

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROJEÇÕES PARA A RADIAÇÃO SOLAR NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL A PARTIR DOS MODELOS CMIP5 E BESM

Elison Eduardo Jardim Bierhals – bierhalseduardo@gmail.com
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Engenharia de Energia
Claudineia Brazil – neiabrazil@gmail.com
Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre
Francisco Borges Pereira – fbp.francisco@gmail.com
Elton Gimenez Rossini - elton-rossini@uergs.edu.br
Rafael Haag – rafael-haag@uergs.edu.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Engenharia de Energia

Resumo. O objetivo deste artigo é verificar a variabilidade climática correspondente às variações nos padrões de radiação solar, diante dos cenários de alterações climáticas. A base de dados utilizados nessa pesquisa, faz parte do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados, Fase 5 (CMIP5), que contribuiu para a confecção do quinto relatório do IPCC-AR5. Os dados foram extraídos do modelo BESM (Brazilian Earth System Model) que é o primeiro sistema nacional de simulação do clima global, sendo utilizado o cenário RCP 8.5 que representa um cenário com um crescimento contínuo da população, resultando em altas emissões de dióxido de carbono, com um acréscimo de até 4° C. Em termos de emissões de gases do efeito de estufa, este cenário é considerado o mais pessimista para o século XXI, sendo consistente com nenhuma mudança política para reduzir as emissões e forte dependência de combustíveis fósseis. Para viabilizar a utilização da radiação solar como fonte de energia, em um determinado local e/ou região, é importante, primeiramente, determinar sua disponibilidade. As projeções climáticas, com base no cenário pessimista, em um período de 75 anos (2026-2100) apontaram em todo Rio Grande do Sul um aumento de radiação solar, chegando próximo a 30% nos meses de outubro do referido período analisado. Esse dado demonstra a necessidade de que se incorpore esses possíveis efeitos das variações climáticas no planejamento e operação do setor energético.

Palavras-chave: Energia Solar, Mudanças Climáticas, Radiação Solar.

1. INTRODUÇÃO

O setor energético é de extrema importância para o país, atualmente as fontes renováveis de energia representaram 43,8% da matriz energética nacional; no mundo, essa taxa é de aproximadamente 13,2%. As mudanças climáticas podem atingir esse setor de várias formas, tanto no que diz respeito à base de recursos energéticos e aos processos de transformação, quanto aos aspectos de transporte e consumo de energia (PBMC, 2013).

A aceleração das alterações climáticas esta relacionada com o desenvolvimento industrial e conseqüentemente ao aumento da demanda de energia elétrica. Buscando medidas, que minimizem os impactos ao meio ambiente, a matriz energética brasileira vem ganhando nova formatação, tornando-se cada vez menos dependente de fontes energéticas não renováveis, como o petróleo e gás natural, enquanto as fontes alternativas de energia renovável aumentam sua presença (Lima, 2012). Optando pela geração solar fotovoltaica, o consumidor contribui também para a mitigação das mudanças climáticas, que é considerado atualmente um dos maiores problemas ambientais.

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) é o principal órgão científico internacional para as avaliações das mudanças do clima, e foi criado para fornecer informações científicas sobre o estado atual do conhecimento das mudanças climáticas e seus possíveis impactos socioeconômicos e ambientais (Silveira *et al.*, 2016). Os resultados do quinto relatório do IPCC apontaram um aumento de aproximadamente 1°C na temperatura média do planeta, na prática esse aumento poderá provocar sérios impactos indiretos no setor da energia. Os resultados oriundos desse programa têm sido uma ferramenta importante para orientar a implementação de políticas como respostas às mudanças climáticas. Os dados são resultados de simulações de modelos globais de vários centros de pesquisa, as simulações dos modelos globais representam aproximações numéricas e físicas de equações que regem os movimentos da atmosfera e sua interação com a superfície terrestre (Sousa, 2010).

O BESM (*Brazilian Earth System Model*) é o primeiro sistema nacional de simulação do clima global e tem como objetivo aumentar o número de informações a respeito dos fenômenos climáticos brasileiros e visa projetar as mudanças climáticas decorrentes de ações antrópicas e naturais em escalas global e regional (Monzoni, *et al.*, 2013).

O aproveitamento de fontes alternativas de energia representa um grande desafio visando atender à demanda de energia e a redução dos danos ambientais. Diante da necessidade de diversificar a matriz energética e tentar minimizar o aquecimento global, a energia solar vem ganhando espaço, sendo uma importante fonte renovável, mas depende das condições climáticas. O Brasil apresenta um grande potencial solar para a geração de energia elétrica, possuindo mais

horas de sol por ano. De acordo com Freitas (2008) informações de qualidade sobre o recurso solar é fundamental para o dimensionamento de sistemas solares, já que a geração de energia elétrica depende da disponibilidade do recurso.

Portanto o conhecimento da radiação solar e suas características são fundamentais para o estudo do aproveitamento energético. Devido ao exposto, esse artigo tem como objetivo verificar a variabilidade climática correspondente às variações nos padrões de radiação solar a partir das projeções geradas pelo modelo BESM para o período de 75 anos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir descrevemos as características climáticas do estado do Rio Grande do Sul e o modelo BESM adotado neste trabalho, assim como um breve relato sobre a metodologia adotada.

2.1 Descrição da área de estudo

O estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1) situa-se no extremo sul do Brasil, entre as latitudes de 27° e 34° Sul (S) e as longitudes 50° e 57° Oeste (W). O estado mantém fronteiras, a Oeste com a Argentina, ao Sul com o Uruguai, ao Norte com o Estado Brasileiro de Santa Catarina e a leste é banhado pelo Oceano Atlântico.

A área territorial do Rio Grande do Sul tem 268.781,896 km², a densidade demográfica média é de 38 hab/km². Entre os estados da região sul do Brasil é o que apresenta a menor densidade (GROSS, 2015).

O clima predominante é subtropical, sendo que na região do planalto superior o clima é subtropical de altitude. Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima no Rio Grande do Sul é do tipo subtropical úmido, sendo que a maior parte do seu território pertence ao grupo climático Cfa (sempre úmido com verões quentes) e uma pequena área, localizada na região nordeste (nas altitudes mais elevadas), ao tipo Cfb (sempre úmido com verões amenos).

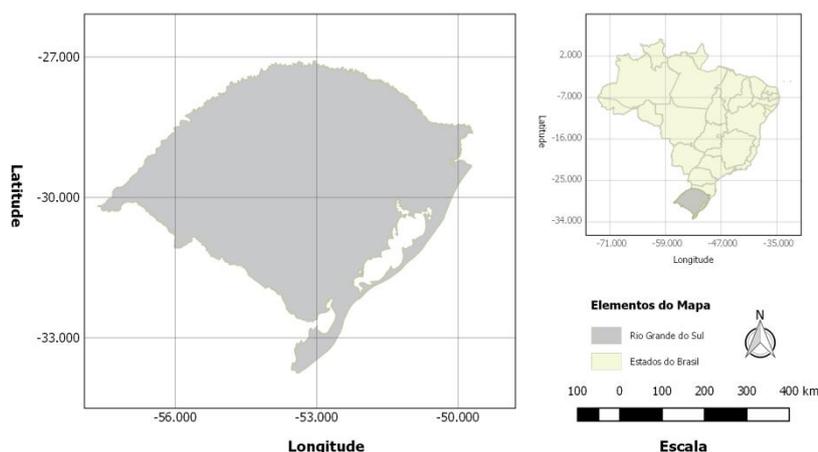


Figura 1- Mapa Localização da Região de Estudo

2.2 Descrição do modelo utilizado

De acordo com Nobre (2013), o Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (*BESM – Brazilian Earth System Model*) é um conjunto de programas computacionais que acopla os componentes de superfície continental, oceano, atmosfera e química globais, com o principal objetivo de gerar cenários de mudanças climáticas com perspectiva brasileira, ao incorporar processos de formação de nuvens, dinâmica da vegetação e o conhecimento criado no país sobre a influência dos biomas brasileiros sobre o clima global.

O BESM é desenvolvido no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e habilitou o Brasil a ingressar no seleto grupo de nações com contribuições de cenários globais de mudanças climáticas para os relatórios do IPCC. A contribuição pioneira do Brasil para os cenários globais de mudanças climáticas foi realizada com os cenários gerados pelo modelo BESM-AO 2.3 com participação no projeto CMIP5 (Nobre et al 2013).

2.3 Metodologia

Neste trabalho analisamos os cenários globais de mudanças climáticas gerados pelo modelo BESM-AO 2.3, utilizando os “Radiative Concentration Pathways” RCP 8.5 do CMIP5, que é o Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5, os resultados desse projeto contribuíram para a confecção do último relatório do IPCC. Para o desenvolvimento da pesquisa (Fig. 2) foram utilizados dados mensais de Radiação Solar para o período de 2016 até

2100. A extração dos dados foi realizada através do software GRADS (*Grid Analysis and Display System*). O GRADS é um sistema de visualização e análise de dados em pontos de grade, trabalha com matrizes de dados binários, nas quais as variáveis podem possuir até quatro dimensões (longitude, latitude, níveis verticais e tempo) (Souza, 2004). Para o estudo comparativo dos resultados foi utilizada a série de dados observados de Radiação Solar obtida junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Após essa etapa, foi organizada a série de dados observada para a elaboração dos mapas de radiação solar para o estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de fazer um estudo comparativo da variabilidade climática da radiação solar, com os dados observados e as projeções futuras.

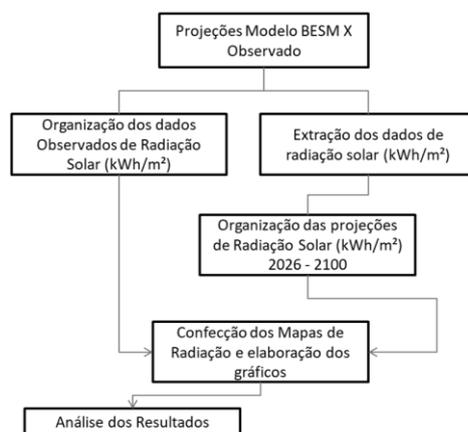


Figura 2- Etapas da Pesquisa

3. RESULTADOS

As alterações climáticas podem afetar a disponibilidade de energia solar, alterando a quantidade de vapor d'água atmosférico, a nebulosidade, a quantidade de aerossóis na atmosfera e até mesmo as características das nuvens, alterando a transmissividade da radiação solar na atmosfera (Monzoni *et al*, 2013). Para viabilizar a utilização da radiação solar como fonte de energia, em um determinado local e/ou região, é importante, primeiramente, determinar sua disponibilidade.

As Figuras 3 e 4 apresentam os mapas para o estado do Rio Grande do Sul com a Radiação Solar mensal observada e as projeções do modelo BESM para o período de 2026-2100. Verifica-se (Fig. 3a) que os maiores valores estão localizados na metade oeste do estado do Rio Grande do Sul, na região do município de Uruguai com os máximos em torno de 7 kWh/m² na base de dados observados e em torno de 8 kWh/m² no mapa das projeções (Fig. 3g), concordando com os resultados obtidos por Buriol *et. al.* (2012) que verificou a disponibilidade de radiação solar a partir de dados históricos. Na região leste do estado estão localizados os menores valores de radiação solar, exceto no litoral gaúcho, com valores semelhantes aos valores máximos observados. No mês de Fevereiro, verificou-se uma queda na radiação solar, tanto nos dados observados quanto nas projeções climáticas, mas grande parte do litoral permaneceu com valores altos com valores da ordem de 6 kWh/m² e 7 kWh/m², respectivamente, no mapa observado (Fig. 3c) e das projeções (Fig. 3i).

Observa-se, que os valores máximos de radiação para os meses de março e abril (Fig. 3d e Fig. 3j) já não apresentam as mesmas características espaciais no caso do mês de abril os maiores valores de radiação se concentram na região noroeste do estado, enquanto a base de dados apresenta os máximos valores de radiação em praticamente toda a metade oeste do estado.

O comportamento da radiação solar para os meses de maio e junho (Fig. 3e e Fig. 3k), verificando uma queda significativa na amplitude da radiação solar nos dois períodos apresentados, comparados aos meses anteriores, outra característica importante é que nos meses de inverno a variação entre o observado e as projeções não foram tão significativas, com uma diferença abaixo de 1 kWh/m², para cada um dos períodos analisados, os mês de Julho (Fig. 3f) apresentou um comportamento bem semelhante, não sendo observada uma variação significativa entre a radiação solar observada e as projeções climáticas.

De acordo com a figura 4, verifica-se que para os meses de setembro e outubro (Fig. 4e e Fig. 4k), a radiação solar volta a ter um comportamento espacial semelhante aos meses de verão, com os maiores valores concentrados na metade oeste do estado do Rio Grande do Sul e as projeções climáticas principalmente no mês de setembro, apresentou um comportamento bastante homogêneo, não sofrendo muita variação espacial com uma amplitude abaixo de 1 kWh/m².

Nos meses de Novembro e Dezembro (Fig. 4f e Fig. 4l) verifica-se um aumento significativo na radiação solar principalmente nas projeções do modelo BESM.

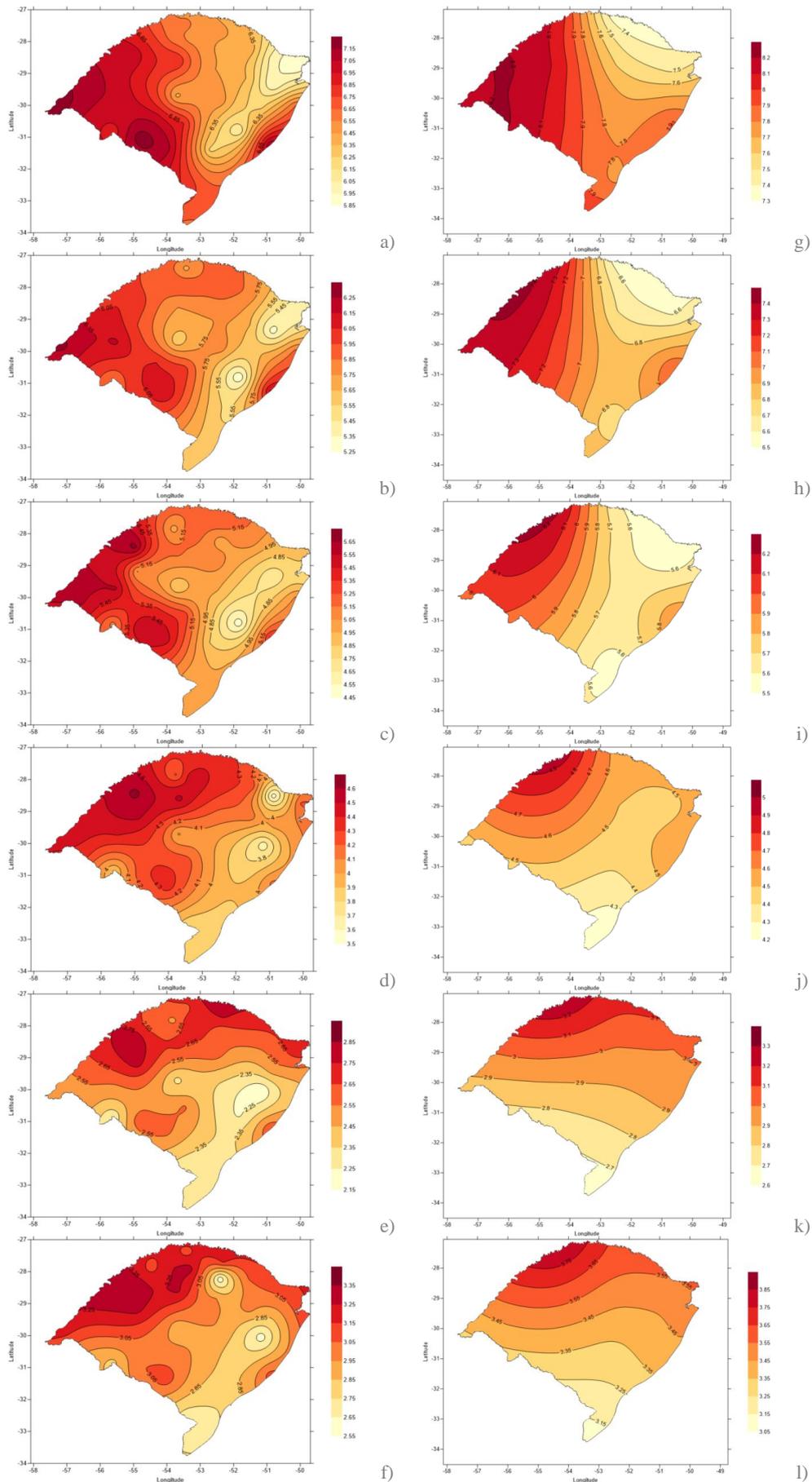


Figura 3- Médias Mensais de Radiação Solar (kWh/m²), com base nos dados observados: a) janeiro; b) fevereiro; c) março; d) abril; e) maio; f) junho e com base nas projeções de 2026-2100: g) janeiro; h) fevereiro; i) março; j) abril; k) maio; l) junho.

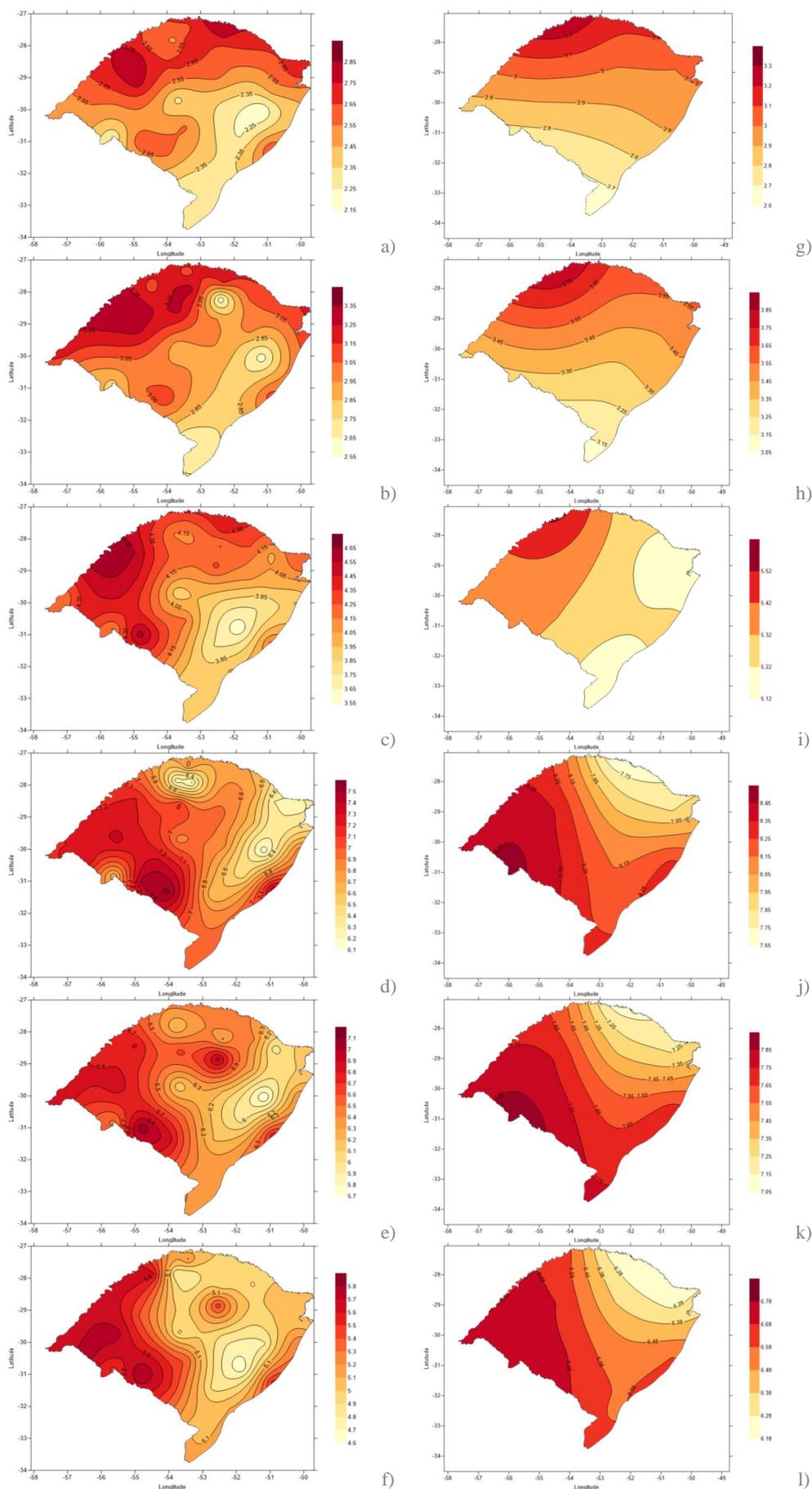


Figura 4 - Médias Mensais de Radiação Solar (kWh/m²), com base nos dados observados: a) julho; b) agosto; c) setembro; d) outubro; e) novembro; f) dezembro e com base nas projeções de 2026-2100: g) julho; h) agosto; i) setembro; j) outubro; k) novembro; l) dezembro.

A Fig. 5 apresenta os valores das Projeções de Radiação do modelo BESM e das Radiações observadas do INMET em kWh/m², e verifica-se que as duas curvas apresentam o mesmo padrão de variação sazonal, mas para todos os meses as projeções indicam um aumento no comportamento da radiação solar para o estado do Rio Grande do Sul.

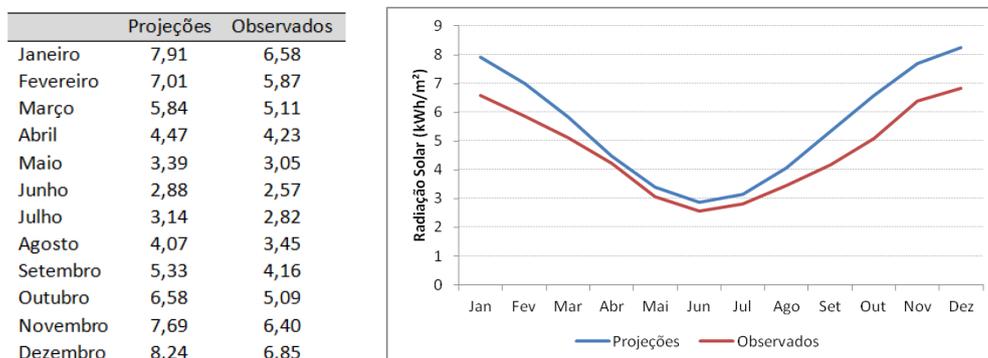


Figura 5- Valores das Projeções de Radiação do modelo BESM e das Radiações observadas do INMET em kWh/m².

A Fig. 6 apresenta a tendência no aumento da radiação solar para o estado do Rio Grande do sul, com base nas projeções climáticas do modelo BESM. Observa-se que o maior aumento ocorre nos meses de outubro e novembro com um percentual acima de 25%, os meses de janeiro, fevereiro, setembro e dezembro apresentaram um acréscimo de 20%, comparado com os dados observados de radiação, indicando que o período de verão e primavera foram os que mais sofreram a influência com as alterações das mudanças climáticas.

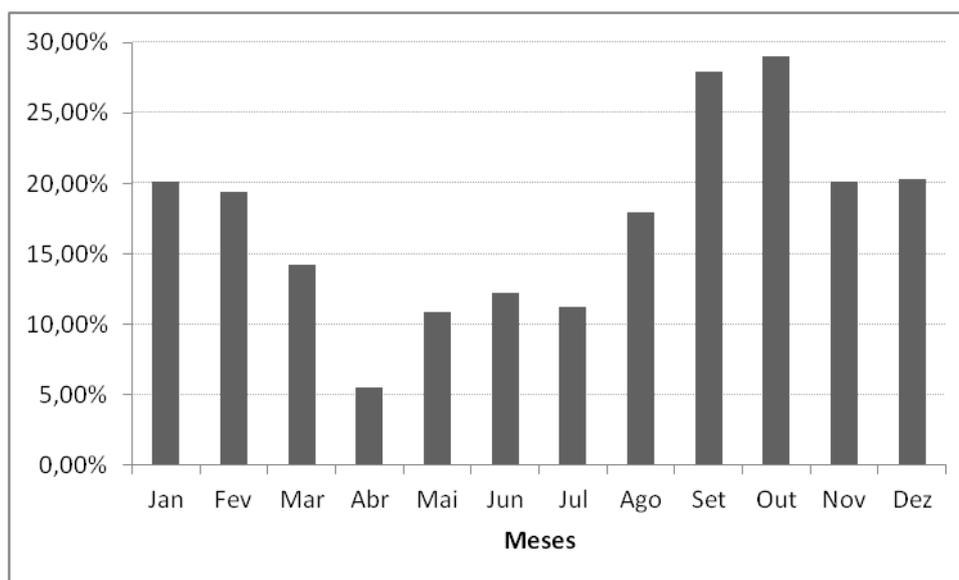


Figura 6 – Tendência no aumento da radiação solar comparação entre o observado e as projeções climatológicas.

4. CONCLUSÃO

Os impactos regionais da variabilidade solar são mais difíceis de estabelecer, mas sabe-se que a incidência de radiação solar na superfície terrestre tem relação direta com as condições meteorológicas, portanto para um planejamento energético voltado ao uso de energias renováveis, mais especificamente energia solar, é necessário o conhecimento das mudanças do clima e quais suas influências nessa variável.

O modelo Brasileiro BESM, que é um dos diversos modelos matemáticos que calcula as projeções das alterações climáticas, com base no cenário pessimista, apontaram em todo estado do Rio Grande do Sul um aumento significativo de radiação solar, chegando próximo a 30% principalmente no mês de outubro, esse dado demonstra a necessidade de se incorporarem esses possíveis efeitos das variações climáticas no planejamento e operação do setor energético.

É importante ressaltar que as conclusões expostas neste artigo, sobre o efeito das mudanças no clima e sua influência na radiação solar, foram elaboradas com base nos resultados de um único modelo, as pesquisas já estão sendo

aprofundadas testando outros modelos de projeções e também outros cenários, para alcançarmos resultados com a menor incerteza possível.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela disponibilidade pela da base de dados do modelo Brasileiro de Mudanças Climáticas e ao INMET Instituto Nacional de Meteorologia pela base de dados observados.

REFERÊNCIAS

- Buriol, G. A.; Estefanel, V.; Heldwein, A. B.; Prestes, S.D.; Horn, J. F. C. 2012. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria - RS. *Ciência Rural*, v. 42, p. 1563-1567.
- Freitas, S. S. A. 2008. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Bragança: ESTIG, Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial.
- Gross, J. A. 2015. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) dos municípios do Rio Grande do Sul afetados pelas estiagens no período de 1991 a 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.
- Lima, R. A. 2012. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento Sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. *Energy Law in Brazil Vol 5 ano 4*.
- Monzoni, M., Osório, G., Gross, A., Peres, E. P, Rocha, C., Lefèvre, G. B., Santos, I., Carneiro, R. A., Martins, S. 2013. Diagnóstico Preliminar das Principais Informações sobre Projeções Climáticas e Socioeconômicas, Impactos e Vulnerabilidades Disponíveis em trabalhos e projetos dos atores mapeados. Escola de Administração de Empresas da Fundação Getulio Vargas (FGV-EAESP). pp. 218.
- Nobre, P. 2013. Brazilian Earth System Model. INPE.
- PBMC. 2013 Sumário Executivo do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional. Brasília.
- Silveira, Cleiton Da Silva. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. *RBRH*, Porto Alegre , v. 21, n. 2, p. 416-428, June 2016 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000200416&lng=en&nrm=iso>. access on 11 Mar. 2017. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p416-428>.
- Sousa, M. M. , 2010. Comparação Entre Ferramentas de Modelagem Unidimensional e Quasi-Bidimensional, Permanente e Não- Permanente, em Planejamento e Projetos de Engenharia Hidráulica. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, XI, 160 p.: il.; 29,7 cm.
- Souza, E. B. 2004. GrADS – Grid Analysis and Display System Fundamentos e Programação Básica. Universidade Federal do Pará. Disponível <<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/ritaynoue/aca522/referencias/apostilagrads.pdf>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.

CLIMATE CHANGE AND PROJECTIONS FOR SOLAR RADIATION IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL FROM THE MODELS CMIP5 AND BESM

Abstract. *The objective of this paper is to verify the climatic variability corresponding to the variations in the patterns of solar radiation, in the face of the climate change scenarios. The database used in this research is part of the Phase 5 Intercomparison of Connected Models (CMIP5), which contributed to the preparation of the fifth IPCC-AR5 report. The data were extracted from the Brazilian Earth System Model (BESM), which is the first national system of global climate simulation, using the scenario RCP 8.5 that represents a scenario with a continuous population growth, resulting in high carbon dioxide emissions , with an increase of up to 4 ° C. In terms of greenhouse gas emissions, this scenario is considered the most pessimistic for the 21st century and is consistent with no policy change to reduce emissions and a strong dependence on fossil fuels. In order to make possible the use of solar radiation as an energy source, in a given location and / or region, it is important, first, to determine its availability. The climatic projections, based on the pessimistic scenario, in a period of 75 years (2026-2100) showed in all of Rio Grande do Sul an increase of solar radiation, reaching close to 30% in the months of October of the analyzed period. This data demonstrates the need to incorporate these possible effects of climatic variations in the planning and operation of the energy sector*

Key words: *Solar Energy, Climate Change, Solar Radiation*