

MICROGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADA A REDE ELÉTRICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Caroline Dias de Souza
Vanessa Nascimento Monteiro
Gilson Amorim Carvalho
José Vicente Cardoso Santos

PHOTOVOLTAIC SOLAR MICROGENERATION CONNECTED TO THE ELECTRIC GRID IN BRAZIL: AN ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS

Resumo: A conjuntura atual em todo mundo, em especial no setor elétrico brasileiro, o que aumenta substancialmente a viabilidade para a microgeração. Dessa maneira, essa pesquisa tem como objetivo geral analisar a viabilidade econômica para implantação de um projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR), e, como objetivos específicos tem-se a identificação das atratividades econômicas da micro e minigeração de consumidores residenciais, bem como os seus relacionamentos com as tarifas de energia elétrica convencional. Adota-se uma metodologia híbrida, com lastro concomitante na revisão de literatura e nos aspectos tradicionais e publicados sobre as análises tradicionais financeiras e econômicas associadas. Utiliza-se as avaliações relacionadas ao Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback (tempo de retorno sobre o investimento) visando determinar se um projeto justifica ou não seu investimento ao tempo. Em conclusão apresenta-se os incentivos políticos adotados pelo Brasil, dando ênfase à Resolução normativa ANEEL 482/2012, que trata sobre as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas elétricos e criar o sistema de compensação de energia.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Mercado Fotovoltaico. Incentivos Políticos. Viabilidade Econômica.

Abstract: The current situation around the world, especially in the Brazilian electricity sector, has contributed to expressive readjustments in electricity tariffs, which substantially increases the viability conditions for microgeneration. In this way, this research has the general objective of analyzing the economic feasibility for the implementation of a project of Photovoltaic Systems Connected to the Electric Grid (SFCR), and, as specific objectives, there is the identification of the economic attractiveness of micro and minigeneration of residential consumers as well as their relationships with conventional electricity rates. A hybrid methodology is adopted, with concomitant support in the literature review and in the traditional and published aspects of the associated traditional financial and economic analyses. The assessments related to the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback (return on investment time) are used to determine whether or not a project justifies its investment over time. In conclusion, the political incentives adopted by Brazil are presented, emphasizing the normative Resolution ANEEL 482/2012, which deals with the general conditions for microgeneration and distributed minigeneration access to electrical systems and creating the energy compensation system.

Keywords: Photovoltaic System Connected to the Grid. Photovoltaic Market. Political Incentives. Economic viability.

1 INTRODUÇÃO

Produzir energia elétrica de forma eficiente e sustentável continua sendo um dos grandes desafios do mundo, e após a crise do petróleo da década de 1970, houve um forte impulso para diversificar a matriz energética, principalmente fontes alternativas de energia que não dependem apenas do que têm por natureza recursos limitados. No Brasil, por exemplo, o consumo de eletricidade deverá triplicar até 2050 (EPE, 2014a).

Portanto, é necessário estudar a viabilidade econômica de outras fontes de produção de energia elétrica, como a micro e pequena geração distribuída (GD) (ACKERMAN; GÖRAN, 2001) e (BENEDITO, 2009).

A GD pode ser conceituada como geração próxima ao centro de carga ou próxima ao consumidor ou à própria unidade consumidora, independente da potência, tecnologia e energia (OLIVEIRA, 2002).

A GD de pequena escala gera eletricidade por meio de usinas de baixa potência, que podem ser divididas em microgeração e minigeração, correspondendo à geração de energia até 100kW e geração de energia entre 100kW e 1MW, respectivamente (ANEEL, 2011).

Dessa forma, essas usinas são vistas como uma alternativa à produção descentralizada de energia, visando aumentar a eficiência e a qualidade por estarem próximas da carga, reduzindo assim os custos de transporte e distribuição de energia.

Diversas tecnologias, incluindo as mais tradicionais e modernas, como geradores a diesel, turbinas a gás, microturbinas e células a combustível, podem constituir GDs de pequena escala; incluindo tecnologias baseadas em energias renováveis, como geradores movidos a biomassa, pequenas centrais hidrelétricas, energia eólica com as turbinas e geradores fotovoltaicos (PV) (ZILLES, ; OLIVEIRA, 1999).

Nesse cenário, essa pesquisa tem como objetivo geral analisar a viabilidade econômica para implantação de um projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR), e, como objetivos específicos tem-se a identificação das atratividades econômicas da micro e

minigeração de consumidores residenciais bem como os seus relacionamentos com as tarifas de energia elétrica convencional.

Adota-se uma metodologia híbrida, com lastro concomitante na revisão de literatura e nos aspectos tradicionais e publicados sobre as análises tradicionais financeiras e econômicas associadas. Utiliza-se as avaliações relacionadas ao Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* (tempo de retorno sobre o investimento) visando determinar se um projeto justifica ou não seu investimento ao tempo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cenários

No aspecto global, entre as tecnologias de geração de energia renovável, a energia fotovoltaica conectada à rede (PV) alcançou o crescimento percentual mais expressivo em comparação com a geração distribuída de pequena escala mencionada anteriormente (ARBOSE *et al.*, 2013).

De acordo com o Relatório de Energia Renovável 2011 - Relatório \Situação do Mundo 2010, essa tecnologia penetrou em mais de 100 países (ACKERMAN; GÖRAN, 2001).

No Brasil, a partir de 2011, a tecnologia deixou a fase experimental em grande parte limitada a pequenos projetos de pesquisa desenvolvidos por universidades, e iniciou uma nova fase de projetos maiores. Esses projetos visam desenvolver o mercado fotovoltaico nacional, promover a indústria do silício com a pureza necessária para competir no mercado internacional e estabelecer opções economicamente viáveis para competir com outros recursos disponíveis (ZILLES; OLIVEIRA, 1999).

Além disso, a energia fotovoltaica distribuída no Brasil recebeu incentivos significativos após a aprovação da Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A norma visa reduzir as barreiras regulatórias existentes para conectar a pequena geração distribuída disponível e criar um sistema de compensação de energia (BENEDITO, 2009).

2.2 Desempenho

Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica pode desempenhar um papel importante na evolução das fontes alternativas de energia que participam da matriz energética mundial, dada sua abundância e ampla disponibilidade na superfície terrestre, segundo Rennyō Nakabayashi (2014) e (CANDELISE; WINSKEL; GROSS, 2013).

Não proporcionar o investimento em energia solar fotovoltaica tem sido defendido há muito tempo devido ao seu alto custo, mas isso mudou e a energia solar fotovoltaica ganhou competitividade econômica em relação a outras fontes de energia (ARBOSE *et al*, 2013).

O custo da energia solar fotovoltaica depende basicamente dos seguintes fatores: a irradiância solar disponível, o desempenho do sistema fotovoltaico e o seu custo (CANDELISE; WINSKEL; GROSS, 2013).

O Brasil possui abundantes recursos de energia solar e, na maioria das cidades, a chamada paridade de preço da energia elétrica tem ocorrido devido à equalização do custo entre a energia elétrica gerada pelos sistemas fotovoltaicos e o preço da energia elétrica tradicional (ZILLES; OLIVEIRA, 1999) e (OLIVEIRA, 2002).

As condições de desenvolvimento da energia solar fotovoltaica são cada vez mais favoráveis, e o custo da geração de energia solar fotovoltaica apresenta uma trajetória de queda ano a ano, enquanto o custo da eletricidade gerada a partir de fontes tradicionais apresenta uma trajetória de custos crescentes (ACKERMAN; GÖRAN, 2001).

Segundo o Operador Nacional do Sistema (ONS), desde o final de 2012, o setor elétrico brasileiro vive em um contexto de condições hidrológicas desfavoráveis, com a energia armazenada diminuindo ano a ano.

3 Resultados e discussão

3.1 Evolução econômica

Neste caso, a usina termelétrica já foi totalmente ativada, resultando em um aumento significativo do custo da energia elétrica no país. A Figura 1 mostra a evolução da média brasileira do preço de liquidação da diferença (PLD), que pode ser utilizada como referência para o valor da energia vendida no curto prazo.

Vale destacar que, em grande parte de 2014, o PLD permaneceu próximo ao teto estabelecido para aquele ano, que foi de 822 R\$/MWh. Em 2015, a ANEEL fixou o teto do PLD em 388 R\$/MWh. Notavelmente, o PLD permaneceu em seu valor máximo especificado desde 2015.

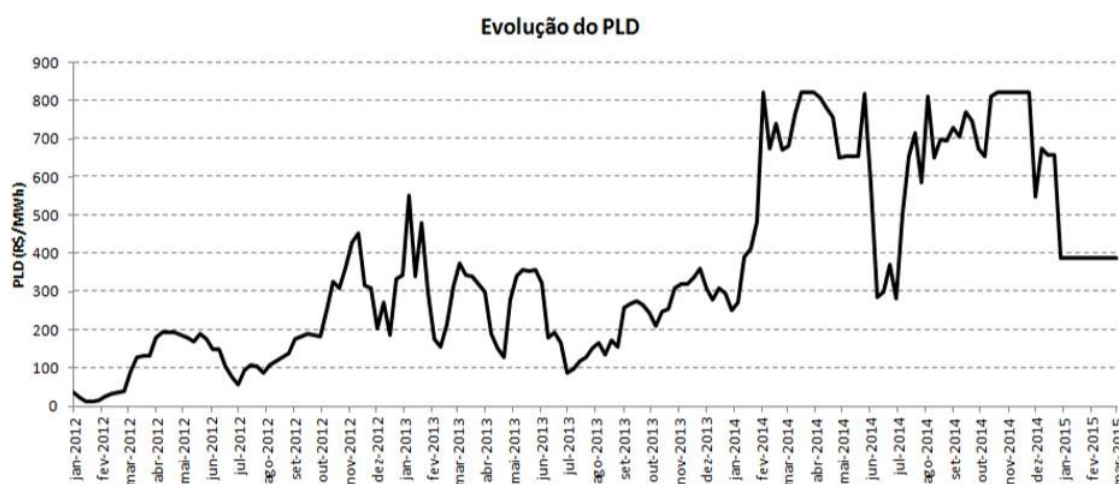


Figura 1 - Preço da Liquidação das Diferenças (R\$/MWh) (BENEDITO, 2009).

Mesmo com o preço máximo dos PLDs mais baixo em 2015, a geração termelétrica deve ser financiada por meio de cobranças setoriais, sistema de marcação tarifária ou outros mecanismos (BENEDITO, 2009).

Como resultado, esses custos adicionais são implacavelmente repassados ao consumidor final, portanto, analisando várias cidades, alguns conceitos de matemática financeira serão utilizados para definir se um projeto de implantação de sistemas fotovoltaicos no Brasil é viável (ZILLES; OLIVEIRA, 1999).

A figura de mérito para avaliação financeira de projetos é o valor presente líquido, que é simplesmente a diferença entre os benefícios que um projeto gera e seus custos (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2011).

Para calcular o VPL, os fluxos de caixa do projeto são levados a valor presente, descontados a uma determinada taxa (ASSAF NETO, 1994).

3.2 Valor presente líquido

A expressão para o cálculo do VPL é dada pela Equação 1, a seguir:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Onde I_0 representa o investimento inicial, F_c representa o fluxo de caixa do projeto no período t , r representa a taxa de desconto, t representa o período relevante e n representa o escopo da análise de fluxo de caixa (OLIVEIRA, 2002).

Se o VPL for positivo, a receita do projeto supera o investimento nas despesas do projeto, de modo que é economicamente viável que o VPL seja maior que zero (BRANKER; PATHAK; PEARCE, 2011).

No escopo deste trabalho tem-se a remuneração do conjunto de títulos públicos federais e a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia) fixadas pelo COPOM (Comitê de Política Monetária) servem como diretriz.

Outra figura de mérito utilizada na avaliação financeira de projetos é a TIR (Taxa Interna de Retorno), onde, segundo preconiza Montenegro (2013) a taxa interna de retorno é a eficiência marginal do capital.

No aspecto matemático, a TIR é a taxa que é utilizada como taxa de desconto no cálculo do VPL para que seu valor seja igual a 0, raiz da função VPL, onde a variável independente é a taxa de desconto.

A Equação 2 mostra a relação entre TIR e VPL, a seguir:

$$VPL = -I_0 + \frac{Fc_1}{(1+TIR)^1} + \frac{Fc_2}{(1+TIR)^2} + \frac{Fc_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{Fc_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (2)$$

Nota-se que se:

- $TIR > r = TMA$, $VPL > 0$;
- $TIR = TMA$, $VPL = 0$;
- $TIR < TMA$, $VPL < 0$.

A terceira figura de mérito mencionada nesta nota técnica é o *payback time*, que é o número de ciclos necessários para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo, visto que o fluxo de caixa do projeto é do tipo do primeiro investimento e a receita, durante os vários anos seguintes.

Cada técnica proposta tem suas próprias limitações. Devido à incerteza em torno das projeções futuras dos fluxos de caixa do projeto e das condições esperadas, uma análise de sensibilidade faz sentido para determinar o impacto das mudanças em uma ou mais variáveis de entrada em um projeto e seus resultados (ARBOSE *et al*, 2013).

Para realizar uma avaliação econômico-financeira de um sistema fotovoltaico de geração distribuída sob a perspectiva do consumidor, são utilizados os conceitos matemáticos financeiros discutidos (ACKERMAN; GÖRAN, 2001).

3.3 Fluxo de caixa do projeto

O projeto é analisado sob a ótica do consumidor de energia elétrica, neste caso um consumidor-produtor, ou um “prosumidor”. São avaliados diversos fluxos de caixa em múltiplos cenários que são detalhados nas sessões subsequentes.

Genericamente, os fluxos de caixa analisados têm a configuração apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Fluxo de caixa genérico para um projeto de geração distribuída.

Ano	0	1	2	3	4	5	..	25
		Receita	Receita	Receita	Receita	Receita	..	Receita
Fluxo de Caixa	-Investimento	-Impostos	-Impostos	-Impostos	-Impostos	-Impostos	..	-Impostos
		-O&M	-O&M	-O&M	-O&M	-O&M		-O&M

Pode-se verificar que o valor economizado com energia elétrica pode ser dado por:

- (1) quando existe energia injetada na rede a geração fotovoltaica é maior do que o consumo e
- (2) quando não se tem energia injetada na rede, ou seja, quando a demanda elétrica é maior do que a geração fotovoltaica.

Desta forma, no caso (1), situação na qual são gerados créditos de energia para serem utilizados posteriormente, o benefício considerado é dado pela receita equivalente ao valor integral da tarifa (com impostos), subtraindo-se o valor do ICMS, e, no caso (2), o benefício é dado considerando-se o valor da tarifa integral, com impostos (ZWEIBEL; JAMES; VASILIS, 2008).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi realizada breve análise da viabilidade econômica para implantação de um projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR), onde trata-se de estudo com foco em microgeração fotovoltaica além de identificação das atratividades econômicas da micro e minigeração de consumidores residenciais bem como os seus relacionamentos com as tarifas de energia elétrica convencional.

Utilizou-se como referência a classe de consumo residencial e a viabilidade dos microgeradores indica a dependência a diversas condições, como investimento necessário, desempenho do sistema, níveis de radiação solar,

energia produzida, perfil da curva de carga do microgerador e, ainda, das condições prevaletentes neste grupo nos preços da energia elétrica, entre outros.

Conclui-se então que a microgeração pode ser plenamente viável em todas as capitais do Brasil em condições padrão além das alternativas secundárias que também são viáveis na maioria dos casos, incluindo um cenário em que as tarifas evoluam abaixo da inflação (percentual de autoconsumo acima de 50%).

Considerando que as tarifas evoluem com a inflação, isso funciona na maioria das cidades independentemente do percentual de autoconsumo. Por fim, é viável em todas as capitais do Brasil, onde o reajuste do preço da energia elétrica é superior à inflação.

Neste trabalho, cenários que podem incentivar a geração distribuída não são abordados diretamente, no entanto, uma análise de sensibilidade pode dar uma ideia de como a atratividade da microgeração se comportará na presença de incentivos.

Por exemplo, cenários com diferentes percentuais de autoconsumo mostram o resultado de possíveis isenções fiscais sobre o consumo de créditos de energia resultantes da energia exportada para a rede. Além disso, o efeito de uma taxa de desconto mostra os resultados para uma linha de crédito específica, por exemplo.

Por fim, de maneira geral, a microgeração fotovoltaica pode ser vista como uma alternativa interessante às fontes convencionais de energia no sistema elétrico brasileiro, embora tenha limitações, principalmente devido à sua natureza intermitente, seus custos operacionais são baixos, e o recurso solar pode ser considerado ilimitado.

Além disso, na situação atual do setor elétrico brasileiro, a microgeração mostra-se como um modelo com grande potencial e considerável retorno financeiro para os consumidores de energia elétrica, com taxa interna de retorno de 30% ao ano (nominal) dependendo da situação.

REFERENCIAS

ACKERMAN, T; GÖRAN, A; SÖDER, L. **Distributed generation: a definition.** Electric Power Systems Research, v.57, p. 195-204, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº.482 de 17 de abril de 2012.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 abr. 2012.

ARBOSE, G. *et al.* **Tracking the Sun VI: an historical summary of the installed price of photovoltaics in the United States from 1998 to 2012.** Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013.

ASSAF NETO, A., **Matemática financeira e suas aplicações.** São Paulo: Editora Atlas, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA.
Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. ABINEE, 2012.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório.** 2009. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRANKER, K; PATHAK, M.J.M; PEARCE, J.M. **A review of solar**

photovoltaic levelized cost of electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, p. 4470-4482, 2011.

BREALEY, R. A; MYERSS. C; ALLEN F. **Principles of corporate finance,10th ed.** New York: McGraw-Hill, 2011.

CANDELISE, C; WINSKEL, M; GROSS, R. J K. **The dynamics of solar PV costs and prices as a challenge for technology forecasting.** <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13640321>. v. 26, p. 97-107. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira.** Rio de Janeiro: EPE, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas brasileiro de energia solar.** Enio Bueno Pereira *et al.* São Paulo: São José dos Campos: 2006.

MONTENEGRO, A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil.**

2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras.** 2014. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, S. H. **Geração distribuída de eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no Estado de São Paulo.** 198 p. 2002. Tese (Doutorado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

ZILLES, R.; OLIVEIRA, S. H. F. **O Preço do Wp e o Custo do KWh Fornecido por Sistemas Interligados à Rede Elétrica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 8., 1999, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: CBE, 1999. p 743-748.

ZWEIBEL, K; JAMES, E.M; VASILIS F. **A solar grand plan.** ScientificAmerican, v. 298, p. 64-73, 2008.