

MATERIAIS INOVADORES NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E CIENCIOMÉTRICA

INNOVATIVE MATERIALS IN CIVIL CONSTRUCTION: BIBLIOMETRIC AND CIENTOMETRICS ANALYSIS

Entrega dos originais à redação
em: 28/12/2022

Editoração em: 15/01/2023

Juan Esteban Rivera-Vélez

Graduado em Engenharia Civil

Sandra Milenea Suarez-Gomez

Graduada em Engenharia Civil

Cristian Camilo Osorio-Gomez

Professor da Universidade Livre Seccional Pereira

Christian Camilo Amariles-Lopez

Professor da Universidade Livre Seccional Pereira

Alejandro Alzate-Buitrago

Professor da Universidade Livre Seccional Pereira

Daniel Aristizabal-Torres

Professor da Universidade Livre Seccional Pereira

Os materiais utilizados na construção civil são dinâmicos, mudam dependendo da época, país e avanços científicos. Dessa forma, esta pesquisa analisou as publicações acadêmicas no mundo sobre materiais inovadores no setor da construção. As análises bibliométrica e cienciométrica aplicaram-se para conhecer a evolução e produção científica, além das tendências e domínios de conhecimento. Os dados obtiveram-se da base de dados Web of Science com um total de 1.190 publicações entre os anos 2001 e 2020, contendo 3.412 autores, 163 periódicos, 71 países ou territórios e 981 instituições. As principais áreas de conhecimentos foram ciências dos materiais, ciências planetárias e da terra. Os países com maior número de publicações em ordem decrescente foram Estados Unidos, Itália, China e Alemanha. Europa se caracterizou por uma grande participação colaborativa entre os países. Atualmente os materiais mais utilizados são concretos, polímeros, fibras, membranas, aço e compósitos reforçados com fibra. O principal autor foi Josef Hegger, em 2018 aconteceram a maior quantidade de publicações (167), a revista mais importante foi Construction and Building Materials. A partir dos resultados concluiu-se que existe informação científica sobre a produção científica ao longo dos anos sobre materiais inovadores no setor da construção. São utilizados resíduos e compostos de polímeros por ser um material novo e altamente sustentável, sintetizando a temperatura do ambiente (23°C). Pode diminuir as perdas de energia dentro dos edifícios, contribuindo assim aos objetivos de desenvolvimento em matéria de energia e mudança climática.

[Palavras-chave: Construção. Mapeamento científico. Materiais inovadores. Inovação tecnológica.]

The materials used in civil construction are dynamic, changing depending on the season, country and scientific advances. In this way, this research analyzed the academic publications in the world about innovative materials in the construction industry. Bibliometric and scientometric analyzes were applied to know the evolution and scientific production, in addition to trends and knowledge domains. Data were obtained from the Web of Science database with a total of 1,190 publications between 2001 and 2020,

containing 3,412 authors, 163 journals, 71 countries or territories and 981 institutions. The main areas of knowledge were material sciences, planetary and earth sciences. The countries with the highest number of publications in descending order were the United States, Italy, China and Germany. Europe was characterized by a great collaborative participation between the countries. Currently, the most used materials are concrete, polymers, fibers, membranes, steel and fiber-reinforced composites. The main author was Josef Hegger, in 2018 there were the most publications (167), the most important magazine was Construction and Building Materials. From the results, it was concluded that there is specific information on the scientific production over the years on innovative materials in the construction industry. Residues and polymer compounds are used as it is a new and highly sustainable material, synthesizing the ambient temperature (23 °C). It can reduce energy losses inside buildings, thus contributing to development goals on energy and climate change.

[Keywords: Construction. Scientific mapping. Innovative materials. Technologic innovation.]

1 INTRODUÇÃO

Pode definir-se inovação como o processo de busca, reconhecimento e implementação de uma nova tecnologia para melhorar a eficiência das funções de uma determinada empresa na área tecnologia que a diferencie das demais indústrias (GHIO CASTILLO, 2006). Processos inovadores são aqueles que geram melhoria na eficiência de um determinado processo construtivo mediante a redução de custos, tempos de construção e/ou melhora na qualidade do produto terminado (GHIO; BASCUÑAN, 2012).

Existe uma crescente preocupação pelos riscos que muitos dos materiais utilizados para a construção possuem, tanto para o meio ambiente como para a saúde. Essa situação tem incentivado a pesquisa por novas alternativas de fabricação desses materiais, inovando e reaproveitando os resíduos.

Os materiais inovadores, especificamente no setor da construção, buscam contribuir ao desenvolvimento sustentável, permitindo a redução de custos, a reutilização de componentes e a diminuição da pegada ecológica. A implementação de resíduos em aplicações de construção representa uma solução eficaz para diversos problemas de gestão de resíduos (ABOUTABIKH; SOLIMAN; EL NAGGAR, 2020).

Uma das indústrias que mais tem contribuído para o aquecimento global e outros fenômenos pela influência antropogenia tem sido a indústria da construção, pelo qual, para garantir o desenvolvimento sustentável é necessário reavaliar aspectos na eficiência dos processos construtivos (OSORIO-GÓMEZ et al., 2020). É evidente que as diversas atividades do setor da construção devem considerar-se e analisar-se ao pensar em desenvolvimento sustentável. De fato, o entorno da construção constitui um dos principais suportes (infraestrutura, edifícios, entre outros) do desenvolvimento econômico. Igualmente, sua construção tem impacto significativo nos recursos (terra, materiais, energia, água, capital humano/social), no entorno da vida e do trabalho (BOURDEAU; HUOVILA; LANTING, 1996).

No conceitual trata-se de entender que essas atividades, que contribuem para resolver problemas urgentes para o ser humano devem ser examinadas em relação ao seu impacto ambiental, social, econômico e técnico. Na busca de não comprometer a capacidade das gerações futuras para resolver seus próprios problemas, ou seja, com o objetivo de alcançar uma arquitetura e construção sustentáveis (ACOSTA, 2009).

O objetivo deste artigo foi realizar uma revisão bibliométrica e cienciométrica da pesquisa global sobre materiais inovadores no setor de construção. Constatou-se a relevância do tema, quantidade de publicações realizadas e sobre quais materiais inovadores. A busca realizou-se na base bibliográfica *Web of Science*, para o período de vinte anos. Os documentos encontrados foram exportados para o *excel* e posteriormente para o *power BI* e *Studio R* onde analisaram-se os seguintes temas: publicações e tendências de crescimento, autores e sua cooperação, análises por países e por área de conhecimento.

2 MATERIAIS INOVADORES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Influências do ambiente empresarial moderno indicam a necessidade de incorporação de conceitos de sustentabilidade na perspectiva do sistema de inovação. A eficiência energética tem apoiado a inovação e que existe uma relação entre sustentabilidade e inovação na indústria da construção. O conceito de inovação demonstra que as empresas da indústria da construção devem ser observadas como parte de um quadro mais amplo – o sistema nacional de inovação (RUŽIČIĆ; MILETIĆ; DOBROTA, 2021).

A indústria da construção baseia-se no processamento de grandes quantidades de materiais não metálicos com diversas composições minerais e propriedades físicas e mecânicas (margas, areias, calcários, granitos, basaltos, arenitos quartzitos, etc.), além de polímeros, metais, madeiras, etc. Esse processamento é acompanhado de custos significativos de material e energia. Os processos de fragmentação e moagem fina de materiais estão entre as principais operações nos processos produtivos existentes e novos; tais processos consomem cerca de 10% de toda a energia produzida globalmente. É por isso que a redução do consumo de energia na fragmentação de materiais é uma tarefa atual (BABAEVSKY; ROMANOVICH; GLAGOLEV, 2018).

O aumento da demanda por moradias leva a consumir mais energia, recursos e matérias-primas que são responsáveis pelo aumento do teor de carbono no ar e que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Atualmente são diversos os impactos ambientais, daí a necessidade de construir com materiais mais sustentáveis que levarão à redução de impactos sobre ambiente. Os desenvolvedores precisam encontrar métodos melhores de projetar seus edifícios, usando materiais mais sustentáveis e disponíveis localmente (MOKAL et al., 2015).

Outro ponto importante é que além das empresas usar materiais de construção inovadores para aumentar a operação eficientemente, os projetos de construção devem determinar corretamente o método de precificação desses novos produtos com foco na demanda do mercado ou dos concorrentes - ofertas e a rentabilidade das vendas (YUDENKO et al., 2019).

São vários os países, cuja indústria de construção, enfrenta o desafio de expandir a produção ao mesmo tempo em que reduz ambiciosamente as emissões de gases de efeito estufa. O carbono incorporado constitui uma proporção crescente das emissões de carbono ao longo da vida e é responsável por uma parcela significativa das emissões totais. Uma estratégia chave de mitigação é aumentar o uso de materiais alternativos com baixo teor de carbono incorporado. Percepções de alto custo, alocação ineficaz de responsabilidades, cultura da indústria e a baixa disponibilidade de dados e referências de carbono em nível de produto e construção constituem barreiras significativas. As oportunidades para superar essas barreiras incluem o envolvimento antecipado de profissionais ao longo da cadeia de suprimentos, uso efetivo de custos de toda a vida e alterações nos documentos de contrato e licitação (GIESEKAM; BARRETT; TAYLOR, 2016).

3 MÉTODO

Os dados utilizados neste estudo foram encontrados na página do *Web of Science* sobre o tema de materiais inovadores. As palavras-chave utilizadas na busca foram *Innovative materials*, *Engineering Civil* e *Construction technology*, o período analisado foi de 2000 até 2020. Os documentos encontrados exportaram-se no formato “bib” e posteriormente analisaram-se nos softwares *excel*, *Power Bi*, *R Studio* e *Vosviewer*. Os tópicos analisados foram: publicações e

tendências de crescimento, autores e sua rede de cooperação, países e instituições que mais publicaram, área de conhecimento, principais autores e palavras-chave. Utilizou-se o software VOSviewer para analisar e visualizar relações entre autores, países, citações e termos. O método de mapeamento permitiu calcular e localizar cada tema em um mapa bidimensional refletindo a similitude e relação dos artigos (Figura 1).

A bibliometria e cienciometria utilizam um conjunto de indicadores que permitem expressar quantitativamente as características bibliográficas do conjunto de documentos estudados, assim como as relações existentes entre essas características (ARDANUY; REY VÁZQUEZ, 2009). A bibliometria é uma subdisciplina da cienciometria que proporciona informação sobre os resultados do processo de pesquisa, volume, evolução, visibilidade e estrutura. Assim, permite avaliar a atividade científica, o impacto da pesquisa e suas fontes (ESCORCIA, 2008).

O método de mapeamento permitiu calcular e localizar cada tema em um mapa bidimensional refletindo a similitude e relação dos artigos. Os elementos indicam-se mediante etiquetas e círculos (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Nessa visualização o tamanho do agrupamento reflete o número de publicações pertencentes, os maiores grupos incluem maior quantidade de publicações, as distancias entre os conglomerados indicam aproximadamente a relação em termos de citações (VAN ECK; WALTMAN, 2013).

Os agrupamentos próximos entre si, tendem a estar mais fortemente relacionados em relação a citações, enquanto os conglomerados mais distantes possuem menor relação. As linhas curvas entre os grupos também indicam relacionamentos, a espessura da linha representa o número de citações. O eixo horizontal e vertical não possuem significado especial (NÚÑEZ-COLÍN; ESCOBEDO-LÓPEZ, 2011). Na análise de redes pode implementar-se a ferramenta de *Biblioshiny*, a qual permitiu analisar tabelas e redes, sendo uma ferramenta flexível, que facilita o trabalho com bases de dados extensas e complexas. Os temas analisados incluem co-citação dos artigos e co-ocorrência das palavras-chave com o fim de identificar a relação de proximidade de duas ou mais palavras.

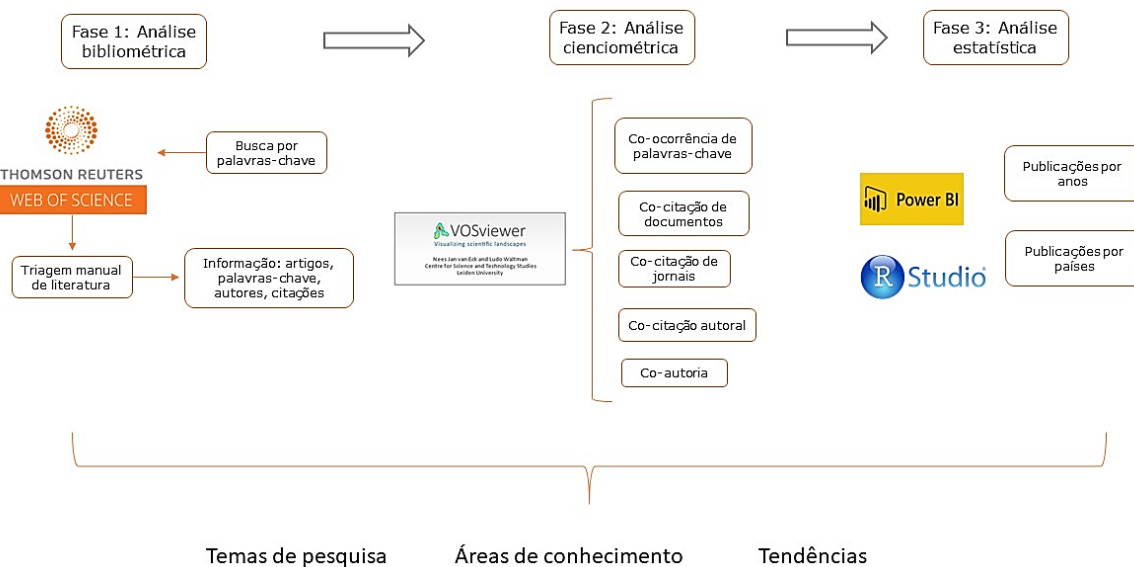


Figura 1. Metodologia da pesquisa

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Identificaram-se 1.190 publicações relacionadas com inovação de materiais para a construção, dos quais 1.138 eram artigos como apresentado na Tabela 1. Artigos com acesso antecipado foram 14, ou seja, artigos finais em texto completo, revisados por pares e editados, disponibilizados e publicados on-line antes de serem atribuídos a um volume e edição da revista. Em eventos acadêmicos como congressos, seminários, entre outros foram 38.

Tabela 1. Tipos de documentos e suas publicações

Tipos de documentos	Publicações
Artigo	1138
Artigo; Acesso antecipado	14
Artigo; artigos de anais de eventos	38

Fonte: elaboração própria

4.1 Publicações e tendências

O número de publicações é importante porque indica as tendências relacionadas com o tema de pesquisa. Assim, sobre materiais inovadores as publicações começaram desde o ano de 2001. Nesse ano só tinha cinco, até 2006 as publicações eram limitadas a 30, em 2007 chegou a 34, em 2013 esteve entre 60 a 100.

Em 2018 alcançou o patamar de 167, em 2019 diminuiu para 158 e em 2020 foram registradas 70, indicando uma queda. Uma explicação para esse fenômeno é dada desde a visão da bibliometria, a qual menciona que existe uma tendência para as publicações, explicada por leis epónimas (PORTER et al., 2021). As normas bibliométricas não possuem rigorosidade das ciências exatas, são variantes algébricas ou expressões diferentes de um mesmo fenômeno com vários pontos de vista.

A dispersão formulada por Bradford disse que quando se estuda a bibliografia especializada sobre um tema determinado, será publicado em um pequeno número de periódicos núcleo e que, a partir dessa zona nuclear de periódicos, se formarão zonas onde é necessário um número superior para obter o mesmo número de artigos e assim sucessivamente. Quando dispostos em ordem decrescente os periódicos científicos em relação à produtividade dos artigos sobre um tema específico, distingue-se um núcleo de periódicos concretamente consagrados ao tema e diversos grupos ou zonas que incluem o mesmo número de artigos que o núcleo. Outra é a “Lei do envelhecimento ou obsolescência da literatura científica” Price enunciou que a bibliografia científica se desatualiza rapidamente, considerando o número de publicações (PORTER et al., 2021).

O número de publicações por ano na Figura 2, mostra a importância que a pesquisa sobre os materiais inovadores teve depois de 2010 e o aumento progressivo nos anos seguintes. É

importante ressaltar que em 2020 houve uma queda, sendo necessário considerar que as publicações incluídas nesse período foram até 01 de junho.

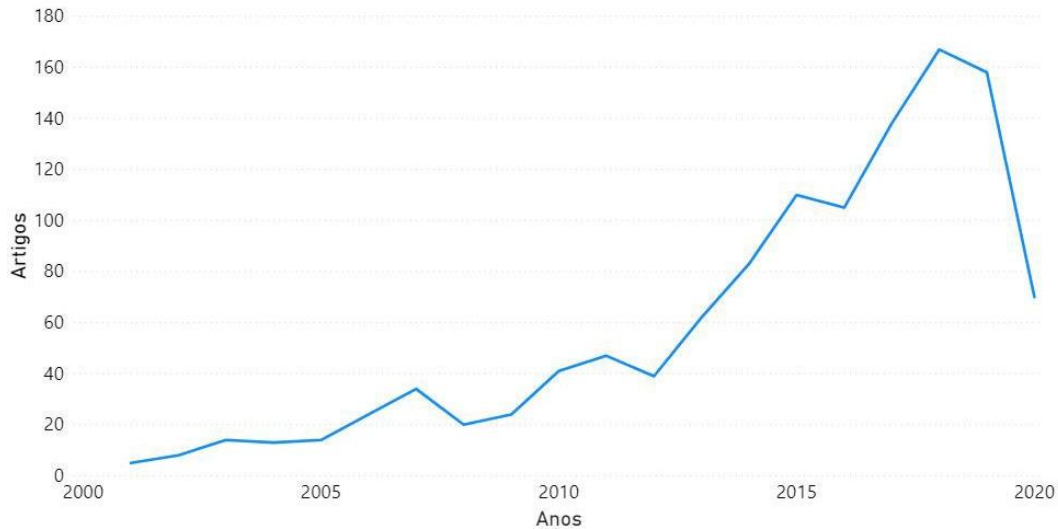


Figura 2. Número de publicações por ano

4.2 Autores e sua cooperação (rede de trabalho)

A cooperação científica tem sua origem histórica em um processo quase espontâneo, o qual tem-se traduzido na troca de conhecimentos e informação, experiências e pessoas. A organização do mundo como é conhecido hoje tem levado a considerar de fato formas de cooperação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento que são unidirecionais de forma prevalente (BONFIGLIOLI; MARI, 2000).

As 1.190 publicações foram escritas por um total de 3.412 autores, a Figura 3 apresenta os dez autores mais produtivos no tema de materiais inovadores. A classificação baseia-se na quantidade de publicações de cada autor, Josef Hegger é o mais importante com doze publicações, seguido por Amim Heidarpour, Gaetnao Mandredi, Al Pisello e Andrea Prota que possui sete. Depois vem Riadh Al-mahaidi, Davide Lo Presti com seis; seguido por Arul Arulrajah, Luisa F Cabeza e Jorge de Brito que possuem cinco publicações.

Por tanto fica evidente que, embora, o número de publicações cresceu ao longo do tempo ainda é baixa e com baixa produtividade.

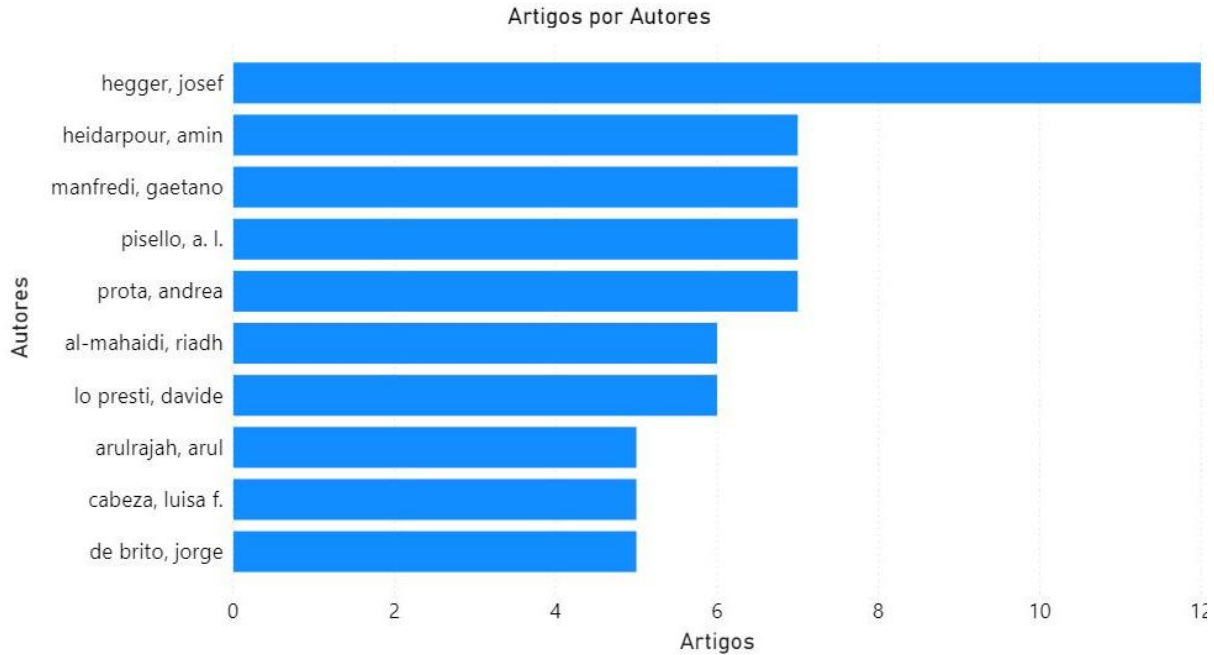


Figura 3. Número de publicações por autor

A rede de colaboração de autores mostra-se na Figura 4, onde utilizaram-se 1.502 documentos, o tipo de análises para esta figura foi coautoria na qual a unidade de análises são os autores, utilizou o método de contar completo o qual tinha um número máximo de autor por documento de 25 e mínimo de 1, em total foram selecionados 1.000 autores, o tamanho dos círculos representa a quantidade de publicações que tem cada autor, quanto maior o círculo maior sua importância. As linhas que unem cada círculo representam a cooperação entre eles e as cores dos grupos. Distinguem-se quatro grupos principais de autores, sendo Martin Hugener, Daniel Perraton, Alex Apeageyi e Davide Lo Presti. Dos 3.412 autores 36 deles têm realizado trabalhos em coautorias, o agrupamento amarelo está composto por “Alex Apeageyi, James Grenfell, Hilde Soenen e Stefan Vansteenkiste”. O azul por “Daniel Perraton, Augusto Falchetto, Eshan Dave, Shan Dave”. O verde por “Davide Lo Presti, Laurent Prot, Simon Pouget, entre outros”. O vermelho por “Martin Hugener, Kim Jekins, Maurizio Bocci, entre outros”.

Também é possível ver na figura a rede existente entre agrupamentos, é o caso de Martin Hugener que trabalha em conjunto com o agrupamento amarelo, azul e uma parte do verde. O pesquisador Daniel Perraton, que trabalha com o agrupamento vermelho, amarelo e verde. O pesquisador Alex Apeageyi que trabalha com os agrupamentos azul, vermelho e verde e o pesquisador Davide Lo Presti que trabalha em conjunto com o agrupamento amarelo, azul e vermelho. Todas essas redes indicam trabalho multidisciplinar, pesquisas conjuntas entre diversas instituições e países.

Periódicos	Publicações	Área de conhecimento
Transportation Research Record	39	Planejamento, administração, economia e finanças, operações, construção, projeto, manutenção, segurança.
Journal Of Materials In Civil Engineering	32	Materiais de construção e tecnologias sustentáveis.
Beton- und Stahlbetonbau	29	Ciência de materiais, caracterização e testes.
Journal of Composites for Construction	27	Mecânica e ciência da fabricação de materiais compósitos, análise e projeto de grandes estruturas de engenharia civil.
Thin-walled structures	27	Construção de engenharia.

Fonte: elaboração própria

4.5 Países e territórios

As publicações de materiais inovadores provem de 71 países ou territórios, dos quais 34 encontram-se na Europa, 8 na Ásia, 3 em América do Norte, 4 na América do Sul, 10 na África e 2 na Oceania como apresentado na Figura 5. As cores e tamanho dos círculos dependem da quantidade de documentos, a cor azul é para um mínimo de até sete documentos e a cor verde é para mais de 10 documentos. Observa-se que 31 países ou territórios (43,6%) produziram entre um a cinco publicações, 28 (39,4%) tiveram entre cinco a trinta e cinco, 5 (7,1%) produziram entre quarenta a cem e 7 (9,9%) tiveram entre cem a trezentas publicações sobre o tema de materiais inovadores contando com um máximo de 384 publicações em Estados Unidos.

Embora ao falar de América Latina e o Caribe (ALC) compreende um vasto território que abrange 34 estados independentes com uma ampla diversidade em níveis de desenvolvimento social, econômico e político, quando analisam-se os países desde a perspectiva de seu desenvolvimento científico-tecnológico não diferem entre si. A criação em cada um deles de um sistema institucional em ciência e tecnologia tem seguido tendências similares ao longo da história, principalmente naqueles de maior desenvolvimento (SANTA; SOLANA, 2010).

Embora os esforços nos últimos anos, os sistemas nos países da região possuem os mesmos problemas, um deles, é provavelmente o mais generalizado, é o escasso investimento em pesquisa e desenvolvimento (P+D), em comparação com os países desenvolvidos (UNESCO, 2001, 2005), devido em grande parte ao desenho das políticas públicas insuficientes e de pouca continuidade no tempo, que consigam fazer da ciência e da tecnologia realmente instrumentos de desenvolvimento. O segundo lugar, é a falta de continuidade de financiamento, principalmente pela instabilidade econômica que tem marcado a história da região (SANTA; SOLANA, 2010).



Figura 5. Mapa de publicações distribuídas por países

A Figura 6 mostra os dez países mais produtivos em publicações sobre materiais inovadores, a classificação indica que em Estados Unidos houve 180, em Itália 156, em China 134, em Alemanha 107 e em Reino Unido 65. Já Austrália teve 55, Canadá 48, Portugal e Espanha 44 e França 32.

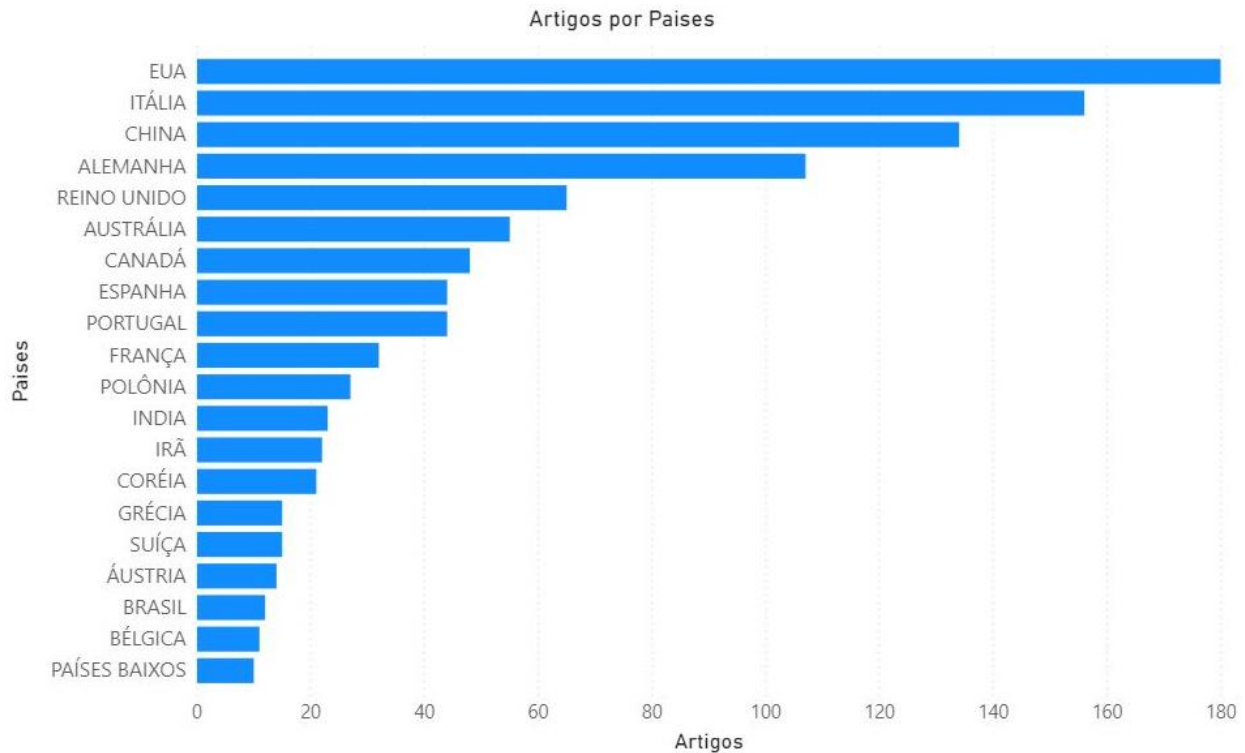


Figura 6. Número de publicações por país

A rede de cooperação entre países apresenta-se na Figura 7 onde utilizaram 1.540 documentos, a coautoria foi a unidade de análises nos países, utilizou-se o método de contar completo o qual teve o número máximo de países por documento de 25. Seleccionaram-se limites de documentos de um país utilizando 1 e de citações de um país utilizando 0, em total seleccionaram-se 78 países

As linhas que unem cada círculo representa a cooperação entre eles, as cores representam os grupos. Na rede podem distinguir-se dez grupos principais, sendo Estados Unidos, Itália, Austrália, China, Canadá, Inglaterra, Alemanha, Espanha, Portugal e Francia. Os 71 países uniram-se entre continentes no período de 2014 a 2019 e realizaram trabalhos em coautorias, os quais podem ser visualizados na cor roxa, azul claro, verde e amarelo.

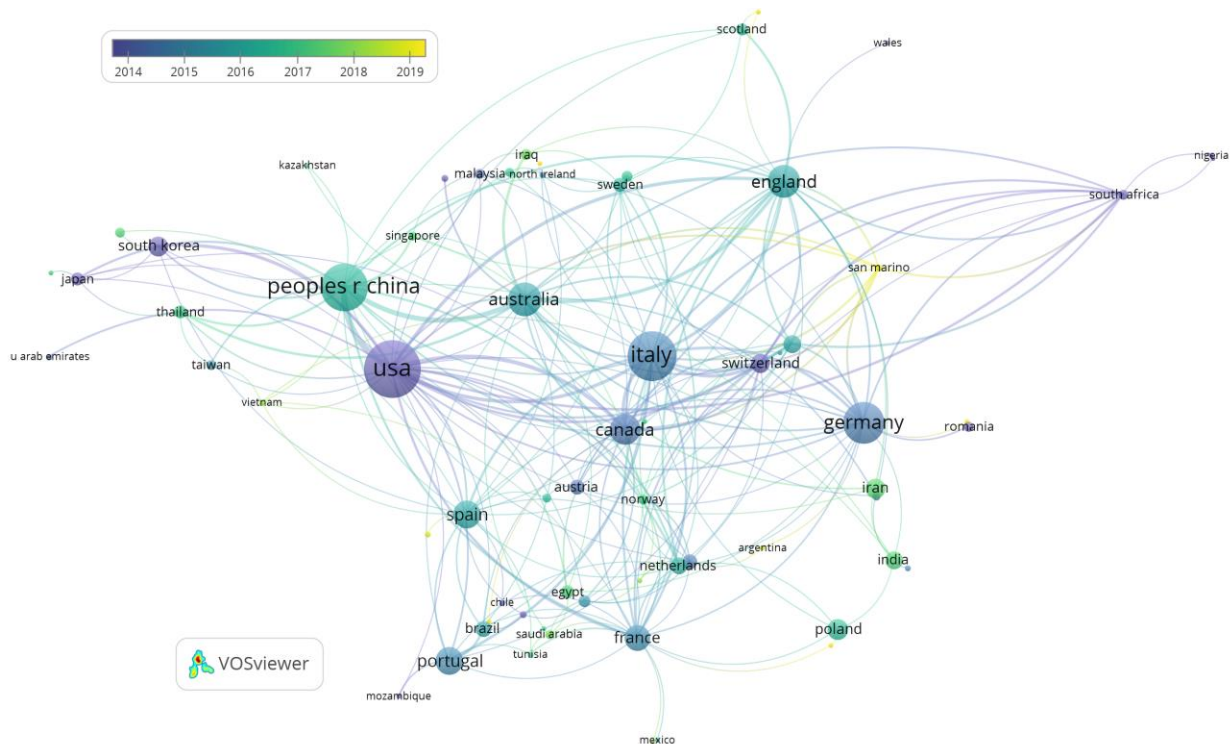


Figura 7. Rede de cooperação por países

4.6 Instituições

981 instituições de pesquisa diferentes participaram nas publicações de 2001 a 2020 sobre materiais inovadores. De todas as instituições, 601 (61,3%) só participaram em uma publicação, 165 (16,8%) participaram de duas, 75 (7,6%) em três, 40 (4,1%) em quatro, 82 (8,4%) entre cinco a dez (2%), entre dez a trinta publicações sobre o tema contando com um máximo de trinta e cinco em uma única instituição. A Tabela 3 mostra informação sobre as dez principais publicações, sendo Portugal e Itália quem tiveram uma quantidade de 20 a 30, representados pelas universidades de “Universidade do Minho, *Università Degli Studi di Perugia* e *Università Degli Studi di Napoli Federico II*”.

Tabela 3. Universidades mais representativas por país

<i>Universidades</i>	<i>Países</i>	<i>Publicações</i>
Universidade do Minho	Portugal	35
Università degli Studi di Perugia	Itália	30
Università degli Studi di Napoli Federico II	Itália	28
Technische Universität Dresden	Alemanha	19
Indiana University Southeast	USA	18
University of Bath	Inglaterra	17
Tongji University	China	16
Universidade de Aveiro	Portugal	14
University of Nottingham	Inglaterra	14
Delft University of Technology	Holanda	13

Fonte: elaboração própria

4.7 Análises por palavras-chave

Analisaram-se os termos utilizados nos títulos e resumos das publicações para conhecer tendências e maiores informações sobre o tema de materiais inovadores. Os resultados são apresentados na Figura 8, observam-se cinco agrupamentos ou agrupamentos: vermelho, verde, azul, amarelo e roxo. As palavras-chave do agrupamento vermelho foram vigas, aço, ductilidade, fibras, membranas, fortalecimento, entre outras. O agrupamento verde está composto por concreto, durabilidade, cimento, força, propriedades mecânicas, geopolímeros, etc. Em azul encontram-se energia, otimização, sistemas, composição, rendimento, etc. No roxo estão desenho, comportamento, capacidade, painéis, absorção de energia, elementos finitos e em amarelo modelos, construção, simulação, inovação, provas, fibras de concreto reforçado.

Os temas tratados por agrupamento são para o amarelo simulação e modelagem na construção civil, tema de gestão de projetos na construção civil, porque o uso de diversos materiais evidencia-se em tempo e resultados das estruturas criadas, em roxo estão capacidades e desenhos estruturais. O agrupamento vermelho trata sobre materiais que vem sendo utilizados e pesquisados para uso combinado com concreto. O agrupamento verde relaciona-se com práticas, uso eficiente de recursos e desenvolvimento sustentável. O agrupamento azul trata sobre áreas de conhecimento nas quais estão sendo utilizados esses materiais e que se inter-relacionam com atividades da engenharia civil.

Alguns dos termos mais utilizados e com maior importância no setor da construção são o aço e o concreto. Ao autor Ueli Angst trata em seu artigo “*Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete*” sobre as oportunidades de pesquisa no tema. Este artigo resume os grandes aspectos sociais, econômicos, tecnológicos e desafios educativos relacionados com a corrosão do aço no concreto armado, o enorme impacto financeiro da corrosão da infraestrutura parece estar inadequadamente equilibrado com as atividades educativas e de pesquisa (ANGST, 2018).

Os principais desafios tecnológicos são a necessidade cada vez maior de manter de forma rentável estruturas de concreto armado e o projeto duradouro, por tanto, de novas estruturas sustentáveis. Durante a segunda metade do último século, engenheiros civis, cientistas de materiais e químicos de muitos países fizeram esforços consideráveis para compreender a corrosão do aço no concreto armado, mas muitos dos enfoques ficaram estagnados no empirismo (ANGST, 2018).

Em relação ao termo concreto em seu artigo intitulado “*Hydration and rheology control of concrete for digital fabrication: Potential admixtures and cement chemistry*” os autores Marchon, Delphine, Kawashima, Shisho Bessaies Bey, Hela Mantellano, Sara Serina tratam sobre a otimização dos recursos para a produção do concreto. A fabricação digital de concreto armado é um enfoque de construção inovador onde os elementos de infraestrutura podem ser construídos de forma aditiva sem usar formas/cofragem.

O objetivo é demonstrar como os aditivos serão críticos no desenvolvimento de sistemas de concreto armado para realizar a fabricação digital e motivar a pesquisa em áreas chave discutidas (MARCHON et al., 2018).

Um dos materiais com maior pesquisa é o concreto e sua busca por encontrar materiais mais respeitosos com o meio ambiente, a areia e a água natural do mar, como materiais alternativos sustentáveis para mitigar a contaminação ambiental e a escassez dos recursos da produção tradicional de concreto com areia de rio e água doce, estão ganhando cada vez mais atenção de pesquisadores de todo o mundo. Com uma seleção adequada e um procedimento preliminar, a incorporação de areia do mar e/ou água do mar em concreto simples, bem como em concreto com armadura livre de corrosão, é promissora para a produção de concreto ecologicamente correto (GUO et al., 2020).

Uma das vantagens do concreto sustentável é a redução de custos, um estudo realizado levou em consideração uma produção padronizada em escala industrial de agregados reciclados feita por uma usina de reciclagem localizada na cidade de Medellín, foi pago um metro cúbico por cada percentual de substituição de agregados, tendo em conta que o agregado reciclado apresenta 65% do custo do agregado convencional (BEDOYA; DZUL, 2015). Estudos recentes mostram que uma maior eficiência pode ajudar a reduzir a demanda de energia em 50 a 80% na maioria dos sistemas de produção. No setor de construção, seria comercialmente viável alcançar uma melhoria de 60 a 80% na eficiência energética e hídrica.

O cimento também desempenha um papel importante na obtenção da mistura de concreto, Di Mundo, Rosa diz que compostos cimentícios contendo borracha reciclada agregam a vantagem da hidrofobicidade aos benefícios típicos de um agregado leve e contribuem para agregar valor a uma matéria-prima secundária relevante em todo o mundo. Os resultados indicam que os compostos de borracha e cimento apresentam maior porosidade em toda a faixa explorada e mais sensíveis na menor faixa detectável (10 μ m - 100 μ m) (DI MUNDO et al., 2019).

Um dos principais problemas dos aterros sanitários é o seu uso indevido e sua diminuição da vida útil, pois muitos dos resíduos que são descartados diariamente podem ou não chegar a essa disposição final, por isso são avaliados materiais que poderiam ser reaproveitados. Saeli M Senff L Tobaldi D, explicam que o lodo calcário é um resíduo alcalino produzido pela indústria de celulose que é comumente descartado em aterros. No entanto, estudos recentes e regulamentações europeias desencorajam essa prática. Este trabalho investiga uma forma alternativa e inovadora de reciclar e reaproveitar esse resíduo, como carga, na produção de argamassas geopoliméricas verdes para aplicações na construção civil. Este aproveitamento alternativo dos referidos resíduos contribuirá para aumentar a sustentabilidade dos novos materiais de construção, proporcionando também vantagens ambientais e um excedente econômico para a indústria (SAELI et al., 2020).

4.8 Análises de citação

O número de citações que recebe uma pesquisa pelos demais membros da comunidade científica e acadêmica quantifica o impacto alcançado pelo mesmo. O prestígio das fontes bibliográficas onde se publicam os resultados das pesquisas representa uma medida da influência que podem exercer os documentos publicados nela. Também as referências bibliográficas que incluem os artigos têm sido consideradas como indicação de seu valor científico, e têm sido usadas como critério para analisar o consumo de informação (GONZALEZ DE DIOS; MOYA; MATEOS HERNÁNDEZ, 1997).

A Figura 10 mostra os 1.190 documentos citados das publicações de materiais em *VOSviewer*, indica a existência de seis agrupamento os quais tem a cor vermelha como principal

autor, Classen, citado no ano de 2015, em verde o autor mais relevante é Hegger citado em 2011, em azul é Scholzen citado em 2015, em amarelo encontrasse Curbach citado em 2009, em roxo Orlofsky citado em 2008 e em azul claro está Rempel citado em 2015.

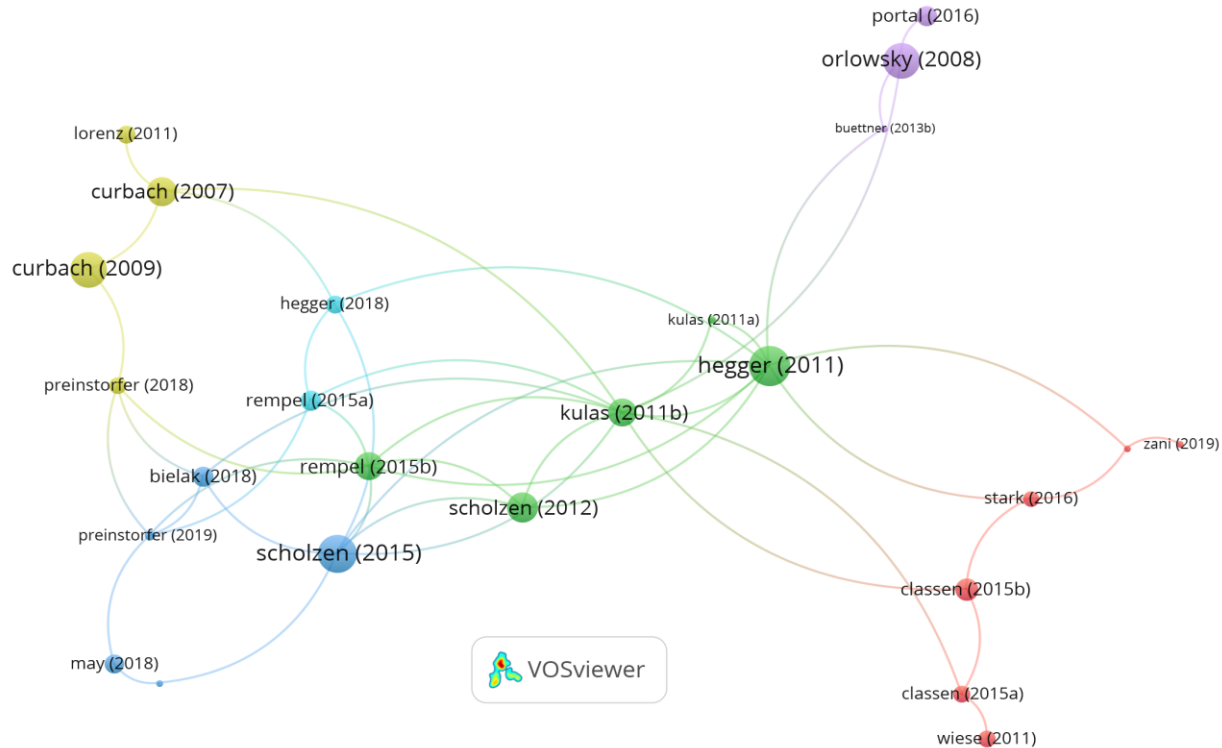


Figura 10. Rede de citações

A Tabela 4 mostra os dados mais importantes dos principais documentos com maior citação, os quais são dos autores Hegger (2011), Scholzen (2015), Curbach (2009), Orlofsky (2008), Classen (2015) e Rempel (2015). Mostra o respectivo jornal no qual os autores estão, o nome do artigo, o país e o número de citações. O artigo mais citado é o de Hegger com 45 citações, seguido por Scholzen com 39 Curbach e Orlofsky ambos com 35. É importante ressaltar que os autores mais destacados provem da Alemanha e aparecem nos anos 2008, 2009, 2011 e 2015, sendo portanto os anos com maior produção de artigos e citações. Os temas mais tratados correspondem a publicações com concreto, materiais vinculados ao concreto para reforço e melhoramento de uma estrutura.

Tabela 4. Documentos citados

<i>Título</i>	<i>Nome do autor</i>	<i>País do autor</i>	<i>Jornal</i>	<i>Ano</i>	<i>Citações</i>
<i>A pedestrian bridge made of textile reinforced concrete</i>	Josef Hegger	Alemanha	<i>Beton-und stahlbetonbau</i>	2011	45
<i>Thin-walled shell structures made of textile-reinforced concrete</i>	Alexander Scholzen	Alemanha	<i>Structural concrete</i>	2015	39
<i>Specifications and applications of textile reinforced concrete</i>	Manfred Curbach	Alemanha	<i>Beton-und stahlbetonbau</i>	2009	35
<i>Durability model for ar-glass fibres in textile reinforced concrete</i>	J Orłowsky	Alemanha	<i>Materials and structures</i>	2008	35
<i>Small-scale pin shear connectors for steel-concrete composites</i>	M Classen	Alemanha	<i>Bauingenieur</i>	2015	14
<i>Filigree textile reinforced concrete constructions performance</i>	Sergej Rempel	Alemanha	<i>Beton-und stahlbetonbau</i>	2015	12

Fonte: elaboração própria

A bibliometria é um meio para situar a produção de um país com respeito ao mundo, uma instituição em relação com seu país e até pesquisadores em relação com suas próprias comunidades acadêmicas (ASSAFIRI et al., 2017). Para a análise da produção científica utilizou-se a bibliometria, sendo um método que permite quantificar a evolução, o volume e a estrutura. Durante os últimos anos a indústria do setor da construção está respondendo ao desafio de incorporar a sustentabilidade nos processos, mediante o reaproveitamento de resíduos sólidos, materiais como agregados no concreto armado ou mediante a busca de matérias-primas ecológicas (ALY et al., 2019).

É assim que os resultados observados neste estudo podem confirmar os mencionados por Herrera que indica que são muitas as razões pelas quais as construtoras e a indústria de materiais de construção podem implementar a inovação em todos os seus processos, incluindo o uso de novas tecnologias de construção, desenvolvimento e uso de materiais otimizados, novos métodos de controle, aplicação de tecnologia, equipamentos e modelos de gestão para a inovação (HERERRA, 2010).

Nos diferentes artigos fica evidente como o desenvolvimento sustentável está surgindo e implementando novos materiais para contribuir com as mudanças climáticas, é preciso começar a reconhecer a importância das novas tecnologias e implementá-las e assim ter um ambiente de novas possibilidades pronto para Por outro lado, o setor da construção, visto do ponto de vista

empresarial, representa situações de grande renda e progresso, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento; Dadas essas características, o investimento em pesquisa é altamente relevante. (TRIANA, 2017).

Deve-se considerar também a necessidade de métodos, testes e regulamentações no setor, tanto no controle de qualidade da produção quanto no controle de materiais e processos construtivos, que envolvam “mudanças” de acordo com o desenvolvimento tecnológico internacional atual e as novas tendências tecnológicas. métodos e testes de projeto, controle e inspeção durante a construção (incluindo a busca de durabilidade, sustentabilidade e sustentabilidade (HERERRA, 2010).

As áreas em que se verificou uma maior publicação sobre materiais inovadores foram na construção, materiais de construção, energia e edifícios. A energia é um recurso que não é infinito, atualmente existem várias alternativas para utilizar este recurso de forma renovável a fim de gerar desenvolvimento sustentável e em termos de edificações elas possuem um impacto ambiental considerável visto que ocupam um espaço na paisagem, esses temas são os que mais impactam atualmente, a gestão da inovação em materiais de construção não se refere apenas à criação de novos produtos, mas também à implementação de produtos desenvolvidos em um ambiente diferente (ANGEL; MORENO, 2019).

Devem ser promovidas construções que economizem ou até produzam mais energia do que consomem durante todo o ciclo de vida dos edifícios, desde a produção de matérias-primas, materiais e componentes, energia incorporada, e construção em obra, passando pela utilização e manutenção do edifício, sua habitabilidade, até suas modificações e eventual demolição (RUEDA-CLAUSEN; VILLA-ROEL; RUEDA-CLAUSEN, 2005).

5 CONCLUSÕES

A análise realizada mostra-nos como a procura por novos materiais tem vindo a aumentar ao longo de dois anos, visto que as publicações foram dadas de 2001 a 2020, estas publicações foram apresentando um comportamento exponencial até ao ano de 2018 onde foi limitada, não a ano de 2019 e 2020, novamente atingindo um baixo número de investigações. Esta pesquisa incluiu 1.190 publicações sobre materiais inovadores no setor da construção, escritas por 3.412 autores, em 163 periódicos, 71 países ou territórios e 981 instituições.

Quanto aos países mais produtivos com publicações sobre o tema de materiais inovadores, são os Estados Unidos, este país relata participação em redes de colaboração com outros países Itália, Austrália, China, Canadá, Inglaterra, Alemanha, Espanha, Portugal e França, que são os países que também têm contribuído consideravelmente para a pesquisa, entre os países com menos publicações está a Colômbia, sendo este um país com lacunas em termos de desenvolvimento tecnológico e de pesquisa.

Em relação ao trabalho de pesquisa das 601 instituições com publicações de materiais inovadores, 2% delas participaram entre dez e trinta publicações sobre o assunto, sendo as duas mais produtivas as universidades da "Universidade do Minho" e "*Università degli Studi di Perugia*" com um total de 35 e 30 publicações respectivamente e 61,3% das instituições

participaram apenas de uma publicação, esse percentual é alto, mas também pode demonstrar a falta de recursos para pesquisa.

O trabalho revela que a pesquisa tem focado mais em práticas, uso eficiente de recursos e desenvolvimento sustentável, pois é nesse agrupamento (verde) que os termos se repetem com mais frequência nos artigos publicados, isso porque os materiais como o cimento, é uma das principais fontes de poluição e principal material de mistura do concreto, buscaram-se novas alternativas de materiais cimentícios complementares mais eficientes para o desenvolvimento de concreto sustentável.

Inicialmente, as publicações foram direcionadas para termos diretos de processos construtivos, como alvenaria, materiais compósitos, estruturas mistas, durabilidade, estruturas metálicas, pilares, vigas, entre outros. Ao longo dos anos e devido à luta contra as alterações climáticas, a investigação tem vindo a mudar e tem centrado sobretudo na procura de novas alternativas sustentáveis, por isso termos como betão/concreto, compósito, asfalto, pavimento, impacto, desempenho energético, energia eficiente, agregados entre outros.

Os periódicos da área com mais publicações são "Construção e Materiais de Construção" onde a área de conhecimento que abrangem é a pesquisa e uso inovador de materiais de construção e reparo, em segundo lugar, com menos da metade das publicações abaixo de a primeira revista é "*Energy and Buildings*" com área de conhecimento em Pesquisa sobre uso e eficiência energética em edifícios, engenharia estrutural e mecânica estrutural. Mais uma vez, a palavra "inovador" se destaca como tema de pesquisa por sua importância e seu impacto positivo no meio ambiente.

Graças à análise das publicações, fica evidente que a Europa é o continente mais produtivo onde seus autores e instituições se situam nos primeiros lugares em materiais inovadores no setor da construção.

REFERENCIAS

ABOUTABIKH, M.; SOLIMAN, A. M.; EL NAGGAR, M. H. Performance of hollow bar micropiles using green grout incorporating treated oil sand waste. *JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING*, v. 27, 2020.

ACOSTA, D. Arquitectura y construcción sostenibles: CONCEPTOS, PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS. *DEARQ Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes*, n. 1982, p. 14–24, 2009.

ALY, A. M. et al. Performance of geopolymer concrete containing recycled rubber. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, v. 207, p. 136–144, 2019.

ANGEL, M.; MORENO, T. *TorresMorenoMiguelAngel2019.pdf*. p. 1–14, 2019.

ANGST, U. M. Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. *MATERIALS AND STRUCTURES*, v. 51, n. 1, 2018.

ARDANUY, J.; REY VÁZQUEZ, L. Breve introducción a la bibliometría. *Universitat de Barcelona*, p. 63, 2009.

ASSAFIRI, Y. El et al. Aplicación de una metodología para la construcción de un mapa de conocimiento con enfoque bibliométrico. In: VIII Convención Científica Internacional “Universidad Integrada e Innovadora” (CIUM '2017), XI Encuentro Internacional de Ciencias Empresariales y Turismo (CIEMPRESTUR 2017)., April, Varadero. Anais... Varadero: 2017.

BABAEVSKY, A. N.; ROMANOVICH, A. A.; GLAGOLEV, E. S. Methods to improve efficiency of production technology of the innovative composite cementing materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 327, n. 3, 2018.

BEDOYA, C.; DZUL, L. Concrete with recycled aggregates as urban sustainability project. Revista Ingenieria de Construccion, v. 30, n. 2, p. 99–108, 2015.

BONFIGLIOLI, A.; MARI, E. A. La cooperación científico tecnológica entre la Unión Europea y América Latina: el actual contexto internacional y el Programa Marco de la Unión Europea. Redes, v. 7, n. 15, p. 183–208, 2000.

BOURDEAU, L.; HUOVILA, P.; LANTING, R. Sustainable Development and the Future of Construction, a CIB W82 Project. TNO Bouw Publication number 96-BKR, p. 1–7, 1996.

DI MUNDO, R. et al. Water absorption in rubber-cement composites: 3D structure investigation by X-ray computed-tomography. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 228, 2019.

ESCORCIA, T. A. El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado [tesis]. Pontificia Universidad Javeriana. Director, p. 1–61, 2008.

GHIO CASTILLO, V. A. Innovación tecnológica en la construcción ahora es cuando = Technology innovation in construction, the time is now. v. 21, p. 207–218, 2006.

GHIO, V.; BASCUÑAN, R. Innovación Tecnológica en la Construcción ahora es cuando. Revista Ingeniería de Construcción, n. 14, p. 9–18, 2012.

GIESEKAM, J.; BARRETT, J. R.; TAYLOR, P. Construction industry views on low carbon building materials. Building Research and Information, v. 44, n. 4, p. 423–444, 2016.

GONZALEZ DE DIOS, J.; MOYA, M.; MATEOS HERNÁNDEZ, M. A. Indicadores bibliometricos: Características y limitaciones en el analisis de la actividad científica. Anales Espanoles de Pediatria, v. 47, n. 3, p. 235–244, 1997.

GUO, M. et al. Characterization of the mechanical properties of eco-friendly concrete made with untreated sea sand and seawater based on statistical analysis. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 234, 2020.

KANIG, M.; GLOCK, G. Innovative binder technology for masonry building. MAUERWERK, v. 23, n. 1, p. 55–61, 2019.

MARCHON, D. et al. Hydration and rheology control of concrete for digital fabrication: Potential admixtures and cement chemistry. CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, v. 112, n. SI, p. 96–110, 2018.

MOKAL, A. B. et al. Green building materials-a way towards sustainable construction. Int J Appl Innovat Eng Manage, v. 4, n. 4, p. 244–249, 2015. Disponível em: <www.ijaiem.org>.

NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; ESCOBEDO-LÓPEZ, D. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, v. 22, n. 2, p. 415, 2011.

OSORIO-GÓMEZ, C.-C. et al. Lean Construction Impact on the Environmental Footprint of a Construction Project in Colombia: A Case Study. In: *Construction Research Congress 2020*, Tempe. Anais... Tempe: 2020.

PATALANO, M. Las publicaciones del campo científico: las revistas académicas de América Latina. *Anales de documentación: Revista de biblioteconomía y documentación*, n. 8, p. 217–235, 2005.

PORTER, S.J.; WOOK, D.W. Connecting Scientometrics: Dimensions as a route to broadening context for analyses. *Computer Science*, v. 20, n. 1, p. 87–108, 2021.

HERRA, R.Q. Innovacion en el sector de la construcción y potencial de aplicación en Colombia. n. iii, 2010.

RUEDA-CLAUSEN, C.; VILLA-ROEL, C.; RUEDA-CLAUSEN, C. Indicadores bibliométricos: origen, aplicación, contradicción y nuevas propuestas. *MedUNAB*, v. 8, n. 1, p. 29–36, 2005.

RUŽIČIĆ, M. M.; MILETIĆ, M.; DOBROTA, M. Does a national innovation system encourage sustainability? Lessons from the construction industry in Serbia. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 7, 2021.

SAELI, M. et al. Unexplored alternative use of calcareous sludge from the paper-pulp industry in green geopolymer construction materials. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, v. 246, jun. 2020.

SANTA, S.; SOLANA, V. H. Producción científica de América Latina y el Caribe: Una aproximación a través de los datos de Scopus (1996 - 2007). *Revista Interamericana de Bibliotecología*, v. 33, n. 2, p. 379–400, 2010.

TRIANA, C. Gestión de innovación de las empresas del sector de la construcción en Colombia. *Universitat Politècnica De Valencia*, p. 1–242, 2017.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. VOSviewer manual. Leiden: Univeriteit Leiden, 2013. .

WESTGATE, P.; PAINE, K.; BALL, R. J. Physical and mechanical properties of plasters incorporating aerogel granules and polypropylene monofilament fibres. *Construction and Building Materials*, v. 158, p. 472–480, 2018.

YUDENKO, M. N. et al. Innovative materials in construction and their role in improving the organizations efficiency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 698, n. 7, 2019. |