

Eixo Temático ET-06-014 - Energia

## COMO REPERCUTEM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS?

José Ribeiro Farias Neto<sup>\*</sup>, José Moreira da Silva Júnior<sup>1</sup>,  
Raphael Abrahão<sup>2</sup>, Monica Carvalho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, Campus I. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - Paraíba - CEP 58051-970. joseneto93@gmail.com, junior\_moreira88@hotmail.com; <sup>2</sup>Departamento de Eng. de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Campus I. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - Paraíba - CEP 58051-970. raphael@cear.ufpb.br, monica@cear.ufpb.br.

### RESUMO

As ações antrópicas têm gerado uma preocupação universal devido aos seus efeitos na natureza, como por exemplo, as alterações climáticas no decorrer dos anos. Os estudos apresentados e avaliados neste artigo revelam as tendências climáticas em determinadas regiões do planeta e os impactos causados na produção de energia utilizando fontes renováveis. Foi identificado que alterações na temperatura do ar e da radiação solar podem reduzir a eficiência dos módulos fotovoltaicos. Para a geração de energia por meio de fonte eólica, as inconstantes mudanças na velocidade do vento também podem afetar a produção de energia. Entretanto, verificou-se que em determinadas regiões as mudanças no clima não influenciam a produção de energia, pois os principais fatores dominantes, quando modificados, entram em equilíbrio e geram neutralidade dos seus efeitos. Dessa forma, é importante destacar a necessidade do estudo de áreas específicas.

**Palavras-chave:** Tendências climáticas; Produção energética; Energias renováveis.

### INTRODUÇÃO

A energia elétrica se tornou um ingrediente essencial para manutenção da vida humana. Os avanços nos índices de desenvolvimento socioeconômico, como o desemprego, a taxa de alfabetização e de mortalidade em um país, têm uma relação direta com o consumo de energia elétrica (GOLDEMBERG, 2006). Na era primitiva, a principal fonte para se obter energia era proveniente da lenha. A partir da Revolução Industrial, houve um crescimento da demanda, e a utilização de combustíveis fósseis ficou mais evidente. O aumento do consumo desses combustíveis na geração de energia elétrica tem contribuído para que o setor de energia se tornasse o maior emissor de gases que provocam o efeito estufa (IPCC, 2015). Estudos do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) apontam que o CO<sub>2</sub>, emitido por fontes industriais e por combustão para aproveitamento energético, contribuiu com cerca de 78% no aumento das emissões entre 1970 e 2010. Caso a tendência atual de emissões se perpetue, a temperatura média do ar poderá chegar a ser 4,8 °C maior no período 2081-2100 do que no período 1986-2005 (IPCC, 2014).

Segundo o *Met Office UK* (2018), ao longo das últimas décadas foi possível verificar uma crescente associação entre as mudanças climáticas como uma ameaça para o planeta como um todo. O ano de 2017 se apresentou como o ano mais quente da história sem o fenômeno natural *El Niño*, sendo o terceiro mais quente dos registros históricos, atrás apenas de 2015 e 2016. Quando comparado com momentos anteriores, antes das operações industriais, 1850-1900, o ano de 2017 mostra um aumento em sua temperatura média de 0,99±0.1 °C, e um aumento de 0,38±0.1 °C em relação ao período 1981-2010 (MET OFFICE UK, 2018).

Neste contexto, surge a necessidade de buscar fontes alternativas de energia. A principal vantagem na utilização dessas fontes é a redução dos impactos ambientais, que, apesar de não os eliminar totalmente, os prejuízos são bem menores. Esse fato é facilmente comprovado, uma vez que 85,52% da energia consumida no mundo em 2016 teve como fonte combustíveis fósseis (derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral), contra 3,19% em fontes renováveis, 6,86% hidroelétrica e 4,46% nuclear (GLOBAL, 2017). Mesmo que ainda tenha pequena participação na matriz energética mundial, as fontes renováveis apresentaram um crescimento de 17% em relação ao ano de 2016, atingindo a marca de 69 Mtoe (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) (GLOBAL, 2017)

A utilização de energias renováveis apresenta uma boa saída para a mitigação dos efeitos do aquecimento global. Segundo Liu *et al.* (2011), as fontes renováveis têm grande potencial de mitigação de CO<sub>2</sub> e cumprem um papel importante na regulação dos gases do efeito estufa no setor de eletricidade da China. Esses autores projetam que em 2050 haverá um potencial de mitigação de 4000 Mt CO<sub>2</sub> por meio do uso de fontes renováveis. Chiu e Chang (2009) avaliaram em quanto as fontes renováveis devem participar na produção de energia mundial, chegando à conclusão de que o crescimento econômico global irá acelerar a emissão de CO<sub>2</sub>, que seria vinculado a um aumento na demanda de combustíveis fósseis. É então sugerido às autoridades que, para que haja uma mitigação inicial das emissões de CO<sub>2</sub>, a parcela de energia fornecida por fontes renováveis no mundo deve chegar a marca de 8,39% (CHIU; CHANG, 2009).

No sentido de otimizar a utilização dessas energias renováveis e poder fazer previsões, análises do impacto das mudanças climáticas devem ser feitas. As variações climáticas também podem afetar o equilíbrio da fauna e da flora. Naturalmente, os seres vivos têm a capacidade de se adaptarem ao meio em que vivem. Porém, quando as mudanças no clima são repentinas e com uma maior intensidade, há uma maior dificuldade de adaptação, e por esse motivo, muitas espécies têm entrado em extinção. De forma equivalente acontece com as fontes renováveis de energia, onde seu desempenho é sensível às mudanças no clima local. Portanto, é importante avaliar que tipo de informação pode ser proporcionada pelas tendências climáticas e como estas podem impactar na produção de energias renováveis.

Este estudo insere-se num projeto mais amplo, que compreende duas dissertações de mestrado e uma bolsa de iniciação científica, que visa verificar as repercussões das mudanças climáticas na produção de eletricidade por fontes renováveis.

## OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é produzir uma revisão de literatura, buscando estruturar informações sobre como se comporta a produção de energias renováveis no mundo levando em consideração as mudanças climáticas.

## METODOLOGIA

Uma busca sistemática de artigos científicos foi feita no Portal CAPES de Periódicos e no Google Acadêmico, tanto na língua inglesa quanto na portuguesa. Foram usados os descritores: *Climatic Trend*, *Impact of Climate Change* e *Renewable Energy*, assim como seus sinônimos correspondentes em português, além do operador booleano *AND* para encontrar os trabalhos que relacionassem discussões dos impactos climáticos em energias renováveis.

- Critérios de Inclusão

Incluíram-se estudos que avaliassem especificamente o impacto da mudança de variáveis climáticas na produção de eletricidade em sistemas energéticos renováveis. Só foram considerados artigos referentes a energia solar fotovoltaica, eólica e térmica.

- Critérios de Exclusão

Foram excluídos da revisão artigos que avaliaram outros tipos de sistemas energéticos renováveis.

- Análise

Inicialmente, foi realizada uma triagem a partir da análise dos títulos e resumos localizados na busca. Posteriormente, todos os estudos que se apresentaram pertinentes ao tema foram obtidos na íntegra e analisados separadamente. Por fim, os artigos analisados e selecionados, seguindo os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, foram incluídos na sistematização dos dados após reunião de consenso. As listas de referências de todos os artigos foram consultadas, na tentativa de encontrar novos estudos para esta revisão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos realizados nos artigos lidos e avaliados neste trabalho, convergem com relação a identificação de alterações climáticas que o planeta vem apresentando, provocados, sobretudo, pela ação humana. As regiões pesquisadas envolveram, em sua maioria, os países considerados desenvolvidos, onde a utilização de energias renováveis está mais disseminada. Foram avaliadas as tendências climáticas para os próximos anos, bem como seus efeitos na geração de energia.

A estratégia de busca elaborada forneceu um total de 48 estudos. Após a triagem pela leitura dos títulos e resumos, 22 estudos foram considerados potencialmente elegíveis e lidos na íntegra pelos avaliadores. Ao término das análises, 16 artigos preencheram todos os critérios de inclusão para o estudo: Cutforth (2007), de Lucena (2010), Crook (2011), Cradden (2012), Nolan (2012), Pereira (2013), Pašičko (2012), Burnett (2014), Fant (2015), Jerez (2015), Tobin (2015), Invidiata (2016), Souza (2016), Wild (2015), Abrahão (2017), Silva (2018). Os estudos selecionados foram publicados entre os anos de 2007 e 2018.

Dentre os estudos selecionados, 8 foram realizados em países desenvolvidos (Canadá, Reino Unido, Irlanda, Estados Unidos, China, Austrália, Alemanha, Espanha) e 7 em países em desenvolvimento (Brasil, Croácia, Argentina, Arábia Saudita, Argélia, África do Sul, Índia). Os objetivos dos autores tiveram em comum avaliar a performance do sistema implementado.

A continuação serão apresentados brevemente cada estudo, juntamente com as particularidades de cada estrutura, e os parâmetros de desempenho.

O estudo de Cutforth e Judiesch (2007) realizado na região das pradarias do Canadá, utilizando os parâmetros de radiação solar, luz do sol e de dados climáticos identificou as tendências de energia solar no período entre 1955 e 2005. Os resultados obtidos detectaram uma tendência de queda na radiação solar média anual recebida. Já a temperatura média anual e o número anual de precipitação sofreu uma tendência de crescimento. Não houve nenhuma tendência na média anual de horas de sol diárias. Além disso, a pesquisa verificou que, quando há um aumento do número anual de precipitações e chuvas, reduz-se a radiação solar média diária recebida. Porém, quando consideramos a média anual da intensidade da precipitação, há um aumento da insolação diária. Desde os anos 1951, a temperatura do ar na região das pradarias do Canadá vem sofrendo aumentos consecutivo. Os dados apontam que, a temperatura média máxima e mínima tem aumentado cerca de 0,23 e 0,27 °C, respectivamente, a cada década. A radiação solar média anual passou por uma redução de 8% entre os anos de 1958 e 2005, passando de 13,5 para 12,4 MJ/m<sup>2</sup>.d.

As nuvens tem a capacidade de absorver comprimentos de ondas particulares (infravermelho), como também de refletir e difundir uma parcela da radiação solar (IQBAL, 2012). Com isso, elas são consideradas como o fator que exerce maior influência na modificação da radiação solar de superfície (LIEPERT, 2002; STANHILL; COHEN, 2005). Além da nebulosidade, os componentes atmosféricos de vapor de água e aerossóis também interferem na transmissividade atmosférica e, por consequência, no valor médio da radiação

solar global (STANHILL, 2005). As cargas de aerossol disseminam e absorvem as radiações que atravessam até as nuvens, reduzindo a energia solar que alcançam a superfície (LIEPERT, 2002; PINKER et al., 2005).

De Lucena et al. (2010) analisaram impactos climáticos no potencial eólico no Brasil, usando os cenários do IPCC A2 e B2. O modelo de circulação geral utilizado foi o HadCM3, promovendo um resultado que indica que o potencial brasileiro não será prejudicado, segundo os cenários estudados, mas sim apresentará melhoras, especialmente na costa Nordeste do país. As velocidades médias de vento aumentarão nas regiões costeiras e nas regiões Norte e Nordeste.

Crook et al. (2011) examinaram, ao longo do século 21, como a temperatura e a insolação afetariam a produção de energia fotovoltaica e de concentração solar, em um cenário projetado de mudanças climáticas, IPCC SRES A1B. Obtendo-se que, para o período entre 2010 e 2080, a produção fotovoltaica na Europa e na China crescerá poucos pontos percentuais devido aos fatores climáticos estudados, enquanto países como Argélia e Austrália apresentariam poucas mudanças e Estados Unidos e Arábia Saudita teriam decréscimo em poucos pontos percentuais. Já para as plantas de concentração solar, no mesmo período avaliado, a produção apresenta possível acréscimo de cerca de 10% na Europa, um aumento menos significativo na China, Argélia e Austrália, e por outro lado, um decréscimo no oeste dos Estados Unidos e Arábia Saudita. Verificou-se que a concentração solar tem variação mais sensível às mudanças climáticas que a energia fotovoltaica.

Cradden et al. (2012) utilizaram um método para obter perspectivas sobre como o vento no Reino Unido se comportará com a influência do clima e como se relaciona com os padrões atuais de ventos na região, que tem alto potencial eólico por ter uma das maiores médias de velocidade de vento na Europa. Contudo, as mudanças climáticas têm o potencial de alterar essa capacidade eólica, pois reduções na velocidade média do vento provocam uma queda da produção de potência. O modelo de previsão utilizado leva em consideração a velocidade geostrófica, ou seja, usa a velocidade do vento teórico sem atrito, e que os dados climáticos de vento possuem baixa resolução, assim não representando fielmente dados em locais específicos. Apresentando impactos mais significativos no verão, em todos os cenários climáticos considerados, com diminuição de 10% a 20% da velocidade do vento entre os meses de Julho e Agosto. No entanto, no inverno, há uma compensação com um acréscimo de 3% a 12% no mês de Janeiro. O resultado para todos os cenários reforça um agravamento nas condições já existentes relativas às estações do ano no padrão de ventos do Reino Unido, há um decréscimo no verão e um crescimento no inverno.

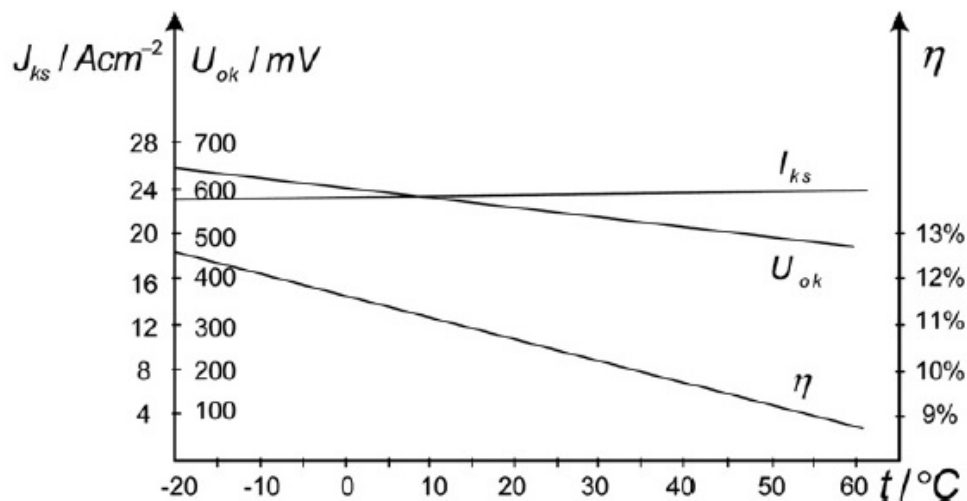
Nolan et al. (2012) usaram um conjunto de modelos Regional Climate Model (RCM) para avaliar o impacto das mudanças climáticas na produção eólica na Irlanda. As simulações foram feitas para dois períodos 1961-2000 e 2021-2060, usando os cenários de emissão do IPCC A1B, A2, B1 e B2. O resultado obtido foi a percepção do aumento de potencial de vento futuro no inverno e decréscimo no verão, com significância estatística, mostrando uma performance futura 4% a 10% superior no inverno e 5% a 14% inferior no verão.

Pereira et al. (2013) avaliaram os impactos das mudanças climáticas na densidade de energia eólica no Brasil, através da aplicação de modelo de previsão climática, Eta-HadCM3, e análise de tendências sobre séries temporais climatológicas. Os resultados indicaram que, para o cenário A1B do IPCC, há uma tendência de crescimento de 15% a 30% do potencial eólico, mais acentuado no outono (entre Março e Maio) para grande parte da região Nordeste do país, exceto na costa da Bahia. A região Sul apresentou um crescimento de cerca de 10%, com alta variabilidade entre estações, atingindo um mínimo no verão (entre Dezembro e Fevereiro) e um crescimento durante o restante do ano. Por fim, o estudo aponta uma tendência de crescimento favorável tanto no Nordeste como no Sul.

Pašičko et al. (2012) avaliaram a interferência das mudanças do clima na produção de energia elétrica fotovoltaica na Croácia. Eles constataram que a irradiação global possui um vínculo importante com a porcentagem de nuvens e, com isso, perceberam que onde houver um menor volume de nuvens, haverá uma maior capacidade de absorção dos módulos fotovoltaicos

e, por conseguinte, uma maior geração de eletricidade. O estudo identificou uma redução de 1 a 3 % da cobertura média de nuvens na parte Sul da Croácia. Essa redução provocou um aumento da irradiância e na produção de energia em até 2%. Já os resultados de temperatura média do ar indicaram um aumento geral no futuro, principalmente no verão. O valor esperado para esse crescimento no período de 2041 a 2070 é de 3,5°C. Assumindo uma temperatura de 25 °C, se houver um incremento no valor da temperatura média em 1°C, a eficiência do painel reduziu 0,5%. Na Fig. 1 é possível verificar o comportamento da eficiência dos módulos fotovoltaicos ( $\eta$ , em %) em decorrência da elevação da temperatura do ar ( $t$ , em °C). Diante disso, o estudo concluiu que não há impacto significativo causado por essas modificações climáticas na região analisada, tendo em vista que os principais fatores dominantes, quando modificados, entram em equilíbrio e geram neutralidade dos seus efeitos.

**Figura 1.** Redução da eficiência de geração de eletricidade em módulos fotovoltaicos, devido ao aumento da temperatura externa ( $I_{ks}$  refere-se a densidade de corrente,  $U_{ok}$  é potencial elétrico e  $\eta$  refere-se a eficiência da geração de eletricidade).



Fonte: Adaptado de Pašičko (2012).

Burnett et al. (2014) investigaram a irradiação solar no Reino Unido em situações climáticas atuais e futuras. A situação atual foi avaliada baseada na observação de 30 anos de dados climáticos históricos de médias mensais de irradiação, e promoveu um resultado de 101,2  $W/m^2$  até 128,4  $W/m^2$  no sul da Inglaterra e 71,8  $W/m^2$  no noroeste da Escócia. A tendência apontada foi que nas regiões de maior irradiação terá um aumento desse recurso solar, enquanto a região de menor irradiação experimentará um decréscimo desse recurso. Estipulando um cenário futuro de altas emissões, o Reino Unido terá um aumento de irradiação solar de cerca de 3,6% em 2050 (numa faixa de -0,9% a 8,5%) e 4,4% em 2080 (numa faixa de -1,9% a 11,2%). Proporcionando um lado positivo para a viabilidade de tecnologias solares, porém uma crescente necessidade de refrigeração devido ao aumento de temperatura.

Fant et al. (2015) apresentaram um método estimativo, combinando modelos climáticos do *Integrated Global Systems Model* (IGSM) e *Coupled Model Intercomparison Project phase 3* (CMIP- 3), de quanto pode impactar as mudanças climáticas na produção de energia eólica e solar, mostrando que, no sul da África, a velocidade do vento e irradiação global horizontal não apresentarão mudanças médias significativas em 2050

Jerez et al. (2015) estudaram o impacto futuro das mudanças climáticas na Europa na geração de energia fotovoltaica, fazendo uso de modelos climáticos, e mostraram que, em certas partes mais ao norte do continente haveria uma diminuição da produção energética, enquanto a

porção mais ao sul teria um aumento, não sendo então uma ameaça para esse setor. Porém isso evidencia que localmente haverá alterações.

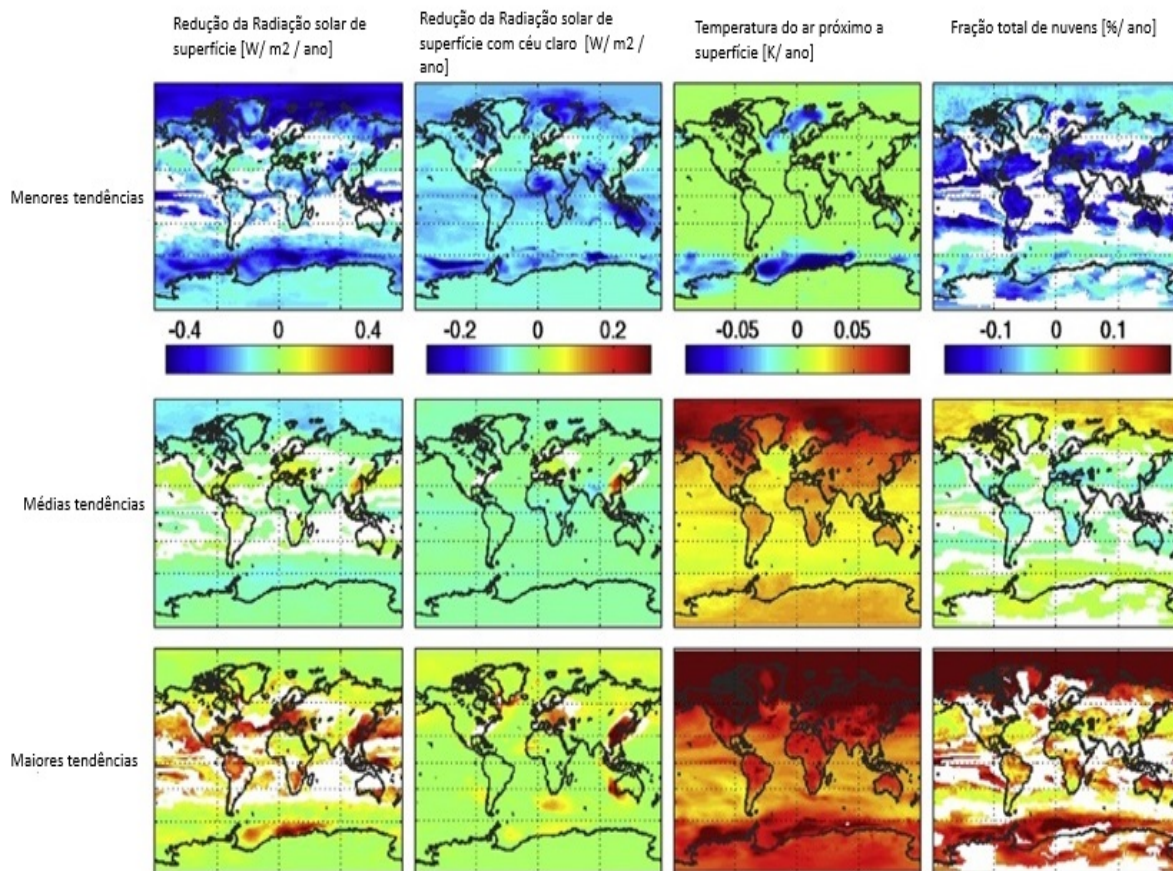
Tobin et al. (2015) avaliaram o potencial de produção de energia elétrica eólica na Europa e a efetividade dos parques eólicos já em atividade até o fim de 2012 e os planejados até 2020, levando em consideração futuras alterações climáticas. Exibindo, com alto nível de confiança, para um cenário climático IPCC A1B, o potencial eólico será alterado de  $\pm 15$  e  $\pm 20$  % no meio e fim do século, respectivamente. É percebida então uma tendência de diminuição de potencial eólico nas regiões do Mediterrâneo e uma tendência de aumento de potencial no Norte Europeu. De maneira geral, levando em conta a média dos efeitos, as alterações climáticas não provocarão prejuízos ou favorecimento da produção eólica europeia como um todo, porém levanta o fato de possibilidade de otimização do potencial eólico, visto que algumas regiões apresentam tendências negativas.

Invidiata e Ghisi (2016) estudaram os impactos climáticos futuros em edificações nas cidades de Curitiba, Florianópolis e Belém, e especularam que em 2080 o desconforto térmico ao longo de um ano em uma residência popular, comparado ao ano de 2016, crescerá em 219%, 218% e 106%, respectivamente, assinalando uma necessidade futura de gastos com energia térmica acima dos praticados atualmente. Souza et al. (2016) investigou o comportamento das variações média mensais da radiação solar e o coeficiente de transmissividade atmosférico (Kt) em 16 regiões do estado do Mato Grosso. O Kt é obtido pela razão entre a irradiação solar global e a irradiação atmosférica no topo. Os dados obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 2008 e 2014, mostrou que, na estação seca da região, que corresponde aos meses de Abril a Setembro, houve a constatação dos maiores índices desse coeficiente. Esse fato se deve a baixa interferência na radiação solar pelos elementos atmosféricos. Já no período chuvoso, onde os constituintes atmosféricos atuam de forma mais contundente, através do aumento do teor de vapor de água e concentração de nuvens, ocorreu uma redução do Kt. No entanto, mesmo no período da seca, alguns municípios apresentaram uma redução da transmissividade atmosférica comparado com a média da região, o que pode ser explicado pela atuação do aerossol, em virtude da ocorrência de incêndios ambientais, frequentes nessa estação do ano.

Wild et al. (2015) examinaram as principais alterações nos elementos climáticos relacionados com a produção de energia solar fotovoltaica através de modelos climáticos criados usados no último relatório do IPCC. A Fig. 2, representa as projeções de mudanças globais entre os anos de 2006 e 2049 da radiação solar de superfície total e clara, temperatura do ar e nebulosidade, tomando como referência 39 modelos climáticos. Os dados climáticos encontrados juntamente com as tendências climáticas foram determinados a partir dos seus valores extremos. As áreas brancas indicam que as tendências encontradas para essas regiões através do teste t, com nível de significância de 0,05, são estatisticamente não significativas. A temperatura do ar considerando as médias tendências, mostra um aquecimento de 0,05 K/ano na latitude norte sobre o continente e cerca de 0,02 K/ano sobre os oceanos. Essa diferença é explicada pela maior capacidade térmica dos oceanos.

O modelo aponta para um resfriamento por volta de 0,1 K/ano nas regiões da Antártica e do Atlântico Norte. Nesse estudo, as regiões apontadas como sendo as mais favoráveis a produção solar foram: Argélia, Austrália, Califórnia, Noroeste da China, Alemanha, Índia, África do Sul e Espanha. Para essas regiões a projeção é de um aquecimento de 0,05 K/ano nas décadas seguintes. Considerando constante a radiação nessa mesma região, teríamos uma redução da energia solar utilizadas por placas fotovoltaicas, devido a sua relação negativa com a temperatura. A tendência média de radiação solar com o céu claro é de decréscimo em praticamente todo o mundo. Duas principais regiões possuem uma projeção de aumento, a saber: Leste e Centro da Europa e o Sudeste da China. Esse resultado é proveniente de uma possível redução na concentração de aerossóis. A porcentagem total de nuvens tende a cair cerca de 0,5%/ano, especialmente nos subtropicais entre 20 e 40 de latitude nos dois hemisférios.

**Figura 2.** Mapa global com a distribuição das tendências (menores, médias e maiores) climáticas entre os anos de 2006 e 2049.



Fonte: Adaptado de WILD (2015).

Abrahão et al. (2017) avaliaram o desempenho de aerogeradores e sistemas fotovoltaicos na cidade de Patos e Sousa, no Sertão Paraibano. Levando em consideração as tendências climáticas dos locais, confrontando dados do período 1970-1980 versus 2004-2014, foram verificadas produções elétricas a partir de fontes eólicas mais baixas no último período, em magnitudes de -38% em Patos e -88% em Sousa. A temperatura média anual na cidade de Patos aumentou cerca de 0,04 °C/ano, entretanto, esse crescimento se restringiu aos meses de Abril e Agosto. A redução da velocidade média do vento durante nos meses de Junho a Setembro e ainda, em Janeiro e Dezembro, provocou uma queda considerável na geração elétrica pelo método eólico. Para o sistema fotovoltaico, não houve alterações significativas, visto que o aumento da temperatura média foi compensado pela diminuição da nebulosidade.

Silva et al. (2018) verificaram que na Zona da Mata Paraibana, observando mudanças climáticas históricas de 1961 até 2014, a produção de energia elétrica fotovoltaica foi muito pouco afetada. Os valores da temperatura média mensal sofreram uma tendência de aumento em todo o período, porém, não houve alterações bruscas ao longo do período analisado, e por isso não houve uma modificação significativa na eficiência dos dois modelos de painéis fotovoltaicos testados.

## CONCLUSÕES

Após a análise dos artigos apresentados, constatou-se que há um comportamento similar nas regiões estudadas de interferência das mudanças climáticas na produção de energias renováveis. Porém, ainda não há um comportamento padrão, embora os resultados apontem para

influências mais acentuadas em certos períodos do ano na maioria das regiões do planeta. Percebeu-se que em algumas localidades a produção de eletricidade tende a permanecer inalterada, ou com pouca alteração, devido aos efeitos de compensação dos fatores e dos elementos climáticos. Esses efeitos apontam para o fato de que a otimização da matriz energética renovável deve passar por uma análise de impactos climáticos em locais mais específicos, visando aproveitar ou evitar os efeitos climáticos em parâmetros que influenciam na produção energética.

Trabalhos futuros dos autores buscarão aprofundar conhecimento nas tendências climáticas de localidades específicas da Paraíba, por meio da obtenção de dados climáticos, e estimar a produção de eletricidade por meio de sistemas energéticos renováveis para verificar a vulnerabilidade destes sistemas às mudanças climáticas detectadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de produtividade nº303199/2015-6 e 305419/2015-3, Projeto Universal nº 401687/2016-3, e pela bolsa de mestrado.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, R.; PEIXOTO, I. M. B. M.; CARVALHO, M. Solar or wind energy for the Brazilian semiarid- Climatic characterization and future trends. p. 1–12, 2017. INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS, 30., 2017, San Diego. **Anais...** San Diego: [s.n.], 2017.

BURNETT, D.; BARBOUR, E.; HARRISON, G. P. The UK solar energy resource and the impact of climate change. **Renewable Energy**, v. 71, p. 333-343, 2014.

CHIU, C. L.; CHANG, T. H. What proportion of renewable energy supplies is needed to initially mitigate CO2 emissions in OECD member countries? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 6/7, p. 1669-1674, 2009.

CRADDEN, L. C.; HARRISON, G. P.; CHICK, J. P. Will climate change impact on wind power development in the UK? **Climatic change**, v. 115, n. 3-4, p. 837-852, 2012.

CROOK, J. A.; JONES, L. A.; FORSTER, P. M.; CROOK, R. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. **Energy & Environmental Science**, v. 4, n. 9, p. 3101-3109, 2011.

CUTFORTH, H. W.; JUDIESCH, D. Long-term changes to incoming solar energy on the Canadian Prairie. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, n. 3-4, p. 167-175, 2007.

DE LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; DUTRA, R. M. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. **Renewable Energy**, v. 35, n. 5, p. 904-912, 2010.

FANT, C.; SCHLOSSER, C. A.; STRZEPEK, K. The impact of climate change on wind and solar resources in southern Africa. **Applied Energy**, v. 161, p. 556-564, 2015.

GLOBAL, British Petroleum. BP statistical review of world energy June 2017. Relatório. Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em: 20 jul. 2018)

GOLDEMBERG, J. The promise of clean energy. **Energy Policy**, v. 34, n. 15, p. 2185-2190, 2006.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20-32, 2016.



IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

IPCC. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Mitigation of climate change. Cambridge University Press, 2015.

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. **Elsevier**, 2012.

JEREZ, S.; TOBIN, I.; VAUTARD, R.; MONTÁVEZ, J. P.; LÓPEZ-ROMERO, J. M.; THAIS, F.; BARTOK, B.; CHRISTENSEN, O. B.; COLETTE, A.; DÉQUÉ, M.; NIKULIN, G.; KOTLARSKI, S.; VAN MEIJGAARD, E.; TEICHMANN, C.; WILD, Martin. The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. **Nature communications**, v. 6, p. 10014, 2015.

LIEPERT, B. G. Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990. **Geophys. Res. Lett.**, v. 29, n. 10, p. 1421, 2002.

LIU, T.; XU, G.; CAI, P.; TIAN, L.; HUANG, Q. Development forecast of renewable energy power generation in China and its influence on the GHG control strategy of the country. **Renewable Energy**, v. 36, n. 4, p. 1284-1292, 2011.

MET OFFICE - Meteorological Office, Weather and Climate Change, 2018. Disponível em: <<https://www.metoffice.gov.uk/news/releases/2018/2017-temperature-announcement>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

NOLAN, P.; LYNCH, P.; MCGRATH, R.; SEMMLER, T.; WANG, S. Simulating climate change and its effects on the wind energy resource of Ireland. **Wind Energy**, v. 15, n. 4, p. 593-608, 2012.

PAŠIČKO, R.; BRANKOVIĆ, Č.; ŠIMIĆ, Z. Assessment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. **Renewable Energy**, v. 46, p. 224-231, 2012.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; PES, M. P.; DA CRUZ SEGUNDO, E. I.; LYRA, A. D. A. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable Energy**, v. 49, p. 107-110, 2013.

SILVA, L. P.; MEDEIROS, S. E. L.; SILVA, W. K. M.; ABRAHÃO, R. Tendências climáticas na mesorregião da Mata Paraibana e sua influência na produção de energia fotovoltaica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, p. 90-101, 2018.

SOUZA, A. P. D.; ZAMADEI, T.; MONTEIRO, E. B.; CASAVECCHIA, B. H. Transmissividade Atmosférica da Radiação Global na Região Amazônica de Mato Grosso. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 31, n. 4, suppl. 1, p. 639-648, 2016.

STANHILL, G.; COHEN, S. Solar radiation changes in the United States during the Twentieth century: evidence from sunshine duration measurements. **J. Clim.**, v. 18, p. 1503-1512, 2005

TOBIN, I.; VAUTARD, R.; BALOG, I.; BRÉON, F.; JEREZ, S.; RUTI, P. M.; THAIS, F.; VRAC, M.; YIOU, P. Assessing climate change impacts on European wind energy from ensembles high-resolution climate projections. **Climatic Change**, v. 128, n. 1/2, p. 99-112, 2015.

WILD, M.; FOLINI, D.; HENSCHL, F.; FISCHER, N.; MÜLLER, B. Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 116, p. 12-24, 2015.