

ANÁLISE DO CUSTO DE PRODUÇÃO DA ENERGIA SOLAR EM MACEIÓ

Raphael de Menezes Ferreira Carnaúba¹

Josicléa Pereira Rogério²

Antônio Ricardo Zaninelli do Nascimento³

Engenharia Mecatrônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Esse trabalho tem como propósito analisar o custo de produção de energia solar no nordeste brasileiro, especificamente na cidade de Maceió, sendo realizada uma comparação com regiões da Alemanha, no intuito de demonstrar os custos de produção de energia. Apesar de o território brasileiro estar situado em uma localização privilegiada que garante altos níveis de radiação solar incidente ao longo do ano, verificou-se que a energia solar representa apenas 0,86% da nossa matriz energética. Deve-se observar que o Estado de Alagoas está localizado em uma das regiões com maior índice de radiação solar. No entanto, esta não possui nenhuma usina de geração de energia fotovoltaica, tendo o abastecimento de energia, em sua maior parte (73%), realizado por hidrelétricas. O resultado deste trabalho demonstrou que o Estado de Alagoas possui um alto potencial de geração de energia solar, viabilizando o investimento nessas regiões, e que possuem baixos custos de produção de energia se comparado com demais localidades.

PALAVRAS-CHAVE

Fotovoltaico. Economia. LCOE. Nordeste Brasileiro.

ABSTRACT

This work aims to analyze of producing solar energy in the Brazilian northeast, specifically in the city of Maceió and to make a comparison with Germany, in order to demonstrate the production cost of electricity. Despite the privileged location of the Brazilian Territory which ensures high levels of global solar irradiation, it was verified that source represents only 0.86% of our energy matrix. It should be noted that the state of Alagoas is located in one of the regions with the highest solar radiation index, however, it does not have any photovoltaic power generation plant, with the majority of energy supply (73%) carried out by hydropower plants. The results of this work demonstrated that the State of Alagoas has a high potential for generating solar energy, making investment feasible in these regions and having low energy production costs when compared to other localities.

KEYWORDS

Photovoltaic. Economy. LCOE. Northeast Brazil

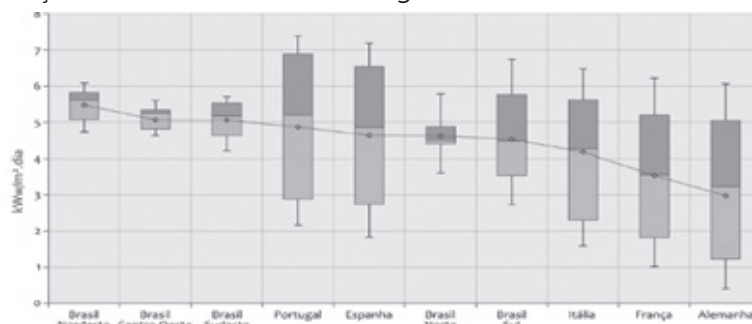
1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação da sociedade com o meio ambiente, o aquecimento global e as mudanças climáticas, assim como o crescente aumento da demanda de energia, tem impulsionado o setor de energia a investir em fontes de energias limpas, principalmente aquelas que não emitam poluentes, como a energia solar.

O Brasil está localizado em uma região intertropical e possui um enorme potencial de aproveitamento de energia. Sua proximidade com a linha do equador garante que a duração solar do dia apresente pequenas variações (ANEEL, 2010; MME, 2017; PEREIRA, 2014).

A região nordeste possui um dos melhores índices de radiação solar incidente do mundo, recebendo anualmente valores entre 1700 kWh/m² e 2100 kWh/m² (PINHO; GALDINO, 2014). Para comparação, a Alemanha, país que mais investe em energia solar, recebe valores entre 700 kWh/m² a 1000 kWh/m². O deserto do Saara recebe valores que excedem os 2500 kWh/m² (QUASCHNING, 2005).

Em um estudo comparativo realizado pelo Laboratório de Modelagem e Estudos Recursos Renováveis de Energia (LABREN), o Nordeste possui o menor índice de variação de radiação ao longo do ano do território brasileiro e do continente Europeu, lhe concedendo a região com maior potencial de geração em energia solar, conforme apresenta o Gráfico 1.

Figura 1 – Variação sazonal em diversas regiões do mundo

Fonte: 1st Workshop Solar Energy (2017).

Apesar do alto potencial de geração em energia solar no território brasileiro, no que se refere a matriz energética renovável, dados da Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA), apontam que no ano de 2017, apenas 0,86% eram provenientes dessa fonte, enquanto que na Alemanha este valor é de 37,6% (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação entre a matriz energética renovável no Brasil e Alemanha

Fonte	2017			
	Alemanha		Brasil	
	Pot. (MW)	Part. (%)	Pot. (MW)	Part. (%)
Hidrelétrica (Mista)	1.187	1,1%	-	-
Hidrelétrica	4.580	4,1%	100.319	78%
Wind (Onshore)	50.469	44,7%	12.294	10%
Wind (Offshore)	5.407	4,8%	-	-
Solar	42.394	37,6%	1.097	1%
Biomassa	2.605	2,3%	14.330	11%
Biogás	6.157	5,5%	249	0%
Outros	-	-	0,05	0%
Total	112.799	100%	128.289	100%

Fonte: Obtido por meio do banco de dados do IRENA.

A energia hidrelétrica representa 73% da geração de energia no estado de Alagoas (BEAL,2018). No entanto, é importante diversificar a matriz de geração para diminuir a dependência hidrelétrica, pois esta é vulnerável às condições climáticas, tais como a diminuição das chuvas.

Analisando dados do Balanço Energético de Alagoas (BEAL), no período de 2008 a 2017, houve uma redução na produção de energia elétrica de 5.558 GWh para 2.730 GWh, assim como a diminuição do consumo de energia de 1.937 GWh para 1.187 GWh, conforme demonstra a tabela 2.

Tabela 2 – Produção de energia por fonte em GWh

Alagoas		2007	2017
Não renovável	Petróleo	369,8	195,4
	Gás natural	939,7	452,4
	Outros	-	-
Renovável	Energia hidrelétrica	1.485,2	619,9
	Caldo cana	347,7	104,7
	Bagaço	2.171,3	1.190,9
	Melaço	233,8	158,2
	Lenha	10,5	9,3
Total		5.558,0	2.730,7

Fonte: Balanço energético do Estado de Alagoas (2017) modificado.

Por outro lado, o estado de Alagoas possui um índice de suficiência interna de 122%, como apresentado na Tabela 3. No entanto, como o abastecimento primário é realizado pela hidrelétrica Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), este índice deve começar a diminuir com o tempo.

Tabela 3 – Oferta e Demanda de Energia

Dados Gerais	2008	2017
Oferta Total (A)	4.825	2.390
Importação Total	43	41
Oferta Interna de Energia (B)	4.782	2.349
Demanda Interna de Energia (D)	3.828	1.922
Consumo Final	1.937	1.187
Excedente interno de energia (BD)	955	427
Suficiência Interna (%) (B/D)	125%	122%

Fonte: Beal (2018).

2 METODOLOGIA

2.1 POTENCIAL DE GERAÇÃO EM ALAGOAS

Para realizar o estudo do potencial solar em determinado local, é necessário analisar a radiação solar incidente e a temperatura ao longo do ano. Com a utilização destes dados, é possível determinar a área necessária para obter a potência desejada e o custo do empreendimento.

Por meio de banco de dados do SWERA, foram obtidos os índices de irradiação global (GHI) no ano e a temperatura, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Dados meteorológicos de Maceió/AL

Dados	Valores
Coordenadas Geográficas	-9.6528, -35.7192
Cidade	Maceió/AL
GHI	2.133 kWh/m ²
Temperatura Média	25,3 °C
Temperatura Máxima	34 °C

Fonte: Banco de dados do SWERA.

2.2 DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento correto do sistema deve levar em consideração as variáveis que podem influenciar o seu desempenho, como o local de instalação, a temperatura ambiente e o índice de irradiação incidente.

A temperatura do módulo fotovoltaico exerce influência diretamente na potência do módulo e conseqüentemente no rendimento do sistema. A temperatura da célula em **condições nominais** pode ser calculada por meio da equação (1) pelos valores da temperatura ambiente (T_{AMB}), a temperatura da célula em NOCT ($T_{CELC,NOCT}$), a temperatura ambiente em NOCT ($T_{AMB,NOCT}$), a radiação incidente em NOCT (G_{NOCT}) e a radiação incidente no instante (G)

$$T_{CEL} = T_{AMB} + \frac{G}{G_{NOCT}}(T_{CELC,NOCT} - T_{AMB,NOCT}) \quad \text{Equação (1)}$$

O cálculo de rendimento do módulo fotovoltaico deve levar em consideração o coeficiente térmico de potência (α), a temperatura em condições padrão (T_{STC}) e a temperatura ambiente (T_{AMB}), que pode ser calculada pela da equação (2)

$$\alpha = 1 - n_{pmax}(T_{AMB} - T_{STC}) \quad \text{Equação (2)}$$

A potência máxima do sistema ($P_{SIS,MAX}$) e a potência útil (P_{UTIL}) do sistema podem ser calculadas diante do valor de radiação (G), do rendimento do módulo (α) e da área disponível (A), através das equações (3) e (4)

$$P_{SIS,MAX} = G * n * A \quad \text{Equação (3)}$$

$$P_{UTIL} = P_{MAX} * \alpha \quad \text{Equação (4)}$$

Diante do exposto acima, foi proposto a utilização de uma área de 2500m² para se obter o máximo aproveitamento de energia solar, utilizando as especificações técnicas do módulo descrito na Tabela 5.

Tabela 5 – Características do módulo fotovoltaico

Modelo	CS3U 380MS
Potência nominal máxima	380
Eficiência	19,15%
Temperatura operação	-40°C a +85°C
Coef. Térmico Potência	-0,37
Coef. Térmico Tensão	-0,29
Coef. Térmico Corrente	0,05
NOCT	41 ± 3°C
Dimensões	2 x 0,992 x 0,035 m
Área	1,984 m ²

Fonte: Canadian Solar (2019).

2.3 CUSTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

O custo nivelado de produção de energia (LCOE) é um indicador econômico que permite estabelecer uma comparação do custo de energia com as demais fontes. O cálculo deve levar em consideração o custo total do investimento (CAPEX), o custo de manutenção e operação (OPEX), a geração de energia (EG) e a degradação do sistema durante sua vida útil. Este indicador pode ser calculado por meio da seguinte equação (5).

$$LCOE = \frac{[CAPEX+OPEX]}{Eg} \quad \text{Equação (5)}$$

3 RESULTADOS

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado de acordo com as características da cidade (temperatura e irradiação solar), obtendo-se uma potência de 478,75 kWp, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Dimensionamento sistema

Parâmetro	Valor
Temperatura da célula	51,55 °C
Rendimento sistema	80,00%
Área disponível	2.500 m ²
Potência nominal	478,75 kW

Fonte: Autor (2019).

Em um estudo realizado pelo ISE Fraunhofer (2018), o custo para instalação de um sistema fotovoltaico na Alemanha varia de R\$ 2.550,00 a R\$ 5.950,00 por kWp. Em

uma região com índice de radiação entre 950 e 1300 kWh/m², o custo de produção de energia está estimado entre R\$ 157,67/MWhe R\$ 474,04/MWh.

O instituto IDEAL estima que um sistema fotovoltaico residencial ou comercial deve custar ao consumidor final entre R\$6.000 e R\$12.000 por kWp. No entanto, realizando pesquisas com alguns distribuidores, foi possível obter um custo do equipamento aproximado de R\$ 2.596,75 por kWp e um custo de instalação e projeto de R\$2.000,00 por kWp, no qual totalizou um valor de R\$4.596,75 por kWp.

Tabela 7 – Custo empreendimento

Descrição	Valor (R\$)
Potência do sistema	478,75
Custos dos módulos	817.920,00
Custo dos inversores	258.986,00
Custo dos cabos e conectores	21.650,00
Custo dos fusíveis	958,80
Custo do sistema de fixação	143.680,00
Custo instalação e projeto	957.500,00
Custo total	2.200.694,80
Custo do kWp	4.596,75

Fonte: Autor (2019).

Para o cálculo de produção de energia, foram considerados 3 cenários distintos com níveis de radiação de 1700 kWh/m², 2100 kWh/m² e 2133 kWh/m². O custo de produção de energia (LCOE) foi calculado, considerando a degradação do módulo em 0.5%, o custo de operação e manutenção (OPEX) de 1% ao longo de 25 anos e o custo de investimento (CAPEX).

Tabela 8 – Custo de produção de energia em 25 anos

GHI (kWh/m ²)	Energia gerada (kWh) 1 ano	Energia gerada (MW) 25 anos	OPEX (R\$)	CAPEX (R\$)	LCOE(R\$)
1700	651.100	15.337	621.546,41	2.200.694,80	184,01
2100	804.300	18.946	621.546,41	2.200.694,80	148,96
2133	816.939	19.244	621.546,41	2.200.694,80	146,66

Fonte: Autor (2019).

4 CONCLUSÃO

O baixo custo de investimento na energia solar favoreceu a diversificação da matriz energética na Alemanha, apresentando uma potência instalada de 40,394 GW, valor muito maior que o encontrado no Brasil, que é de 1,09 GW.

Embora o custo de um sistema fotovoltaico no Brasil esteja entre R\$6.000 e R\$12.000/kWp, foi possível obter um custo de investimento aproximado de R\$4596,75/kWp.

Assim, na região de menor incidência solar do Nordeste, com radiação solar de 1.700 kWh/m², obteve-se um custo de produção de energia de R\$ 184,01 /MWh. Enquanto que na cidade de Maceió/AL, foi possível obter um custo de produção de energia de R\$148,66/MWh. Este custo foi menor que o obtido no território germânico, que é de R\$ 157,67/MWh.

Diante do exposto, fica evidente que o investimento em energia solar no nordeste brasileiro tem capacidade de alimentar a matriz energética brasileira com um baixo custo de produção se comparado às demais fontes e por ser uma fonte de produção limpa que não depende das condições climáticas, torna-se uma alternativa promissora para diversificação da matriz energética do país.

REFERÊNCIAS

1ST WORKSHOP SOLAR ENERGY, 2017, FAPESP. **Overview of solar energy in Brazil.** 2017. Disponível em: http://www.fapesp.br/eventos/2017/11339/9h30_Enio-Bueno.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

ABINEE. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira.** Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 14 out. 2018

ANEEL. **Atlas energia solar.** Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em: 10 out. 2018

FRAUNHOFER ISE. **Levelized cost of electricity renewable energy technologies.** Disponível em: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

IDEAL. Instituto para o desenvolvimento de energias alternativas na América Latina. Disponível em: <http://institutoideal.org/duvidas/#toggle-id-4>. Acesso em: 2 fev. 2019.

IRENA. International Renewable Energy Agency. Disponível em: www.irena.org. Acesso em: 2 fev. 2019

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos, 2006.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014.

QUASCHNING, V. **Understanding renewable energy system**. São José dos Campos, 2006.

SEDETUR. **Balanco energético do Estado de Alagoas**. Disponível em: www.sedetur.al.gov.br/images/estrutura/institucional/BEAL-2018.pdf. Acesso em: 2 fev. 2019

WORLD BANK GROUP. **Global Solar Atlas**. Disponível em: <http://globalsolaratlas.info/>. Acesso em: 10 fev. 2019.

Data do recebimento: 21 de julho de 2019

Data da avaliação: 9 de novembro de 2019

Data de aceite: 12 de dezembro de 2019

1 Acadêmico em Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: raphamfc@gmail.com

2 Professora do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: josiclea@hotmail.com

3 Professor do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: rzaninelli@gmail.com

