

***Cool Materials* e o efeito das Ilhas de Calor: um levantamento bibliométrico**

**Rodrigo Borges Nascimento Guedes**

Mestrando, PUCCAMP, Brasil  
rodrigobnguedes@gmail.com

**Marina Lavorato**

Professora Doutora, PUCCAMP, Brasil  
marina.oliveira@puc-campinas.edu.br

**Cláudia Cotrim Pezzuto**

Professora Doutora, PUCCAMP, Brasil  
claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br

## RESUMO

Um problema atual desencadeado por fatores antropológicos que muitas cidades do mundo enfrentam é o aumento da temperatura nos centros urbanos causado pelas ilhas de calor. É constante a proposta de medidas para diminuição desses efeitos, que podem ser nocivos para a saúde e bem estar da população. Diante disto, o intuito deste trabalho é a realização de um levantamento bibliométrico para analisar os documentos publicados sobre materiais frios referentes aos efeitos de mitigação das ilhas de calor e entender sua origem e possíveis motivos que levaram ao estudo deste tema. A partir da base SCOPUS, buscando por “Cool Material AND (Albedo OR Reflectance) AND Heat Island”, foram selecionados os documentos científicos (área de engenharia) publicados entre 1995 até 2021 sendo analisados: os tipos de documentos, sua origem, o ano de publicação, os principais autores e os periódicos em que foram publicados. Energy and Buildings e Building and Environment foram os dois principais periódicos sobre o tema. O ano de 1995 teve o primeiro artigo publicado e coincidiu com o ano da primeira Conferência das Partes (COP1), sobre mudança do clima. Através de um levantamento bibliométrico é possível compreender a importância do início desta linha de pesquisa e que eventos climáticos podem desencadear o interesse e trazer o olhar científico para determinada área. Porém, por se tratar de um estudo de apenas uma base, a pesquisa, apesar de trazer boas informações, ainda necessita de atualizações constantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais frios, ilhas de calor, refletância.

## INTRODUÇÃO

Além de fenômenos meteorológicos, a ação do homem também é grande responsável pelas mudanças climáticas e essa discussão vem tomando cada vez mais importância. Segundo a Organização meteorológica mundial, a década entre 2011 e 2020 foi a mais quente do mundo, sendo o ano de 2016 o mais quente, seguido por 2020 e 2019 (ONU NEWS, 2020).

A redução de vegetação a nível urbano junto à grande quantidade de superfícies com baixo nível de albedo eleva a temperatura das cidades no verão, sendo um dos fatores responsáveis pela ocorrência do efeito de ilhas de calor nos grandes centros urbanos. Isso acontece porque a redução do albedo, junto à remoção da vegetação, eleva o ganho de calor da superfície, conseqüentemente, aumentando sua temperatura superficial (ROSENFELD et al., 1995).

Essa elevação da temperatura do ar urbana acarreta maior consumo de eletricidade para refrigeração dos ambientes internos, o que ocasiona também o aumento na demanda energética nos horários de pico. Outro ponto negativo são os efeitos na qualidade do ar. O aumento na demanda energética colabora para o aumento da poluição na produção de energia ou o aumento na temperatura ambiente, que ocasiona o efeito *smog* (junção das palavras em inglês *smoke* e *fog*, que significam fumaça e neblina). Uma das medidas para reduzir ou inverter esse efeito é tornar as cidades mais arborizadas e aumentar o albedo das superfícies (ROSENFELD et al., 1995).

Uma tecnologia que vem sendo utilizada amplamente para reduzir os efeitos das ilhas de calor é o uso de materiais frios, materiais com alta refletância solar e alta emissividade no infravermelho. O uso desses materiais contribui para o aumento do albedo das cidades e é considerado um dos métodos mais promissores para reduzir os efeitos das ilhas de calor nos centros urbanos (SANTAMOURIS et al., 2011).

Existem inúmeros trabalhos sobre o aumento da refletância de superfícies urbanas, como o uso de materiais frios em pavimentos e telhados, por constituírem grande parte da superfície das cidades. Akpınar e Sevin (2018) concluíram que o pavimento feito com asfalto

possui temperatura de superfície mais elevada que o de concreto. O estudo concluiu que plantar árvores nas laterais dos pavimentos ajuda a minimizar esta temperatura superficial, consequentemente, diminuindo a radiação que é liberada pelo pavimento.

Sobre o revestimento de telhados, um estudo com 31 telhas diferentes entre cores e materiais evidenciou o diferente desempenho das mesmas referente à refletância e temperatura superficial. Estes valores variaram de 0,1 até 0,67 em refletância e de 57,1 °C a 96,9 °C enquanto temperatura superficial. A rugosidade dos materiais também mostrou influência nos valores adquiridos (MUNIZ-GÄAL et al., 2018). Portanto, a escolha dos materiais utilizados nas superfícies desempenha papel fundamental na manutenção e mitigação dos efeitos das ilhas de calor que ocorrem nas cidades.

Isso nos mostra como a contribuição científica é essencial para a padronização e disseminação de conhecimentos que serão inseridos no mercado e que trarão consequências positivas para qualidade ambiental urbana.

## **OBJETIVOS**

Este artigo tem o objetivo de realizar o levantamento bibliométrico e analisar os documentos publicados entre os anos de 1995 e 2021 na base SCOPUS, acerca das propriedades reflexivas dos *cool materials*, sua implicação na redução do efeito de ilhas de calor nos centros urbanos e o que pode ter desencadeado o interesse por este tema.

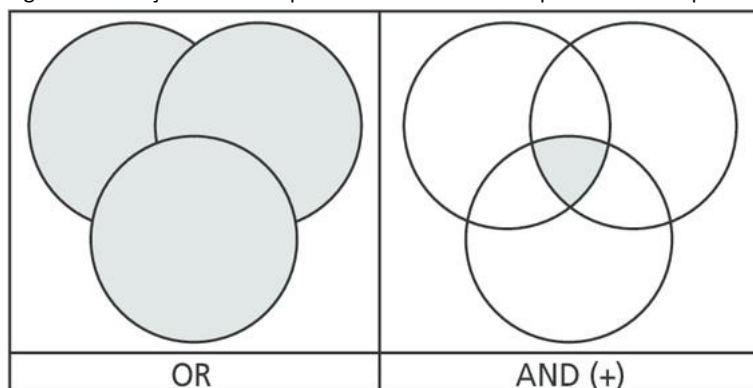
## **METODOLOGIA**

A metodologia proposta por este trabalho consistiu no levantamento de dados na base SCOPUS, sobre os documentos científicos publicados entre os anos de 1995 e 2021 sobre o estudo dos *cool materials* - ou materiais frios -, que são materiais com alta refletância solar e alta emitância de radiação infravermelha, e suas implicações no efeito das ilhas de calor.

O ponto inicial foi a escolha das palavras-chave. Visando buscar o maior número de trabalhos relacionados com materiais frios, porém mantendo a refletância como característica desejada, e seu impacto da mitigação dos efeitos de ilhas de calor, o conjunto de palavras escolhido foi: “Cool Material AND (Albedo OR Reflectance) AND Heat Island”.

A figura 1 mostra a funcionalidade de *AND* e *OR* nas buscas pelos artigos científicos. No caso de *Reflectance* e *Albedo*, foi utilizado a palavra *OR*, pois tanto os artigos que contém a palavra *Albedo*, como os que contém a palavra *refletância* eram de interesse desta pesquisa.

Figura1 -Definição de uso da palavra OR e AND no campo de busca da plataforma SCOPUS.



Fonte: Google, 2021

Com isso, chegou-se ao valor total de 152 documentos científicos publicados na base SCOPUS. Selecionando apenas os documentos da área da engenharia, foi reduzido o resultado para 72 documentos. Os indicadores relevantes para este trabalho foram o tipo de documentos, países de origem, ano de publicação, autores e periódicos em que foram publicados os artigos.

Posteriormente, o artigo com maior número de citações nos últimos 10 anos foi utilizado no site *Connectedpapers.com* para que fosse criada uma rede de artigos relacionados e assim trazer uma ferramenta visual para ajudar na percepção dos principais artigos sobre o tema.

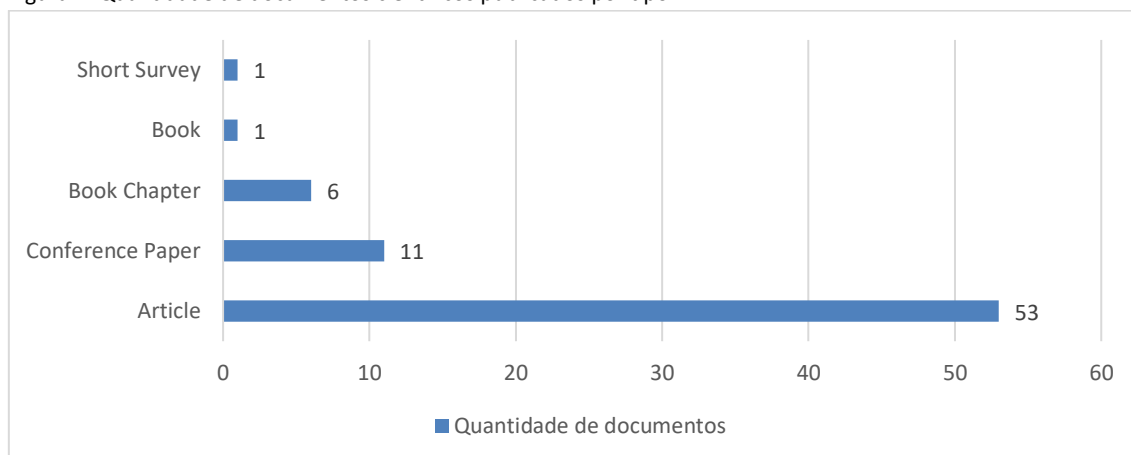
Por fim, foi feita uma nuvem de palavras com os *abstracts* de 38% dos artigos em periódicos mais recentes através de um software online chamado *Word Clouds®* para enfatizar as palavras mais usadas.

## RESULTADOS

Como pode-se observar na figura 2, dos 72 documentos publicados 53 são artigos de periódicos, correspondendo a 74% de todos os documentos, seguidos de 11 *conference papers* (15%), 6 capítulos de livros (8%), 1 livro (1%) e 1 pequena pesquisa (1%).

Cada artigo traz uma perspectiva diferente sobre o tema. Nos últimos 5 anos encontram-se estudos com diferentes abordagens quanto à aplicação destes materiais em diferentes superfícies, como em pavimentos (HENDEL et al., 2018, ANTING et al., 2018 e 2017), telhados (FABIANI et al., 2019), o desenvolvimento de pigmentos reflexivos (ELAKKIYA e SUMATHI, 2020, ROSSO et al., 2020), e também simulações com o uso de materiais frios através do software ENVI-Met (ZHU et al., 2021, FAHED et al., 2020).

Figura 2: Quantidade de documentos científicos publicados por tipo



Fonte: Produzido pelos autores

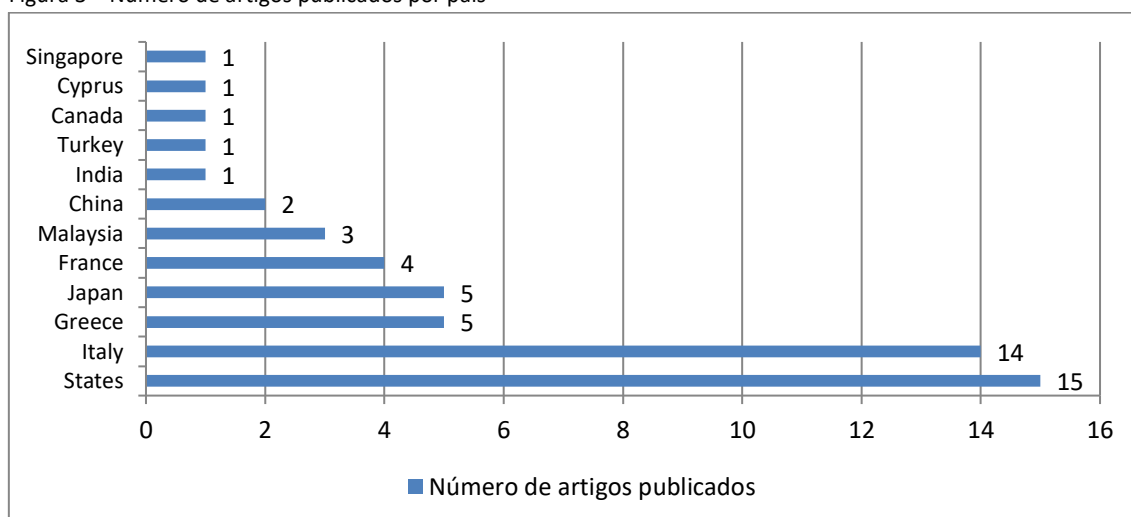
As figuras 3 a 5 foram elaboradas na base de dados gerada a partir destes 53 artigos de periódicos na área de engenharia sobre materiais frios e sua relação com o efeito de ilhas de calor.

A figura 3 mostra que apesar de existirem publicações em 12 países sobre o assunto, os Estados Unidos e Itália lideram o ranking de países que mais publicaram artigos sobre o tema, 15 e 14 artigos, respectivamente. Esses dois países são responsáveis por 55% das publicações sobre o tema. Seguidos da Grécia e Japão com 5 artigos cada.

Como pode-se observar na figura 4, o primeiro artigo foi publicado em 1995. Esse menciona em seu resumo que a busca por medidas de mitigação dos efeitos das ilhas de calor era foco no Plano de Ação para Mudanças Climáticas do Presidente Clinton nos Estados Unidos (ROSENFELD et al., 1995). Essa preocupação evidente na pauta de um presidente desde 1995 pode ser um dos motivos que faz dos Estados Unidos o país com o maior número de pesquisas publicadas sobre o assunto.

Dos 15 artigos publicados pelos Estados Unidos ao longo dos anos destaca-se a quantidade de artigos sobre pavimentos na vertente de materiais frios, totalizando 8 documentos e correspondendo a 53% do total (ROSSO et al., 2017, SREEDHAR e BILIGIRI, 2016, LI et al., 2013, HASELBACH et al., 2011, WATHNE, 2010, TRAN et al., 2009, BORIBOONSOMSIN e REZA, 2007, GUI et al., 2007). Enquanto isso, a prioridade das publicações da Itália são os materiais retro reflexivos e suas diferentes aplicações, contabilizando 6 dos 14 artigos (CASTELLANI et al., 2020 e 2017, MORINI et al., 2018 e 2017, ROSSI et al., 2016 e 2014).

Figura 3 – Número de artigos publicados por país

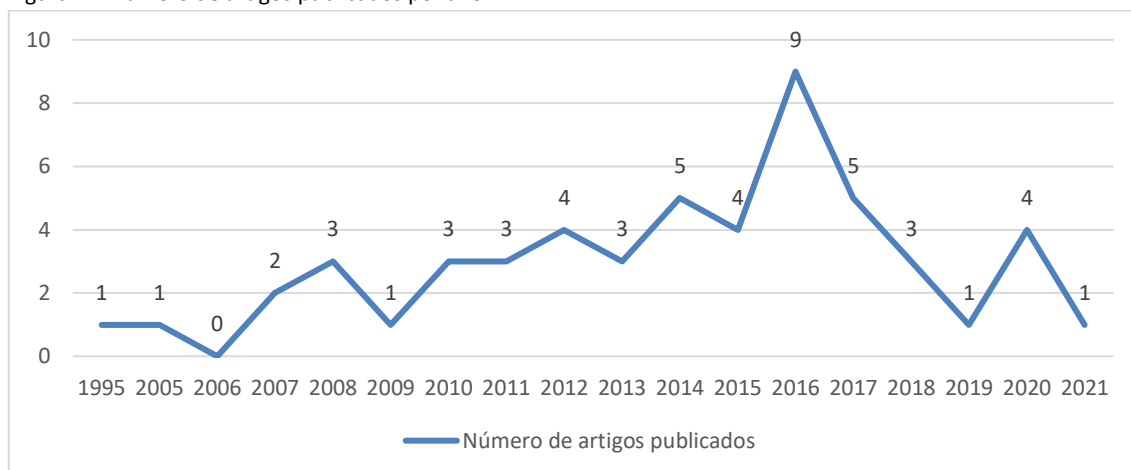


Fonte: Produzido pelos autores

Outro destaque para 1995, foi a primeira Conferência das partes (COP 1). A conferência, que aconteceu em Berlim, contou com a participação de 117 países e teve inúmeras horas de negociação entre todas as partes para que chegassem ao objetivo da conferência, a definição dos compromissos para a mitigação dos efeitos do aquecimento global (CARPENTER et al., 1995). Com isso, nota-se que a preocupação pelas mudanças climáticas começou a marcar a agenda de vários países do mundo e de seus representantes.

Observa-se que o ano de 2016 lidera com 9 artigos publicados sobre o assunto, sendo o uso de *cool materials* em telhados o tema mais recorrente, com um total de 4 artigos (ANTONAI et al., 2016, MASTRAPOSTOLI et al., 2016, PISELLO et al., 2016, ROMAN et al., 2016). Este pico de publicações pode ser explicado pelo fato do ano de 2015-2016 ter sido considerado o mais quente da história. O fenômeno *El Niño* de 2015-2016 foi definido como um dos mais fortes desde 1950, junto com os que começaram a ocorrer em 1997 e 1982, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) (MARTINEZ et al., 2017). O que voltou os olhares e aumentou o interesse para esta linha de pesquisa. O número de artigos publicados acaba sendo uma constante pelo assunto ser de interesse mundial durante todo o período, mas é claramente influenciado por fatos pontuais, referentes às mudanças climáticas, que preocupam e atraem todos os olhares mundiais.

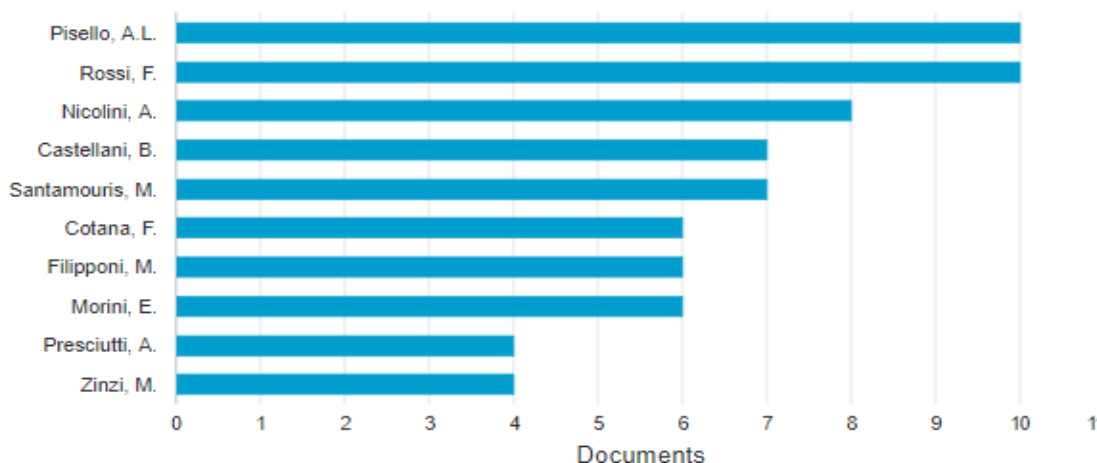
Figura 4 – Número de artigos publicados por ano



Fonte: Produzido pelos autores

É possível observar na figura 5 os autores que mais publicaram na plataforma SCOPUS sobre o tema pesquisado. O top 5 é composto por, Pisello, A. L. e Rossi, F. com 10 artigos, Nicolini, A. com 8 artigos, seguido de Castellani, B. e Santamouris, M. com 7 artigos cada.

Figura 5 – Número de artigos publicados por autor

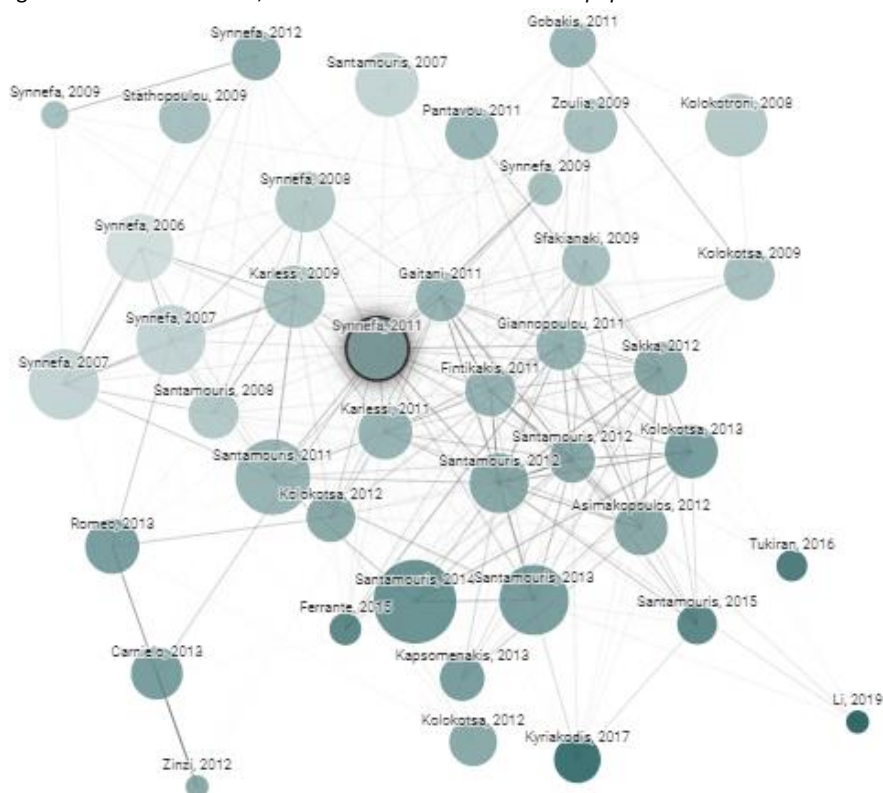


Fonte: SCOPUS, 2021

Por meio da ferramenta online *Connectedpapers* (CONNECTEDPAPERS, 2021), pesquisando pelo artigo com maior número de citações (172) (SYNNEFA et al., 2011), nos últimos 10 anos, foi possível encontrar os artigos mais conectados com o pesquisado através do algoritmo utilizado pelo próprio website.

Na figura 6 os círculos representam artigos, sua coloração é relacionada com o ano de sua publicação, sendo os tons mais escuros para os artigos mais recentes. O tamanho das esferas está relacionado com o número de vezes que o artigo foi citado por outros artigos científicos. Comparando a figura 5 e 6, percebe-se que apesar de ocupar a 5ª colocação na base SCOPUS, como autor com mais artigos publicados, Santamouris, M. aparece em grande quantidade de artigos nesta rede de conexões, entre outros nomes que se repetem.

Figura 6 – Artigos com fortes conexões, criado através do site *Connectedpapers*



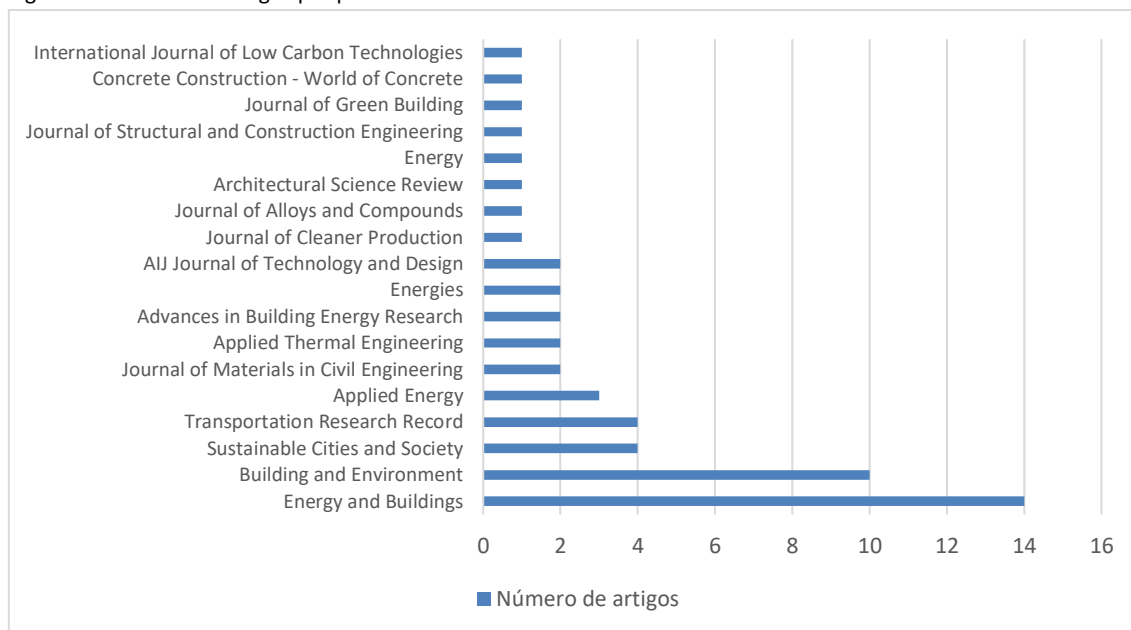
Fonte: Adaptado Connectedpapers, 2021

Esta ferramenta tem grande funcionalidade, pois nos traz de forma visual, fácil entendimento sobre a importância de certos artigos nesta linha de pesquisa.

Observando a figura 7, facilmente identifica-se os dois periódicos mais relevantes em quantidade de publicações quando se fala sobre *cool materials* e *heat island: Energy and Buildings* liderando com 14 dos 53 artigos analisados e em segundo lugar *Building and Environment*, com 10 artigos em sua base. As duas revistas juntas representam mais de 45% das publicações.



Figura 7 – Número de artigos por periódicos



Fonte: Produzido pelos autores

Observando a nuvem de palavras formada por todas as palavras dos abstracts dos últimos 20 artigos selecionados, diferenciando singular de plural, vemos as principais menções nos artigos (figura 8). Entre as palavras mais mencionadas, “cool” (99 vezes), “materials” (98 vezes), “reflectance” (71 vezes), “Heat” (61 vezes) e “Island” (38 vezes) consistem nas próprias palavras escolhidas para a busca dos artigos e sintetizam a ideia principal do tema. A palavra “urban” foi a palavra mais mencionada nos textos, 130 vezes, o que nos remete ao local de ocorrência das ilhas de calor, sendo este um problema de grandes centros urbanos. Quando avançamos um pouco mais, encontramos “surface” (66 vezes), “pavement” (59 vezes) e “roof” (57 vezes) sendo superfícies estudadas e exemplos de interesse das pesquisas. Observando os documentos, a preocupação em relacionar o uso dos *cool materials* com consumo de energia e conforto térmico, o efeito da refletância dos materiais na temperatura das superfícies, a busca por opções de materiais para serem utilizados como telhados e pavimentos frios são alguns dos pontos mais frequentes nos assuntos dos artigos.



## REFERÊNCIAS

- Akpınar M.V., Sevin S. (2018) **Reducing Urban Heat Islands by Developing Cool Pavements**. In: Nižetić S., Papadopoulos A. (eds) *The Role of Exergy in Energy and the Environment*. Green Energy and Technology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-89845-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-89845-2_4)
- Anting, N., Din, M. F. M., Iwao, K., Ponraj, M., Siang, A. J. L. M., Yong, L. Y., & Prasetijo, J. (2018). **Optimizing of near infrared region reflectance of mix-waste tile aggregate as coating material for cool pavement with surface temperature measurement**. *Energy and Buildings*, 158, 172-180. doi:10.1016/j.enbuild.2017.10.001
- Anting, N., Md. Din, M. F., Iwao, K., Ponraj, M., Jungan, K., Yong, L. Y., & Siang, A. J. L. M. (2017). **Experimental evaluation of thermal performance of cool pavement material using waste tiles in tropical climate**. *Energy and Buildings*, 142, 211-219. doi:10.1016/j.enbuild.2017.03.016
- Antonaia, A., Ascione, F., Castaldo, A., D'Angelo, A., De Masi, R. F., Ferrara, M., . . . Vitiello, G. (2016). **Cool materials for reducing summer energy consumptions in mediterranean climate: In-lab experiments and numerical analysis of a new coating based on acrylic paint**. *Applied Thermal Engineering*, 102, 91-107. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.03.111
- Boriboonsomsin, K., & Reza, F. (2007). **Mix design and benefit evaluation of high solar reflectance concrete for pavements**. doi:10.3141/2011-02
- Carpenter, C., Chasek, P., Cherian, A., & Wise, S. (1995). **Conference of the Parties for the Framework Convention on Climate Change : Earth Negotiations Bulletin**, 12(21), 1–11.
- Castellani, B., Gambelli, A. M., Nicolini, A., & Rossi, F. (2020). **Optic-energy and visual comfort analysis of retro-reflective building plasters**. *Building and Environment*, 174 doi:10.1016/j.buildenv.2020.106781
- Castellani, B., Morini, E., Anderini, E., Filipponi, M., & Rossi, F. (2017). **Development and characterization of retro-reflective colored tiles for advanced building skins**. *Energy and Buildings*, 154, 513-522. doi:10.1016/j.enbuild.2017.08.078
- Connectedpapers, 2021. **Connected Papers** | Find and explore academic papers. [online] Disponível em: <<https://www.connectedpapers.com/>> Acesso em: 30 de mar. 2021.
- Elakkiya, V., & Sumathi, S. (2020). **Ce and fe doped gahnite: Cost effective solar reflective pigment for cool coating applications**. *Journal of Alloys and Compounds*, 820 doi:10.1016/j.jallcom.2019.153174
- Fabiani, C., Pisello, A. L., Bou-Zeid, E., Yang, J., & Cotana, F. (2019). **Adaptive measures for mitigating urban heat islands: The potential of thermochromic materials to control roofing energy balance**. *Applied Energy*, 247, 155-170. doi:10.1016/j.apenergy.2019.04.020
- Fahed, J., Kinab, E., Ginestet, S., & Adolphe, L. (2020). **Impact of urban heat island mitigation measures on microclimate and pedestrian comfort in a dense urban district of lebanon**. *Sustainable Cities and Society*, 61 doi:10.1016/j.scs.2020.102375
- Google, 2021. **Google Search**. [online] Disponível em: <<https://www.google.com.br/>> Acesso em: 01 de mar. 2021.
- Gui, J. G., Carlson, J., Phelan, P. E., Kaloush, K. E., & Golden, J. S. (2007). **Impact of pavement thickness on surface diurnal temperatures**. *Journal of Green Building*, 2(2), 121-130. doi:10.3992/jgb.2.2.121
- Haselbach, L., Boyer, M., Kevern, J. T., & Schaefer, V. R. (2011). **Cyclic heat island impacts on traditional versus**

pervious concrete pavement systems. doi:10.3141/2240-14

Hendel, M., Parison, S., Grados, A., & Royon, L. (2018). **Which pavement structures are best suited to limiting the UHI effect? A laboratory-scale study of parisian pavement structures.** *Building and Environment*, 144, 216-229. doi:10.1016/j.buildenv.2018.08.027

Li, H., Harvey, J., & Kendall, A. (2013). **Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance.** *Building and Environment*, 59, 536-546. doi:10.1016/j.buildenv.2012.10.014

Martínez, R., Zambrano, E., Nieto López, J. J., Hernández, J., & Costa, F. (2017). **Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina.** *Investigaciones Geográficas*, 68, 65. <https://doi.org/10.14198/ingeo2017.68.04>

Mastrapostoli, E., Santamouris, M., Kolokotsa, D., Vassilis, P., Venieri, D., & Gompakis, K. (2016). **On the ageing of cool roofs: Measure of the optical degradation, chemical and biological analysis and assessment of the energy impact.** *Energy and Buildings*, 114, 191-199. doi:10.1016/j.enbuild.2015.05.030

Morini, E., Castellani, B., Anderini, E., Presciutti, A., Nicolini, A., & Rossi, F. (2018). **Optimized retro-reflective tiles for exterior building element.** *Sustainable Cities and Society*, 37, 146-153. doi:10.1016/j.scs.2017.11.007

Morini, E., Castellani, B., Presciutti, A., Filipponi, M., Nicolini, A., & Rossi, F. (2017). **Optic-energy performance improvement of exterior paints for buildings.** *Energy and Buildings*, 139, 690-701. doi:10.1016/j.enbuild.2017.01.060

Muniz-Gäal, L. P., Pezzuto, C. C., Carvalho, M. F. H. de, & Mota, L. T. M. (2018). **Eficiência térmica de materiais de cobertura.** *Ambiente Construído*, 18(1), 503-518. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100235>

ONU News, 2020. **Mundo teve a década mais quente da história entre 2011 e 2020, diz OMM.** [online] Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/12/1737272>> Acesso em 01 de mar. 2021.

Pisello, A. L., Castaldo, V. L., Pignatta, G., Cotana, F., & Santamouris, M. (2016). **Experimental in-lab and in-field analysis of waterproof membranes for cool roof application and urban heat island mitigation.** *Energy and Buildings*, 114, 180-190. doi:10.1016/j.enbuild.2015.05.026

Roman, K. K., O'Brien, T., Alvey, J. B., & Woo, O. (2016). **Simulating the effects of cool roof and PCM (phase change materials) based roof to mitigate UHI (urban heat island) in prominent US cities.** *Energy*, 96, 103-117. doi:10.1016/j.energy.2015.11.082

Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D., & Taha, H. (1995). **Mitigation of urban heat islands : materials , utility programs , updates.** *Energy and Buildings*, 22, 255-265.

Rossi, F., Castellani, B., Presciutti, A., Morini, E., Anderini, E., Filipponi, M., & Nicolini, A. (2016). **Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons.** *Energy and Buildings*, 126, 340-352. doi:10.1016/j.enbuild.2016.05.036

Rossi, F., Pisello, A. L., Nicolini, A., Filipponi, M., & Palombo, M. (2014). **Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model.** *Applied Energy*, 114, 621-631. doi:10.1016/j.apenergy.2013.10.038

Rosso, F., Pisello, A. L., Castaldo, V. L., Fabiani, C., Cotana, F., Ferrero, M., & Jin, W. (2017). **New cool concrete for building envelopes and urban paving: Optics-energy and thermal assessment in dynamic conditions.** *Energy and Buildings*, 151, 381-392. doi:10.1016/j.enbuild.2017.06.051

Santamouris, M., Synnefa, A., & Karlessi, T. (2011). **Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions.** *Solar Energy*, 85(12), 3085-3102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>

Scopus, 2021. **Analyze search results.** [online] Disponível em: <<https://www-scopus.ez128.periodicos.capes.gov.br> > Acesso em: 10 de mar. 2021.

Sreedhar, S., & Biligiri, K. P. (2016). **Comprehensive laboratory evaluation of thermophysical properties of pavement materials: Effects on urban heat island.** Journal of Materials in Civil Engineering, 28(7) doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001531

Tran, N., Powell, B., Marks, H., West, R., & Kvasnak, A. (2009). **Strategies for design and construction of high-reflectance asphalt pavements.** doi:10.3141/2098-13

Wathne, L. (2010). **Sustainability and concrete pavements.** Concrete Construction - World of Concrete, 55(12), 23-28.

Wordclouds, 2021. **Free online word cloud generator and tag cloud creator.** [online] Disponível em: <<https://www.wordclouds.com/>> Acesso em: 03 de abr. 2021

Zhu, Z., Zhou, D., Wang, Y., Ma, D., & Meng, X. (2021). **Assessment of urban surface and canopy cooling strategies in high-rise residential communities.** Journal of Cleaner Production, 288 doi:10.1016/j.jclepro.2020.125599