



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

## UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE A IMPRESSÃO 3D EM CONCRETO

### *A BIBLIOMETRIC REVIEW ON 3D CONCRETE PRINTING*

Victor Hugo Souza de Abreu<sup>1</sup> & Gabriel Marques de Souza<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo, 2030, 101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>1\*</sup>victor@pet.coppe.ufrj.br, <sup>2</sup>gabriel.souza@pet.coppe.ufrj.br

#### ARTIGO INFO.

Recebido em: 05.10.2019

Aprovado em: 04.11.2019

Disponibilizado em: 18.12.2019

#### PALAVRAS-CHAVE:

Manufatura Aditiva; Impressão 3D em Concreto; Revisão Bibliométrica.

#### KEYWORDS:

Additive Manufacturing; 3D Concrete Printing; Bibliometric Review.

\*Autor Correspondente: Abreu, V. H. S.

#### RESUMO

A manufatura aditiva é um dos pilares da indústria 4.0 e pode revolucionar ainda mais o mercado global por meio de produtos altamente tecnológicos e inovadores. Um exemplo de manufatura aditiva aplicada à construção civil é a Impressão 3D em Concreto (3DCP) que permite uma maior liberdade de criação, com uso de formas geométricas em concreto mais complexas, um maior controle da qualidade e um menor desperdício de material. Dessa forma, torna-se pertinente que sejam realizados estudos sobre esta tecnologia que forneçam informações valiosas sobre as novas técnicas de fabricação necessárias para produzir materiais em concreto com alto desempenho. Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica aplicada ao uso da 3DCP. Os resultados indicaram o crescente interesse pela temática com ápice no número de publicações em 2018 e no número de citações em 2019. Além disso, constatou-se que os artigos mais citados da base de dados tratam de assuntos como: a comparação do 3DCP com outros processos de construção aditiva;

análise de suas propriedades mecânicas; e a incorporação de fibras em sua composição.

#### ABSTRACT

Additive manufacturing is one of the pillars of industry 4.0 and promises to revolutionize the global market through high technological and innovative products. One example of additive manufacturing applied to construction is 3D Concrete Printing (3DCP), which allows more freedom of creation, through the use of complex geometric forms in concrete, better quality control, and fewer materials waste. Therefore, it is pertinent that studies be done on this technology that provides valuable information into the new manufacturing techniques needed to produce high performance concrete materials. Thus, this paper aims to perform a bibliometric review applied to the use of 3DCP. The results indicated the increasing interest in the theme with the peak of the number of publications in 2018 and the apex of the number of citations in 2019. Also, it has been considered that the most quotes papers of the database deal with subjects such as: the comparison of 3DCP with other additive construction processes; analysis of its mechanical properties; and the incorporation of fibers in its composition.



## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, novos métodos de manufatura têm sido desenvolvidos e utilizados em diferentes setores da indústria, causando grandes mudanças nos processos produtivos (Urhal, et al., 2019) e acredita-se que a manufatura aditiva vai ser responsável por grandes revoluções nos processos produtivos, desde os mais simples, até os que envolvem fábricas de alta tecnologia.

A Manufatura Aditiva configura-se como a confecção de objetos sólidos em 3D criados a partir de um desenho computacional. Durante o processo de confecção dessas peças, o material escolhido é adicionado em camadas, a fim de garantir que a matéria prima seja aproveitada ao máximo (Florêncio, et al., 2016) por meio, por exemplo, da redução do desperdício.

Baseados no conceito da manufatura aditiva, diversos projetos de construção aditiva foram desenvolvidos (Labonnote, et al., 2016) ao longo dos anos, tais como a construção por contornos (*Contour Crafting*, em inglês), a *D-Shape* e a Impressão 3D em Concreto (3D *Concrete Printing* - 3DCP, em inglês). Esses processos apresentam como vantagens, em relação ao processo construtivo convencional (Florêncio, et al., 2016): (i) Redução de custos de fabricação e de tempo da obra; (ii) Precisão da execução; (iii) Redução do impacto ambiental; (iv) Otimização do processo de gerenciamento de projetos e obras; (v) maior facilidade logística; e (vi) Possibilidade de redução do déficit social/habitacional.

Devido a sua maior liberdade tridimensional, o interesse pela 3DCP vem crescendo e por isso as aplicações potenciais em larga escala nas construções estão surgindo (LIM *et al.*, 2012), mas apesar do crescimento e desenvolvimento do tema, o processo ainda enfrenta diversos desafios técnicos e operacionais (Schutter, et al., 2018).

Diante do exposto, identifica-se o seguinte problema de pesquisa: Como é possível encontrar material bibliográfico qualificado e diretamente aplicável a 3DCP, de modo a apresentar seus principais estudos? Portanto, este trabalho tem como objetivo geral apresentar um apanhado de artigos científicos aplicáveis à utilização do processo construtivo 3DCP, por meio uma revisão bibliométrica, que utiliza criteriosos filtros de inclusão e qualificação de estudos.

Como objetivos específicos têm-se: (i) Apresentar a evolução das publicações e citações ao longo dos anos; (ii) Identificar os principais periódicos, países e autores que mais publicam estudos sobre o assunto; (iii) Determinar as principais palavras-chave e as interconexões entre elas; e (iv) Realizar um breve resumo dos artigos mais citados na base de dados.

O estudo foi dividido em cinco seções, sendo a Seção 1 introdutória. Na Seção 2, são apresentados alguns conceitos da construção aditiva e sua diferenciação em relação aos projetos construtivos, destacando o 3DCP. A Seção 3 descreve o procedimento metodológico utilizado, bem como os critérios de inclusão e exclusão adotados. Os resultados são apresentados e discutidos na Seção 4 e, por fim, a Seção 5 é responsável pelas considerações finais do estudo, seguidas de bibliografia.



## 2. PROJETOS DE CONSTRUÇÃO ADITIVA COM FOCO NA 3DCP

Existem diversos processos de fabricação aditiva em larga escala que foram aplicados na construção civil e arquitetura para construção de componentes arquitetônicos em grande escala e elementos de edifícios como paredes e fachadas (LIM *et al.*, 2012).

Segundo Florêncio, et al. (2016), as principais vantagens dos processos de construção aditiva, em relação ao processo construtivo convencional, são:

- (i) Redução de custos e de tempo da obra: A automatização do processo construtivo possibilita a redução do tempo de construção. Além disso, há redução de mão de obra braçal e do desperdício de material, isso porque a maior parte do trabalho é realizada por uma máquina;
- (ii) Precisão da execução: A tecnologia CAD/CAM, por exemplo, permite que o projeto desenhado no computador seja transmitido diretamente para as máquinas de produção. Salienta-se que a previsão também está relacionada ao sistema de coordenadas cartesianas utilizado para executar os deslocamentos do cabeçote, de acordo com a trajetória definida. Dessa forma, os elementos mecânicos que compõem a máquina devem ser de elevada precisão, caso contrário ter em mãos *softwares* CAD/CAM, de alto custo de aquisição, com dezenas de funções não será útil.
- (iii) Redução do impacto ambiental: O processo pode reduzir o consumo de energia e a poluição ambiental no setor da construção civil. A redução na quantidade de cimento sinaliza a possibilidade de diminuição da sua produção e, conseqüentemente, a diminuição de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal contribuinte do efeito estufa;
- (iv) Otimização do processo de gerenciamento de projetos e obras: O uso desta tecnologia possibilita, no âmbito da gestão de projetos, reduzir os riscos, atenuando os caminhos críticos. A tecnologia também oferece mais confiabilidade ao projeto, uma vez que diversos pacotes de trabalho que dependiam de mão de obra, agora podem ser feitos por maquinário informatizado, aumentando a segurança do trabalho. Além disso, auxilia no controle de custo, devido a sua maior previsibilidade, evitando a extrapolação do orçamento previsto para a execução da obra;
- (v) Logística: A impressão de concretos das edificações pode ser realizada diretamente sobre o terreno, não dependendo completamente do transporte de peças; e
- (vi) Possibilidade de redução do déficit social/ habitacional: A oferta de mais moradias em menos tempo, obedecendo a um padrão qualidade e com menor custo, pode ser transformada em uma poderosa ferramenta de vantagem social no que diz respeito à redução do déficit habitacional.

A construção civil tem acompanhado os desenvolvimentos em técnicas de manufatura aditiva e começou a aplicá-los em maior escala. Principalmente, a impressão de concreto e materiais cimentícios ultimamente tem ganhado muito espaço no campo da arquitetura e construção.



Dentre estes projetos construtivos de manufatura aditiva, destacam-se a construção por contornos (ou *Contour Crafting*), a *D-Shape* e a Impressão 3D em Concreto (ou 3DCP).

A técnica *Contour Crafting* permite a criação de peças em argamassa, recorrendo à deposição de sucessivas camadas até formar a superfície exterior do objeto pretendido (Khoshnevis, 2004). A execução das peças faz-se pela extrusão de um cordão de pasta ou argamassa fresca a partir de uma cabeça de extrusão, controlada por computador, capaz de movimentar-se tridimensionalmente.

A técnica *D-Shape* apresenta uma solução diferente da anterior para a criação de peças tridimensionais a partir de modelos digitais, optando pela deposição por via seca. O processo consiste na deposição de uma camada de pó seco (mistura de agregados, fibras e óxidos metálicos) de forma homogênea, com uma espessura de cerca de cinco milímetros, em seguida, a camada é compactada com equipamentos cilíndricos, resultando numa superfície uniforme (Dini, 2009).

A 3DCP é um processo baseado na extrusão de argamassa de cimento, assim como a *Contour Crafting*, para a impressão de concreto (Silva, et al., 2018). A tecnologia funciona despejando concreto de alta resistência, por meio de um bico de extrusão acoplado a eixos com movimentação XYZ controlado por computador (Florêncio, et al., 2016), no local desejado. O procedimento pode ser realizado com fibras incorporadas na mistura para melhoria das propriedades mecânicas dos objetos desenvolvidos (Lim, et al., 2012).

Esse processo permite um maior controle de geometrias internas e externas, permitindo assim uma maior liberdade de construção tridimensional. A 3DCP oferece uma enorme gama de possibilidades projetuais. Com um maquinário flexível, permite construir em escala industrial diversos tipos de formas diferentes e possibilita uma flexibilidade formal sem precedentes (Florêncio, et al., 2016).

### 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Um dos aspectos mais relevantes ao se desenvolver uma pesquisa científica diz respeito à etapa de revisão da literatura. De acordo com Afonso, et al. (2011), o primeiro passo de qualquer pesquisador ao dissertar sobre um assunto é construir conhecimento em determinado contexto. Nesse sentido, o procedimento metodológico deste artigo adota uma abordagem de revisão bibliométrica para mapeamento dos principais estudos sobre a Impressão 3D em Concreto, tema central dessa pesquisa.

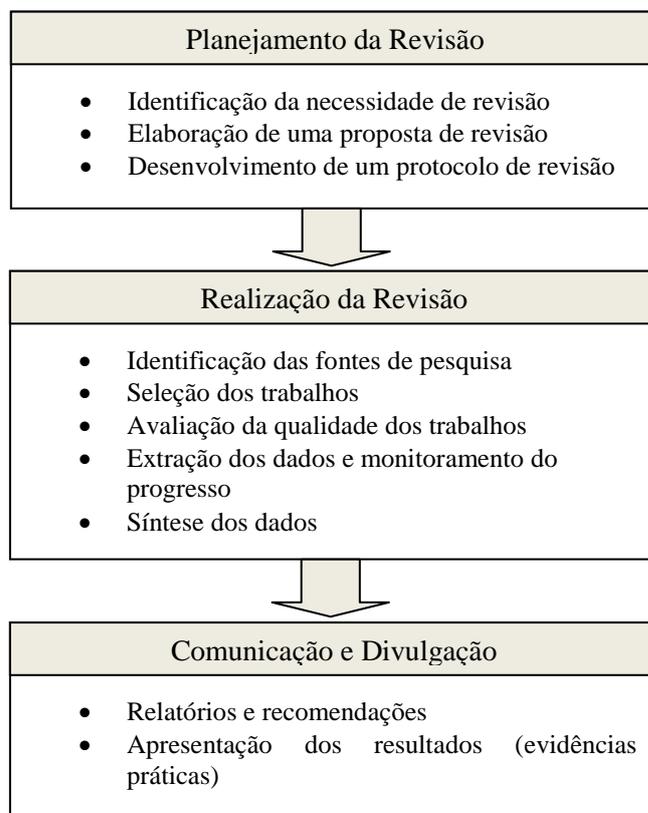
A revisão bibliométrica é um procedimento metodológico comumente utilizado para analisar o estado da arte de determinada área de conhecimento. Com sua aplicação, é possível obter informações quantitativas sobre as principais publicações da área e as possíveis relações entre elas num dado intervalo de tempo (Evren & Kozak, 2014).

Durante essa revisão, fontes que sustentam a presença do problema sob investigação devem ser utilizadas (Barnes, 2005). Essa atividade permite ao pesquisador fornecer um forte argumento relacionado à necessidade do estudo, bem como o ponto em que a literatura se encaixa no objetivo estipulado (Levy & Ellis, 2006).



A metodologia utilizada neste artigo encontra-se estruturada na Figura 1.

**Figura 1.** Fases de Desenvolvimento da RBS.



Cabe ressaltar que no Planejamento da Revisão os termos de busca mais adequados para coleta de dados foram definidos por meio de uma pesquisa preliminar nas fontes primárias. A seleção desses termos pode influenciar nos resultados da busca, sendo, então, uma atividade crucial no desenvolvimento dessa pesquisa. Além disso, faz-se necessário definir os critérios de inclusão e qualificação dos artigos, necessários para obtenção de resultados compatíveis com os objetivos da pesquisa. Portanto, os termos utilizados, critérios de inclusão e qualificação, bem como os detalhes para a busca e extração do banco de dados, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição das Estratégias de Buscas.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
Tópico	TS <sup>1</sup> = ("3D Concrete Print*")
Base de Dados	Web of Science
Indexes	SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI
Inclusão	(I) Tempo de cobertura: todos os anos da base de dados (1945 – 2019); (II) Enquadramento com o objetivo proposto; (III) Fator de impacto do periódico; e (IV) Tipos de documentos: somente artigos.
Qualificação	(I) A pesquisa apresenta uma revisão bibliográfica bem fundamentada? (II) O estudo apresenta inovação técnica? (III) As contribuições são discutidas? (IV) As limitações são explicitamente declaradas? e (V) Os resultados e conclusões são consistentes com os objetivos pré-estabelecidos?
Data da Procura	20 de junho de 2019, as 22h00min

Notas: (1) TS = Tópico, que significa as palavras que serão pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos.



Destaca-se que embora apenas uma base de dados tenha sido considerada na pesquisa, a *Web of Science* apresenta um alcance e cobertura satisfatórios (Chen, 2010).

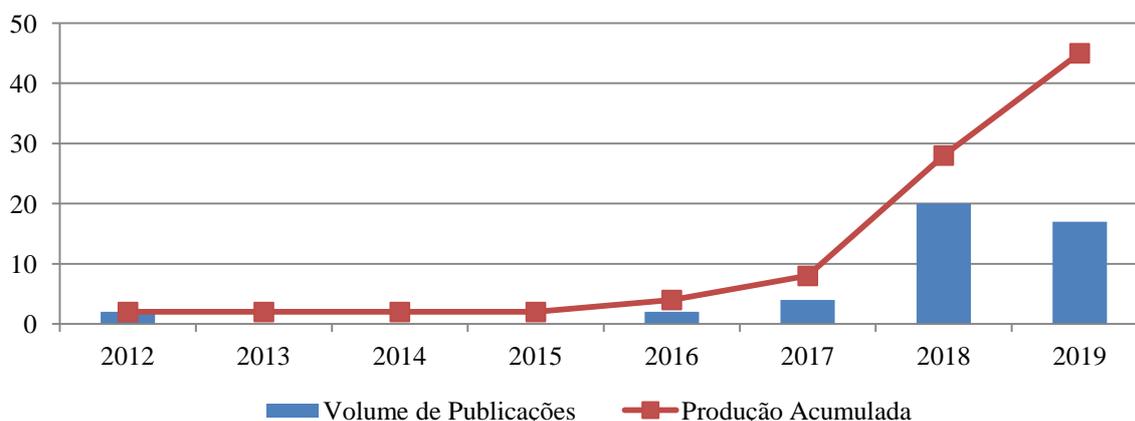
#### 4. RESULTADOS

A partir da busca realizada no banco de dados *Web of Science*, foi possível verificar que apenas 45 publicações estavam aptas a serem incluídas do repositório de pesquisa, ou seja, atendiam aos critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade).

##### 4.1. ANÁLISES QUANTITATIVAS DE TODOS OS ARTIGOS

A Figura 2 mostra a evolução das publicações sobre o tema ao longo dos anos (1945 – 2019). Na Figura 2, verifica-se que a primeira publicação foi registrada no ano de 2012, o que demonstra ser um assunto atual. Além disso, a temática apresenta expansão contínua, com maior número de publicações em 2018, e a curva acumulada representa o interesse crescente sobre o tema ao longo dos anos.

**Figura 2.** Evolução das publicações sobre a 3DCP.



Torna-se também pertinente avaliar os artigos por periódico de publicação, de modo a identificar quais são as revistas que mais se interessam pelo assunto, bem como o fator de impacto de cada uma delas. Nesse sentido, a Tabela 2 apresenta os periódicos com maior volume de publicações.

**Tabela 2.** Principais periódicos sobre o assunto.

Periódicos de Publicação	P <sup>1</sup>	FI <sup>2</sup>
<i>Construction and Building Materials</i>	13%	4,046
<i>Materials</i>	11%	2,972
<i>Materials Letters</i>	9%	3,019
<i>Virtual and Physical Prototyping</i>	7%	6,825
<i>Automation in Construction</i>	7%	4,313
<i>Beton und Stahlbetonbau</i>	7%	0,966
<i>Cement and Concrete Research</i>	7%	5,618
<i>Cement Concrete Composites</i>	7%	5,172
<i>Composites Part B Engineering</i>	4%	6,864

Notas: (1) P (Publicações) refere-se ao quantitativo de artigos publicados no periódico sobre a área de interesse investigada. (2) FI (Fator de Impacto) avalia a importância de periódicos científicos em suas respectivas áreas. Os valores apresentados na Coluna FI correspondem ao ano de 2018.



Na Tabela 2 nota-se que os periódicos que mais tratam sobre o assunto são: *Construction And Building Materials*, com 13% das publicações, *Materials*, com 11% das publicações, e *Materials Letters*, com 9% das publicações. Além disso, nota-se que ao ordenar os periódicos por fator de impacto, foi possível identificar que os mais relevantes são: *Composites Part B Engineering*, *Virtual and Physical Prototyping*, *Cement and Concrete Research* e *Cement Concrete Composites*, com fator de impacto acima de cinco.

Também se considerou pertinente avaliar quais são os países de origem das Instituições de Ensino dos autores que mais desenvolvem artigos relevantes sobre o assunto. Dessa forma, os países com maior volume de publicações se encontram identificados na Tabela 3.

**Tabela 3.** A intensidade das publicações internacionais.

Países	P <sup>1</sup>
Singapura	27%
Austrália	24%
China	20%
Países Baixos	16%
Alemanha	11%
Inglaterra	9%
França	4%
Suíça	4%

Nota: (1) P (Publicações) refere-se ao quantitativo de artigos publicados por país sobre a área de interesse investigada.

Na Tabela 3, nota-se que os países que mais publicam estudos sobre o assunto são: Singapura, com 27% das publicações, Austrália, com 24% das publicações, e China, com 20% das publicações. Salienta-se ainda que os seguintes países apresentaram pelo menos uma publicação diretamente relacionada ao tema: Colômbia, Gâmbia, Japão, Lituânia, Dinamarca, Turquia e EUA.

Infelizmente, identifica-se que nenhum artigo sobre o assunto é originário de Instituições de Ensino brasileiras, mesmo essa temática sendo de suma importância. No Brasil, tem-se a necessidade de desenvolver esta tecnologia para diminuir o tempo de produção e os custos na construção civil, assim como, para criar edifícios mais sustentáveis, capazes de avaliar o ciclo de vida dos materiais empregados.

Destaca-se, entretanto, que os artigos encontrados na pesquisa se limitam a base de dados e ao termo de busca utilizados, dessa forma, podem ter ficado de fora estudos brasileiros desenvolvidos em congressos e em trabalhos de fim de curso (monografia, dissertação ou tese), por exemplo.

Em relação aos principais autores, a Tabela 4 apresenta aqueles com maior volume de publicação. Menciona-se que aproximadamente 90 autores estão listados nas 45 publicações do repositório da pesquisa.



**Tabela 4.** Principais autores sobre o assunto.

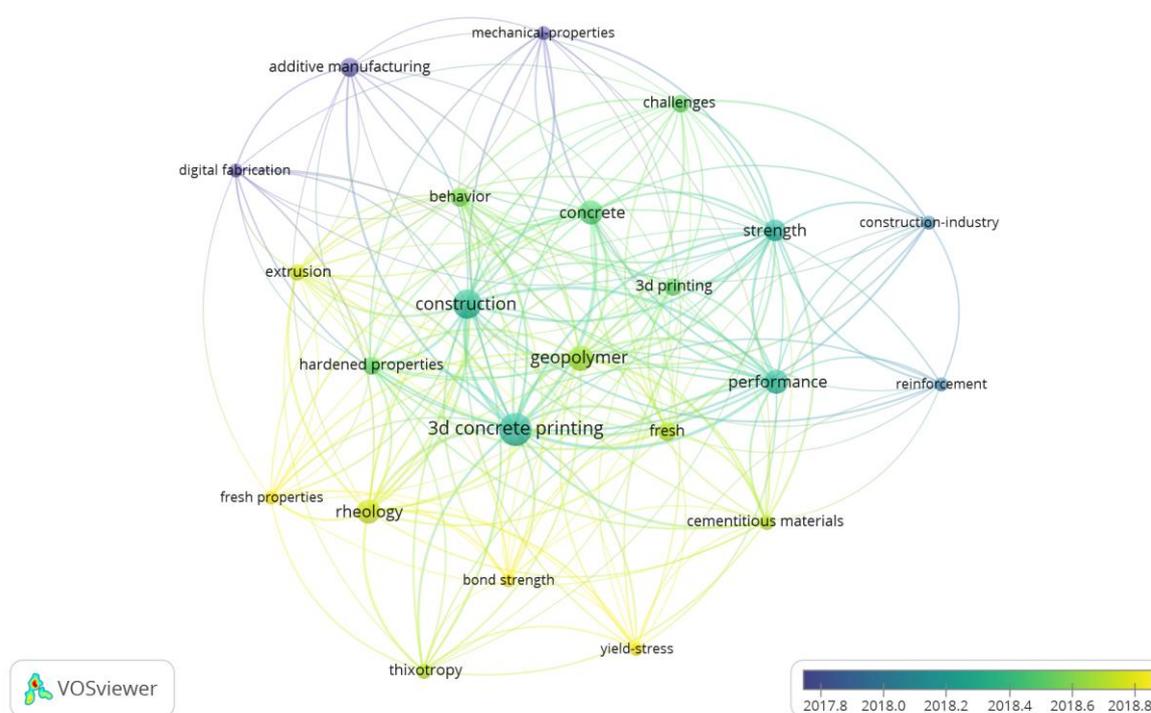
<b>Autores</b>	<b>P<sup>1</sup></b>	<b>Índice <i>h</i><sup>2</sup></b>
Panda, B.	27%	16
Tan, M. J.	24%	30
Ma, G. W.	11%	35
Nerella, V. N.	11%	5
Sanjayan, J.	11%	38
Wang, L.	11%	13
Xia, M.	11%	21

Notas: (1) P (Publicações) refere-se ao quantitativo de artigos publicados pelo autor sobre a área de interesse investigada. (2) Valor de índice *h* é baseado em uma lista de publicações classificadas em ordem decrescente pela contagem de número de citações. Um índice *h* significa que existem *h* artigos em que cada um foi citado pelo menos *h* vezes. O índice *h* é baseado na abrangência dos anos de sua assinatura do produto e do tempo estipulado selecionado. Os itens fonte que não fazem parte da assinatura não são fatorados no cálculo.

A Tabela 4 mostra que os autores que se destacam no desenvolvimento de publicações relacionadas ao tema são: PANDA, B. e TAN, M. J, que juntos participam do desenvolvimento de mais de metade dos artigos. Entretanto, ao se considerar o índice *h* nota-se que os autores mais relevantes cientificamente entre os analisados são: SANJAYAN, J. (com índice igual a 38); MA, G. W. (com índice igual a 35); e TAN, M. J. (com índice igual a 30).

Acredita-se ser também interessante avaliar as principais palavras-chave encontradas nos artigos incluídos no repositório de pesquisa, conforme identificado na rede apresentada na Figura 3, desenvolvida com auxílio do software *VOSViewer*.

**Figura 3:** Rede de relação entre as principais palavras-chave.

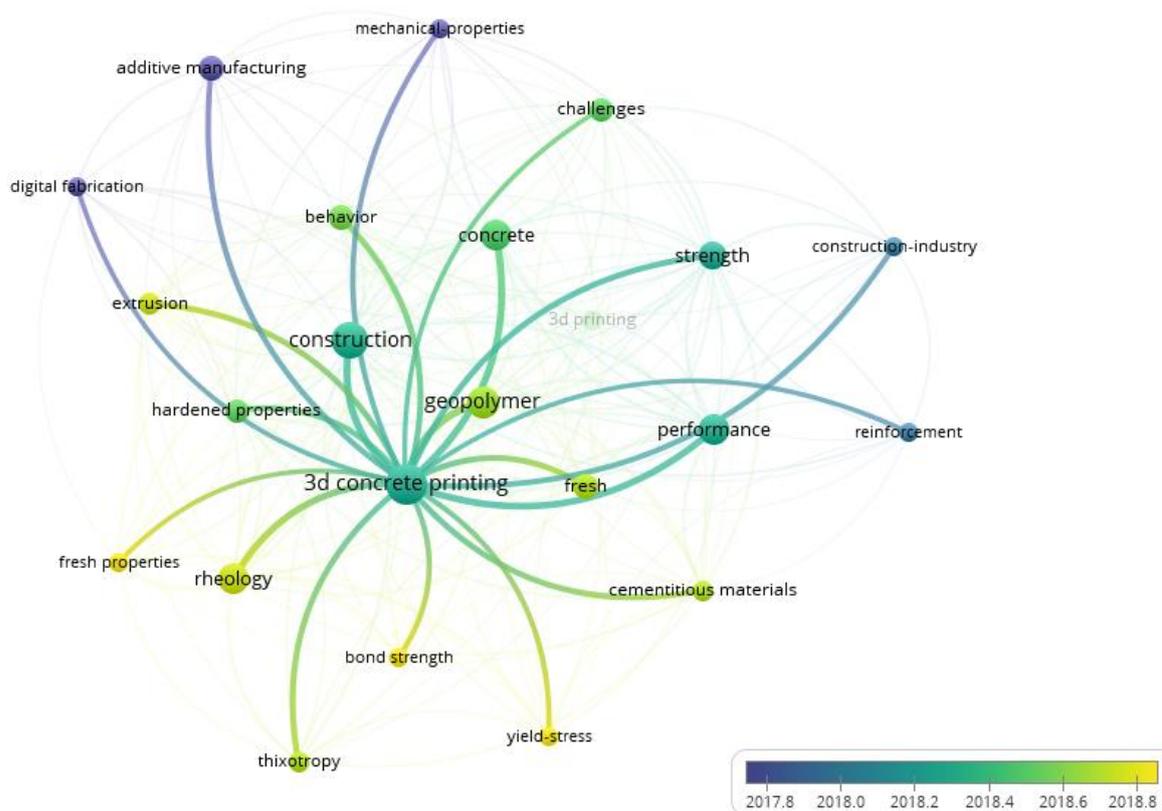


Citação (APA): Abreu, V. H. S., & Souza, G. M. (2019). Uma revisão bibliométrica sobre a Impressão 3D em Concreto. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(5), 50-62.

A rede apresentada na Figura 3 é composta por 23 itens, 3 *clusters* e 197 *links*/conexões. Nela, é possível identificar as palavras-chave mais utilizadas (de acordo com o tamanho da esfera sob sua representação), as interconexões entre elas (de acordo com as conexões entre esferas) e o período em que elas foram mais utilizadas (de acordo com a cor de cada esfera).

De maneira explicativa, a Figura 4 apresenta uma sub-rede, originária da rede presente na Figura 3, em que se destacou a palavra-chave ‘Impressão 3D em Concreto’ (3D *Concrete Printing*, em inglês), foco deste estudo.

**Figura 4.** Rede com foco na palavra-chave ‘Impressão 3D em Concreto’.

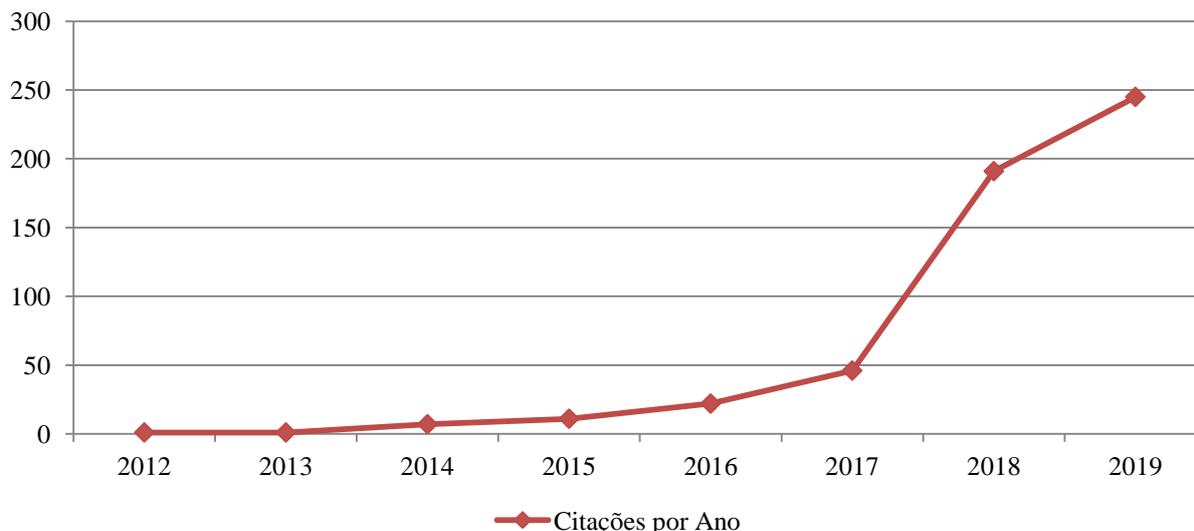


Com a Figura 4, nota-se que a palavra-chave ‘Impressão 3D em Concreto’, que tem dimensão igual a 26, número de conexões igual a 21 e ano de publicação médio igual a 2018, interliga-se com diversas palavras-chave como: ‘geopolímero’ (*geopolymer*, em inglês), ‘construção’ (*construction*, em inglês), ‘concreto’ (*concrete*, em inglês), ‘extrusão’ (*extrusion*, em inglês), ‘tixotropia’ (*thixotropy*, em inglês), dentre outras.

Outra análise importante refere-se ao número de citações por ano, conforme apresentado na Figura 5. Observa-se que a primeira citação ocorreu no ano de 2012 e que o número de citações cresceu com o passar dos anos, atingindo o maior número de citações em 2019. Esses dados mostram que o interesse pelo assunto continua em expansão.



**Figura 5.** Evolução das citações por ano.



#### 4.2. ANÁLISE DOS ARTIGOS MAIS CITADOS

Também é pertinente analisar os artigos com maior número de citações, conforme Tabela 5 que apresenta os estudos com mais de 30 citações na base de dados *Web of Science*.

**Tabela 5:** Os artigos mais citados da base de dados.

Artigo	Referencia	C <sup>1</sup>	MCA <sup>2</sup>
<i>Developments in construction-scale additive manufacturing processes</i>	LIM <i>et al.</i> (2012)	160	23
<i>Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing</i>	BOS <i>et al.</i> (2016)	77	26
<i>Anisotropic mechanical performance of 3D printed fiber reinforced sustainable construction material</i>	PANDA <i>et al.</i> (2017)	38	19
<i>Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction</i>	PAUL <i>et al.</i> (2018)	35	35

Notas: (1) C (Citações) refere-se ao quantitativo de artigos que mencionam o artigo analisado. (2) MCA (Média de Citações por Ano) refere-se ao valor médio obtido pelo número de citações totais dividido pelos anos decorrentes desde sua publicação.

A partir da avaliação da Tabela 5, foi possível verificar que os artigos com maior número de citações são: Lim, et al. (2012), com 160 citações; Bos, et al. (2016), com 77 citações; e Panda, et al. (2017), com 38 citações. Além disso, ao considerar o número médio de citações por ano, os artigos em destaque são: Paul, et al. (2018), com MCA igual a 35, e Bos, et al. (2016), com MCA igual a 26.

A fim de salientar os principais assuntos analisados nesses artigos, busca-se apresentar um breve resumo sobre cada um dos artigos mais relevantes da base de dados, conforme segue.

Lim, et al. (2012) discutem três processos de manufatura aditiva em larga escala (a *Contour Crafting*, a *D-Shape* e a *3DCP*), entretanto, concentram seus esforços em analisar mais



profundamente a 3DCP. Os três processos são todos semelhantes na medida em que constroem aditivamente, no entanto, os processos foram desenvolvidos para diferentes aplicações e materiais. Os resultados da pesquisa, focados no 3DCP, indicam que esse processo construtivo apresenta maior liberdade de concepção, precisão de fabricação com integração funcional e eliminação de mão de obra intensiva, o que não é possível com os processos de construção convencional. Uma desvantagem, no entanto, é a sensibilidade dos materiais e processos a condições ambientais, o que pode dificultar a aplicação no local. Alternativamente, os componentes podem ser fabricados fora do local e transportados para locais de construção, bem como questões inevitáveis de segurança para operários. Uma abordagem baseada em fábrica para a fabricação de grandes componentes em um ambiente controlado é, portanto, atraente e bem alinhado com o movimento dentro da indústria da construção para aumentar a qualidade, velocidade de produção, saúde e segurança.

Bos, et al. (2016) investigaram o potencial das variantes da fabricação aditiva de concreto, em desenvolvimento em todo mundo para construção civil. Além disso, centram seus esforços, assim como Lim, et al. (2012), em avaliar com mais detalhes a 3DCP. Nesse sentido, a 3DCP é comparada a outros métodos de fabricação aditiva de concreto, bem como para manufatura aditiva em geral. Os resultados indicam, por exemplo, que, particularmente, a estabilidade do objeto 3D, durante a impressão, deve ser considerada, conforme o carregamento aumenta em camadas não curadas. O tempo de cura é extremamente relevante, uma vez que o ligante deve garantir aderência entre camadas e, ao mesmo tempo, apresentar resistência suficiente para receber cargas adicionais durante o processo. Isso é fortemente relacionado ao tempo de impressão, tempo de configuração e tempo de intervalo de camada.

Panda, et al. (2017) realizaram uma investigação experimental sobre a 3DCP, utilizando reforço de fibra de vidro curta de diferentes comprimentos (3 mm, 6 mm e 8 mm) e percentagens (0,25% - 1%) em um material de construção sustentável. Os resultados experimentais indicam que a adição de fibra dificilmente melhora a resistência à compressão, mas o impacto é bem visível em termos de resistência à flexão e à tração para conteúdo de fibra de até 1%. Destaca-se ainda que as propriedades mecânicas do 3DCP não dependem somente do comprimento da fibra, mas da disposição da mesma. Um bom exemplo de comportamento anisotrópico natural de fibra é o caule de bananeira.

Paul, et al. (2018) investigaram as propriedades mecânicas de objetos de grande porte construídos por 3DCP, tais como tixotropia, viscosidade, resistência à compressão e a flexão. Além disso, três tipos diferentes de argamassa foram utilizados para realização dos testes e espécimes de cubo e prisma foram coletados de diferentes direções dos objetos, de modo a compará-las. Os resultados mostram, por exemplo, que: (i) Não existem relações entre o limite de elasticidade, a tixotropia e propriedades de viscosidade de materiais 3D imprimíveis; (ii) Para garantir a melhor capacidade de bombeamento de materiais imprimíveis 3D, o valor da tixotropia deve ser maior que 10 000 N mm rpm; (iii) A direção de impressão influencia nas propriedades mecânicas de espécimes impressas em 3D; e (iv) As propriedades mecânicas dos espécimes impressos em 3D são controladas por parâmetros de impressão, como a forma do orifício do bico e a complexidade dos objetos impressos.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil tem sido reconhecida como uma indústria que consome uma quantidade considerável de recursos e causa significativo impacto ambiental. A manufatura aditiva está ganhando espaço na indústria da construção porque apresenta elevado potencial para melhorar os métodos atuais de construção e reduzir os desperdícios. Na Impressão 3D em Concreto, por exemplo, o desperdício de materiais, o tempo de construção e a mão-de-obra são otimizados. Esse processo construtivo favorece a sustentabilidade. Isso porque menos concreto é necessário para construir elementos de grande porte, como moradias, o que significa menor custo de fabricação, menor impacto ambiental (menos emissões de CO<sub>2</sub>, por exemplo) e possibilidade de redução do déficit social/ habitacional

Nesse sentido, esta pesquisa busca investigar os estudos científicos que tratam especificamente sobre a aplicação da Impressão 3D em Concreto. Para isso, foram realizadas revisões bibliométricas dos artigos incluídos no repositório de pesquisa.

Os resultados quantitativos mostram que a primeira publicação sobre o assunto foi registrada no ano de 2012 e que o assunto continua em expansão, com ápice em 2018. Observa-se que a primeira citação ocorreu no ano de 2012 e que o número de citações cresceu com o passar dos anos, atingindo o ápice em 2019. Nota-se ainda que periódicos com elevado fator de impacto publicaram estudos sobre o assunto, como o *Composites Part B Engineering*, *Virtual and Physical Prototyping*, *Cement and Concrete Research* e *Cement Concrete Composites*, com fator de impacto acima de cinco. Além disso, constata-se que os países que mais publicam estudos sobre o assunto são: Singapura, Austrália e China.

Os resultados qualitativos demonstram que os quatro artigos mais citados da base de dados são: Lim, et al. (2012); Bos et al. (2016); Panda, et al. (2017) e Paul, et al. (2018). Sobre os assuntos tratados nesses artigos tem-se que Lim, et al. (2012) e Bos, et al. (2016) buscam averiguar processos de manufatura aditiva em larga escala e centram seus esforços em analisar mais profundamente a impressão 3D em concreto, apresentando as suas principais vantagens e desvantagens, Panda, et al. (2017) que realizam uma investigação experimental sobre a incorporação da fibra de vidro curta na Impressão 3D em Concreto e Paul, et al. (2018) que investigam as propriedades mecânicas de objetos de grande porte construídos por impressão 3D em concreto.

Como limitação, menciona-se que o estudo utilizou apenas um banco de dados (*Web of Science*), não considerando publicações contidas em outras bases como *Science Direct*, *Scielo* e *Scopus*. Além disso, destaca-se que os termos de busca podem influenciar nos resultados. Portanto, os artigos incluídos no repositório de pesquisa são limitados pelo banco de dados e os termos de busca utilizados.

## REFERÊNCIAS

Afonso, M. H. F.; Souza, J. V.; Ensslin, S. R; & Enssli, L. (2011). Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 5 (2), 47-62.



- Citação (APA): Abreu, V. H. S., & Souza, G. M. (2019). Uma revisão bibliométrica sobre a Impressão 3D em Concreto. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(5), 50-62.
- Barnes, S. J. (2016). Assessing the value of IS journals. *Communications of the ACM*, 48(1), 110–112.
- Bos, F.; Wolfs, R.; Ahmed, Z.; & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11 (3), 209-225.
- Chen, X. (2010). The Declining Value of Subscription-based Abstracting and Indexing Services in the New Knowledge Dissemination Era. *Serials Review*, 36 (2), 79–85.
- Dini, E. *D-Shape (Online)*. (2009). Disponível em: [www.d-shape.com](http://www.d-shape.com). Acessado em: 15 de junho de 2019.
- Evren, S.; Kozak, N. (2014). Bibliometric analysis of tourism and hospitality related articles published in Turkey. *International Journal of Tourism and Hospitality Research*, 25 (1), 61-80.
- Florêncio, E. Q.; Quintella, I. P. C. P.; & Ferreira, D. B. (2016). O futuro do processo construtivo? A impressão 3D em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura. *XX Congresso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital*, 9-11.
- Khoshnevis, B. (2004) Automated Construction by Contour Crafting – Related Robotics and Information Technologies. *Automation in Construction – Special Issue*, 13, 5-19.
- Labonnote, N.; Rønquist, A.; Manum, B.; & Rütther, P. (2016). Additive construction: state-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*, 72, 347-366.
- Levy, Y.; & Ellis, T. J. (2006). A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 9, 181–212.
- Lim, S.; Buswell, R. A.; Le, T. T.; Austin, S. A.; Gibb, A. G. F.; & Thorpe, T (2012). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*, 21, 262–268.
- Panda, B.; Chandra Paul, S.; & Jen Tan, M. (2017). Anisotropic mechanical performance of 3D printed fiber reinforced sustainable construction material. *Materials Letters*, 209, 146–149.
- Paul, S. C.; Tay, Y. W. D.; Panda, B.; & Tan, M. J. (2018). Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 18 (1), 311–319.
- Schutter, G.; Lesage, K.; Mechtcherine, V.; Nerella, V.; Habert, G.; & Augustí-Juan, I. (2018). Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. *Cement and Concrete Research*, 112, 25-36.
- Silva, G. C.; Silva, J. V. L. O.; Castro, S. B. M. N.; & Oliveira, T. P. (2018). *Estudo sobre o Uso da Impressão 3D na Construção Civil*. VI Semana de Engenharia do Maranhão.
- Urhal, P.; Weightman, A.; Diver, C.; & Bartolo, P. (2019). Robot assisted additive manufacturing: A review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 335-345.

