utilização, estima-se um rendimento entre 90 e 95%. A partir dos doze anos, sua eficiência deve variar entre 80 e 90%, até que se completem os vinte e cinco anos de uso, vida útil do módulo fotovoltaico fornecido pelo fabricante. Vale ressaltar que empresas do ramo de energia fotovoltaica, oferecem aos clientes, anualmente, manutenções necessárias para o bom funcionamento do sistema sem custos adicionais. Todavia, os consumidores são alertados quanto à limpeza das placas, visto que o acúmulo de poeira e folhas pode interferir diretamente no rendimento da captação solar pelas placas, e consequentemente, a produção de energia elétrica.

Destaca-se ainda que a energia gerada possa ser monitorada por meio de um *display* presente no inversor, ou ainda por aplicativos de celulares. Assim, os gráficos mostram ao consumidor o quão eficiente está sendo a geração. Logo, caso uma diminuição inesperada é constatada nesse rendimento, uma equipe técnica pode ser acionada para analisar os dados e as condições do sistema fotovoltaico. A Figura 1 apresenta uma estrutura típica do funcionamento do sistema *on-grid* e seus principais componentes.

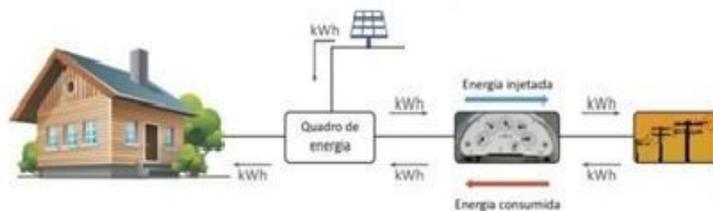


FIGURA 1. Demonstração de sistema de compensação de energia elétrica *on-grid*.
Fonte: ANEEL, 2016.

Para os estudos de casos apresentados neste artigo, uma unidade consumidora situada no município de Santa Adélia, no estado de São Paulo foi utilizada. Nesta unidade consumidora, cuja concessão é da distribuidora CPFL, tem-se um consumo médio de 155 kWh/mês. A partir deste consumo, três diferentes cenários são analisados:

- 1) Sistema com geração de 83 kWh/mês, equivalente à aproximadamente 60% da demanda da unidade consumidora;
- 2) Sistema com geração de 155 kWh/mês, atendendo integralmente a média demandada pela unidade consumidora;
- 3) Sistema com geração de 500 kWh/mês, em um cenário que o proprietário gera uma grande quantidade de energia em um local específico e, pelo sistema de compensação/créditos, utiliza os créditos oriundos da energia excedente injetada na rede em outras instalações.

Para estas três possibilidades de inserção do sistema de geração fotovoltaica, algumas hipóteses foram assumidas para permitir uma comparação entre os cenários propostos: i) para os três cenários, considera-se uma potência de 340 W para as placas solares; ii) para fins comparativos, assume-se que todos os meses possuem trinta dias; e iii) assume-se que a irradiação solar média anual é de 5,09 kWh/m² no município de Santa Adélia, em consonância com o informado em (CRECESB, 2020). Vale destacar ainda que para os cálculos apresentados, assume-se uma captação de 83% da irradiação solar durante o dia (perda de 17%, devido a problemas como o sobreamento nas placas). A adoção deste valor visa considerar na análise de retorno a possibilidade de dias chuvosos ou com uma maior quantidade de nuvens gerando sombra sobre a placa solar, que consequentemente, implica em uma menor energia gerada pelo sistema.

Para a obtenção da quantidade de placas solares necessárias para atender a demanda do projeto, as equações 1 e 2 são utilizadas.

$$P = \frac{DE}{D \times I \times PP} \quad (1)$$

$$N = \frac{P}{PS} \quad (2)$$

Onde,

P – Potência gerada pelo sistema;

DE – Demanda de energia elétrica;

D – Total de dias no mês;

I – Irradiação solar;

PP – Porcentagem de perda;

N – Número de placas solares;

PS – Potência da placa solar.

Aplicando este equacionamento para os três casos, verifica-se uma necessidade de 2 placas solares para atender a demanda de 83 kWh/mês, 4 placas solares para atender a demanda de 155 kWh/mês e 12 placas para atender a demanda de 500 kWh/mês. A partir disso, os valores dos equipamentos foram cotados comercialmente (PORTAL SOLAR, 2020).

Para uma demanda de 83 kWh/mês seriam necessários: 2 módulos fotovoltaicos da marca RISEN, cujo valor unitário da placa é de R\$548,00, totalizando R\$1.096,00; 2 estruturas metálicas fixas de cerâmica no valor unitário de R\$180,00, totalizando R\$360,00; 1 micro inversor da marca RENOVIGI no valor de R\$1.790,00; sistema de proteção contra surto no valor R\$1.728,23; 40 metros de cabo preto 6mm² e 40 metros de cabo vermelho 6mm² da marca PRYSMIAN, com valor unitário de R\$6,50 o metro, totalizando R\$520,00 de gastos com cabos de distribuição; R\$1.892,67 valor gasto com mão de obra. Assim, o projeto para demanda de 83 kWh/mês teria um custo de R\$7.386,90.

Para a demanda de 155 kWh/mês os equipamentos necessários seriam: 4 módulos fotovoltaicos da marca RISEN; onde o valor unitário da placa é de R\$548,00, resultando no total de R\$2.192,00; 4 estruturas metálicas fixas de cerâmica no valor unitário de R\$180,00, totalizando R\$720,00; 1 inversor da marca RENOVIGI no valor de R\$4.549,00; Sistema de proteção contra surto no valor de R\$ 1.728,23; 40 metros de cabo preto 6mm² e 40 metros de cabo vermelho 6mm² da marca PRYSMIAN, com valor unitário de R\$6,50 o metro, totalizando R\$520,00 de gastos com cabos de distribuição. Por fim, um valor de R\$3.400,00 de mão de obra. Dessa forma, o projeto para demanda de 155 kWh/mês ficaria em torno de R\$13.109,23.

Para a terceira e última demanda cujo valor solicitado foi de 500 kWh/mês seriam utilizados: 12 módulos fotovoltaicos da marca RISEN, onde o valor unitário é de R\$ 548,00, totalizando R\$ 6.576,00; 12 estruturas metálicas fixas de cerâmica no valor unitário de R\$ 180,00, totalizando R\$ 2.160,00; 1 inversor da marca RENOVIGI no valor de R\$ 4.549,00; 40 metros de cabo preto 6mm² e 40 metros de cabo vermelho 6mm² da marca PRYSMIAN, com valor unitário de R\$ 6,50 o metro, totalizando R\$ 520,00 de gastos com cabos de distribuição; Sistema de proteção contra surto no valor de R\$ 1.728,23; O valor gasto com mão de obra ficaria em torno de R\$ 5.889,51, totalizando R\$ 21.422,74 para a implantação desse sistema.

Vale ressaltar que os inversores da marca RENOVIGI de até 3 kW suportam a geração de energia de até doze painéis fotovoltaicos com potência de 340 W e tensão nominal de 220V. Este fato levou a um mesmo inversor para as demandas de 155 kWh/mês e 500 kWh/mês. Por meio dos orçamentos realizados para as demandas solicitadas, serão demonstradas análises de retorno de investimento. Dessa forma, um maior direcionamento poderia ser dado ao consumidor para que se tenha uma prévia do retorno de seu investimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos mediante os valores calculados para a implantação de cada projeto. As análises oriundas das tabelas consideram a vida útil da placa solar, e subsequentemente, a diminuição na energia gerada pelo sistema. Uma estimativa de preço do kWh praticado pelas concessionárias também é considerada (CPFL, 2020), com pequenas correções realizadas anualmente. Assim, as tabelas evidenciam uma espécie de fluxo de caixa acumulado entre a unidade consumidora e a concessionária. As Tabelas 1, 2 e 3, apresentam, respectivamente, a análise de retorno para os cenários de 83 kWh/mês, 155 kWh/mês e 500 kWh/mês.

Tabela 1. Análise de retorno financeiro referente à demanda de 83 kWh/mês.

Fonte: Elabora pelo autor.

Ano	Geração [kWh]	Preço da Energia [R\$]	Economia [R\$]	Caixa Acumulado [R\$]
0	Zero	Zero	Zero	-7.386,90
1	998,64	0,77	768,95	-6.617,95
2	989,65	0,85	1.607,19	-5.779,71
3	980,75	0,93	2.520,95	-4.865,95
4	971,92	1,03	3.517,03	-3.869,86
5	963,17	1,13	4.602,88	-2.784,02
6	954,50	1,24	5.786,55	-1.600,35
7	945,91	1,36	7.076,88	-310,03
8	937,40	1,50	8.483,45	1.096,55

Tabela 2. Análise de retorno financeiro referente à demanda de 155 kWh/mês.

Fonte: Elabora pelo autor.

Ano	Geração [kWh]	Preço da Energia [R\$]	Economia [R\$]	Caixa Acumulado [R\$]
0	Zero	Zero	Zero	-13.109,23
1	1.860,48	0,77	1.432,57	-11.676,66
2	1.843,74	0,85	2.994,21	-10.115,02
3	1.827,14	0,93	4.696,56	-8.412,67
4	1.810,70	1,03	6.552,29	-6.556,94
5	1.794,40	1,13	8.575,22	-4.534,01
6	1.778,25	1,24	10.780,42	-2.328,81
7	1.762,25	1,36	13.184,31	75,08

Tabela 3. Análise de retorno financeiro referente à demanda de 500 kWh/mês.

Fonte: Elabora pelo autor.

Ano	Geração [kWh]	Preço da Energia [R\$]	Economia [R\$]	Caixa Acumulado [R\$]
0	Zero	Zero	Zero	-21.422,74
1	5.991,85	0,77	4.613,73	-16.809,01
2	5.937,93	0,85	9.643,15	-11.779,59
3	5.884,48	0,93	15.125,72	-6.297,01
4	5.831,52	1,03	21.102,28	-320,46
5	5.779,04	1,13	27.617,32	6.194,58

Por meio das tabelas apresentadas, constata-se que o cenário com um menor tempo de retorno de investimento é o de maior potência instalada (500 kWh/mês). Apesar de apresentar custos iniciais mais elevados, neste cenário, a partir do quinto ano de funcionamento, a unidade consumidora já passa a obter lucros com o sistema. Vale ressaltar aqui que para este cenário, a unidade consumidora deveria indicar outra instalação para fazer uso da energia excedente, em consonância com o arcabouço regulatório vigente. Para os

outros cenários estudados, os resultados apresentados também foram positivos, visto que a unidade consumidora passa a lucrar com o investimento realizado a partir do sétimo ou oitavo ano de funcionamento do sistema. Por fim, destaca-se que este estudo aplica condições pontuais de análise e preços de orçamento e faturamento associados a uma região específica. Dessa forma, faz-se necessário uma análise detalhada para cada situação, visando obter uma aproximação mais fidedigna em relação às especificidades de cada projeto.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de caso de instalação de sistemas fotovoltaicos em nível residencial, visando a melhoria na qualidade de vida de consumidores com baixo consumo de energia elétrica, além de ajudar no combate à degradação do meio ambiente. Para as análises apresentadas, este estudo adotou uma unidade consumidora residencial em uma cidade situada no estado de São Paulo, cuja fatura e consumos médios foram utilizados como ponto de partida. A partir da média de consumo da unidade consumidora, foram apresentadas três possibilidades de investimento, variáveis em função da energia mensal gerada. Uma estimativa dos custos associadas a essas três possibilidades foi feita, possibilitando, então, uma estimativa do tempo de retorno do investimento para os três cenários. Os resultados aqui obtidos foram positivos, visto que, em média, a unidade consumidora passaria a ter retorno depois de sete anos da instalação. Isto indica que durante os estimados 25 anos de vida útil do sistema fotovoltaico, aproximadamente 26,6% do tempo de seu funcionamento seriam destinados para pagar a sua instalação, enquanto que os 73,4% restantes, representaria lucros aos investidores. Um fato também interessante de ser observado é que a instalação desse tipo de sistema também representa, de forma natural, uma valorização do imóvel, devido aos investimentos realizados para melhora na renda e qualidade de vida do dono do imóvel.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Resolução Normativa 482/2012. Disponível em < <https://www2.aneel.gov.cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 17/maio/2020.

ANEEL. Resolução Normativa 687/2015. Disponível em <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 17/maio/2020.

ANEEL. **Geração Distribuída**. 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracaodistribuida>>. Acesso em 17/maio/2020.

CALDAS, H. H. S.; MOISÉS, A.L.S. **Geração Fotovoltaica Distribuída**: Estudo de Caso para Consumidores Residenciais de Salvador – Ba. Revista Brasileira de Energias Renováveis. Vol. 5, p. 164-180,2016.

CPFL. Companhia Paulista de Força e Luz. 2020. Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/>>. Acesso em 17/maio/2020.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Potencial Solar. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 17/maio/2020.

ENERGIA SOLAR WEG. 2020. Disponível em: <<http://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/solar-energy>>. Acesso em 08/junho/2020.

MORRIS, C.; PEHNT, M. **Energy Transition**: the German Energiewende. Berlin: Heinrich BollStiftung, 2015.

MUNDO DA ELETRICA. 2018. Disponível em: <<http://www.mundodaeletrica.com.br>>. Acesso em 13/maio/2020.

PORTALSOLAR. 2020. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/loja/produtos?utf8>>. Acesso em 06/agosto/2020

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica**: Conceito e Aplicação. Editora Saraiva 2ª edição. 2012.