

CONCRETO PARA USO EM IMPRESSORA 3D E SUA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO PROSPECTIVO

Eduardo Quintella Florêncio*¹; Lêda Morgana Espíndola de Bulhões Marques²; Nádia Teresinha Paim Corso³; Thiago Arraes Alves Lima⁴; Sílvia Beatriz Beger Uchôa⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Universidade Federal de Alagoas, AL, Brasil

Rec.: 19.07.2017. Ace.:05.09.2017.

RESUMO

Este trabalho de prospecção tecnológica foi concebido com o objetivo de avaliar o material concreto para uso em impressora 3D na construção de edificações. Para tal propósito, foi realizada uma busca patentária nas bases WIPO, INPI e ORBIT, além de revisão bibliográfica em artigos científicos, estudos e prospecções relacionadas à construção civil. Foram recuperados 39 depósitos coerentes com o objeto da pesquisa, quando utilizado um grupo de palavras-chave, suas combinações e classificações relevantes. Dessas, 35 foram depositadas na China (89,74%), 3 na Coreia (7,69%) e 1 nos Estados Unidos (2,56%), entretanto no Brasil não foi encontrado nenhum depósito de pedido quando pesquisada a base do INPI. Destaca-se que 50,72% dos depósitos recuperados pertencem à classificação C04B e 34,78% à B33Y. No Brasil, a ausência de resultados na busca por patentes depositadas na base do INPI indica o estágio embrionário em P&D desta tecnologia em contraste à tendência mundial.

Palavras-chave: Impressão 3D. Concreto. Edificações.

3D PRINTED CONCRETE AND ITS BUILDING CONSTRUCTION APPLICATION: A PROSPECTIVE STUDY

ABSTRACT

This work of technological prospection was conceived with the objective of evaluating the concrete material for 3D building print application. A patent search was carried out at the WIPO, INPI and ORBIT databases, as well as a literature review on scientific articles, studies and surveys related to civil construction. The research retrieved 39 coherent repositories for the papers subject using a group of keywords, their combinations and relevant classifications, with 35 deposited in China (89.74%), 3 in Korea (7.69%) and 1 in the United States (2.56%), however in Brazil no order deposits were found at the INPI database. It should be noted that 50.72% of the requested deposits belong to the classification C04B and 34.78% to the B33Y. In Brazil, the lack of results in the search for patents deposited in the INPI database indicates its early stage in R&D of this technology when compared to the world trend.

Keywords: 3D Print. Concrete. Building.

Área tecnológica: Prospecção tecnológica.

* Autor para correspondência: eduardoqf@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas ferramentas de fabricação digital, a impressão 3D é considerada como "um raro exemplo de uma tecnologia única que se tornou verdadeiramente disruptiva por si só" (PRENTICE, 2014), revolucionando, a um só tempo, as indústrias manufatureira, automotiva e aeroespacial, além dos campos da medicina, odontologia, indústria, dentre outros.

No subsetor de edificações da construção civil, a tecnologia de manufatura aditiva de concreto, denominada *3D Concrete Printing* (3DCP), tem sido pesquisada e desenvolvida por vários grupos com diferentes objetivos (KREIG et al, 2015), destacando-se os esforços empreendidos por pesquisadores na criação de novos instrumentos, aparatos e materiais.

A tecnologia 3DCP nasceu da necessidade de ampliação da dimensão física das impressoras 3D de polímeros já existentes nos anos 80 e 90, para torná-las capazes de fabricar objetos tão grandes quanto uma casa. Como primeiro movimento neste sentido, ressaltamos, em 1997, o trabalho do Prof. Joseph Pegna, do Departamento de Engenharia Mecânica da Rensselaer Polytechnic Institute.

Em artigo intitulado "Investigação Exploratória de Construção Sólida de Formas Livres", Pegna descreve um processo que consiste na deposição de finas camadas de areia, sobrepostas por cimento e curadas com o uso de vapor (PEGNA, 1997). A referida invenção, no entanto, teve seu desenvolvimento descontinuado.

Passada esta primeira iniciativa, em 2001, sob a liderança do pesquisador Behrokh Koshnevis da Universidade do Sul da Califórnia, é criada a tecnologia de 3DCP intitulada *Contour Crafting* - CC (Construção por Contornos), que consiste na extrusão de concreto em estado pastoso com deposição controlada por computador (KOSHNEVIS, 2001).

Após o *Contour Crafting*, surgiram outras iniciativas utilizando abordagens diferentes para a 3DCP, como os projetos *D-Shape*, na Itália, e o *Concrete Printing*, no Reino Unido, (LIM et al, 2012), projetos que, apesar de tecnicamente distintos, destacam-se por também serem pioneiros na fabricação digital de peças grandes por sobreposição de camadas utilizando concreto como material (GARDINER, 2011).

O desenvolvimento da tecnologia 3DCP pode ser atribuído a sua promessa de minimizar determinadas fragilidades do subsetor de edificações da construção civil, provenientes do uso intensivo de mão de obra, da utilização de processos artesanais, do desperdício de materiais, do impacto ambiental e da alta incidência de acidentes de trabalho. Espera-se, ainda, que esta tecnologia traga novas possibilidades para superar as atuais limitações no *design* arquitetônico e estrutural das edificações (HANZÉ et al, 2015).

Parte indissociável da tecnologia 3DCP, também tem crescido a pesquisa e desenvolvimento acerca dos materiais relacionados a sua aplicação. Estes, via de regra, consistem em concretos especiais, com características específicas, determinadas pela necessidade de bombeamento e extrusão por meio de bicos (LIM et al, 2012), além de características reológicas, de resistência e outras coerentes com o uso pretendido.

Neste sentido, o presente trabalho se propõe a realizar uma prospecção da tecnologia de concreto para uso em impressora 3D, por meio de busca em bases de patentes e artigos científicos, com o objetivo de averiguar o estado da técnica, a concentração geográfica da P&D, dentre outras informações que possam apoiar a tomada de decisão de pesquisadores e investidores.

DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA

Diversos estudos sobre 3DCP indicam que inexiste uma mistura única para o concreto que permita sua deposição por extrusão controlada em uma superfície. De forma que questões relacionadas à

composição e ao aproveitamento de materiais diversos no preparo deixam margem à inovação, estimulando a pesquisa e desenvolvimento (P&D) relacionada ao produto.

Em busca das características fundamentais ao concreto para uso em impressão 3D, é importante observar que a maior parte dos métodos conhecidos de 3DCP se apoia nos princípios presentes no projeto *Contour Crafting*, desenvolvido pelo prof. Behrokh Khoshnevis, para formação de uma estrutura através do depósito de camadas de filamento cimentício (BOS et al, 2016).

Sendo possível identificar, dentro da literatura disponível sobre 3DCP, algumas características tidas como essenciais ao concreto a ser utilizado para tal finalidade (LIM et al, 2012; VALKENAERS et al, 2014; PAUL et al, 2016; LABONNOTE et al, 2016; ZIJL et al, 2016), são elas:

- Bombeabilidade – possibilidade de o concreto mover-se pelo sistema de impressão 3D;
- Extrudabilidade – capacidade do concreto ser forçado através de um bico em um fluxo contínuo;
- Tempo de cura controlado – capacidade do material manter as propriedades acima descritas dentro de uma margem de tolerância, após a qual o concreto endurece;
- Edificabilidade – definida pela resistência apresentada pela camada de concreto recém-depositada de suportar a carga de outra camada de concreto sem sofrer significativas deformações.

Para alcançar as propriedades essenciais acima descritas, bem como outras propriedades específicas, os pesquisadores têm testado diferentes variações do tradicional concreto de cimento portland, modificando as proporções da mistura ou agregando aditivos em busca de determinadas características reológicas ou outras características desejáveis.

No mais, cumpre observar a inviabilidade de uma análise completa de todos os materiais atualmente utilizados na composição do concreto para impressão 3D ou todas as características já pesquisadas e desenvolvidas. Isso porque, devido a fatores relacionados à competitividade do setor, detalhes fundamentais são omitidos (BOS et al., 2016).

METODOLOGIA

Prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo (KUPFER; TIGRE, 2004). Deste modo, visando identificar o potencial de uso do concreto para a impressão 3D na construção de edificações, foram utilizadas, como partido metodológico, busca de patentes e revisão bibliográfica, seguida de consolidação dos dados e informações.

A busca de patentes, realizada no período de 30 de maio a 05 de julho de 2017, consistiu na pesquisa em bases de dados por meio de palavras-chaves, suas combinações e classificações IPC relevantes. A pesquisa teve como instrumento de busca, no âmbito nacional, a base de dados do Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), além das bases internacionais World Intellectual Property Organization (WIPO – PATENTSCOPE) e ORBIT Intelligence.

O conjunto de palavras-chave utilizado na busca patentária, assim como a abrangência da pesquisa estão discriminados na tabela 1.

Tabela 1 – Palavras chave e abrangência utilizadas nas buscas nas bases de patentes.

Base	Palavras chave	Abrangência
WIPO	“3D” Print* - Concret* – Cement* -Composition – Mortar -Buil*	Resumo
ORBIT	“3D” Print* - Concret* – Cement* -Composition – Mortar -Buil*	Título e Resumo
INPI	Impressão “3D” - Concret* – Ciment* -Composição – Argamassa-Edif*	Título e Resumo

Fonte: Autores (2017)

Como forma de ampliar o espectro e qualidade dos resultados foram utilizados: a truncagem com o operador “*” e os operadores booleanos AND e OR, com as combinações citadas na tabela 2. Em complemento aos parâmetros mencionados, foi realizada ainda a busca por classificações IPC mais relevantes, C04B e B33Y, conforme tabela 3.

Além disso foi realizada revisão bibliográfica de artigos, relatórios e prospecções, com o objetivo de esclarecer o contexto nacional, quanto ao uso da impressão 3D na construção de edificações e as tendências de adesão à nova tecnologia.

O conteúdo bibliográfico foi pesquisado e acessado por meio de sites de busca como o GOOGLE, GOOGLE Acadêmico, Research Gate e Periódicos CAPES, além de pesquisa diretamente em sites de instituições relacionadas ao setor da construção civil, como Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil (CBIC), Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Por fim, a consolidação dos dados e informações coletadas nas etapas anteriores proporcionaram condições adequadas para a análise e conclusão deste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 2, 3 e 4 mostram o resultado da pesquisa patentária. Na tabela 2 está destacada a amostra que foi utilizada para mineração de dados e obtenção dos resultados desta prospecção.

Tabela 2 – Resultado da Busca Patentária.

Nº	Combinação adotada	ORBIT	INPI	WIPO
1	CONCRET* AND “3D” PRINT*	128	-	101
	CONCRET* AND IMPRESSÃO “3D”	-	0	-
2	“3D” PRINT* AND COMPOSITION	256	-	182
	IMPRESSÃO “3D” AND COMPOSIÇÃO	-	383	-
3	“3D” PRINT* AND CEMENT*	108	-	43
	IMPRESSÃO “3D” AND ARGAMASSA	-	0	-
4	“3D” PRINT* AND MORTAR AND CONCRET* AND CEMENT*	1	-	1
	IMPRESSÃO “3D” AND ARGAMASSA AND CONCRET* AND CIMENT*	-	0	-
5	“3D” PRINT* AND CONCRET* AND CEMENT*	14	-	4
	IMPRESSÃO “3D” AND CONCRET* AND CIMENT*	-	0	-
6	“3D” PRINT* AND CONCRET* AND MORTAR	6	-	5
	IMPRESSÃO “3D” AND CONCRET* AND ARGAMASSA	-	0	-

Fonte: Autores (2017)

Tabela 3 – Resultado da Busca Patentária por Classificação.

Nº	Combinação adotada	ORBIT
1	C04B AND B33Y	357

Fonte: Autores (2017).

Tabela 4 – Classificações Mais Relevantes - Classificação Internacional de Patentes (IPC).

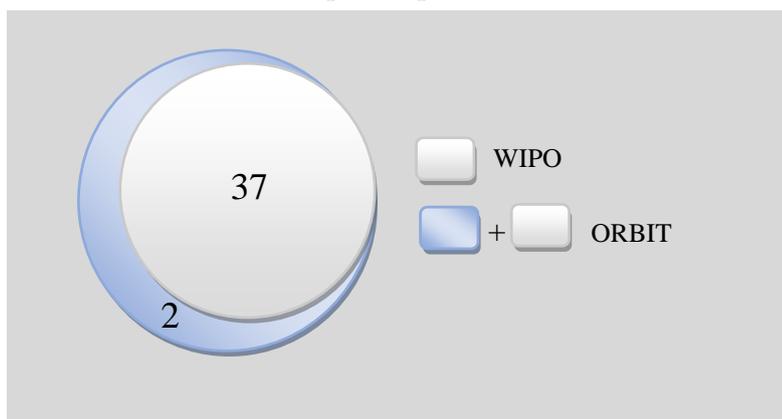
Código	Classificação
C04	Cimento, concreto, pedra artificial, cerâmica, refratários
C04B	Cal, magnésio, escória, cimento, composições diversas
B33	Tecnologia de manufatura aditiva
B33Y	Manufatura aditiva, ou seja, manufatura de objetos tridimensionais por meio de deposição e aglomeração aditiva ou adição por camadas

Fonte: WIPO (2017) – tradução dos autores.

Foram analisados os pedidos de patentes decorrentes da pesquisa priorizando as combinações constantes na tabela 2, resultando em 27 pedidos de depósito coerentes com o objetivo desta prospecção.

Com base nesses resultados foram identificadas as duas classificações mais relevantes no âmbito da Classificação Internacional de Patentes (IPC), C04B e B33Y. A nova busca, utilizando tais classificações, acrescentou 12 inserções, elevando o resultado da pesquisa para 39 depósitos de patentes.

Gráfico 1 – Número de depósitos por base de busca.

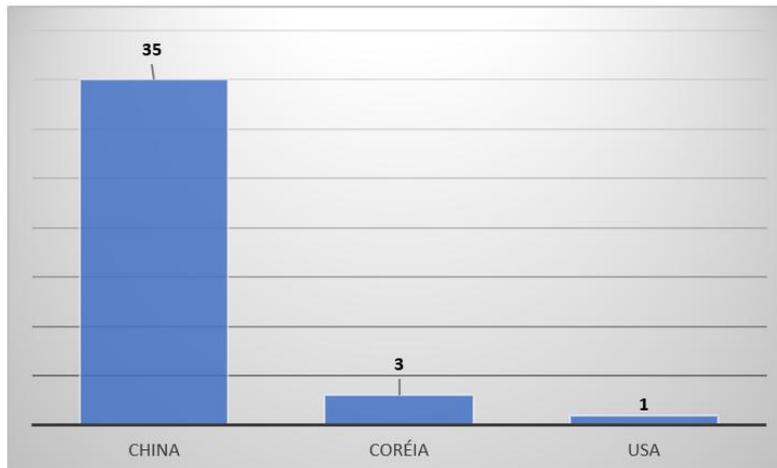


Fonte: Autores (2017).

A maior abrangência foi evidenciada na consulta à base de dados ORBIT Intelligence com 39 depósitos relevantes capturados, sendo que desta amostra, 37 constavam nas duas bases, WIPO e ORBIT, conforme demonstrado acima. A consulta a base do INPI demonstrou a inexistência de registros, considerando as palavras-chave, combinações e classificações pesquisadas.

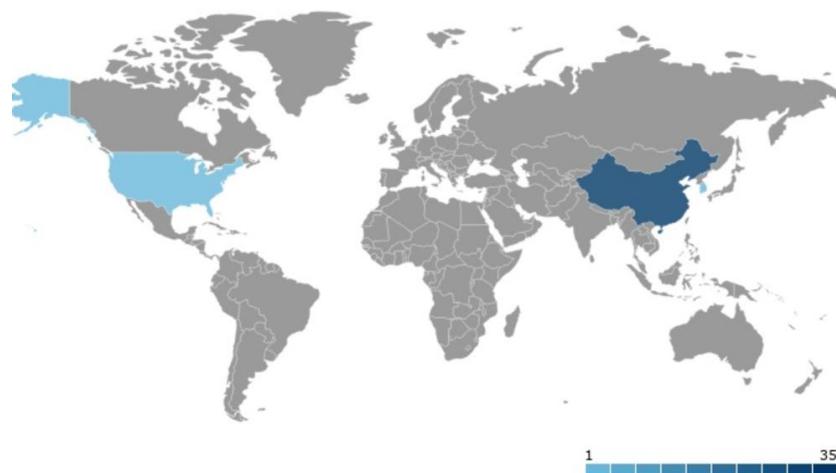
Os gráficos a seguir mostram os principais aspectos observados e que podem auxiliar na composição do contexto atual relacionado à propriedade intelectual e sua distribuição geográfica, a evolução no tempo, o status legal e as classificações com maior incidência.

No gráfico 2 a China chama a atenção, destacando-se no cenário mundial quanto ao número de pedidos de patente com prioridade em relação aos demais.

Gráfico 2 – Distribuição dos resultados - prioridade por país.

Fonte: Autores – Baseado em dados retirados na base ORBIT–Intelligence (2017).

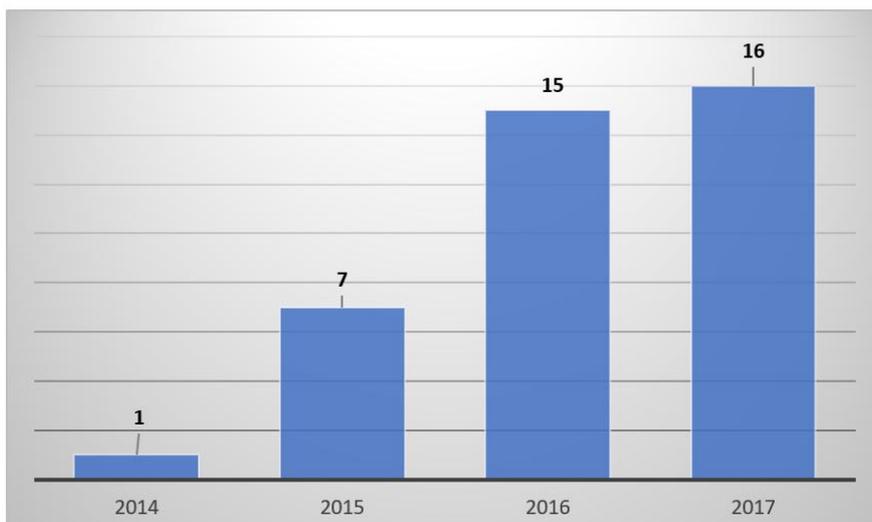
A distribuição geográfica dos pedidos de depósito (gráfico 3), coincide com a incidência de pesquisa e desenvolvimento baseada na localização das instituições depositantes. Apenas uma das 39 patentes tem também pedido de depósito via Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WO ou WIPO), destacando-se nesta a intenção de depósito em diversos países, como por exemplo, o Brasil.

Gráfico 3 – Localização de Mercados e Concorrentes; Pesquisa e Desenvolvimento.

Fonte: ORBIT–Intelligence (2017)

A evolução do número de publicações (gráfico 4), nos últimos três anos, sugere um crescente interesse pela tecnologia de impressão 3D em concreto.

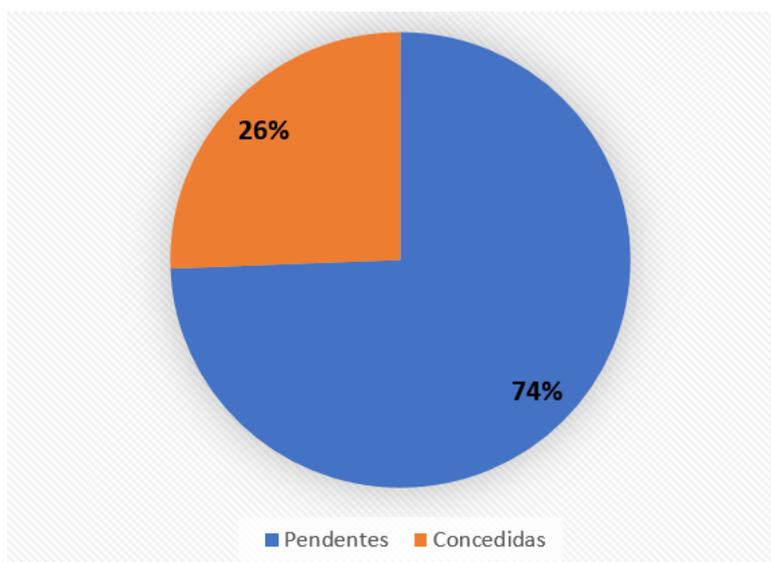
Gráfico 4 – Distribuição dos resultados da pesquisa por ano - 1ª publicação.



Fonte: Autores – Baseado em dados retirados na base ORBIT – Intelligence (2017)

Frente a maior concentração de depósitos em período recente, decorre um reduzido número de patentes concedidas até o momento, conforme pode ser observado no gráfico 5.

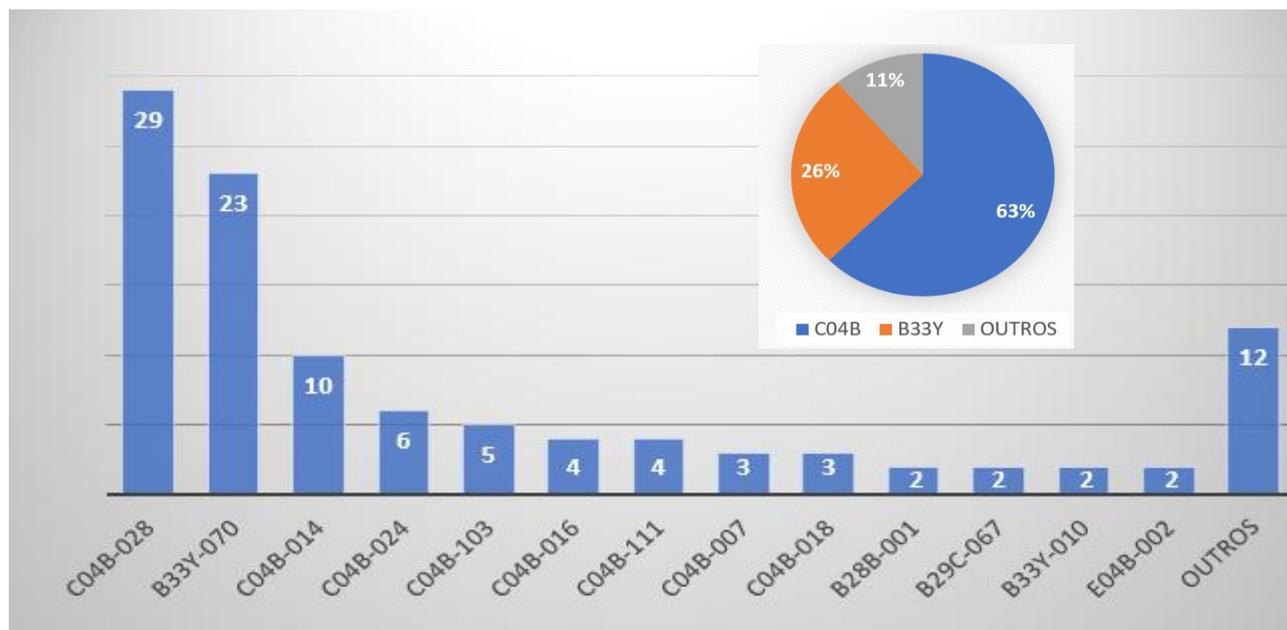
Gráfico 5 – Distribuição por *status* legal.



Fonte: Autores – Baseado em dados retirados na base ORBIT – Intelligence (2017).

Considerando os 39 depósitos de pedidos de patente relacionados ao objeto da prospecção, observa-se uma maior incidência de duas grandes classes, C04 (concreto) e B33 (manufatura aditiva), incluindo as subclasses C04B (cimento e composições diversas) e B33Y (impressão 3D), conforme demonstrado no gráfico 6.

Gráfico 6 – Distribuição dos resultados da pesquisa por Código IPC – Classificação.



Fonte: Autores – Baseado em dados retirados na base ORBIT – Intelligence (2017).

A tabela 6 destaca as principais classificações por classe IPC, observadas nos 39 solicitações de depósito recuperadas na pesquisa às bases de busca de patentes.

Tabela 6 – Classificação International Patent Classification – IPC.

Código	Classificação
B28	Trabalho com cimento, argila ou pedra
B29	Trabalho com plásticos; com substâncias em estado plástico em geral
B33	Tecnologia de manufatura aditiva
C04	Cimento, concreto, pedra artificial, cerâmica, refratários
C08	Compostos macromoleculares orgânicos, sua preparação ou melhoramento químico; composições baseadas nisto
E04	Construção

Fonte: WIPO (2017) – livre tradução dos autores.

Sobre o contexto nacional

Com o objetivo de entender as tendências relacionadas ao uso do concreto para impressão 3D no âmbito da construção civil nacional, foram analisados os documentos constantes na tabela 7, os quais incluem prospecções envolvendo painel de especialistas, entrevistas, benchmarking com outros países, elaboração de roadmap e matriz SWOT, todos voltados à identificação de tendências da inovação tecnológica no setor.

Da análise dos documentos, percebe-se que os especialistas e profissionais envolvidos na análise do cenário da construção civil brasileira, não citam textualmente a impressão 3D como uma tecnologia com possibilidade de aplicação em curto prazo.

Tabela 7 – Estudos, prospecções e catálogos relacionados à Construção Civil.

Estudo	Fonte	Ano
Catálogo de Inovação na Construção Civil	CBIC	2016
Caderno de Casos de Inovação na Construção Civil	CBIC	2014
Construção Civil, desafios 2020	FIRJAN	2014
Relatório Técnico Estudo de Tendências Tecnológicas na Indústria de Construção Civil no Segmento de Edificações	FIRJAN	2013
Estratégias para a formulação de Política de Ciência, Tecnologia e Inovação para a indústria da Construção Civil	CBIC	2012
Roadmapping da Construção Civil – 2020 – Rotas Estratégicas para o futuro da indústria paranaense	FIEP	2011
Estudo Prospectivo Setorial da Construção Civil	ABDI	2009

Fonte: Autores (2017)

Por outro lado, identifica-se em pesquisas acadêmicas no Brasil algum interesse pelo tema e o surgimento de startups, como a Urban3D e a Inovahouse, sendo esta última decorrente de pesquisa desenvolvida na Universidade de Brasília – UNB.

Assim observa-se que o contexto nacional sinaliza que a tecnologia 3DCP ainda se encontra em estágio embrionário, reproduzindo a característica da construção civil de ser uma indústria tradicional, com resposta lenta à aceitação e adoção de novas tecnologias (HARTY, 2008).

Sobre a regulamentação da tecnologia no Brasil

Antes que a tecnologia 3DCP vire uma realidade usual nos canteiros de obras, a mesma deverá superar algumas dificuldades de cunho normativo. Isso porque a ausência de normatização funciona como uma barreira para aceitação de novas tecnologias pelo mercado. Tanto que, no âmbito da construção civil, pode ser observada a existência de códigos de edificações municipais com disposições que limitam a utilização de tecnologias não previstas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A regulamentação de uma nova tecnologia revela-se de essencial importância por atender a um duplo viés, permitindo ao consumidor ter maior segurança sobre a qualidade do produto adquirido e ao responsável técnico menor risco de incorrer em responsabilização civil, administrativa ou mesmo criminal, em caso de defeitos que ocorram na edificação ou decorram do seu uso.

Por fim, note-se que a tecnologia 3DCP deverá observar as exigências relacionadas à recente norma da ABNT NBR 15575/2013 – Desempenho de Edificações Habitacionais, que possibilita a avaliação técnica das inovações tecnológicas ainda não regulamentadas pelas normas vigentes. Atualmente esta análise é realizada pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), vinculado ao Ministério das Cidades, que consiste em mecanismo de suporte na avaliação de produtos inovadores, que visa reduzir as barreiras à inovação tecnológica na produção habitacional.

Indicação de perspectivas

Os profissionais de P&D apontam as seguintes tendências para a evolução da tecnologia de concreto para uso em impressora 3D:

- Uso de materiais locais na composição do concreto para uso em 3DCP. Aplicação de extrema relevância em locais com difícil acesso à matéria prima para a fabricação do concreto, como por exemplo o solo lunar (KREIGER et al., 2015);
- Utilização de materiais funcionais, tal como o material de construção autocurável capaz de selar e curar as rachaduras, com potencial de melhorar a durabilidade das estruturas impressas em 3D, concreto com propriedades de captura de CO₂, materiais isolantes térmicos que podem reduzir a transmissão de calor e economizar a energia utilizada, regulando a temperatura interna da edificação (LU et al., 2016);
- Elaboração de normas técnicas para padronização do concreto especial a ser utilizado na impressão 3D (KREIGER et al., 2015).
- 4D Printing que consiste na impressão de objetos capazes de alterar suas características físicas quando expostos ao ar, água ou calor, devido a reações químicas (PANDA et al., 2016);

CONCLUSÃO

A prospecção tecnológica realizada neste trabalho resultou na captura de 39 depósitos de patentes que visam proteger invenções de concreto para uso em impressão 3D. A análise dos dados fornecidos pelas patentes coletadas indicou um aumento quantitativo dos depósitos nos anos de 2016 e 2017, com uma concentração de 79,49% da amostra considerada neste período, evidenciando um crescente interesse na referida tecnologia nos últimos 2 anos.

Tomando por base a análise das patentes recuperadas, é possível afirmar ainda que a China se apresenta como o grande centro de desenvolvimento de concreto para impressão 3D, detendo 89,74% dos depósitos de patentes consideradas relevantes nesse trabalho. Tal fato contrasta com a realidade de pesquisa deste tipo de tecnologia no Brasil, que não possui qualquer patente depositada no INPI.

Por fim, concluímos, tendo em vista o fato do concreto já ser o material de construção mais consumido no mundo (CAMPOS, 2017) e face o crescente interesse na proteção da tecnologia de concreto para impressão 3D nos últimos anos, que existe um amplo campo de possibilidades em P&D nesta área.

REFERÊNCIAS

BOS, F. et al. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. **Virtual and Physical Prototyping**, v.11, n.3, p.209-225, 2016.

CAMPOS, P. A fabricação digital aplicada à construção industrializada: estado da arte e perspectivas de desenvolvimento. **Concreto & Construções**, jan-mar, p. 22-28, 2017.

GARDINER J. **Exploring the emerging design territory of construction 3D printing-project led architectural research**, 2011. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy School of Architecture and Design Design and Social Context Portfolio RMIT University August 2011.

HAMZÉ, Farook; et al. 3D Concrete Printing: Machine and mix design. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v.6, n.6, p. 14-22, jun. 2015.

FLORÊNCIO, E.Q. et al. Concreto para uso em impressora 3d e sua utilização na construção de edificações: um estudo prospectivo.

HARTY, C. Implementing innovation in construction: contexts, relative boundedness and actor-network theory, **Construction Management and Economics**, v. 26, p. 1029-1041, 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446190802298413>>. Acesso em junho de 2017.

KHOSHNEVIS, B.; RUSSELL, R.; KWON, H.; BUKKAPATNAM, S.; Contour Crafting – A Layered Fabrication Technique. **IEEE Robotics and Automation Magazine**, v. 8, n. 3, set. 2001. p. 33-42.

KREIGER, A., et al. The current State of 3D Printing for Use in Construction. In: CONFERENCE ON AUTONOMOUS AND ROBOTIC CONSTRUCTION OF INFRASTRUCTURE, 2015, Ames, Iowa. **Proceedings of the 2015. Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure Iowa State University**. Ames: Iowa State University, 2015. p. 149-157.

KUPFER, D.; TIGRE, P. (2004). **Prospecção Tecnológica**. In: CARUSO, L. A.; TIGRE, P.(Orgs). Modelo Senai de prospecção: documento metodológico. Montevideo: CINTERFOR/OIT, 2004. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/gic/pdfs/modelo_senai_de_prospeccao_cap2.pdf>. Acesso em: set 2014.

LABONNOTE, N.; RUTHER, P. Additive manufacturing: An opportunity for functional and sustainable constructions. In: SILVA, F. et al (ORGs). **Challenges for Technology Innovation: An Agenda for the Future**: Proceedings, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309430330_Additive_manufacturing_An_opportunity_for_functional_and_sustainable_constructions>.

LABONNOTE, N. et al. Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. **Automation in Construction**. 2016. Disponível em: <<https://www.gartner.com/doc/2669320?ref=unauthreader>>. Acesso em 10/07/2017

LIM, S. et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. **Automation in Construction**. n.21, p. 262-268, 2012.

LU, B. et al. A Review of 3D Printable Construction Materials and Applications. In: 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing. **Progress in additive manufacturing**. Singapore: 2016, p. 330-335.

PANDA, B. et al. The Disruptive Evolution Of 3D Printing. In: 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing. **Progress in additive manufacturing**. Singapore: 2016, p. 152-157.

PEGNA, J. Exploratory investigation of solid freeform construction. **Automation in Construction**, n.5, p. 427-437, 1997.

PAUL, C. et. Al. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing. **Material Science Forum**, v. 861, p. 177-181, 2016.

PRENTICE, S. The five SMART technologies to Watch. **Gartner**, Connecticut, 21 fev. 2014. Disponível em: <<https://www.gartner.com/doc/2669320?ref=unauthreader>>. Acesso em 10/07/2017

VALKENAERS, H. et al. Additive Manufacturing for concrete: a 3D print principle. In: 14º euspen International Conference. **Non-KU Leuven Association publications**. Dubrovnik: euspen. jun. 2014, p. 139-142.

FLORÊNCIO, E.Q. et al. Concreto para uso em impressora 3d e sua utilização na construção de edificações: um estudo prospectivo.

ZIJL, V. et al. Properties of 3D Printable Concrete. In: 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing. **Progress in additive manufacturing**. Singapore: 2016, p. 421-426.