



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

O BIM COMO SUPORTE À CONSTRUTIBILIDADE E SUA RELAÇÃO COM A CONSTRUÇÃO ENXUTA ¹

ABREU, J.P.M. (1); MARCHIORI, F.F. (2); CARDOSO, G. C. (3); CORRÊA, L. A. (4).

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: joapaulojpma@hotmail.com.

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: fernanda.marchiori@ufsc.br.

(3) Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: gabrielcamargo2210@gmail.com.

(4) e-mail: leco.aguiarcorrea@gmail.com.

RESUMO

Erros de projeto podem comprometer seriamente a segurança e contribuir para falhas em projetos de construção. Tais falhas podem ter consequências econômicas, ambientais e sociais. Muitas dessas falhas são identificadas somente durante a construção, gerando retrabalhos, sobrecustos e atrasos. Se detectadas ainda na fase de projeto, as falhas podem ser mitigadas e suas consequências, evitadas. Neste sentido, o Building Information Modelling (BIM) desempenha um papel importante na análise de construtibilidade e na eliminação de atividades que não agregam valor, princípio da filosofia lean. Pretende-se, neste artigo, verificar como a modelagem da informação vem contribuindo para a construtibilidade dos projetos e na implantação da produção enxuta nas obras, concomitantemente. Com esse objetivo, foi realizada revisão bibliométrica integrativa (método de Botelho, Cunha e Macedo (2011)), com consulta a bases internacionais, sendo obtidas oitenta e sete publicações científicas relacionadas. Utilizando o portfólio bibliográfico formado, definiu-se variáveis bibliométricas sobre o tema de pesquisa e foram obtidas as interseções entre as abordagens de otimização de projeto (lean/construtibilidade) e o BIM.

Palavras-chave: BIM, Lean, Construtibilidade.

ABSTRACT

Design errors could seriously compromise safety and it contribute to building construction fails. These fails could have economic, environmental and social consequences. Many fails are identified only during the construction, creating rework, over costs and delays. If they detected in the design step, fails could be eased and consequences, avoided. In this line, the Building Information Modelling (BIM) has an important role in constructability analysis and cutting value loss activities, lean principle. In this article, it is intended to verify how the information modelling is contributing to the designs' constructability and lean production implantation in constructions, at the same time. Because this aim, a bibliometric integrative review was produced using Botelho, Cunha e Macedo (2011)'s method, searching international databases and resulting eighty-seven scientific studies related. A bibliographic portfolio was done and used by the bibliometric variables' calculation from the research matter and for the

¹ ABREU, J.P.M. de; MARCHIORI, F.; CARDOSO, G. de C.; CORRÊA, L. de A. O BIM como suporte à construtibilidade e sua relação com a construção enxuta. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

definition about intersections among the construction projects optimization approaches and BIM.

Keywords: BIM. Lean, Constructability, Buildability.

1 INTRODUÇÃO

Diversos fatores afetam negativamente o desempenho da construção civil, devido a problemas de projeto e execução, como por exemplo: interferências entre sistemas construtivos, desperdícios de materiais por retrabalho e de mão de obra por etapas desnecessárias (que não agregam valor ao produto - a edificação). O setor de construção civil, devido à alta demanda de recursos de materiais, necessita de controle no processo produtivo e na concepção de seus produtos para que os objetivos de custo e de qualidade sejam atingidos, bem como seja reduzida a geração de resíduos e promovida maior sustentabilidade (TOMMELEIN; GHOLAMI, 2012; AJAYI *et al.*, 2017; CHIDAMBARAM, 2019).

Mecanismos possíveis para esse controle podem ser obtidos em diferentes abordagens de otimização de projetos. Uma delas é a que envolve análises de construtibilidade. Construtibilidade, segundo Sabbatini (1989), American Society of Civil Engineers (ASCE, 1991), Narloch (2015) e Abreu, Marchiori e Oviedo Haito (2019) é uma propriedade inerente às construções, indicando seu grau de facilidade de execução e de integração de informações entre projeto e execução, ou mesmo etapas posteriores do ciclo-de-vida. Outra abordagem está nos princípios da *lean construction* ou "construção enxuta", que é a tradução de princípios industriais de otimização à indústria da construção, enunciados por Koskela (1992). Alguns desses princípios envolvem a redução de atividades de fluxo ou de tempos de ciclo, minimização de desperdícios e aumento da geração de valor, bem como avaliação de qualidade do *design* (AHUJA; SAWNEY; ARIF, 2017; KO, 2017).

A operacionalização desses mecanismos propostos em análises de construtibilidade ou pela *lean construction* pode ocorrer por meio do *Building Information Modelling* (BIM), que é um conjunto de ferramentas e processos de projeto que envolvem formatos mais avançados de modelagem de informações das construções, com modelos associados a bancos de dados de construção. A maior quantidade de recursos tecnológicos pode ser utilizada para atender dimensões além das físicas (3D) como planejamento, por exemplo (AHUJA; SAWNEY; ARIF, 2017; FINNERTY, 2017).

O objetivo desse trabalho é verificar como a modelagem da informação vem contribuindo para a construtibilidade dos projetos e da produção enxuta nas obras, ou seja, ao controle no processo produtivo e na concepção de edificações.

2 MÉTODO

A fim de atingir tal objetivo, realizou-se revisão bibliométrica integrativa com o método proposto por Botelho, Cunha e Macedo (2011), cujas etapas são ilustradas no Quadro 1. Após simulações de retorno de resultados, definiu-se como descritor a expressão '("lean" OR "BIM") AND ("construct?bility" OR "buildability")'. Não se utilizou a expressão '("BIM") AND ("construct?bility") AND ("lean")' pelo baixo número de resultados de pesquisa, em relação ao outro descritor, e em função da quantidade de termos concomitantes.

De acordo com o método, não podem ser realizadas pesquisas separadas com diferentes descritores e considerá-las como um único portfólio bibliográfico e, desse modo, as simulações de resultado sempre ocorreram com todos os termos

relacionados à pesquisa. Existe, em menor proporção, a adoção do termo “*constructibility*” na bibliografia internacional. Como consiste em variação de apenas um caractere de “*constructability*”, a pesquisa foi realizada com o uso de caractere-coringa “?”.

Esses resultados foram inseridos na plataforma EndNoteWeb™ para organização, remoção de duplicados e leitura de títulos/resumos e palavras-chave. Também foi realizada a seleção considerando aderência ao tema de pesquisa.

Definidos os dados na matriz de síntese, calcularam-se variáveis bibliométricas como ano de publicação, local ou aderência à Lei de Bradford, de 1934. Essa lei separa diferentes meios de publicação segundo produtividade de pesquisa em três grupos, sendo o primeiro mais relevante e com maior número de publicações, e os demais com aumento no número de meios e menor produção individual. Há tendência, dentro do que Bradford afirma, de que as zonas representem, cada uma, um terço do total de publicações (MACHADO JÚNIOR *et al*, 2016; ARAÚJO, 2006).

Quadro 1 - Processo de revisão integrativa

	Etapa	Atividades
1	Identificação do tema e seleção da questão de pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> Definição do tema. Definição da estratégia de busca. Definição dos descritores. Definição das bases de dados.
2	Estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão	<ul style="list-style-type: none"> Uso das bases de dados (Scopus® e Web of Science™). Busca dos estudos com base nos critérios de inclusão e exclusão.
3	Identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados.	<ul style="list-style-type: none"> Leitura dos resumos, palavras-chave e títulos das publicações. Organização dos estudos pré-selecionados. Identificação dos estudos selecionados.
4	Categorização dos estudos selecionados	<ul style="list-style-type: none"> Elaboração e uso da matriz de síntese. Categorização e análise de informações. Formação de uma biblioteca individual. Análise crítica dos estudos selecionados.
5	Análise e interpretação dos resultados.	<ul style="list-style-type: none"> Discussão dos resultados.
6	Apresentação da revisão/Síntese do conhecimento.	<ul style="list-style-type: none"> Criação de um documento que descreva detalhadamente a revisão. Propostas para estudos futuros.
Resultados de pesquisa nas bases de dados (total)		221
PUBLICAÇÕES SELECIONADAS		87

Fonte: Botelho, Cunha e Macedo (2011), os Autores (2020)

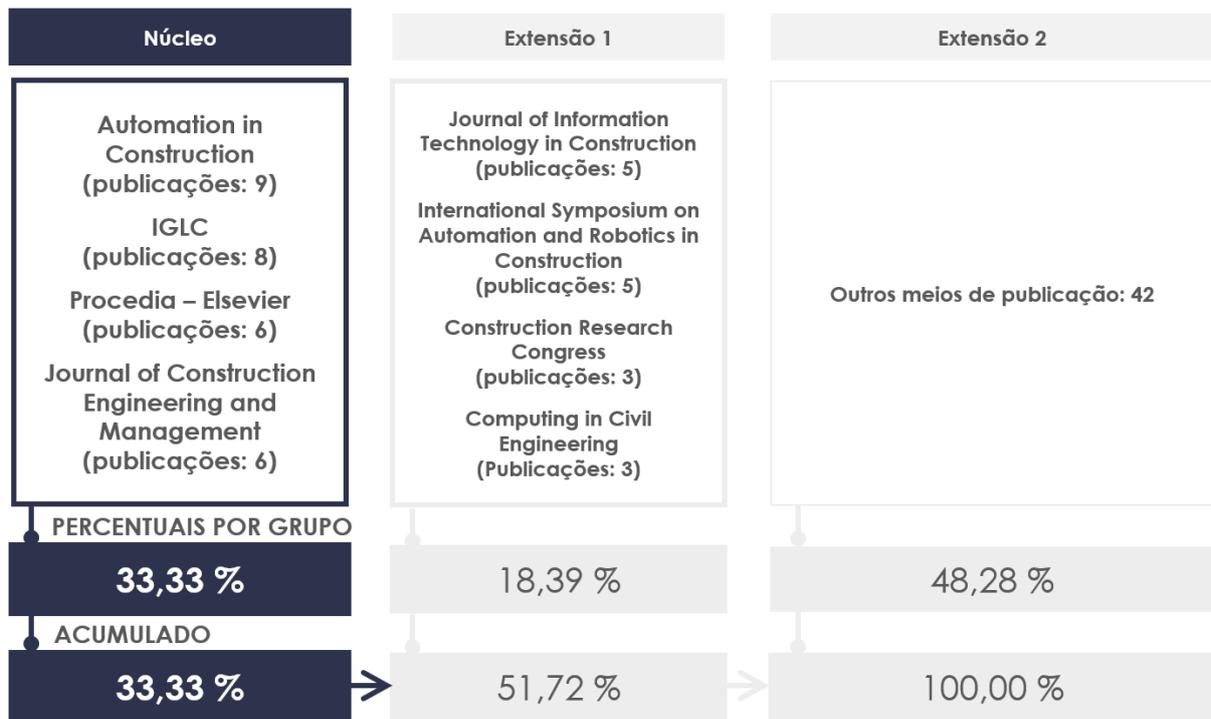
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Bibliometria

A Figura 1 apresenta a distribuição dos meios de publicação, a qual pode ser encaixada dentro dos preceitos da Lei de Bradford. Há um núcleo de meios mais relevantes composto pelo periódico *Automation in Construction* e anais do congresso promovido pelo *International Group for Lean Construction* (IGLC).

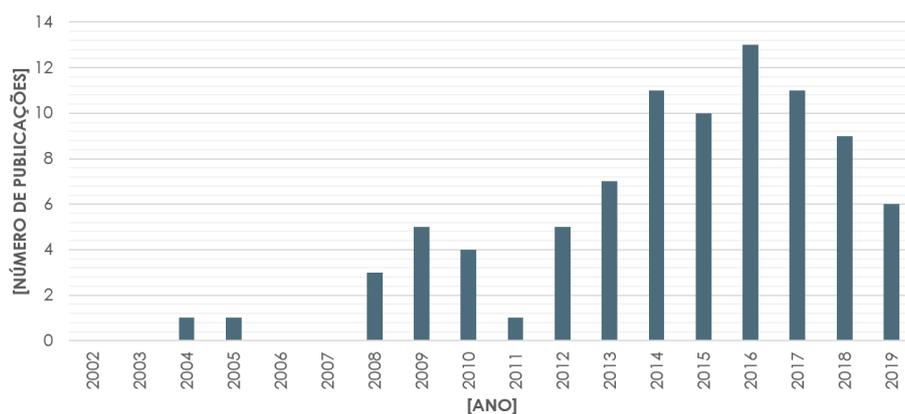
Não houve recorte temporal quando estabelecidos os critérios de pesquisa, entretanto, era esperado que os resultados fossem posteriores às primeiras definições de *lean* e de construtibilidade, ou seja, após a segunda metade dos anos 1990 (KOSKELA, 1992; KIFOKERIS; XENIDIS, 2017). Como foram pesquisados avanços tecnológicos e BIM, o intervalo temporal dos estudos selecionados parte do ano de 2002, com tendência de crescimento maior após o ano de 2012 (Figura 2)².

Figura 1 - Zonas de produtividade da Lei de Bradford



Fonte: Os autores (2020)

Figura 2 - Evolução do número de publicações no portfólio bibliográfico



Fonte: Os autores (2020)

Observadas as palavras-chave, verifica-se os próprios termos de pesquisa, com maior frequência de “*constructability*” em relação a “*buildability*” (presença em dezenove e quatro publicações, respectivamente). Em algumas pesquisas internacionais, os

² Pesquisa em bases de dados realizada em janeiro de 2020.

termos são utilizados como sinônimos, mas é predominante o entendimento de “*constructability*” como sendo mais abrangente do que “*buildability*”, por envolver mais etapas do ciclo de vida da edificação (construção e, em pesquisas mais recentes, uso, manutenção e até demolição), conforme apontam Kifokeris e Xenidis (2017).

3.2 Publicações selecionadas

A listagem com as publicações selecionadas encontra-se disponível em: <https://www.engjpm.com.br/2020/08/Ref248ENTAC2020.html>.

3.3 Interseções entre as abordagens de otimização e o BIM

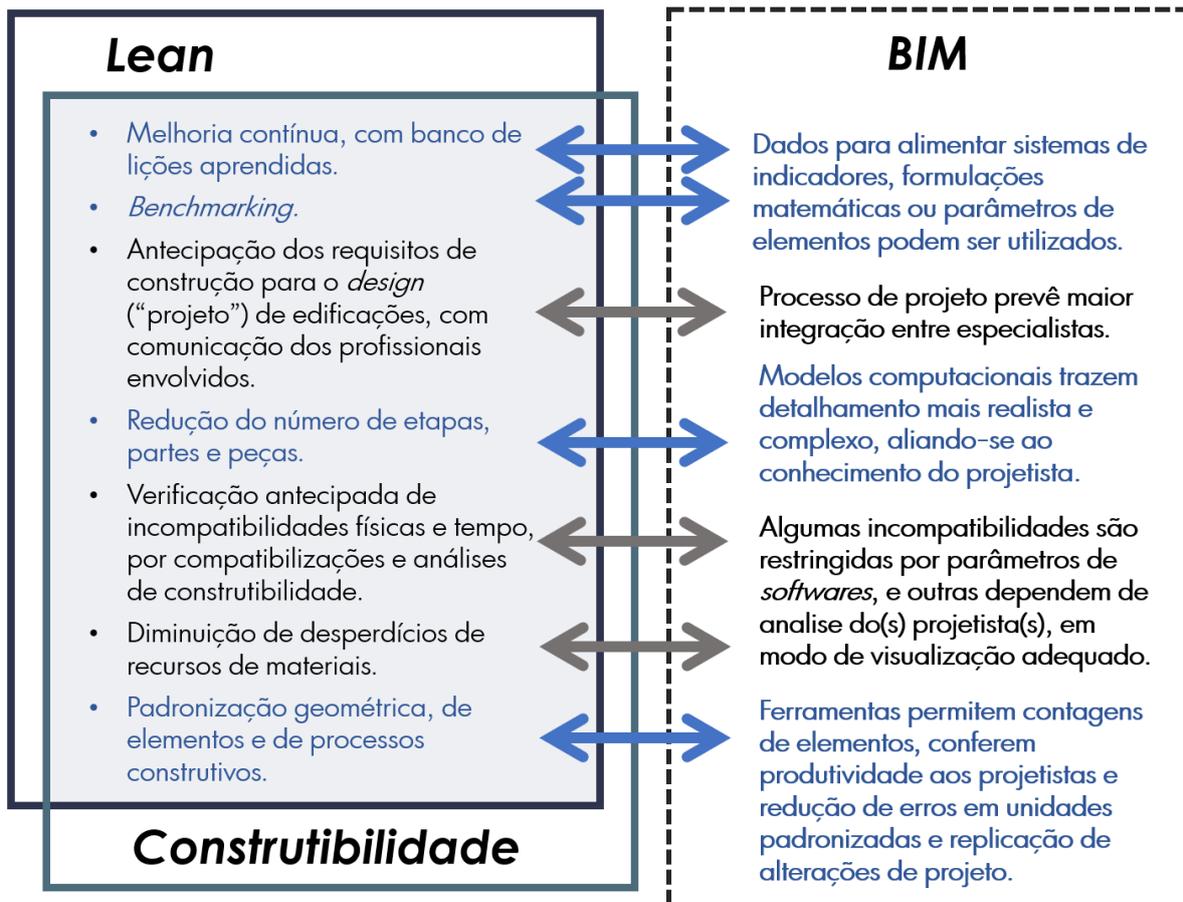
Os aspectos de interseção entre *lean*, construtibilidade e BIM estão presentes na Figura 3, oriundos, principalmente, das pesquisas de: Dantas Filho *et al.* (2016); Yang e Liu (2015); Tommelein e Gholami (2012); Ajayi *et al.* (2017); Aredah, Baraka e ElKhafif (2019), bem como Koskela (1992). Esses aspectos envolvem projeto e construção, podendo ser estendidos à fase de uso e manutenção da edificação (*facilities management*).

Observa-se a menção ao termo “construtibilidade” e sua definição por Koskela (1992), que indicava a relação entre as abordagens de otimização: ambas foram sendo aprimoradas desde sua criação. Apesar de haver essa relação, ela é pouco evidenciada em publicações mais recentes, ou nem mesmo identificada em revisões sobre cada uma das abordagens em específico, como a revisão de Abreu, Marchiori e Oviedo Haito (2019) sobre construtibilidade, por exemplo.

Koskela (1992) também ressaltava a importância dos recursos computacionais, mas sob as nomenclaturas “*computer integrated construction*” ou “*computer integrated manufacturing*”, que remetem ao que verificou nessa pesquisa como sendo papel do BIM na forma de ferramenta e processo de projeto. O BIM como ferramenta otimiza a obtenção de indicadores e o processo de *benchmarking*, necessário em ambas as abordagens. Um exemplo de aplicação pode ser encontrado em Kannan e Santhi (2018), que propõem um sistema de indicadores de construtibilidade no serviço de formas para estrutura de concreto armado. Apesar de tanto *lean* como construtibilidade fomentarem a pré-fabricação, a difusão de métodos construtivos de menor construtibilidade tem sido mais frequente, existindo outras seis pesquisas do portfólio bibliográfico relacionadas a sistemas de formas para estruturas de concreto armado convencionais, com análises em BIM buscando sua otimização: Mansuri *et al.* (2017), Jiang e Leicht (2014, 2016), Jiang, Leicht e Messner (2015), Jiang, Leicht e Okudan Kremer (2014) e Kannan e Santhi (2013).

Um ponto relevante apresentado por Tommelein e Golami (2012) e Dantas Filho *et al.* (2016) está nos recursos que melhoram a capacidade de compatibilização dos projetistas. Em alguns casos, a modelagem dos elementos (quando realizada adequadamente, segundo parâmetros de *softwares* – como paredes modeladas como paredes, não como esquadrias) evita que os projetistas cometam alguns erros básicos por distração ou repetitividade em ações de projeto. Em casos onde a modelagem dos elementos não evita erros, a facilidade de criação de recursos de visualização adequados permite ao projetista, por sua experiência, eliminar incompatibilidades de forma mais simples, melhorando sua produtividade.

Figura 3 – Interseções entre *Lean* e Construtibilidade, associadas ao BIM



Fonte: Os autores (2020)

Um último aspecto a destacar, presente nas abordagens *lean* e construtibilidade, é a antecipação de decisões, com conhecimentos de execução. Esse requisito pode ser atendido com BIM pelo método de projeto que envolve maior integração entre profissionais. Também há a extensão 4D BIM, que envolve o planejamento do empreendimento e exige tanto a modelagem como decisões adequadas a essa finalidade (como a fragmentação de pilares seguindo a sequência construtiva, por exemplo) (AREDAH; BARAKA; ELKHAFIF, 2019).

4 CONCLUSÕES

Este artigo cumpre com o objetivo de apresentar as contribuições do BIM para a redução de problemas em empreendimentos de construção, pela melhoria do controle no processo produtivo e na concepção de edificações, considerando a interseção das abordagens *lean* e *construtibilidade* e disponibilizando as referências que possuem esse enfoque nos últimos dezesseis anos. Também foi possível observar, no decorrer dessa pesquisa, elementos de contraponto, tais como a flexibilização nos produtos, característica *lean* posta como item que exige atenção para que não se perca construtibilidade, e que pode motivar estudos futuros. As contribuições específicas da filosofia *lean* para a edificação em uso, considerando proprietário(s)/usuários e construtora também podem motivar novos estudos.

Apesar da existência de relação entre as abordagens de otimização, poucas foram as publicações onde se verificou menção a ambas. Isso se refletiu na necessidade

de busca isolada de termos (aos pares no descritor definido) e leitura posterior para verificação de aderência aos objetivos da revisão bibliométrica.

Também pode-se verificar que o BIM apresenta recursos, como ferramenta, que facilitam os objetivos do projetista e lhe conferem produtividade, com redução de incompatibilidades, indesejadas por gerarem, em canteiro, desperdícios de recursos de materiais e mão de obra em retrabalhos. Entretanto, não apenas a ferramenta deve ser recurso, mas a expertise do projetista, ao completar a análise de compatibilidade que as ferramentas não lhe dispõem.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa, com origem em mestrado acadêmico.

REFERÊNCIAS

ABREU, J. P. M. de; MARCHIORI, F. F.; OVIEDO HAITO, R. J. J. A evolução do conceito de construtibilidade. *In: XI Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2019, Londrina. Anais [...].* ANTAC, 2019.

AHUJA, R.; SAWNEY, A.; ARIF, M. Driving lean and green project outcomes using BIM: A qualitative comparative analysis. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 6, p. 69-80, 2017.

AJAYI, S. O.; OYEDELE, L. O.; AKINADE, O. O.; BILAL, M.; ALAKA, H. A.; OWOLABI, H. A.; KADIRI, K. O. Attributes of design for construction waste minimization: A case study of waste-to-energy project. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 1333-1341, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) - Construction Management Committee of the ASCE Construction Division. Constructability and constructability programs: white paper. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.117, n.1, p. 67-89, 1991.

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, v. 12, n. 1, 2006.

AREDAH, A. S.; BARAKA, M. A.; ELKHAFIF, M. Project Scheduling Techniques Within a Building Information Modeling (BIM) Environment: A Survey Study. **IEEE Engineering Management Review**. v. 47, n. 2, p. 133-143, 2019.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. de A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**. v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.

CHIDAMBARAM, S. Application of building information modelling for reinforcement waste minimisation. **Waste and Resource Management**. v. 172, n. 1, p. 3-13, 2019.

DANTAS FILHO, J.B.P.; ANGELIM, B.M.; GUEDES, J.P.; SILVEIRA, S.S.; BARROS NETO, J.P. Constructability analysis of architecture–structure interface based on BIM. *In: 24th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction, 2016, Boston. Anais [...].* IGLC, 2016. p. 73-82.

FINNERTY, B. Transform your design construct process: crossing the divide from CAD to Revit to BIM. *In: Architectural Engineering Conference 2017: Architectural Engineering Conference, 2017, Oklahoma. Anais [...].* Reston: ASCE, 2017. p. 867-879.

- JIANG, L.; LEICHT, R. M. Automated rule-based constructability checking: Case study of formwork. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 1, 2014.
- JIANG, L.; LEICHT, R. M. Supporting automated Constructability checking for formwork construction: An ontology. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, p 456-478, 2016.
- JIANG, L.; LEICHT, R. M.; OKUDAN KREMER, G.E. Eliciting constructability knowledge for BIM-enabled automated, rule-based constructability review: A case study of formwork. *In: Construction Research Congress, 2014, Atlanta. Anais [...].* Reston: ASCE, 2014.
- JIANG, L.; LEICHT, R. M.; MESSNER, J. I. Towards automated constructability checking: A case study of aligning design information with formwork decisions. *In: Congress on Computing in Civil Engineering, 2015, Austin. Anais [...].* Reston: ASCE, 2015.
- KANNAN, R.; SANTHI, H. Constructability Assessment of Climbing Formwork Systems Using Building Information Modeling. *In: International Conference on Design and Manufacturing, 2013, Chennai. Anais [...].* Amsterdam: Elsevier, 2013. p. 1129-1138.
- KANNAN, R.; SANTHI, H. Automated constructability rating framework for concrete formwork systems. **Asian Journal of Civil Engineering**. n.19, p. 387-413, abr. 2018.
- KIFOKERIS, D.; XENIDIS, Y. Constructability: Outline of Past, Present, and Future Research. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.143, n.8, 2017.
- KO, C.-H. Lean Building Design Model. **Procedia Engineering**. v.182, p. 329-334, 2017.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical Report #72. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 1992, 81 p.
- MACHADO JUNIOR, C.; SOUZA, M. T. S. de; PARISOTTO, I. R. dos S.; PALMISANO, A. As Leis da Bibliometria em Diferentes Bases de Dados Científicos. **Revista de Ciências da Administração**, v. 18, n. 44, p. 111-123, 2016.
- MANSURI, D.; CHAKRABORTY, D.; ELZARKA, H.; DESHPANDE, A.; GRONSETH, T. Building Information Modeling enabled Cascading Formwork Management Tool. **Automation in Construction**. v. 83, p. 259-272, 2017.
- NARLOCH, T. B. **Modelo indicador da construtibilidade a partir da análise geométrica do projeto**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- TOMMELEIN, I. D.; GHOLAMI, S. Root causes of clashes in building information models. *In: 20th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction, 2012, San Diego. Anais [...].* IGLC, 2012.
- YANG, Y. H.; LIU, P. Benefits and Development of Adoption Building Information Models for Construction Management. *In: International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation, 2015, Zhuhai. Anais [...].* Paris: Atlantis Press, 2015. p. 350-355.