

ESTIMATIVAS DE REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS A PARTIR DO USO DE ENERGIA SOLAR NO CEARÁ

Fernando Wesley Silva de Oliveira ¹
Paulo Roberto Nogueira Bastos ²
Dra. Ana Fabíola Leite Almeida ³

INTRODUÇÃO

O aumento da população e o desenvolvimento das sociedades está diretamente relacionado à disponibilidade de energia elétrica, pois essa se faz necessária para o desenvolvimento de quase todas as atividades humanas atualmente.

Para alimentar a crescente demanda por energia elétrica, é necessário fazer investimentos no setor elétrico, principalmente na geração elétrica em fontes de energia, uma vez que o atual potencial hidroelétrico brasileiro está limitado em expansão, dada a visibilidade dos impactos ambientais negativos causados pelos grandes geradores hidroelétricos. Também não é desejável que as termoelétricas sejam aquelas a suprir os níveis de demandas próximos por conta da grande emissão de gases tóxicos no meio ambiente.

No Ceará, apesar da abundância de períodos ensolarados, grande parte da energia elétrica é proveniente de fontes eólicas e térmicas, se distanciando das principais fontes da matriz energética brasileira, composta de Petróleo e seus derivados, derivados da cana, gás natural e hidráulica (BEN, 2018). A energia solar ainda não possui tanta representatividade na matriz energética cearense, mas há um grande potencial que, se bem explorado, pode render energia limpa, economia local e nacional, emprego e renda etc.

A Energia Solar Fotovoltaica (ESF) vem ganhando espaço no estado do Ceará devido a fatores como os elevados índices de radiação solar da região, que proporcionam um excelente aproveitamento energético, e os incentivos governamentais e de instituições financeiras, que vem gerando uma considerável redução de custo de implantação dos equipamentos nos últimos anos.

Esta pesquisa quantifica os impactos da atual matriz energética do estado cearense e os compara com os de uma matriz predominantemente solar, conforme os valores estimados para os próximos anos. Assim, a sociedade poderá melhor entender, planejar e aderir à geração distribuída a partir de fontes renováveis.

Foi realizado um levantamento de dados quantitativos relativos ao consumo de energia dentro do território cearense, estimando os impactos ambientais, em termos de emissões equivalentes de CO₂ e uso de água, decorrentes do uso da ESF, até os dias de hoje. Comparou-se os impactos ambientais da atual matriz energética do estado com matrizes de referência em que a ESF tem participação mais expressiva. Ainda foram estimados os impactos ambientais decorrentes do uso da ESF considerando vários cenários de expectativa de mercado. A pesquisa apresenta relevância social, econômica e ambiental por evidenciar a

¹ Mestrando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará - UFC, fwsoliver@gmail.com;

² Mestrando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará - UFC, paulonbastos15@gmail.com;

³ Professor orientador: Doutora, Departamento de Engenharia Mecânica - UFC, anfaleal@yahoo.com.br.

utilização da energia solar no Estado do Ceará, analisando a demanda energética do estado, e estimando o crescimento da utilização dessa fonte energética nos próximos 10 anos.

METODOLOGIA

Utilizou-se dados relativos ao perfil de geração de energia elétrica (matriz energética) no estado do Ceará, em bases de dados publicados pelo Balanço Energético Nacional (BEN), da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) e do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) no sentido de verificar o montante de energia gerada, segregados por fonte de origem. Foi considerado para análise o período de 2015 a 2018, uma vez que, até 2015, não houve geração de energia pela referida fonte, conforme BEN, 2018.

Foram escolhidos como indicadores de desempenho ambiental da matriz energética no Ceará (1) a pegada de carbono, ou seja, a quantidade emissões, em termos de toneladas equivalentes de gás carbônico (tCO₂eq), durante a produção da energia; e (2) a pegada hídrica, definida como volume de água gasto (m³) na produção da energia.

A emissões gasosas, atuais e potencialmente evitáveis até 2029, foram estimadas cruzando-se os dados de geração de energia por fonte, com os respectivos coeficientes de emissão reportados por Ecotricity (2018), ou seja, a quantidade de gases emitidos por unidade de energia produzida.

O volume de água, acumulado até 2018 e potencialmente evitável até 2029, foi estimado multiplicando-se os dados de geração com o coeficiente de consumo de água (m³/kWh), considerados como a média entre os limites máximos e mínimos reportados por MEKONNEN et al. (2015). Para a geração de energia a partir de fontes hidrelétricas não se considerou que há consumo pois a água não é necessariamente utilizada para geração de energia.

Foram inicialmente selecionadas matrizes energéticas de referência, onde a ESF tem participação mais expressiva: Alemanha (8,4%), Japão (6,50%) e China (5%), conforme dados reportados por Fraunhofer (2018); Institute Sustainable Energy Polices (ISEP, 2018); IEA (2016). Com isso foi possível perceber como os impactos causados pela geração de energia elétrica no estado poderiam ser reduzidos com uma participação mais expressiva da ESF na matriz.

Para estimar os benefícios ambientais que a ESF poderia trazer para o Estado do Ceará em futuros próximos (até 2029), foram definidos três cenários potenciais para o crescimento da referida fonte: (A) respeitando as expectativas de mercado; (B) superando as expectativas de mercado e (C) com desestímulo a investimentos na área de energia.

Para o Cenário A, foi utilizada uma taxa de crescimento de 25% ao ano conforme as projeções da *Bloomberg New Energy Finance* (2016). Para os Cenários B e C foi considerada uma taxa de variação de 50%, em relação a taxa de mercado, ou seja, para o cenário B, uma taxa de 37,5% ao ano (50% superior a expectativa de mercado) e o Cenário C, modelado com taxa de 12,5% ao ano (50% abaixo da expectativa de mercado).

DESENVOLVIMENTO

O Sol é a matriz responsável pela origem da maioria das fontes de energia renováveis e mesmo outras que não utilizam a energia proveniente do Sol diretamente, ainda assim precisam indiretamente dessa fonte energética.

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a irradiação solar incidente na superfície da terra por ano é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia no mundo.

Villalva (2015) define que o efeito fotovoltaico como o fenômeno físico que permite a conversão direta de luz em eletricidade. Entre os materiais mais apropriados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente na superfície da célula que é convertida em energia elétrica. (Green et al, 2000).

Os sistemas fotovoltaicos se subdividem em aplicações de sistemas isolados (Off-grid), que é comumente utilizada em sistemas de bombeamento de água, sistemas domésticos de pequeno porte, e de sistemas conectados à rede (On-Grid), que apresentam um crescimento considerável nos últimos anos, como resultado da redução de custos das placas fotovoltaicas, como também no caso do Brasil, ao sistema de compensação de créditos para o excedente de energia gerada, contemplada na resolução 48 Legislação aplicada a ESF no Brasil e seus incentivos.

O Ceará está localizado na região nordeste do Brasil, limita-se ao Sul com o estado de Pernambuco, ao norte com o oceano atlântico. Possui uma área de 148.825km², equivalente a 1,74% da área do Brasil.

Enquanto a matriz energética do Brasil é predominantemente hidráulica, a matriz energética do Ceará destaca-se, pois, sua matriz é predominantemente eólica e termelétrica de acordo com dados do BEN (Balanço Energético Nacional) 2018. A participação de geração de energia proveniente de fontes hidrelétrica é muito baixa, e a geração de energia a partir de ESF ainda é incipiente.

De acordo com dados do Fontenele (2018), o Ceará é líder do Nordeste em geração distribuída, tem 25% dos consumidores que geram sua própria energia como também 40% da potência instalada da região. De acordo com o coordenador da FIEC (Federação das Indústrias do Estado do Ceará), a geração distribuída tem crescido as taxas superiores a 100% ao ano, e atualmente o estado ocupa o quarto lugar em potência instalada do país e o sétimo em número de conexões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 2015 a 2018, a produção de energia pelos empreendimentos cearenses foi reduzida de 5,5%. Este cenário não é comum e pode ser explicado, em partes, pela crise político-econômica nacional ocorrida no referido período, com consequências ainda sendo sentidas nos dias de hoje, incluindo o setor energético.

Considerando a taxa de crescimento da demanda de energia de 4,1% ao ano, estimou-se o crescimento da geração de energia para os próximos 10 anos chegando ao patamar de geração no valor de aproximadamente 25 TWh. Cruzando-se os dados de geração de energia com os coeficientes de emissão foram estimadas as emissões de CO₂ anuais de 2015 a 2018. As taxas inicialmente eram altas e a partir de 2016 verificou-se uma redução justificada pela diversificação das fontes energéticas do estado. O mesmo acontece com o consumo de água.

A diversificação da matriz energética do estado de 2015 para 2018 tende a uma matriz energética limpa, considerando os incentivos do estado ao desenvolvimento da energia eólica e solar. Em 2015 tínhamos 86% de energia térmica e 14% eólica; já em 2018, a térmica apareceu com 65,4%, eólica com 34,5% e solar com 0,1%.

Importante observar que até 2018 a participação da energia solar fotovoltaica representou apenas 0,1% da matriz do estado, entretanto, mesmo com essa ainda pequena participação, causou uma redução significativa nos impactos ambientais analisados.

Utilizando como referência o percentual de participação da ESF em matrizes de referência como Alemanha, Japão e China, foram estimados os impactos potencialmente

evitados considerando que a participação da ESF na matriz do Ceará seria a mesma que nos países citados anteriormente.

De acordo com dados de Fraunhofer (2018), a ESF corresponde a 8,4% da matriz energética da Alemanha. Conforme dados do ISEP (2018), o Japão possui 6,5% de sua matriz energética proveniente de ESF. Conforme dados do IEA (2016), o percentual de participação da energia solar na matriz energética da China foi de 5%.

Assumiu-se, então, que esses seriam os percentuais de participação da ESF na matriz cearense e distribuiu-se os percentuais conforme a participação de cada fonte na matriz.

A matriz energética consolidada com a matriz teórica alemã, considerando os 8,4% de ESF, obteríamos uma redução de 7,9% na emissão de CO₂ e de 6,6% no consumo de água. A matriz energética consolidada com a matriz teórica japonesa, considerando os 6,5% de ESF, obteríamos uma redução de 6,1% na emissão de CO₂ e de 5,1% no consumo de água. A matriz energética consolidada com a matriz teórica chinesa, considerando que 5% de ESF, obteríamos uma redução de 4,7% na emissão de CO₂ e de 4% no consumo de água.

Com os dados acerca da estimativa de crescimento da demanda de energia do Subsistema Nordeste, foram estimados os cenários potenciais de participação da ESF, considerando 3 cenários de crescimento.

Cenário (A): crescimento conforme as expectativas de mercado. Considerando o crescimento da participação da energia solar no estado cearense, foram estimados os impactos ambientais para o período de 2019 a 2029, considerando um crescimento de 25% ao ano. Conforme a expectativa de mercado, a quantidade de emissões de CO₂ evitadas em tCO₂eq apresentou uma redução de 0,38% na emissão de CO₂. Foram estimadas as reduções no consumo de água, e foi obtida uma redução de 0,39%.

Cenário (B): crescimento acima das expectativas de mercado. Foi considerada uma taxa de variação de 50%, em relação a taxa de mercado, ou seja, para o cenário B, uma taxa de 37,5% ao ano (50% superior a expectativa de mercado). Com isso estimou-se que haverá uma redução de 0,85% nas emissões de CO₂ da matriz energética do estado. Para a estimativa de redução no consumo de água, foi obtido uma redução de 0,86%.

Cenário (C): crescimento abaixo das expectativas de mercado. Admitiu-se uma taxa de crescimento de 12,5% ao ano (50% abaixo da expectativa de mercado). Com isso, foi estimada a redução da emissão de CO₂, havendo uma redução de 0,17% nas emissões de CO₂ da matriz energética do estado. Para a estimativa de redução no consumo de água, obteve-se uma redução de 0,17% para geração de energia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que o percentual de participação da ESF encontrado seja pequeno, os resultados da análise dos impactos ambientais da matriz energética do Ceará de 2016 a 2018 mostraram que houve uma redução na emissão de CO₂ e no consumo de água ainda que pequena seja a expressividade da ESF na matriz cearense. Isso demonstra que é importante a iniciativa do governo em fomentar cada vez mais a inserção dessa tecnologia na geração energética.

Comparando a matriz energética do Ceará com outras matrizes de referência onde a ESF tem uma maior representatividade como a Alemanha, Japão e China, e admitindo seus respectivos percentuais de participação de ESF na matriz do estado, em todas as situações teríamos resultados positivos em relação à diminuição dos impactos na geração, apresentando, portanto, mais incentivos à aplicação da tecnologia fotovoltaica no estado do Ceará.

Analísando a estimativa do crescimento da utilização ESF considerando 3 cenários de crescimento, vimos efeitos bastantes satisfatórios. Os resultados indicaram que se a ESF crescer conforme as expectativas de mercado, ou superá-las ou ainda for abaixo dessas

expectativas, ainda assim, em todos os casos, para o período de 2019 a 2020, haverá uma redução no consumo de água e emissão de CO₂.

Considerando os impactos ambientais analisados e as características climáticas do estado, verificamos que a utilização da Energia Solar Fotovoltaica no Ceará apresenta muitas vantagens, entre elas a redução no consumo de água para geração de energia, sendo este um recurso escasso no estado em decorrência das características climáticas do Ceará e ainda a redução da emissão de CO₂.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos. Consumo energético. Emissão de CO₂. Consumo de água. Análise Energética.

REFERÊNCIAS

VILLAVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. Ed.. São Paulo: Érica, 2012.

Pinho, J. T.; Galdino, A. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. v. 1. 66p.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015** / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2016

MME - Ministério de Minas e Energia. **Demanda de Energia 2050. Nota Técnica DEA 13/15, Empresa de Pesquisa Energética - EPE**, 2016.

BOYLE, B. **Renewable Energy: Power for a sustainable future**. Inglaterra: Oxford University Press, 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2017: China**. Disponível em: < <https://www.iea.org/weo/china/#section-2-1>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

INSTITUTE FOR SUSTAINABLE ENERGY POLICIES. **In 2018, share of Renewable energy power in Japan**. 2019. Disponível em: <https://www.isep.or.jp/en/library/3499#_ftnref6>. Acesso em: 10 mai. 2019.

Ministério de Minas e Energia – MME; Empresa de Pesquisa Energética- EPE. **Balanco Energético Nacional - Série Completa, 1970-2015**. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompleta.aspx>>. Acesso em maio 2018.

Ministério de Minas e Energia – MME; Empresa de Pesquisa Energética- EPE. Nota técnica DEA 001/2017 – **Projeção da demanda de energia elétrica (2017 – 2026)**, Janeiro, 2018.

BOYLE, B. **Renewable Energy: Power for a sustainable future**. Inglaterra: Oxford University Press, 2004.

BRITO (CRESESB). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas em Energia Elétrica – CEPEL, novembro de 1999.

Ceara: Capacidade eólica instalada avança 10,6%. Diário do Nordeste, Fortaleza. 18 Jan. 2018. Disponível em: <<http://diarionordeste.verdesmares.com.br/editorias/negocios/ceara-capacidade-eolica-instalada-avanca-10-6-1.1881075>> Acesso em: 01 Dez. 2018

DIAMANDIS, P. **Solar energy revolution: a massive opportunity**. New York: Forbes, Sept. 2014. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solarenergy-revolution-a-massive-opportunity/#56994e866c90>>.

PASSOS, L. A. A. **Uma estimativa dos impactos técnicos e econômicos da agregação de aquecimento solar de água nos domicílios brasileiros**. 2011. (Dissertação Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

FONTENELE, Cristina. **Ceará é líder no do Nordeste em produção de energia pelo consumidor**. O Povo. Fortaleza, 11 Jul. 2018. Negócios. Disponível em: <<https://www.opovo.com.br/jornal/economia/2018/07/ceara-e-lider-do-nordeste-em-producao-de-energia-pelo-consumidor.html>> Acesso em: 01 Dez. 2018

Bloomberg New Energy Finance. **Crescimento da energia solar 2019**. França, 2016. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com.br/blog/bnef-10-previsoes-para-2019-em-energia-e-transporte/>> Acesso em: 3 de mai. de 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional - BEN.- **Relatório Síntese ano base 2018**. 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf> Acesso em: 02 Jul. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional - BEN. - **Relatório Síntese ano base 2016**. 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2017_Web.pdf> Acesso em: 02 Jul. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional - BEN. - **Relatório Síntese ano base 2015**. 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2017_Web.pdf> Acesso em: 10 Jul. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional - BEN. - **Relatório Síntese ano base 2017**. 2018. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2017_Web.pdf> Acesso em: 30 Jun. 2018.