

## Técnicas de Resfriamento de Placas Fotovoltaicas: uma análise bibliométrica

Maurício Fernandes de Oliveira Assis, mauricio.a3347@ufob.edu.br<sup>1</sup>

André Issao Sato, andre.sato@ufob.edu.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, Av. Manoel Novaes, n. 1064, Bairro Centro.

**Resumo.** A pesquisa bibliográfica consiste em uma etapa essencial para a pesquisa científica, permitindo a análise do estado da arte e a construção do problema de pesquisa. Neste sentido, a utilização de técnicas e ferramentas para o planejamento e execução desta busca referencial torna-se fundamental para que os resultados sejam compreensíveis e representativos quanto a área de pesquisa escolhida. Assim, associando a necessidade de maior compreensão e levantamento de informações quanto ao resfriamento de placas fotovoltaicas por meio de dissipadores de calor, conceitos da metodologia ProKnow-C para a pesquisa bibliográfica foram utilizados com o intuito de construir uma base de referências de alta relevância e embasar estudos aprofundados na área de pesquisa. Um total de 983 artigos científicos foram levantados inicialmente, sendo reduzido a 400 artigos compreendidos nos últimos 5 anos (2018 a 2022). Destes, 68 trabalhos foram selecionados como sendo o grupo final do referencial bibliográfico, a partir da análise de concordância temática do título e resumo, e, após a aplicação do Proknow-C, o referencial final foi constituído por 45 artigos com significativo número de citações e concordância com o tema de pesquisa.

**Palavras-chave:** Pesquisa bibliográfica. Bibliometria. ProKnow-C. Placas Fotovoltaicas. Arrefecimento.

**Abstract.** Bibliographic research is an essential step for scientific research, allowing the analysis of the state of the art and the construction of the research problem. In this sense, the use of techniques and tools for the planning and execution of this reference search becomes fundamental for the results to be understandable and representative regarding the chosen research area. Thus, associating the need for greater understanding and gathering of information regarding the cooling of photovoltaic plates through heat sinks, concepts of the ProKnow-C tool for bibliographic research were used in order to build a base of high relevance references and support in-depth studies in the research area. A total of 983 scientific articles were initially collected, being reduced to 400 articles in the last 5 years (2018 to 2022). From the 68 papers, it was selected as the final group of the bibliographic framework, from the analysis of thematic agreement of the title and abstract, and from these it was possible to apply the Pareto criterion to highlight the 23 most cited articles of this bibliographic reference.

**Keywords:** Bibliographic Research, Bibliometric, ProKnow-C. Photovoltaic Panels. Cooling.

### 1. INTRODUÇÃO

Diante do crescente interesse nas energias renováveis, as pesquisas em placas fotovoltaicas no Brasil e no mundo se despontam como campo de relevância científica e tecnológica. Ao passo que a participação de renováveis na matriz energética brasileira foi marcada pela queda da oferta de energia hidráulica, associada à escassez hídrica e ao acionamento das usinas termelétricas (Empresa de Pesquisa Energética, 2022).

A energia solar fotovoltaica se baseia no efeito fotovoltaico que ocorre quando a luz ou a radiação eletromagnética do Sol incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas. No aspecto energético, apesar da energia solar fotovoltaica ser altamente promissora, sua eficiência medida em laboratório é em torno de 24,7%. Somado ao fato de apresentar custos elevados de material e instalação, e possuir uma vida útil relativamente baixa de, em média, 25 anos, torna-se indubitável a necessidade de aumentar sua eficiência para mitigar os problemas econômicos gerados (Villalva, 2012; Brito and Silva, 2006).

Adiciona-se ao fato que a eficiência energética da placa fotovoltaica está diretamente relacionada a radiação solar, mas é também inversamente proporcional ao aumento da temperatura da mesma, e exigindo que sistemas de arrefecimento sejam estudados e aplicados para o controle térmico do sistema (Arularasan and Velraj, 2010; Hernandez-Perez *et al.*, 2020; Nižetić *et al.*, 2018).

Neste contexto, torna-se necessário o levantamento organizado de informações quanto aos estudos e resultados obtidos para a melhoria da operação e arrefecimento destas placas fotovoltaicas, também conhecido como análise bibliométrica. O conceito de análise bibliométrica se baseia na evidenciação quantitativa de uma série de parâmetros para um conjunto definido de artigos (portfólio bibliográfico) e permite, assim, a gestão da informação e do conhecimento científico de um dado assunto (Bana e Costa *et al.*, 1999).

Logo, este artigo teve como objetivo, justamente, realizar uma análise bibliométrica na área de simulação compu-

tacional de placas fotovoltaicas com mecanismos de arrefecimento e utilizando os parâmetros: concordância temática, citações, autores, número de citações e periódicos mais relevantes.

Uma Revisão Sistemática de Literatura foi realizada a respeito dos eixos de pesquisa que foram definidos como: dissipador de calor, otimização/simulação e placas fotovoltaicas. Diante o *portfólio* desenvolvido, foram feitas análises bibliométricas, apresentando o referencial bibliográfico sobre o tema a partir do método baseado no *Proknow-C* das métricas dos artigos e análise de rede realizada pelo *software VOSviewer*.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor entendimento os conceitos utilizados e estudados neste trabalho, é necessária a apresentação de fundamentos relacionados ao foco da pesquisa bibliométrica por meio de técnicas utilizadas para a quantificação e qualificação dos parâmetros bibliométricos.

### 2.1 *Proknow-C*

O método *Proknow-C* teve o começo de seu desenvolvimento no início dos anos 2000, no Laboratório de Metodologia Multicritério em Apoio à Decisão (LabMCDA), vinculado ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, com o objetivo de superar a falta de processo estruturado para a seleção de um referencial bibliográfico com reconhecimento científico e sua análise para um determinado assunto (Ensslin *et al.*, 2015).

O processo é, usualmente, dividido em 4 etapas principais: 1-Seleção do portfólio bibliográfico, 2- Análise bibliométrica do portfólio, 3- Análise sistêmica e 4-Definição da questão de pesquisa e seus objetivos (Ensslin *et al.*, 2015).

Diante disso, a proposta do método é selecionar publicações relevantes, que sejam reconhecidas cientificamente (com base na contagem de citações ou na importância do autor) e recentes (publicadas nos cinco dois anos, por exemplo). Em seguida, aplica-se um critério de representatividade (geralmente o Princípio de Pareto), sendo as publicações que acumulam 80% das citações em um determinado grupo consideradas de grande relevância (Ensslin *et al.*, 2015; Lima and Gomes, 2020; Guedes *et al.*, 2018).

### 2.2 Princípio de Pareto

O Princípio de Pareto ou Princípio 80/20 foi proposto para diversas áreas de estudo a partir de apontamentos de Joseph Moses Juran, em 1941, em homenagem ao conceito proposto inicialmente pelo economista italiano Vilfredo Pareto (1848-1923). O princípio se baseia na observação que uma minoria das causas, fatores ou esforços, em geral, leva à maioria dos resultados, produtos ou consequências. Neste caso, a aplicação na bibliometria permitiria a separação de uma parcela dos trabalhos, os quais seriam os mais representativos para o tema estudado (Koch, 2015; Guedes *et al.*, 2018).

De acordo com estudos na área de análise bibliométrica, o Princípio de Pareto pode ser utilizado para identificar os trabalhos mais relevantes em uma determinada área de pesquisa, essa abordagem sistêmica se baseia na medição do número de citações de cada trabalho, e sugere que, aproximadamente, 20% dos trabalhos da base bibliográfica seriam responsáveis por 80% ou mais do total de citações desses trabalhos (Glänzel and Schoepflin, 1999).

## 3. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo deste trabalho, foi feita uma Revisão Sistemática de Literatura para levantar os artigos de alto impacto e mais recentes, que apresentam a temática de eficiência e resfriamento por dissipadores de calor no contexto de aplicação em placas fotovoltaicas com aletas. Para a elaboração da revisão bibliométrica, foi escolhida a base de dados *Web of Science* para a busca e construção do campo amostral dos artigos científicos. A metodologia utilizada para a realização da busca foi baseada no *Proknow-C* (*Knowledge Development Process – Constructivist*) e em estudos bibliográficos feitos na literatura específica (Glänzel and Schoepflin, 1999; Ensslin *et al.*, 2015; Guedes *et al.*, 2018; Lima and Gomes, 2020; Nwagwu, 2015).

Após a definição do campo amostral, foram selecionadas as palavras-chave para a busca na base de dados, com base no foco da pesquisa a ser desenvolvida e na construção da frase de pesquisa. Essa frase foi elaborada para resultar em artigos que abordassem o tema pesquisado com as devidas limitações das palavras-chave quando pesquisada na base de dados.

A partir do tema escolhido, foram definidos três principais eixos de pesquisa (dissipador de calor, otimização/simulação e placas fotovoltaicas), com base no interesse e foco do estudo. Esses eixos de pesquisa foram incorporados na frase de busca por meio de conectivos e caracteres coringa, como os conectivos **OR**, **AND**, **NOT**, e o caractere \*

Da busca inicial com a frase de pesquisa, outros filtros foram aplicados, como: tipo de publicação restrito apenas para artigos científicos e artigos de revisão, ano de publicação limitado para os últimos 5 anos, isto é, de 2018 a 2022. Sendo, posteriormente, necessária uma análise do grupo resultante quanto ao alinhamento do título e resumo com os eixos de pesquisa.

Em seguida, o conjunto de artigos foi submetido ao método baseado no *Proknow-C*, perpassando as etapas a seguir:

- I. Aplicação do Princípio de Pareto;
- II. Repescagem de artigos recentes e que não tiveram tempo suficiente para serem citados. Neste caso, foram considerados artigos publicados no ano de 2022 e com a concordância do título e resumo com a área de pesquisa;
- III. Repescagem por autores: foram selecionados artigos que não tiveram número de citação considerável e não são artigos recentes, porém são de autores relevantes dentro do tema;
- IV. Análise da quantidade de artigos publicados por ano;
- V. Análise de países que mais publicaram artigos;
- VI. Análise dos principais periódicos e
- VII. Análise dos principais autores.

Para auxiliar na análise bibliométrica, o referencial foi submetido a uma análise de redes, feita por meio do *software VOSviewer*, utilizando a contagem de ocorrências de palavras-chave e cocitações entre os trabalhos selecionados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O banco de artigos brutos foi obtido por meio da pesquisa feita na base de dados *Web of Science*. Diante disso, a Tabela 1 apresenta os quantitativos do referido banco e subsequentes filtros aplicados; em que a frase de pesquisa estabelecida foi ("heatsink\*"OR "heat sink\*"OR "heatexchang\*"OR "heat transfer") AND ("optimi\*"OR "simulation"OR "CFD") AND ("photovoltaic\*"OR "pv panel").

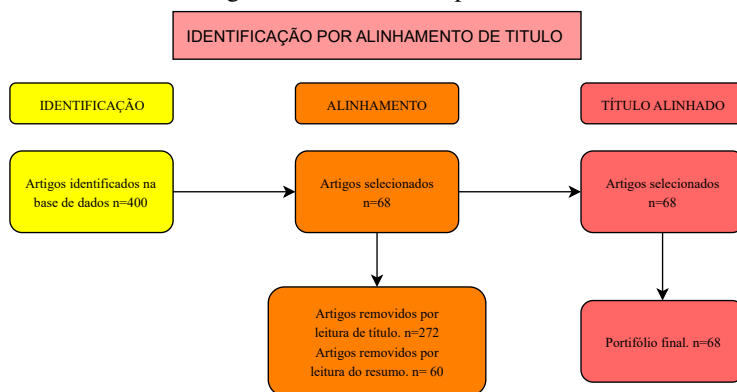
Tabela 1. Frase de pesquisa e filtros

Data da busca	Frase de pesquisa	Filtros	Número de artigos
21/10/2022	("heatsink*"OR "heat sink*"OR "heatexchang*"OR "heat transfer") AND ("optimi*"OR "simulation"OR "CFD") AND ("photovoltaic*"OR "pv panel")	Sem filtros	983
21/10/2022	("heatsink*"OR "heat sink*"OR "heatexchang*"OR "heat transfer") AND ("optimi*"OR "simulation"OR "CFD") AND ("photovoltaic*"OR "pv panel")	Ano: 2018, 2019, 2020, 2021, 2022	477
21/10/2022	("heatsink*"OR "heat sink*"OR "heatexchang*"OR "heat transfer") AND ("optimi*"OR "simulation"OR "CFD") AND ("photovoltaic*"OR "pv panel")	Ano: 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 Tipo de arquivo: artigos ou artigos de revisão	400

Fonte: autores (2022).

De posse do conjunto de 400 artigos resultantes da frase de pesquisa e após a aplicação dos filtros, os mesmos foram selecionados por meio de uma análise de compatibilidade do título e do resumo com o tema da pesquisa. Para melhor

Figura 1. Alinhamento por título



Fonte: autores (2022)

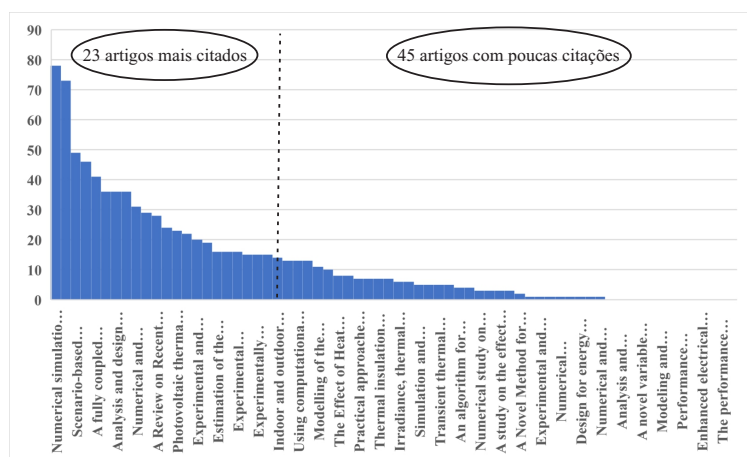
visualizar o processo de seleção e os valores obtidos, um esquema é apresentado na Figura 1 com as respectivas etapas e resultados.

O conjunto final (ou referencial) foi constituído por **68** artigos com títulos e resumos alinhados à pesquisa, sendo 64 artigos de pesquisa (94%) e 4 artigos de revisões (6%). De posse destes, os resultados deste estudo foram divididos em duas partes: a primeira, relacionada aos resultados quantitativos da análise bibliométrica e, a segunda parte, apresentando os resultados da análise de rede realizada com o *VOSviewer*.

#### 4.1 Aplicação do Princípio de Pareto

Inicialmente, foi aplicado o Princípio de Pareto para identificar os artigos mais relevantes sobre o tema de pesquisa. Seguindo o parâmetro de que os trabalhos que concentraram 80% das citações acumuladas são os mais relevantes, verificou-se que 33,8% dos artigos analisados correspondem a essa parcela. A Figura 2 apresenta o início dos nomes dos artigos e a aplicação do Princípio de Pareto.

Figura 2. Total de citações de cada trabalho

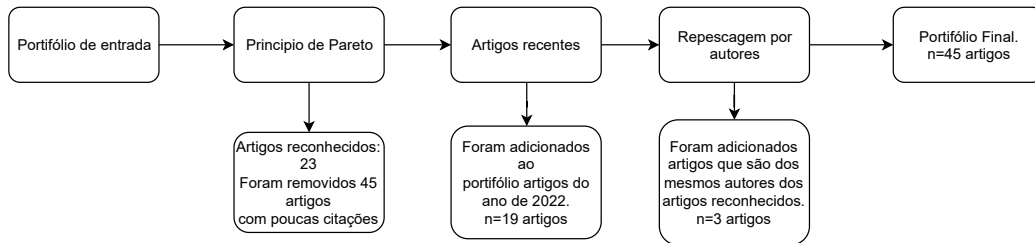


Fonte: autores (2022).

Com base na identificação do artigo de corte, foi possível selecionar 23 artigos que acumularam 80% ou mais das citações, considerados mais relevantes para a pesquisa, conforme o Princípio de Pareto. Os artigos não selecionados nesse processo foram avaliados pela etapa "Repescagem de artigos recente" e que parte da suposição de que esses trabalhos não foram citados devido ao baixo tempo decorrido desde as datas de publicação. Vale ressaltar que foram considerados como artigos recentes apenas aqueles publicados em 2022 e, dessa forma, foram adicionados 19 artigos.

Posteriormente, foi realizada a "Repescagem por autores", em que o processo constituiu em selecionar outros artigos dos autores reconhecido pelo Princípio de Pareto e adicionar ao conjunto de artigos final. Dessa forma, foram incorporados 3 artigos de alta relevância ao tema. Constituinte ao final, um total de 45 artigos e, para melhor visualizar as etapas e o número de artigos selecionados, é apresentado o esquema na Figura 3.

Figura 3. Processo para obtenção do referencial final

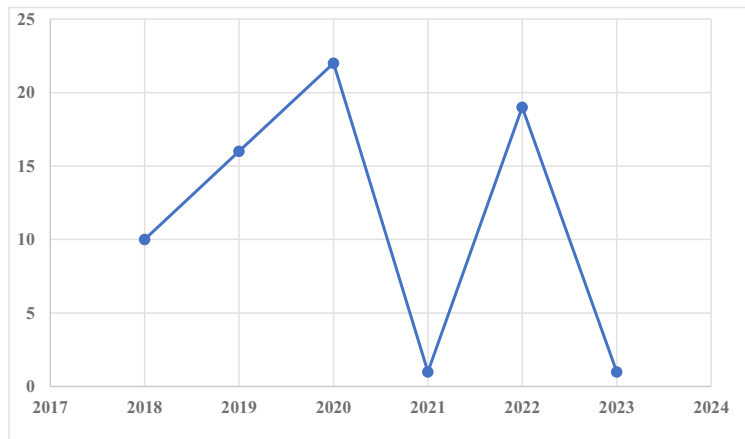


Fonte: autores (2022)

## 4.2 Análise Bibliométrica

Considerando o espaço temporal de 2018 a 2022 no conjunto antes da aplicação do critério de Pareto, os trabalhos selecionados estão distribuídos pelo ano de publicação conforme a Figura 4.

Figura 4. Publicações por ano

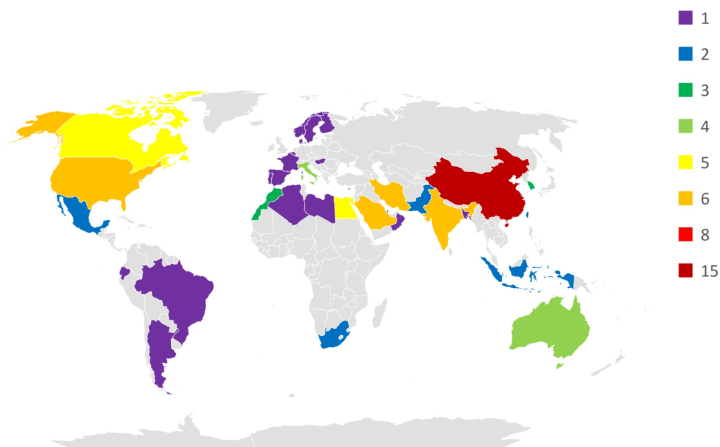


Fonte: autores (2022).

Nota-se que de 2018 a 2020, ocorreu um aumento de artigos publicados e que representaria um aumento do interesse científico no tema de pesquisa. Em 2021, apenas 1 artigo estava presente no conjunto selecionado, redução esta que se supõe estar relacionada com o impacto da Pandemia do *Covid-19* na produção científica. Já no ano de 2022, notou-se quantitativo de publicações semelhantes a 2019 e 2020, contendo 19 artigos publicados até 21/10/2022 e, destaca-se o fato de 1 artigo analisado ter previsão de ser publicado no ano 2023.

Ao se analisar a distribuição dos artigos com relação ao país de origem da pesquisa publicada, é possível estruturar um mapa conforme a Figura 5.

Figura 5. Número de publicações por países

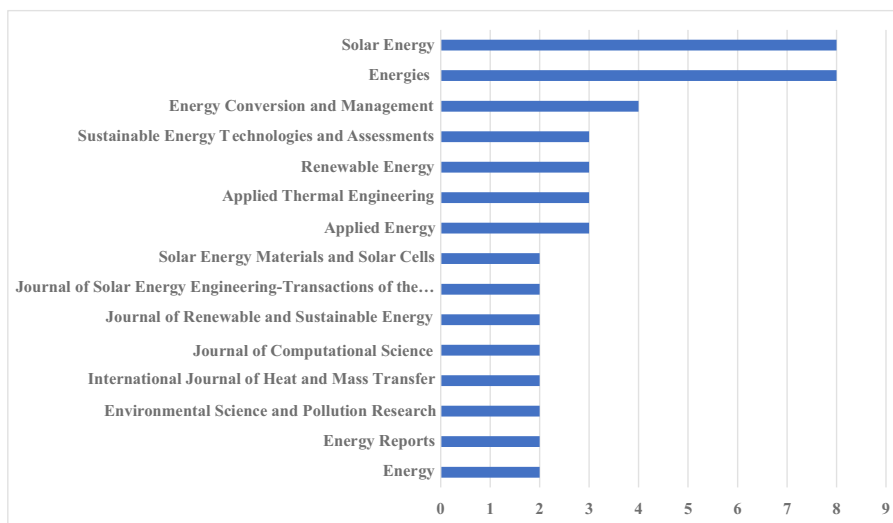


Fonte: autores (2022).

Destaca-se a China como o país com o maior número de publicações (15 artigos). Em seguida Índia, Irã e Estados Unidos, cada um com 6 publicações e o Brasil apresentou apenas 1 publicação no conjunto selecionado de artigos e demonstra espaço para que novos trabalhos na área sejam desenvolvidos.

Outra análise de interesse bibliométrico consiste na avaliação dos periódicos de maior número de publicações, sendo, neste caso, obtido um total de 31 periódicos. A Figura 6 apresenta apenas aqueles com 2 ou mais publicações.

Figura 6. Publicações por periódicos

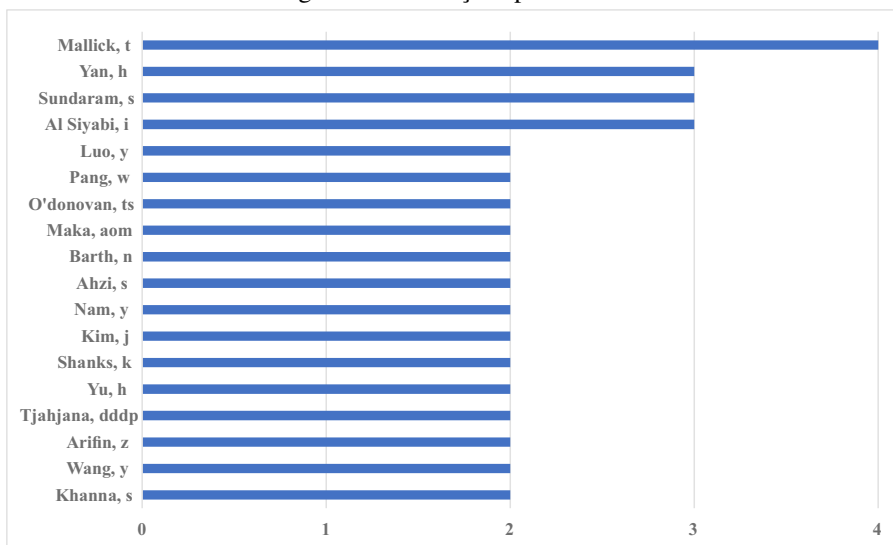


Fonte: autores (2022).

Os periódicos que mais se destacaram pelo número de publicações são *Solar Energy* (Fator de impacto *JCR* de 7,188, em 2020) e *Energies* (Fator de impacto *JCR* de 3,252, em 2021) com 8 publicações cada. Em seguida, o periódico *Energy conversion and Management* (Fator de impacto *JCR* de 11,533, em 2022) apresentou 4 publicações e os demais periódicos com 3 ou menos artigos publicados.

Quanto aos autores que publicaram os artigos analisados, obteve-se um total de 255 pesquisadores, dentre autores e coautores e, para analisar possível correlação entre trabalhos publicados, avaliou-se a repetição dos autores em outros artigos do referencial final. A Figura 7 mostra apenas os autores que publicaram 2 ou mais artigos e o que resultou em um grupo de 18 autores que, ao longo dos 5 anos analisados, publicaram trabalhos relevantes ao tema de pesquisa.

Figura 7. Publicações por autores



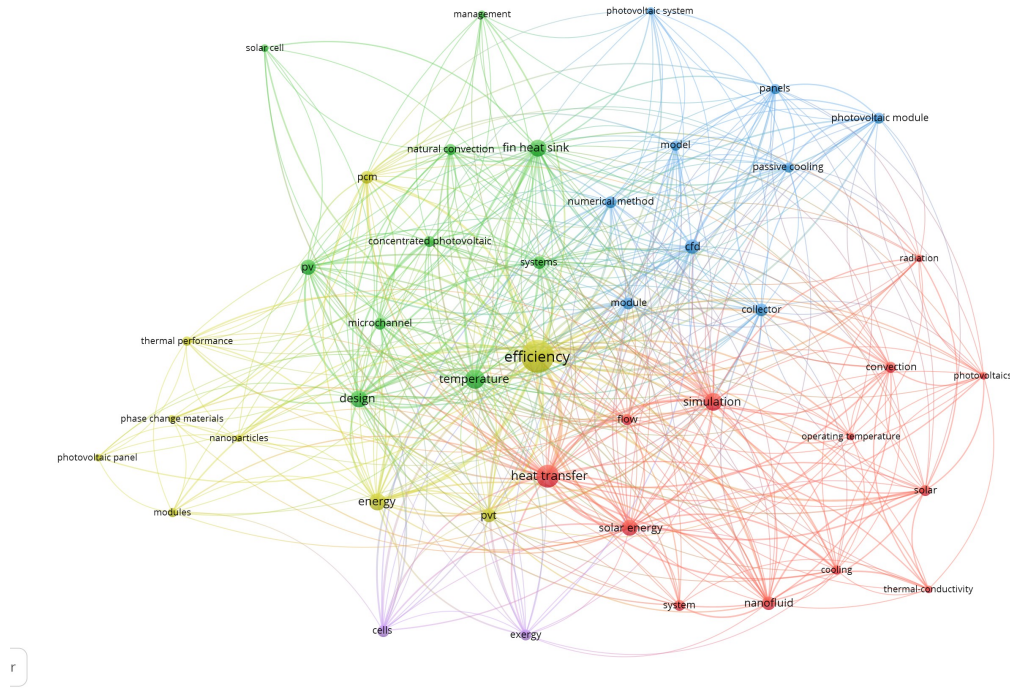
Fonte: autores (2022)

Nota-se que o autor com maior número de publicações foi *Tapas Mallick*, com 4 publicações, e, em seguida, *Han Yan*, *Senthilarasu Sundaram* e *Idris Al Siyabi*, cada um com 3 publicações cada.

A análise de rede se baseou nas palavras-chave utilizadas pelos artigos, para direcionar os principais termos empregados, as ligações entre elas e possíveis tendências de estudos. O tipo de análise foi por contagem de ocorrência das

palavras-chave e a Figura 8 apresenta a rede de palavras-chave que foram mencionadas pelo menos 3 vezes.

Figura 8. Rede de palavras-chave



Fonte: autores (2022)

O termo de maior ocorrência foi *efficiency*, justificado pelo foco neste durante a construção da frase de pesquisa. Ademais, palavras como *design*, *nanofluid* e *microchannel* apareceram conectadas com *efficiency*, indicando tendência com a utilização de metodologias de melhorias no desenho de dissipadores de calor, utilização de nanofluidos e microcanais para aumento da eficiência energética das placas fotovoltaicas. Os termos *pcm* e *pvt* também apresentaram ocorrência significativa e poderiam demonstrar possíveis focos de estudos no aumento da eficiência destes equipamentos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi apresentar a análise bibliométrica relacionando os temas de Técnicas de Resfriamento de Placas Fotovoltaicas no contexto de Simulação Computacional e Aumento de Eficiência Energética. A partir da pesquisa na base de dados escolhida e por meio da frase de pesquisa, um total de 983 artigos foram obtidos, sendo posteriormente filtrados e resultando num grupo de 400 artigos com 5 anos ou menos desde sua data de publicação. Destes, 68 artigos foram considerados com títulos e resumos concordantes com o foco da pesquisa e foram submetidos à metodologia *Proknow-C*.

Ao final das etapas de filtragem propostas pelo *Proknow-C*, o referencial final foi constituído de 45 artigos e parâmetros bibliométricos foram analisados. Com relação às publicações por ano, não foi possível constatar aumento ou diminuição no interesse pelo tema pesquisa. Sendo dentre os países que apresentaram maior número de publicações, destacaram-se Estados Unidos, China e Índia, os quais também apresentam elevada demanda energética.

Quanto à análise dos periódicos e autores, destacaram-se os periódicos *Solar Energy*, *Energies* e *Energy conversion and Management* como os que possuíam o maior número de artigos publicados no tema pesquisado, ao passo que também apresentaram elevados fatores de impacto *JCR* associados. Também foi verificada a contribuição significativa de Tapas Mallick como sendo o autor ou coautor do maior número de artigos no referencial. Por fim, tendências foram levantadas quanto ao aumento de eficiência de placas fotovoltaicas, como o uso de nanofluidos, microcanais, *pvt* e *pcm*.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da Universidade Federal do Oeste da Bahia.



## 7. REFERÊNCIAS

- Arularasan, R. and Velraj, R., 2010. “Modeling and simulation of a parallel plate heat sink using computational fluid dynamics”. *International journal of advanced manufacturing technology*, Vol. 51, No. 1-4, pp. 415–419. ISSN 0268-3768.
- Bana e Costa, C.A., Ensslin, L., Émerson C. Cornêa and Vansnick, J.C., 1999. “Decision support systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 113, No. 2, pp. 315–335. ISSN 0377-2217. doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00219-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00219-7). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221798002197>.
- Brito, M.C. and Silva, J.A., 2006. “Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade”. *O instalador*, Vol. 25, No. 676, p. 07.
- Empresa de Pesquisa Energética, 2022. “Balanço energético nacional (ben) 2022: Ano base 2021”. URL <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>.
- Ensslin, L., Dutra, A., Ensslin, S.R., Chaves, L.C. and Dezem, V., 2015. “Research process for selecting a theoretical framework and bibliometric analysis of a theme: Illustration for the management of customer service in a bank”. *Modern Economy*, Vol. 6, No. 06, p. 782.
- Glänzel, W. and Schoepflin, U., 1999. “A bibliometric study of reference literature in the sciences and social sciences|parts of this study have been presented at the 5th international conference on scientometrics and informetrics, held in river forest, illinois, june 7–10, 1995.1”. *Information Processing & Management*, Vol. 35, No. 1, pp. 31–44. ISSN 0306-4573. doi:[https://doi.org/10.1016/S0306-4573\(98\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S0306-4573(98)00028-4). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306457398000284>.
- Guedes, G.B., Paganin, L.B.Z. and Borsato, M., 2018. “Bibliometric and systemic analysis on material flow mapping and industrial ecosystems”. *Journal of Industrial Integration and Management*, Vol. 03, No. 04, p. 1850001. doi:10.1142/S242486221850001X. URL <https://doi.org/10.1142/S242486221850001X>.
- Hernandez-Perez, J., Carrillo, J., Bassam, A., Flota-Banuelos, M. and Patino-Lopez, L., 2020. “A new passive pv heatsink design to reduce efficiency losses: A computational and experimental evaluation”. *Renewable Energy*, Vol. 147, pp. 1209–1220. ISSN 0960-1481. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.088>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119314193>.
- Koch, R., 2015. *O princípio 80/20: Os segredos para conseguir mais com menos nos negócios e na vida*. Gutemberg, 1st edition.
- Lima, F. and Gomes, R., 2020. “Conceitos e tecnologias da indústria 4.0: uma análise bibliométrica”. *Revista Brasileira de Inovação*, Vol. 19, p. e0200023. doi:10.20396/rbi.v19i0.8658766.
- Nižetić, S., Giama, E. and Papadopoulos, A., 2018. “Comprehensive analysis and general economic-environmental evaluation of cooling techniques for photovoltaic panels, part ii: Active cooling techniques”. *Energy conversion and management*, Vol. 155, pp. 301–323. ISSN 0196-8904.
- Nwagwu, W.E., 2015. “Research methodology: A step-by-step guide for beginners”. *Journal of Education and Practice*, Vol. 6, No. 6, pp. 30–37.
- Villalva, M.G., 2012. *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. Editora Érica, São Paulo-SP, 2nd edition.

## 8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.