

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE EVENTOS DE RAMPAS FOTOVOLTAICAS

Judson Rangell Rodrigues do Monte – judson.monte@ufpi.edu.br

Aryfrance Rocha Almeida

Bartolomeu Ferreira dos Santos Júnior

Marcos Antônio Tavares Lira

João Daniel Aguiar de Oliveira

Universidade Federal do Piauí, Câmpus Teresina

Josélio da Conceição Cruz

Universidade Federal do Maranhão, Câmpus São Luís

Leiliane Trindade de Almeida do Monte

Universidade Federal do Piauí, Câmpus Teresina

Resumo. A busca por alternativas que garantam a sustentabilidade é crescente ao longo dos anos. Nesse contexto, destacam-se as fontes de energias renováveis, especialmente a solar, a qual teve um aumento significativo na última década. A energia fotovoltaica é considerada limpa e disponível, além de ser um vetor importante no alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, sobretudo o ODS 7. Contudo, ainda há desafios envolvendo a utilização em larga escala dessa fonte, como a alta variabilidade, os chamados eventos de rampa fotovoltaicas, os quais põem em risco a confiabilidade e segurança dos Sistemas Elétricos. Assim, é necessário a realização de estudos nessa área, a fim de contribuir com soluções para a elucidação do assunto. Este estudo tem como objetivo realizar um levantamento bibliométrico da produção científica internacional acerca dos eventos de rampa fotovoltaicas. Foi feita uma análise bibliométrica dos trabalhos publicados nas bases de dados Web Of Science e Scopus, com auxílio da rotina operacional Bibliometrix, do software R na interface Rstudio. Os resultados mostram que 2020 foi o ano com a maior quantidade de publicações, sendo a China o país com o maior número de estudos e o periódico *Solar Energy* o de maior relevância.

Palavras-chave: Fontes Renováveis, Energia Solar, Rampa Fotovoltaica.

1. INTRODUÇÃO

A fonte solar possui características que a tornam atrativa, como por exemplo, é uma energia limpa e disponível, além de proporcionar a redução das emissões de carbono, minimizar as alterações climáticas, geração de renda, redução do pico de energia (Silva *et al.*, 2022). Por essa razão, a energia solar fotovoltaica é fundamental para atingir vários Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 7, que visa energia limpa e acessível. Além disso, contribui para o ODS 2 (agricultura sustentável), ODS 6 (água e saneamento), ODS 11 (cidades sustentáveis), ODS 12 (consumo responsável), ODS 13 (combate às mudanças climáticas) e ODS 14 (vida na água) (Oliveira, 2021).

Em que pese as vantagens da energia solar, seu uso ainda representa um gargalo no Sistema Elétrico (SE) devido à natureza intermitente e volátil dessa fonte. Essa instabilidade pode se manifestar através dos eventos de rampa fotovoltaica, ou seja, a variação rápida e significativa na produção de energia elétrica em usinas fotovoltaicas. Essa variação pode ser causada por mudanças súbitas nas condições de irradiação solar devido à passagem de nuvens, variações atmosféricas ou outros fatores que afetam a quantidade de luz solar que atinge os painéis. A produção de energia em uma usina fotovoltaica depende diretamente da quantidade de luz solar incidente sobre os painéis solares. Em um dia claro, a geração de energia é estável e previsível. No entanto, quando nuvens passam rapidamente sobre a área, a produção do inversor diminui abruptamente, causando uma redução significativa na geração de energia solar, seguida por um aumento igualmente rápido quando a luz solar volta a atingir os painéis após a passagem das nuvens. A manifestação desses eventos pode perturbar o equilíbrio energético da rede elétrica, provocando oscilações na frequência do sistema ou, em casos extremos, causando interrupções no fornecimento de energia, o que pode acarretar consideráveis perdas econômicas (Huang *et al.*, 2023). Na Fig. 1 é ilustrada a ocorrência de eventos de rampas fotovoltaicas em um determinado período.

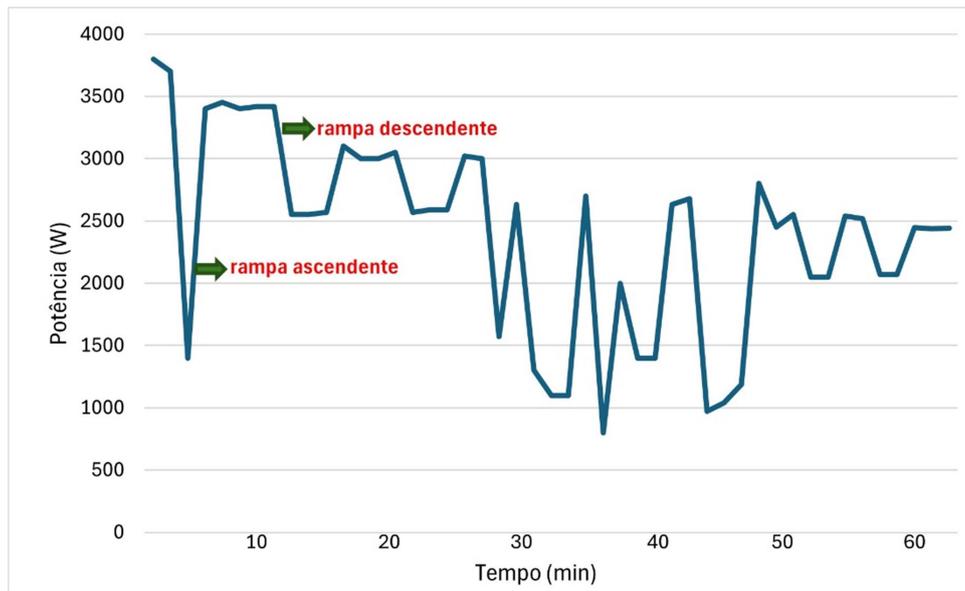


Figura 1 – Ocorrência de rampas fotovoltaicas. Fonte: Adaptado de Gomes (2023).

A variação das rampas é inversamente proporcional à sua ocorrência, e elas se tornam mais evidentes em curtíssimo espaço de tempo, isto é, no intervalo de até um minuto, geralmente causadas pela passagem de nuvens sobre o Sistema Fotovoltaico (SFV). As rampas fotovoltaicas podem ser classificadas em duas categorias: eventos de rampa de irradiância e eventos de rampa de potência. Enquanto as rampas de irradiância referem-se às variações na quantidade de radiação solar que atinge a superfície dos painéis, as rampas de potência relacionam-se com as variações na quantidade de energia elétrica produzida e injetada na rede por uma instalação fotovoltaica. Além disso, as rampas possuem características definidoras: frequência, duração, magnitude e direção. Essa última característica indica se uma rampa é ascendente (positiva), portanto, indica um aumento na produção de energia; ou descendente (negativa), logo, com diminuição na produção de energia (Gomes, 2023).

Nesse contexto, as análises preditivas desempenham um papel fundamental na estimação do comportamento da potência de saídas das centrais, permitindo a tomada de decisão por parte do Operador Nacional do Sistema Elétrico sobre qual o momento mais oportuno para iniciar ou parar outras fontes (Cruz *et al.*, 2022).

Diante disso, surge a indagação: a frequência de publicações sobre eventos de rampa fotovoltaica acompanha a crescente adoção da energia solar ao redor do globo? Tal questionamento é motivado pela observação preliminar de um número reduzido de estudos, particularmente na literatura brasileira, abordando essa temática. Assim, a necessidade de investigação se justifica pela oportunidade de desenvolver indicadores significativos que possam fomentar o avanço científico neste campo de estudo. Portanto, este trabalho visa realizar um levantamento bibliométrico sobre a produção científica internacional relacionada a eventos de rampa fotovoltaica, buscando preencher lacunas existentes e contribuir para o aprimoramento do conhecimento na área.

2. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo bibliométrico, no qual utilizou-se as palavras-chave “*photovoltaic ramp*” e “*photovoltaic ramp rates*” intercaladas pelo operador booleano OR. A pesquisa foi realizada em julho de 2023, com auxílio do Bibliometrix, que consiste em um conjunto de ferramentas que faz o processamento de dados de publicação (Andrade, 2021). Além disso, utilizou-se o programa R e RStudio, este é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), livre e operante através da linguagem R, que torna o software R mais fácil no manuseio das estatísticas.

As bases de dados utilizadas como fonte de coleta de dados foram a *Web of Science* e *Scopus*, acessadas remotamente pelo portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) com as credenciais do autor autorizadas pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). A busca nas bases de dados abrangeu o máximo período permitido em cada uma delas, de 1945 até 2023 na *Web Of Science*, de 1960 a 2023 na *Scopus*. Esse lapso de tempo justifica-se no intuito de analisar a evolução da pesquisa sobre o tema ao longo dos anos, a fim de observar se ele acompanhou os debates sobre energia solar fotovoltaica. De cada base selecionou-se todos os artigos encontrados, que foram salvos no formato *Bibtex*.

No ambiente RStudio, os arquivos em *Bibtex* foram colocados na pasta de projeto e deu-se início ao *script*: 1) carregar pacote *bibliometrix* `ifelse(!require(bibliometrix), install.packages("bibliometrix", dependencies=TRUE))`; 2) carregar base de dados *WoSA* `<- "savedrecs.bib"` e *Scopus* `<- "scopus.bib"`; 3) criar *data frame* *WoSA_df* `<- convert2df(WoSA, dbsource = "wos", format = "bibtex")` e *Scopus_df* `<- convert2df(Scopus, dbsource = "scopus", format = "bibtex")`; 4) Criar objeto com as bases unificadas *M* `<- mergeDbSources(WoSA_df, Scopus_df, remove.duplicated = TRUE)`; 5) carregar *biblioshiny()*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a análise bibliométrica em questão, foram encontrados 756 artigos na *Web Of Science* e 600 artigos na *Scopus*, totalizando 1.356 trabalhos. Após criar objetos com as bases unificadas, foram removidos 417 artigos em duplicidade, resultando em 939 artigos. A seguir são mostrados em detalhes alguns indicadores extraídos a partir do estudo.

3.1 Ano de Publicação

Observou-se que as publicações sobre eventos de rampa fotovoltaica começaram a ser foco de estudo a partir de 1985, mas somente em 2006 tornou-se mais proeminente. Esse dado pode ter alguma relação com o fato de a temática ambiental ganhar espaço no debate mundial a partir da década de 1980, na qual a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – *Comissão Brundtland* produziu o relatório “Nosso Futuro Comum (*Our Common Future*)”, onde é proposto o conceito de desenvolvimento sustentável, além de vários acordos multilaterais para o meio ambiente. Em 1992 foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a ECO-92 ou Rio-92, sediada na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, entre os dias 3 e 14 de junho de 1992, cuja pauta foi a discussão do conceito de desenvolvimento sustentável. Na ocasião, foram assinados três acordos internacionais: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima; Convenção sobre Diversidade Biológica e Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, além de ter sido lançada a Agenda 21, um plano de ação para o desenvolvimento sustentável adotado pelos países participantes da conferência.

Dez anos depois da ECO-92 ocorreu a Cúpula sobre desenvolvimento sustentável, em Johannesburgo, com a finalidade de avaliar os progressos da conferência anterior e reforçar o compromisso com o desenvolvimento sustentável, e enfatizar a erradicação da pobreza, o acesso à água potável e à energia sustentável. Em 2012, após 20 anos desde a ECO-92, novamente o Rio de Janeiro voltou a sediar a Cúpula Rio+20, que renovou o compromisso com o desenvolvimento sustentável e teve como resultado a criação da Agenda 2030, o marco mais recente e importante na evolução do conceito de desenvolvimento sustentável. A Agenda 2030 possui 17 objetivos, 169 metas, que incluem a erradicação da pobreza, a fome, a igualdade de gênero, a ação climática, a paz e a justiça.

Desse modo, é natural que a questão energética e seus desdobramentos tenham sido incorporados em pesquisas, principalmente na última década. Na Fig. 2 é demonstrada a quantidade de publicações sobre eventos de rampa solar no mundo de 1985 a 2023.

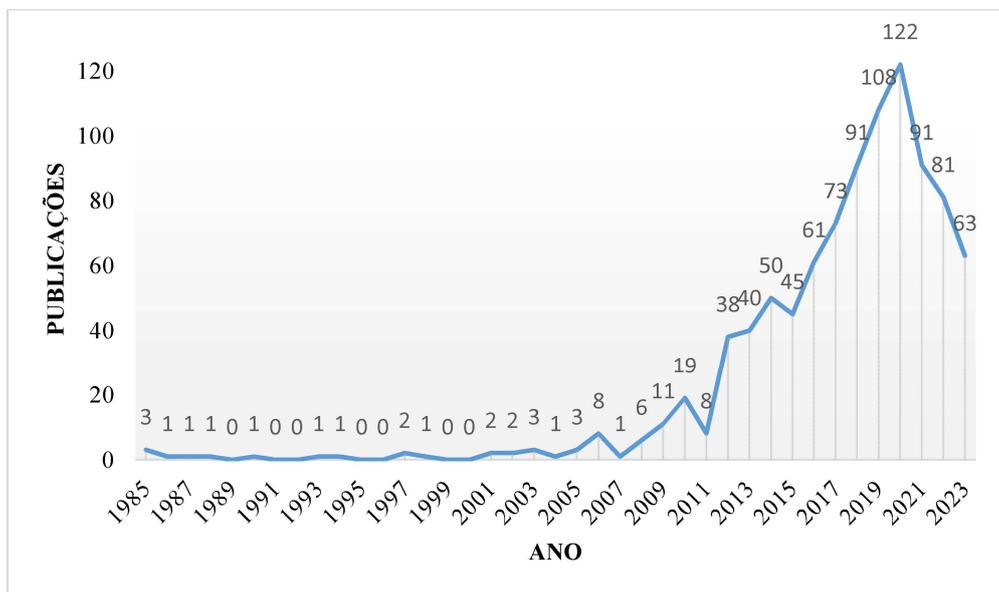


Figura 2 – Publicações sobre eventos de rampa solar no mundo entre 1985-2023 .

Segundo os dados acima, é possível verificar que de 2012 até a atualidade as publicações aumentaram significativamente, principalmente em 2019 e 2020 com a pandemia da Covid-19, momento em que produção científica mundial cresceu, e esse período concentra cerca de 25% da produção do período analisado. Sá, Moraes e Santos (2018) corroboram com esses achados ao exporem os dados de uma análise bibliométrica sobre energia solar, em que observaram um aumento quase linear das publicações sobre o tema de 2007 a 2016.

3.2 Produção Científica

A pesquisa também evidencia que os Estados Unidos lideram o *ranking* mundial com 198 publicações no período analisado, seguido da China com 192 publicações. O Brasil aparece na 16ª colocação juntamente com a Arábia Saudita. Na Fig. 3 é mostrada a distribuição das publicações por países.

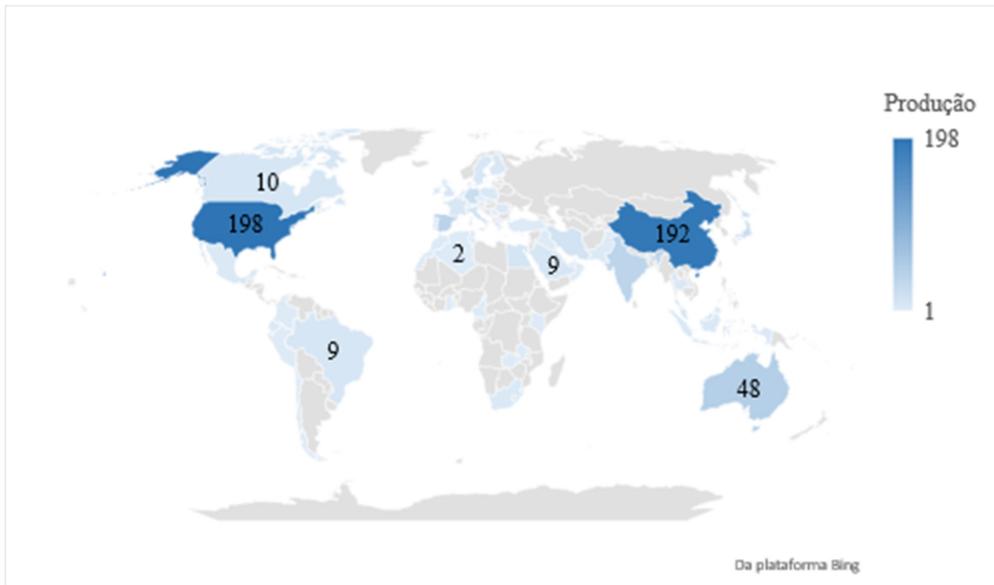


Figura 3 – Produção científica dos países

Esse achado mostra que apesar do Brasil ter a matriz energética mais diversificada e limpa do mundo, os estudos brasileiros sobre o tema ainda não ocuparam a liderança entre periódicos internacionais. A China, por outro lado, além de controlar o maior percentual da cadeia suprimentos para a produção de energia solar, também detém posição de destaque na produção científica acerca do assunto, em disputa acirrada contra os Estados Unidos, que ocupam a 1ª posição, seguidos de Austrália, Espanha e Índia, respectivamente. As empresas chinesas nos últimos anos têm investido fortemente no setor elétrico, justificando sua expansão em razão do ganho de eficiência técnica e a expertise no gerenciamento desses ativos. Em 2011, a China ultrapassou os EUA e tornou-se o maior gerador de eletricidade do mundo (Moreira, 2023).

Em relação aos autores com a maior quantidade de publicações, *Kleissl J* e *Zhang X* possuem juntos um total de 33 publicações. O artigo mais citado de *Jan Kleissl* possui 126 citações e intitula-se “Variabilidade solar de quatro locais em todo o estado do Colorado”, publicado em dezembro de 2010, no volume 35 do periódico *Renewable Energy*. O artigo mais citado de *Xiaoshun Zhang*, “Novo algoritmo memético de SALP swarm bioinspirado e aplicação a MPPT para sistemas FV considerando condição de sombreamento parcial”, citado 265 vezes, foi publicado no volume 215 do *Journal of Cleaner Production*, em abril de 2019. *Jan Kleissl* também foi encontrado como o autor com mais publicações sobre previsão solar no curto prazo no trabalho realizado por Carvalho, Fantini e Siqueira (2022). Na Fig. 4 é mostrada a contagem de registro por autor.

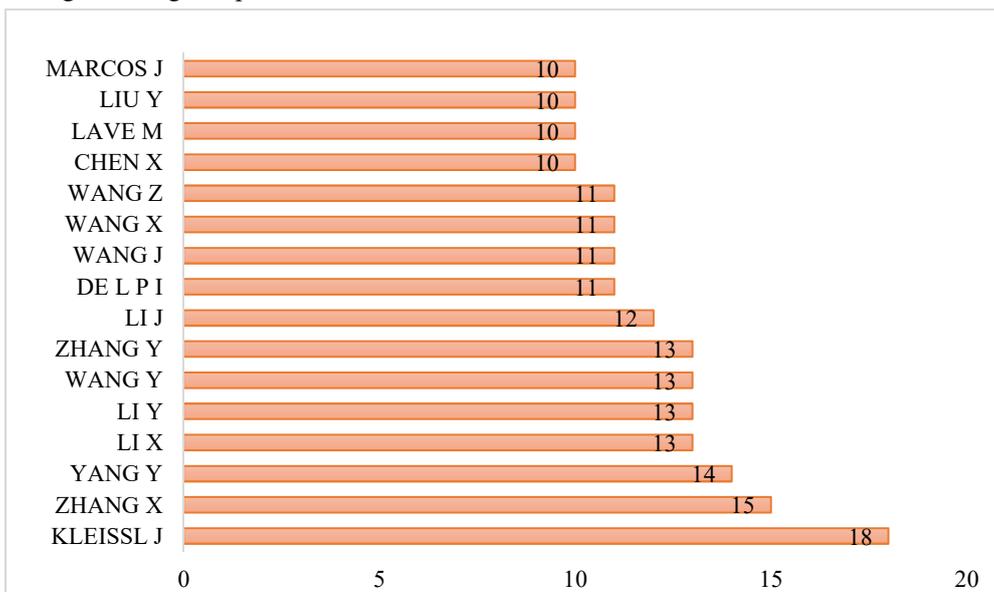


Figura 4 – Publicações por autor

Foram pesquisados também os periódicos mais significativos em relação ao tema em comento, ao todo foram 445 fontes, com destaque para o periódico *Solar Energy*, com 38 artigos, seguido do periódico *Energies*, com 34 artigos. O periódico *Solar Energy* é a principal referência internacional de energia solar e o jornal oficial da Sociedade

Internacional de Energia Solar. Atualmente, seu fator de impacto corresponde a 6.7, a classificação pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) é A1 e a média de citações recebidas por documentos é de 13.1 (CiteScore). Na Fig. 5 são ilustrados os periódicos mais relevantes na pesquisa.

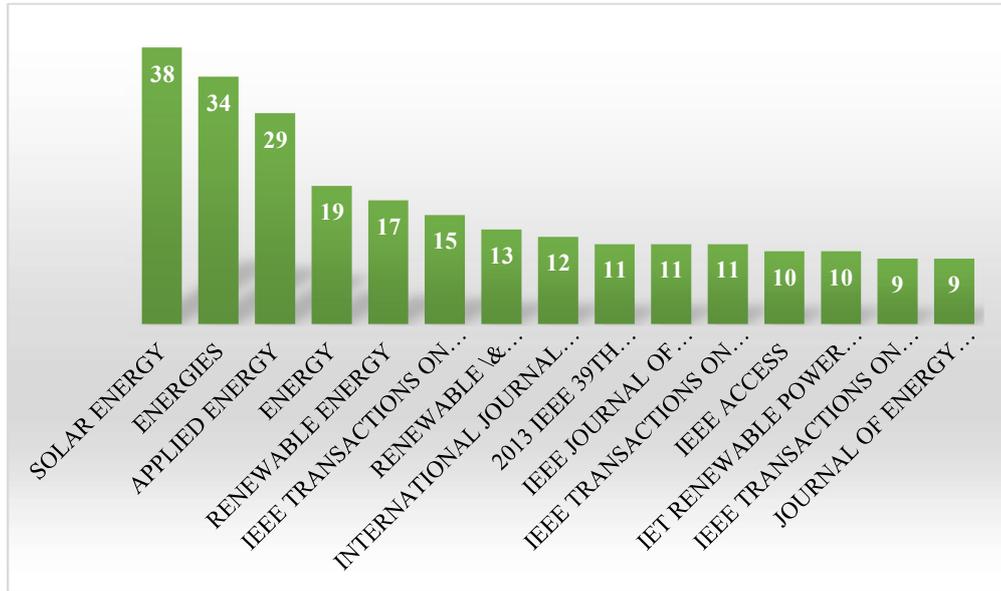


Figura 5 – Fontes mais relevantes

Em relação às palavras mais frequentes nos trabalhos faz-se menção dos termos “células fotovoltaicas”, com 68 ocorrências, seguida dos termos “geração” e “modelo”, com 54 e 57 ocorrências, respectivamente. A palavra “controle de taxa de rampa” figura a 6ª colocação, com 48 menções. Na Tab. 1 são destacadas as 10 palavras mais citadas nos artigos.

Tabela 1 – Palavras mais frequentes

Termos	Ocorrências
photovoltaic cells	68
generation	67
model	57
performance	54
optimization	49
ramp-rate control	48
system	46
energy-storage	44
solar power generation	44
systems	44

Em síntese, os dados encontrados mostram que o tema pesquisado se insere no intervalo de tempo entre os anos de 1985 e 2023, representou uma taxa de crescimento anual de 8,34%, incluíram 445 fontes, 939 artigos, 2.733 autores, 2.857 palavras-chave e média de citações por documento de 22,48.

O uso de fontes renováveis é uma alternativa necessária à sustentabilidade dos recursos naturais, tendo em vista a degradação ambiental causada no planeta Terra e a finitude dos combustíveis fósseis, responsáveis por grande parte dos efeitos deletérios, do ponto de vista socioambiental. Assim, é crescente a inserção e relevância dessas fontes na matriz energética global (Monte; Cardoso; Monte, 2023).

O incentivo ao uso de energias renováveis – eólica, solar ou biomassa – representa uma perspectiva de mudança no contexto mundial de demanda significativa de energia para o progresso técnico e desenvolvimento humano. Nesse sentido, o Brasil destaca-se pelo potencial de geração e uso da energia solar, passível de utilização em quase todo o território nacional (LIRA *et al.*, 2019). De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL),

até julho de 2023 havia 18.164 mil empreendimentos em operação na geração de energia solar, cuja potência outorgada somava aproximadamente 9,64 GW (ANEEL, 2023). Além disso, a geração elétrica fotovoltaica em 2022 representou 30.126 GWh, um aumento de quase 56% em relação a 2021 (Empresa de Pesquisa Energética, 2023).

Contudo, a expansão da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica suscita desafios referentes à estabilidade e confiabilidade dos sistemas de energia, em face da irradiação solar incidente. Nesse sentido, o controle de taxa de rampa de potência fotovoltaica é apresentado como uma solução economicamente viável para minimizar os eventos de rampa. Diferentes algoritmos têm sido utilizados no cálculo das taxas de rampa fotovoltaicas, dentre eles o algoritmo Perturba e Observa (P&O). Mas este apresenta limitações relativas às oscilações geradas em torno do ponto de máxima potência (MPP). Um algoritmo alternativo, resultante da modificação do P&O, o dP- P&O, demonstrou melhor desempenho nos casos de irradiância variável (Dominguez; Longatt; Martinez, 2022).

Eventos de rampa fotovoltaicas podem ser influenciados por diversos fatores, abrangendo desde condições meteorológicas até falhas em sistemas específicos. Essas variações são especialmente significativas em fontes de energia renovável, como os sistemas fotovoltaicos, devido à sua dependência direta das condições ambientais. Os efeitos negativos da variação solar são provocados por alterações na radiação. Sendo a radiação solar uma série temporal, ela experimenta variações ao longo do dia, de hora em hora, minuto a minuto e, ocasionalmente, até de segundo a segundo. A precipitação, o deslocamento das nuvens e as variações nas condições meteorológicas são responsáveis por frequentes alterações na irradiância. Entre esses fatores, o deslocamento das nuvens é identificado como o principal motivador das oscilações na potência gerada pelos sistemas fotovoltaicos (Sukumar *et al.*, 2018).

A produção de energia dos painéis solares é afetada pelas mudanças no clima. A capacidade de geração de energia solar pode diminuir rapidamente devido à passagem e ao posicionamento das nuvens, levando a ocorrências de rampas solares. Normalmente, a taxa de rampa solar é caracterizada pela alteração na produção de energia solar em um período específico (Cheng *et al.*, 2024). A Eq. 1 define um evento de rampa:

$$R = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde Δp corresponde à diferença de potência ou de irradiância, Δt refere-se a um determinado período de tempo. No caso das rampas de potência, Gomes (2023) apresenta ainda uma outra definição matemática para rampa normalizada pela potência do inversor, dada na Eq. 2.

$$R = \frac{\Delta P \Delta t}{P_{INV}} * 100(\%) \quad (2)$$

Onde a variação de potência, representada por ΔP , em um intervalo de tempo específico, indicado por Δt , e a capacidade do inversor, denotada por P_{INV} , são utilizadas para determinar a rampa R em termos percentuais.

As causas de rampa em sistemas de geração de energia são multifacetadas e interconectadas. Problemas meteorológicos são talvez os mais imprevisíveis, exigindo sistemas robustos de previsão e resposta rápida. A infraestrutura desempenha um papel crucial na mitigação das rampas, seja através de uma rede de transmissão flexível e resiliente ou pela manutenção adequada dos equipamentos. As falhas em sistemas fotovoltaicos destacam a importância da qualidade e da manutenção preventiva. Cada uma dessas áreas representa um desafio distinto para o gerenciamento da geração de energia, exigindo uma abordagem holística que combine tecnologia avançada, planejamento cuidadoso e estratégias de mitigação adaptativas para minimizar as consequências das rampas.

As taxas de rampa fotovoltaicas de usinas desse tipo de energia conectadas à rede podem ser definidas pelos operadores de sistemas de transmissão (Lappalainen; Valkealahti, 2022). Na China e em Porto Rico, por exemplo, o limite para taxas de rampa é de 10%/min e no México de 1-5%/min (Sun *et al.*, 2020). É válido mencionar que os eventos de rampa podem ser de diferentes tipos. No caso da energia solar fotovoltaica, tem-se rampas de irradiância e rampas de geração fotovoltaica (Cunha *et al.*, 2022). As rampas podem ser ascendentes, quando a potência gerada no momento anterior foi menor do que a gerada no instante atual, logo, com acréscimo de energia; ou, descendentes, caso a potência anterior tenha sido maior que aquela gerada no instante atual, portanto, com perda de geração (Cunha, 2021).

Diante das implicações causadas pelos eventos de rampa fotovoltaicas, os estudos sobre previsão de rampa são necessários para que haja sucesso na integração da energia solar fotovoltaica no sistema elétrico. Há diferentes métodos e abordagens disponíveis capazes de prever eventos de rampa fotovoltaicas, dentre eles: métodos estatísticos, aprendizado de máquina, abordagens físicas, previsões meteorológicas avançadas, previsão de curto prazo e até mesmo a combinação de um ou mais métodos e abordagens. A diferença entre um método e outro é o tempo que se consegue realizar a previsão. Atualmente, há muitas publicações destacando diferentes metodologias, no entanto, a divergência entre as nomenclaturas para um mesmo método dificulta sua separação e limitam sua evolução (Domingos; Monteiro; Boaventura, 2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto, no Brasil há um grande potencial na área de energias renováveis, especialmente a fotovoltaica, que continua crescendo exponencialmente nos últimos anos, assumindo papel de grande relevância na matriz energética. Entretanto, uma expansão dessa escala também acarreta em grandes problemas, como por exemplo, os eventos de rampa fotovoltaica. Em razão da dimensão continental e à certa estabilidade no clima, no qual ocorre pouca variação durante o ano todo, o país tem capacidade para ser um dos maiores produtores de energia fotovoltaica. Mas os eventos de rampas podem ser entraves substanciais, afetar a confiabilidade e estabilidade do SE, consequentemente restringir o uso dessa fonte. Logo, os estudos de previsão permitem antecipar e diminuir o risco da ocorrência desses imbróglios.

Verificou-se nesta análise bibliométrica o descompasso entre a quantidade de estudos e o crescimento fotovoltaico, visto que a publicação por pesquisadores brasileiros em âmbito internacional é pouco expressiva. Embora esse dado não signifique necessariamente que as produções científicas não ocorram, chamam atenção para a baixa influência de autores brasileiros em um assunto que deveria ser de destaque entre esses estudiosos.

O trabalho em questão permitiu observar que, de modo geral, os estudos sobre eventos de rampa fotovoltaicas ainda são pouco explorados no contexto desse tipo de fonte energética, concentrando-se majoritariamente na previsão da geração solar. Dentre os países que se destacam por potência instalada de energia solar, em que a China lidera o ranking, os investimentos e políticas de incentivo, que incluem o fomento à pesquisa, contribuem para a grande quantidade de estudos concernentes à temática de energias renováveis, colocando pesquisadores chineses como grandes referências mundiais no assunto.

O objetivo inicialmente proposto foi alcançado ao passo que a questão levantada foi respondida. A temática abordada mostra-se um campo importante de pesquisa no território nacional, tendo em vista a relevância do mesmo para a qualidade, confiabilidade e segurança do Sistema Elétrico brasileiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelo financiamento concedido à infraestrutura da Universidade Federal do Piauí.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023. Sistema de Informações de Geração da ANEEL. Superintendência de Concessão, Permissões e Autorizações dos Serviços de Energia Elétrica. Matriz Elétrica Brasileira.
- Andrade, N. B., 2021. Análise Bibliométrica de Resíduos Sólidos utilizando o software R na interface Rstudio e a rotina operacional bibliometrix. Monografia, UFAM, Humaitá.
- Carvalho, M. J., Fantini, D. G., Siqueira, M. B. B., 2022. Métodos de Previsão Solar Intra-Hora: uma revisão da literatura. XI CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis.
- Cunha, P. H., Saavedra, C. B., Oliveira, C. B., Oliveira, D. Q., Silva Júnior, G. S., 2022. Análise de Rampas de Geração Fotovoltaica de Grande Escala. XI SBSE - Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Santa Maria.
- Cunha, P. H. C., 2021. Gravidade de Rampas de Geração Fotovoltaica de Grande Escala na Rede Convencional em Regiões com Alta Densidade de Oferta. Monografia, UFMA, São Luís.
- Cheng, L., Zang, H., Anupam, T., Dipti, S., Zhinong, W., Guoqiang, S., 2024. Mitigating the Impact of Photovoltaic Power Ramps on Intraday Economic Dispatch Using Reinforcement Forecasting. IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 15, n. 1, pp. 3-12.
- Cruz, J. C., Oliveira, D. Q., Saavedra, C. B., Oliveira, C. B., Monte, L. T. A., 2022. Estado da Arte para Previsão de Eventos de Rampas Eólicas no Sistema de Energia. XXIV CBA - Congresso Brasileiro de Automática, Fortaleza.
- Domingos, S. F., Monteiro, L. G., Boaventura, W. C., 2020. Estado da Arte para previsão da radiação solar. VIII CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.
- Empresa de Pesquisa Energética. 2023. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023: Ano base 2022. Rio de Janeiro.
- Gomes, C. C. C., 2023. Estudo de caso da ocorrência de rampas de potência em um sistema fotovoltaico na cidade de Maceió-AL. Monografia, UFAL, Rio Largo.
- Huang, Y., Tong, L., Tai, B., Shen, K., Yuan, L., Wang, Y., Duan, S., Chen, Q. Y., Liu, S., Gu, M., 2023. Probabilistic Prediction of PV Ramp Events Based on LSTM-Bootstrap. VII ICSGSC - International Conference on Smart Grid and Smart Cities, Lanzhou, China.
- Lappalainen, K., Valkealahti, S., 2022. Sizing of energy storage systems for ramp rate control of photovoltaic strings. Renewable Energy, vol. 196, pp. 1366-1375.
- Lira, M. A. T., Melo, M. L. S., Rodrigues, L. M., Souza, T. R. M. 2019. Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO₂ no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 34, n. 8, pp. 389-397.
- Monte, J. R. R., Cardoso, F. S., Monte, L. T. A. 2023. Aproveitamento do Epicarpo de babaçu extraídos em Caxias-MA para a produção de briquetes. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, vol. 8, n. 3, pp. 217-244.

- Moreira, T. V., 2023. Os investimentos estrangeiros diretos chineses no setor elétrico brasileiro (2010-2022): características dos investimentos. Monografia, UNIPAMPA, Sant’ana do Livramento.
- Oliveira, A. L. S., 2021. O Desenvolvimento Sustentável: um estudo sobre sistemas de energia solar fotovoltaica. Monografia, UFRGS, Porto Alegre.
- Riquelme, J. M. D., Longatt, F. M. G., Martinez, S., 2022. Decoupled Photovoltaic Power Ramp-rate Calculation Method for Perturb and Observe Algorithms. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 10, n. 4, pp. 932-940.
- Sá, F. N., Moraes, A. M., Santos, F. F., 2018. Bibliometria da produção científica sobre energia solar fotovoltaica. VII CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado.
- Silva, M. A., Souza, S. V., Gimenes, R. M. T., Lopes, A. C. V., 2022. Energia fotovoltaica na agricultura familiar: um estudo de caso na região de Dourados-MS. *Informe GEPEC*, Toledo, vol. 26, n. 2, pp. 69-86.
- Sukumar, S., Marsadek, M., Agileswari, K. R., Mokhlisc, H., 2018. Ramp-rate control smoothing methods to control output power fluctuations from solar photovoltaic (PV) sources—A review. *Journal of Energy Storage*, vol. 20, pp. 218-229.
- Sun, Y., Zhao, Z., Yang, M., Jia, D., Pei, W., Xu, B., 2020. Overview of energy storage in renewable energy power fluctuation mitigation. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 6, n. 1, pp. 160–173.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC PRODUCTION ON PHOTOVOLTAIC RAMPS EVENTS

Abstract. *The search for alternatives that guarantee sustainability has increased over the years. In this context, renewable energy sources stand out, especially solar, which has seen a significant increase in the last decade. Photovoltaic energy is considered clean, available and inexhaustible, in addition to being an important vector in achieving the Sustainable Development Goals. However, there are still challenges involving the large-scale use of this source, such as the high variability, the so-called photovoltaic ramp events, which put the reliability and safety of the Electrical Systems at risk. Therefore, it is necessary to carry out studies in this area, in order to contribute with solutions to elucidate the subject. This study aims to carry out a bibliometric survey of international scientific production on photovoltaic ramp events. A bibliometric analysis of works published in the Web Of Science and Scopus databases was carried out, with the help of the Bibliometrix operational routine, of the R software in the Rstudio interface. The results show that 2020 was the year with the largest number of publications, with China being the country with the largest number of studies and the journal Solar Energy being the most relevant.*

Keywords: *Renewable Sources, Solar Energy, Photovoltaic Ramp.*