

MODELOS COM EVENTOS MÚLTIPLOS PARA AVALIAÇÃO DOS PICOS DE RADIAÇÃO SOLAR NA CIDADE DE SÃO JOÃO DEL REI - MG¹

MODELS WITH MULTIPLE EVENTS TO EVALUATE THE PEAKS OF SOLAR RADIATION IN THE CITY OF SÃO JOÃO DEL REI - MG

Clodoaldo Teodosio Santana da Silva² e Carla Regina Guimarães Brighenti³

RESUMO

Devido à necessidade de utilização de fontes renováveis de energia, visando não apenas a utilização de usinas hidrelétricas como matriz energética, fontes alternativas têm sido discutidas. Uma das alternativas é o uso de energia solar. O estado de Minas Gerais tem um potencial bastante alto para fazer uso da energia solar, pois a incidência da radiação solar no estado é, em média, igual a 2314 KJ /m² por hora. Ao longo do dia, a radiação solar pode exceder valores absolutos que permitem maior geração de energia e que podem compensar a baixa produção em outros horários. O objetivo do trabalho foi analisar o horário de ocorrência de picos de radiação utilizando o modelo de regressão não paramétrico de Cox. Os dados analisados são referentes ao período de 01/01/2020 a 31/12/2020, da cidade de São João del Rei no estado de Minas Gerais. A cidade foi escolhida para este estudo pois há uma estação meteorológica automática localizada na Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ. Foram inseridas as covariáveis umidade relativa do ar e temperatura instantânea e, devido a ocorrência de horários múltiplos com radiação acima do valor médio, em um mesmo dia, foi considerada uma extensão do modelo de Cox, chamada de modelo AG, utilizado para modelar eventos múltiplos. Inicialmente realizou-se uma análise descritiva dos dados, seguida da estimação dos parâmetros e análise de resíduos do modelo ajustado. Por meio do modelo obtido, foi possível verificar a probabilidade de ocorrência de picos de radiação ao longo do dia.

Palavras-chave: Modelo AG, Modelo de Cox, Energia solar.

ABSTRACT

Due to the need to use renewable energy sources, aiming not only at the use of hydroelectric plants as an energy matrix, alternative sources have been discussed. One of the alternatives is the use of solar energy. The state of Minas Gerais has a very high potential to make use of solar energy, as the incidence of solar radiation in the state is, on average, equal to 2314 KJ/m² per hour. Throughout the day, solar radiation can exceed absolute values that allow greater energy generation and that can compensate for low production at other times. The objective of this work was to analyze the time of occurrence of radiation peaks using the Cox non-parametric regression model. The analyzed data refer to the period 01/01/2020 to 12/31/2020, in the city of São João del Rei in the state of Minas Gerais. The city was chosen for this study because there is an automatic meteorological station located at the Federal University of São João del Rei - UFSJ. The covariates relative humidity and instantaneous temperature were inserted and, due to the occurrence of multiple times with radiation above the mean value, in the same day, an extension of the Cox model, called the AG model, used to model events was considered. multiples. Initially, a descriptive analysis of the data was carried out,

1 Parte da Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária (PPGEE).

2 Doutorando - PPGEE/Universidade Federal de Lavras - UFLA e professor da Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM. E-mail: teoelania@gmail.com

3 Orientadora - PPGEE/Universidade Federal de Lavras - UFLA e professora da Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ. E-mail: carlabrighenti@ufs.edu.br

followed by the estimation of the parameters and analysis of the residues of the adjusted model. Through the model obtained, it was possible to verify the probability of occurrence of radiation peaks throughout the day.

Keywords: *AG model, Cox's model, solar energy.*

INTRODUÇÃO

A matriz energética do Brasil ainda está associada às hidroelétricas, porém alguns fatores, como períodos de estiagem, problemas ambientais, custo tem tornado necessário a busca por alternativas para a matriz energética. Uma fonte alternativa para a produção de energia elétrica para o país é o melhor aproveitamento do recurso solar (PEREIRA *et al.*, 2017).

A localização geográfica do Brasil favorece o uso e aproveitamento da energia solar, e esta fonte de energia não gera prejuízos para o meio ambiente. A energia solar pode ser usada como fonte de energia térmica ou ser convertida em energia elétrica, com a utilização de células fotovoltaicas. Segundo Wanderley e Campos (2013) o uso da energia fotovoltaica é uma fonte de energia ilimitada, disponível em várias partes do mundo, os materiais podem ser reciclados e há ainda um benefício econômico, que é a geração de empregos.

Vale destacar que “as fontes alternativas solar e eólica são as de maior potencial para a utilização e geração distribuída que se caracteriza pelo uso de geradores próximo ao local de consumo, sem a necessidade de linhas de transmissão e conectadas diretamente às redes de distribuição de baixa tensão da concessionária de energia” (MILANO, 2018).

Sendo o Brasil um país com grande potencial para utilização de energia solar, há várias pesquisas sobre o assunto para avaliar o potencial nas diferentes regiões. Minas Gerais é um estado que tem aproveitado bastante essa fonte renovável de energia. Segundo Maiomi e Cardoso (2020) o estado tem grandes oportunidades para o uso de células fotovoltaicas ou outras tecnologias relacionadas com a energia solar. Isso é confirmado pela Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2021). Dados desta associação mostram que Minas tem liderança na geração distribuída de energia solar, detendo 19,9% de todo o parque nacional, duas cidades mineiras estão entre as maiores geradoras de energia solar no Brasil, Uberlândia (2º) e Belo Horizonte (10º).

Para maximizar o aproveitamento da radiação solar, é necessário, além de ajustar a posição do painel solar de acordo com a latitude local, avaliar o período do ano em que se requer mais energia (GUIA TÉCNICO, 2014). O aproveitamento racional da energia solar no sentido de produzir instalações bem dimensionadas e economicamente viáveis só é possível a partir de informações solarimétricas consistentes da região em questão (PRADO *et al.*, 2017).

Um dado indispensável para um projeto de sistema fotovoltaico são os índices de incidência de radiação solar na localidade onde o sistema será implantado (TIBA *et al.*, 2000). De acordo com o levantamento desenvolvido pelo Atlas solarimétrico do Brasil os valores de incidência de

radiação para Minas Gerais revelam médias anuais em torno de 4,5 a 6,5 KWh / m² por dia para toda a extensão do estado.

Vários trabalhos destacam os maiores picos de radiação solar incidente nos diferentes horários ao longo do dia. As variações da radiação solar e da temperatura ambiente sobre um módulo fotovoltaico afetam diretamente a operação das células fotovoltaicas (MIDEKSA; KALLBEKKEN, 2010). O aumento da temperatura reduz a potência gerada, principalmente, por diminuir a tensão elétrica na célula mesmo que a corrente elétrica aumente de modo inexpressivo. Além disso, as elevadas temperaturas podem degradar significativamente as células fotovoltaicas e, portanto, reduzir a vida útil do módulo. Segundo Cantor (2017), existe uma relação direta entre aumento da temperatura dos painéis fotovoltaicos com a redução da corrente respectivamente. Consequentemente, quanto maior for o tempo de exposição solar, maior será a temperatura dos painéis e menor será sua eficiência de geração.

Além da temperatura, outros fatores de perdas são significativos para a análise do potencial solar brasileiro, como é o caso da umidade. Segundo (FRANCISCO, 2019), a umidade possui uma relação inversa com a energia gerada. Isso pode ser explicado pelo fato de que uma maior umidade do ar pode indicar formações de nuvens e precipitação, causando um bloqueio parcial do sol e, por consequência, uma redução na geração de energia.

A intensidade da radiação solar muda a cada instante em função da rotação da terra e sua translação ao redor do sol. Ao nível do mar, ao meio-dia com céu limpo (sem nenhuma nuvem) a intensidade da radiação solar atinge um valor próximo de 1000 W/m². Este valor está relacionado ao chamado Hora de Sol Pico (HSP) que é a insolação diária (ou mensal, ou anual, dependendo da medida de tempo utilizada) que é recebida por uma determinada superfície, levando-se em consideração aspectos, como a localização específica, ângulo de inclinação e orientação, levando-se em consideração aspectos, como a localização específica, ângulo de inclinação e orientação. A HSP é obtida dividindo-se a irradiação do local (kWh/m²) por 1000 W/m² (ou 3600 KJ/m²).

Assim, o pico da hora solar indica a quantidade de horas em que uma irradiação solar padronizada de 1000 W/ m² é recebida naquele local e, se as demais condições padronizadas também fossem cumpridas exatamente, traria o número de horas por dia em que um painel fotovoltaico forneceria sua potência de pico. Os dados referentes à tabela HSP são obtidos nos chamados mapas solarimétrico e, no Brasil existem boas opções disponíveis para consulta.

Os horários de Sol pico podem alterar em função de diversos fatores tais como a temperatura e a umidade (WANDERLEY; CAMPOS, 2013). Desta forma, avaliar os horários do dia em que há maior incidência de radiação solar, principalmente associada a valores de temperatura e umidade se torna uma ferramenta importante para planejamento de instalação de painéis fotovoltaicos.

Como não só os valores máximos de radiação solar, mas os valores que excedem determinado padrão, como por exemplo, a média global da região, pode-se dizer que ocorrem eventos múltiplos de interesse. Além disso, há dias em que este valor padrão, considerado como evento de interesse, não é excedido

e tal fato deve ser também considerado no modelo a ser ajustado, o que caracteriza uma incompletude de um evento em determinados dias. Assim, para modelagem de horário de eventos múltiplos, associado ao estudo de covariáveis tais como a umidade e temperatura, pode-se utilizar uma extensão do modelo semi-paramétrico de Cox, denominado modelo AG (Andersen - Gill) (ANDERSEN; GILL, 1982).

Diante deste cenário promissor para o uso desta fonte alternativa de energia, este trabalho propõe o uso de modelos de eventos múltiplos para analisar a ocorrência da radiação acima de um valor pré-estabelecido, incluindo covariáveis como a temperatura e umidade relativa do ar, a partir dos dados provenientes da cidade de São João del Rei- Minas Gerais.

METODOLOGIA

São João del Rei é uma cidade de Estado do Minas Gerais que se estende por 1 464,3 km² e contava com 90.082 habitantes no último censo ocorrido em 2010. Está situada na latitude 21° 8' 11" Sul e na longitude 44° 15' 43" Oeste, com altitude média de 904 metros. O município foi escolhido como modelo para esta análise por contar com uma estação meteorológica auxiliar automática, instalada no Campus Tancredo Neves - CTan/UFSJ-Universidade Federal de São João del Rei, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA.

Com o objetivo de encontrar os valores da radiação solar em São João del Rei foram utilizados os dados do programa *Sundata* disponibilizado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB/ Centro de Pesquisas de Energia Elétrica -CEPEL (CRESESB, 2021). O *Sundata* é uma plataforma hospedada na web composta por modelos climatológicos, capazes de informar dados estimados de energia solar (Wh/m²) a partir de consultas por coordenadas geográficas. O programa fornece os dados de irradiação solar para no mínimo 3 localidades disponíveis próximas do ponto de interesse. São fornecidos os valores de irradiação solar, em KWh/m² por dia no plano horizontal, correspondentes às diárias médias mensais para os 12 meses do ano.

Os dados analisados são referentes aos valores diários no período de 01/01/2020 a 31/12/2020, obtidos no site do INMET, nos quais constam a radiação em cada horário do dia e além da radiação, foram consideradas a temperatura e a umidade relativa do ar.

Para a análise dos dados foi usada uma técnica estatística denominada análise de sobrevivência. Nesta análise a variável estudada é o tempo até a ocorrência de um evento de interesse. Outro aspecto relevante é a presença de dados censurados, que podem ser compreendidos como dados faltantes, incompletos ou perdidos. No caso deste trabalho a variável de interesse é o horário até a ocorrência da radiação acima de 2500 KJ/m².

Escolheu-se esta irradiância devido ao fato de que o valor mínimo da média de radiação solar no Estado de Minas Gerais é igual a 4,5 KW/m² por hora, para cada dia, o que corresponde

a uma média horária de 0,643 KW por hora. O que equivale a um valor médio de 2314 KJ/m² registrado a cada hora. Nos dias em que não houve radiação superior 2500 KJ/m² considerou-se a ocorrência de uma censura.

Além disso, a ocorrência de vários horários, em um mesmo dia, em que o limite de radiação estabelecido é atingido, origina os chamados eventos múltiplos, que devem ser tratados com modelos estatísticos apropriados.

Com o objetivo de ajustar os dados e escolher o modelo para fazer o ajuste, foi utilizado o modelo semi-paramétrico de Cox. O modelo de regressão de Cox permite a análise de dados cuja resposta é o tempo até a ocorrência do evento de interesse (COLOSIMO; GIOLO, 2006). Como o objetivo é verificar o tempo até a ocorrência da radiação acima de 2500 KJ/m² o modelo de Cox é adequado.

O modelo dado pela expressão

$$\lambda(t|x) = \lambda_0(t) \exp\{x^T \beta\} \quad (1)$$

Possui um componente não paramétrico $\lambda_0(t)$ denominado taxa de falha basal, isto se dá porque quando $x = 0$ tem-se que

$$\lambda(t|x) = \lambda_0(t)$$

e um componente paramétrico dado por $\exp\{x^T \beta\}$, onde β é o vetor de parâmetros que se deseja estimar.

Quando há eventos múltiplos, os quais são entendidos como aqueles que ocorrem mais de uma vez, podem ser utilizadas extensões do modelo de Cox.

Uma destas extensões é o modelo AG (Andersen - Gill) (ANDERSEN; GILL, 1982), neste modelo os eventos são ordenados e independentes, isto é, o momento de ocorrência de cada evento é “independente do tempo decorrido anteriormente ou do número de eventos ocorridos até então” (CARVALHO *et al.*, 2011). No modelo AG O risco basal não varia entre os eventos, que neste trabalho correspondem ao número de horários em que a irradiância solar foi igual ou superior a 2500 KJ/m².

O modelo AG é dado pela expressão

$$\lambda(t|x) = \lambda_0(t) \exp\{x^T \beta_i\} \quad (2)$$

Para verificar a qualidade do ajuste será feita a análise de resíduos. Segundo Carvalho *et al* (2011) os resíduos score são bastante úteis para se avaliar a influência de cada observação no modelo que foi ajustado. Uma maneira bem simples é calcular para cada observação i

$$\Delta\beta = \hat{\beta} - \hat{\beta}_{(-i)} \quad (3)$$

Que é a diferença entre o vetor de parâmetros estimados pelo modelo e o mesmo vetor sem o dia i . Se esta diferença for zero a i -ésima observação tem pouca importância no modelo. Assim obtém-se

$$\Delta\beta = I^{-1} D I \quad (4)$$

onde I é a matriz identidade e D é “aproximadamente igual a matriz de resíduos score escalonada pela variância dos parâmetros β ” (CARVALHO *et al.*, 2011).

Para estimar os parâmetros do modelo selecionado foi utilizado o pacote *Survival* do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A radiação média anual para a cidade de São João del Rei corresponde a 4,83KWh /m² ao dia, sendo que o valor máximo atingido foi de 4.067 KJ/m² no dia 25 do mês de janeiro de 2020 às 16 horas. Entre 01 de janeiro de 2020 e 31 de dezembro de 2020 observou-se que foram acumulados 1.741 MWh / m². Na figura 1 tem-se o gráfico da radiação média mensal.

Figura 1 - Radiação diária no plano horizontal em São João del Rei - MG.

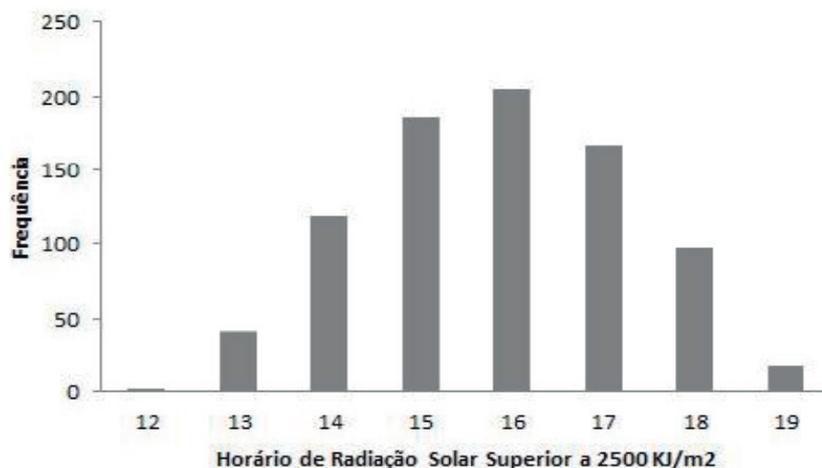


Fonte: Os autores.

Os horários do evento de radiação superior a 2500 KJ / m² ocorreram entre 12 e 19h, sendo o horário mais frequente o das 16h. No total foram obtidos 833 horários de radiação superior a 2500 KJ/ m², sendo que a média de tal evento às 15 h e 48 min, com radiação média igual a 2971 ± 340,36 KJ /m². Em 98 dias do ano não foi atingido o pico estabelecido.

Foi elaborado o gráfico dos dados horários referentes aos dias quando a radiação solar incidente foi superior a 2.500 KJ / m² (Figura 2).

Figura 2 - Gráfico em colunas dos horários de Radiação superior a 2500 KJ/m² em São João del Rei - MG.



Fonte: Os autores

Para realizar a análise considerando os eventos múltiplos, inicialmente foi encontrado o estimador não paramétrico de Kaplan-Meier. Este estimador foi proposto por Kaplan e Meier (1958) é utilizado para estimar a função de sobrevivência $S(t)$, e é dado pela função:

$$\hat{S}(t) = \prod_{j: t_j < t} \left(\frac{n_j - d_j}{n_j} \right) \tag{5}$$

onde t_j com $j=1, \dots, k$ são os horários de ocorrência dos picos de radiação estabelecidos; d_j é o número de ocorrências em t_j e n_j é o número de horários que podem ocorrer os picos em t_j .

Com os dados obtidos para esta pesquisa no site do INMET foi elaborada a Tabela 1 com os valores do estimador de Kaplan-Meier (EKM) para cada horário em que ocorreu picos da radiação solar.

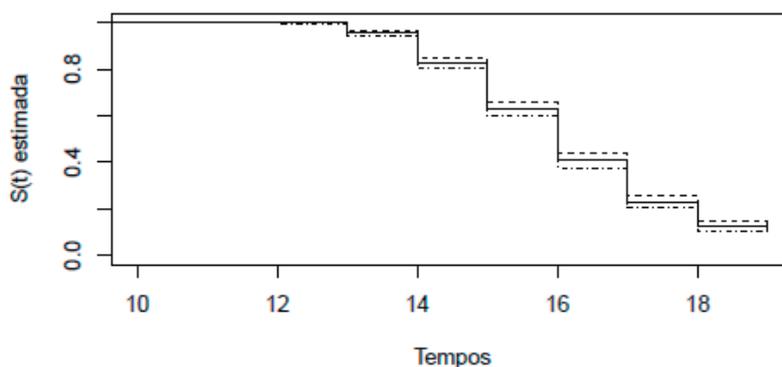
Tabela 1 - Estimador de Kaplan- Meier

Tempo	Sob risco	Ocorrência	Kaplan - Meier
12	931	1	0,999
13	930	41	0,955
14	889	119	0,827
15	770	186	0,627
16	584	205	0,407
17	379	167	0,228
18	212	97	0,124
19	114	17	0,105

Fonte: os autores

Por meio do estimador de Kaplan-Meier observa-se (Tabela 1) que até as 12h ocorreu apenas um evento, ou seja, apenas uma vez neste horário a radiação ultrapassou o valor de 2500 KJ/m². No horário das 13h há a ocorrência de 41 casos, às 14h vê-se 119 casos, e às 19h houve 17 ocorrências. Sendo que em 98 dias não ocorreu radiação superior a 2500 KJ/m², os eventos destes dias foram considerados como censurados. A representação gráfica do estimador de Kaplan - Meier em função dos horários de ocorrência de radiação superior a 2500 KJ/m² está representado na figura 3. Considera-se neste caso a possibilidade de ocorrência de 100% dos eventos a partir das 12 h e ajusta-se por meio da técnica o percentual já ocorrido a cada intervalo. Assim, estima-se que 10,5% dos eventos foram censurados.

Figura 3 - Estimador de Kaplan - Meier.



Fonte: Os autores

A seguir foram acrescentadas as covariáveis X_1 (Umidade relativa do ar) e X_2 (Temperatura instantânea) no modelo de Cox adaptado para eventos múltiplos AG. Analisando-se 4 possibilidades de ajuste do modelo:

1. Modelo 1: Inclusão da covariável umidade relativa do ar - X_1 .
2. Modelo 2: Inclusão da covariável temperatura instantânea - X_2 .
3. Modelo 3: Inclusão simultânea das covariáveis umidade e temperatura.
4. Modelo 4: Além das covariáveis umidade e temperatura, foi incluída a interação entre estas duas covariáveis ($X_1 \cdot X_2$).

Para seleção do modelo foi utilizado o teste da razão de verossimilhança sendo o modelo 4 selecionado (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo dos modelos

Modelos	Covariáveis	Estimativas	Log verossimilhança
1	X_1	$\hat{\beta} = -0,0499$	- 4032,14
2	X_2	$\hat{\beta} = 0,19748$	- 4045,11
3	X_1 e X_2	$\hat{\beta}_1 = -0,03165$ e $\hat{\beta}_2 = 0,10512$	- 3995,57
4	X_1, X_2 e $X_1 \cdot X_2$	$\hat{\beta}_1 = -0,27206$, $\hat{\beta}_2 = -0,2477$ e $\hat{\beta}_3 = 0,00907$	- 3730,92

Fonte: Os autores

Para validar o uso do modelo AG, é necessário que os tempos sejam independentes e isto ocorre quando o valor da variância robusta não é maior que duas vezes o valor da variância estimada (CARVALHO *et al.*, 2011). De acordo com os resultados obtidos para a variância robusta (Tabela 3) tem-se que o valor obtido é próximo da variância estimada, isto indica que o modelo AG é adequado.

Tabela 3 - Seleção do modelo 4 - com a inclusão das covariáveis umidade, temperatura e a interação entre umidade e temperatura.

	β	Variância	Variância robusta
Umidade	- 0,27206	0,02149	0,02507
Temperatura	- 0,2477	0,03414	0,03963
Interação	0,00907	0,00079	0,00086

Fonte: Os autores

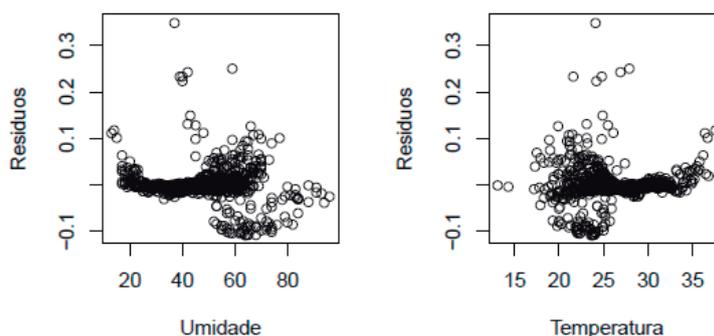
Assim de acordo com os parâmetros ajustados, o modelo escolhido é dado pela seguinte expressão:

$$\lambda_i = \lambda_0(t) = e^{[-0,27206x_1(t) - 0,2477x_2(t) + 0,00907x_1(t) x_2(t)]} \quad (6)$$

Em que $x_1(t)$ é a umidade relativa do ar, $x_2(t)$ a temperatura instantânea e $x_1(t) \cdot x_2(t)$ é a interação entre a temperatura e a umidade.

No gráfico dos resíduos (figura 4) são analisados os valores que influenciam a estimativa dos parâmetros no modelo selecionado.

Figura 4 - Resíduos escore



Fonte: Os autores

A partir do modelo encontrado serão analisados, como exemplo de aplicação, alguns cenários, levando em consideração as variações da temperatura e da umidade relativa do ar. No primeiro cenário será mantida constante a umidade relativa do ar, no segundo será fixada a temperatura e por fim será considerada a variação tanto da umidade como da temperatura.

1) Mantendo-se a umidade relativa do ar em 65% e a temperatura varia de 30° C para 31° C, para um mesmo horário em que a radiação ultrapassa 2500 KJ/m² então:

$$\lambda(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) e^{-0,2706.65 - 0,2477.30 + 0,0097.65.30}$$

$$\lambda(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) e^{-0,2706.65 - 0,2477.31 + 0,0097.65.31}$$

$$\frac{\lambda(t | x_1(65), x_2(30))}{\lambda(t | x_1(65), x_2(31))} = e^{0,3828} = 1,47$$

Isto significa que o risco da radiação ultrapassar o valor de 2500 KJ / m² na cidade de São João del Rei é 1,47 vezes maior quando a temperatura varia de 30° C para 31° C, mantendo a umidade relativa do ar.

2) Mantendo-se a temperatura 30° C e a umidade relativa do ar variando de 65 % para 68 %, então,

$$\lambda(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) e^{-0,2706.65 - 0,2477.30 + 0,0097.65.30}$$

$$\lambda(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) e^{-0,2706.68 - 0,2477.30 + 0,0097.68.30}$$

$$\frac{\lambda(t | x_1(65), x_2(30))}{\lambda(t | x_1(68), x_2(30))} = e^{0,06128} = 1,06$$

O risco da radiação ultrapassar o valor de 2500 KJ / m² é 1,06 vezes maior.

3) No terceiro cenário tanto a temperatura como a umidade variam de 30° C e 65 % para 31° C e 68 % logo,

$$\lambda(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) e^{-0,2706.65 - 0,2477.30 + 0,0097.65.30}$$

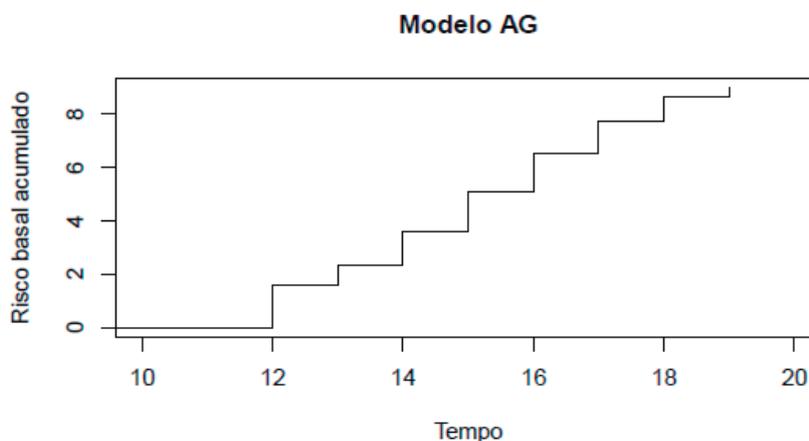
$$\lambda(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) = \lambda_0(t | x_1, x_2) e^{-0,2706.68 - 0,2477.31 + 0,0097.68.31}$$

$$\frac{\lambda(t | x_1(65), x_2(30))}{\lambda(t | x_1(68), x_2(31))} = e^{0,473} = 1,6$$

O risco aumenta cerca de 60 %.

Na figura 5 tem-se a representação gráfica do risco basal acumulado para o modelo AG, observe que o risco aumenta à medida que um novo episódio ocorre.

Figura 5 - Risco basal acumulado do Modelo AG



Fonte: Os autores

CONCLUSÕES

O uso do modelo de eventos múltiplos AG pode ser uma alternativa para análise dos dados envolvendo radiação e o horário de ocorrência de picos de radiação. Por meio desta técnica verificou-se o risco de ocorrência dos picos de radiação em função da temperatura e umidade ao longo do dia, o que permite que se tenha uma ideia do melhor horário para que se obtenha um resultado mais eficiente no que diz respeito à utilização da luz solar como fonte de energia alternativa, viabilizando uma economia a longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Minas Gerais, a locomotiva da energia solar no Brasil**. Disponível em: <https://bit.ly/37BhUWh>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

ANDERSEN, P. K., GILL, R. D. Cox's regression model for counting processes: a large sample study. **The annals of statistics**, p. 1100-1120, 1982.

CANTOR, G. A. R. **Influência dos fatores climáticos no desempenho de módulos fotovoltaicos em regiões de clima tropical**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 2017.

CARVALHO, M. *et al.* **Análise de sobrevivência: Teoria e aplicações em saúde**, 2. ed. Fiocruz, 2011.

COLOSIMO, E., GIOLO, S. **Análise de sobrevivência aplicada**, 1. ed. Blücher, 2006.

CRESESB (2021). **Centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de S. Brito**. Disponível em: <https://bit.ly/3KS3Zti>. Acesso em: 15 abr. 2021.

FRANCISCO, A. C. C. *et al.* Influência de parâmetros meteorológicos na geração de energia em painéis fotovoltaicos: um caso de estudo do Smart Campus Facens, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11.2019

GUIA TÉCNICO. **Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3N58WRi>. Acesso em: 06 de maio de 2021.

KAPLAN, E. L., MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. **Journal of the American statistical association**, 53(282), 457-481,1958

MAIOMI, F. P., CARDOSO, R. B. Análises de viabilidades econômicas para alternativas de utilização da energia solar em residência do estado de Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, 9(8), 1-39, 2020.

MIDEKSA, T. K., KALLBEKKEN, S. The impact of climate change on the electricity market: A review. **Energy Policy**, 38(7), 3579-3585, 2010.

MILANO, J. Proposta de utilização de sistema híbrido eólico/solar de energia em estabelecimentos comerciais na Ilha do Mel- PR. **Revista Ciência e Natura**, 40 e 66, 2018.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE, 2017

PRADO, R. *et al.* **Levantamento do estado da arte: Energia solar**. Projeto tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo Projeto FINEP, 2386(04), 2017.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org>, 2009.

TIBA, C. *et al.* Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestre. Recife: **Ed. Universitária da UFPE**, 2020.

WANDERLEY, A., CAMPOS, A. Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte. **Holos**, 3(29), 3-14, 2013.