BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) E FERRAMENTAS 4D E 5D PARA SIMULAÇÃO E TOMADA DE DECISÃO NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES[1]

SENA, T. C. de, Universidade de São Paulo, email: tito.sena@usp.br; SENA, P. C. P. de, Universidade de São Paulo, email: paulocps@usp.br; PHILIPPSEN JR., L. A., Universidade Federal de Alagoas, email: luiz.philippsen@fau.ufal.br; FABRICIO, M. M., Universidade de São Paulo, email: marcio@sc.usp.br; PRATSCHKE, A. Universidade de São Paulo, email: pratschke@sc.usp.br.

ABSTRACT

Building information modeling (BIM) is a knowledge domain that is becaming more and more essencial for architecture, engineering, construction and maintenance processes (AECM). This paper discusses the use of BIM as a decision-making support system in AECM. The analysis focused on two main variables: time spent and finantial cost. The Portland cement, types III and V, was choosen as material that influences these two main variables. A seven floor reinforced concrete model building was developed by 3D Autodesk Revit® and analysis secenarios were conducted by Autodesk Navisworks®. Findings show that Portland cement type V has lower final finantial cost and requires less time spent in curing concrete process when compared with Portland cement type III. The BIM 4D (time) and BIM 5D (cost) simulation also identified potencial opportunities for management and reduction of construction waste. Far beyond a pratical material choosing system, the BIM simulations seems to be a catalyst for change in the AECM as a decision-making support system.

***Key words**: Building information modeling (BIM). Architecture, engineering, construction and maintenance processes (AECM). Portland cement. BIM 4D. BIM 5D.*

1 INTRODUÇÃO

O *building information modeling* (BIM), ou modelagem da informação da construção, é o resultado da interação de práticas, processos e tecnologias que possibilitam o desenvolvimento de uma metodologia voltada ao gerenciamento na construção civil (SUCCAR, 2009), resultando em produtos com maior qualidade de informações, permitindo avaliar de forma eficiente e precoce diferentes alternativas para solução dos problemas construtivos (SUCCAR; SHER; WILLIAMS, 2012).

Essa melhoria do processo de projeto por meio do BIM permite simular alternativas de projeto, gerando um impacto positivo na eficiência da edificação com significativa redução do prazo de execução e custos financeiros da obra com melhoria da sustentabilidade do ambiente construído, reduzindo desperdícios e custos ocasionados por falhas decorrentes da etapa de projeto (BOTON; KUBICKI; HALIN, 2015; CHI; KANG; WANG, 2013; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015; LU; WON; CHENG, 2016; SMITH,

[1] SENA, T. C. de; SENA, P. C. P. de; PHILIPPSEN JR., L. A; FABRICIO, M. M.,; PRATSCHKE, A. 5d para Simulação e Tomada de Decisão no Processo de Projeto de Edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

2014; WON; CHENG, 2017). Além disso, permite antecipação da visualização do processo de operação e manutenção ao longo do ciclo de vida da edificação (DONATO; LO TURCO; BOCCONCINO, 2017; HJELSETH, 2011).

Este artigo apresenta uma simulação de tempo e custo para execução da tarefa superestrutura de uma edificação modelo, por meio da análise de utilização de dois tipos diferentes de Cimento Portland (CP) na produção de concreto estrutural. Foi utilizada ferramenta de análise de simulação BIM 4D e BIM 5D como parte do processo de tomada de decisão quanto ao tipo mais adequado de CP a partir das variáveis simuladas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A indústria da arquitetura, engenharia, construção civil e manutenção (AECM) contemporânea busca novos processos e tecnologias voltadas para produtividade e qualidade dos produtos, levando em consideração as suas especificidades (ALASHWAL; RAHMAN; BEKSIN, 2011; FERNÁNDEZ-SOLÍS, 2008). Neste ambiente, o processo de projeto torna-se ainda mais relevantes pois, quando mal desenvolvido ou alterado durante a fase de execução da obra, são a causa principal de atrasos e desperdício de materiais construtivos (WON; CHENG, 2017).

O BIM surge deste contexto da indústria da AECM, representando uma mudança do processo fundamentado no *computer aided design* (CAD), ou desenho assistido por computador. Embora diferentes autores apresentem diferentes definições ao BIM, percebe-se em comum aspectos como a utilização de informações e dados paramétricos na construção virtual de um edifício e sua manipulação e compartilhamento em plataforma comum (SUCCAR, 2009; SUCCAR; SHER; WILLIAMS, 2012; ZHANG; HU, 2011).

As informações existentes nos elementos do modelo BIM permitem que sejam desenvolvidas diversas simulações e análises, com a adição de parâmetros que podem agregar novas dimensões ao objeto virtual, além das representadas pelos eixos X, Y e Z, que caracterizam a representação 3D tradicional. A nomenclatura adotada para as dimensões adicionais do BIM são (FADEYI, 2017; SMITH, 2014)[2]:

a) 4D para adição do tempo, fazendo simulações da construção virtual e plano de ataque no canteiro de obras;

b) 5D para integração de custo ao modelo, podendo ver a evolução dos gastos da obra ao longo do tempo e gerando orçamentos a partir do modelo; e

c) 6D para a etapa de manutenção do edifício após a construção, onde podem ser inseridos dados no modelo que permitam à administradora da edificação planejar manutenções preventivas dos equipamentos e conhecer os sistemas prediais instalados.

[2]Na literatura é possível encontrar dimensões adicionais nos estudos e discussões sobre as potencialidades do BIM, como 7D para sustentabilidade e 8D para segurança.

A utilização do BIM 4D possibilita desenvolver simulações do andamento da obra de acordo com o cronograma estabelecido, permitindo analisar cenários para tomada de decisão na fase de planejamento ou mesmo para manter um controle visual do andamento em canteiro de obra (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015; BOTON, KUBICKI; HALIN, 2015; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015).

A utilização do BIM 5D permite a visualização dos custos do empreendimento a partir de uma grande quantidade de alternativas projetuais, integrando quantitativos, cronogramas e preços. Smith (2014) destaca a importância dessa dimensão, ao mesmo tempo que identifica a necessidade do desenvolvimento do papel de um "gestor de projeto de custo 5D". Além disso, o BIM 5D permite expandir a análise para além do custo do empreendimento, trazendo aspectos relacionados ao fluxo de caixa da organização para o contexto da AECM (LU; WON; CHENG, 2016).

3 PROJETO E ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL: ESTUDO DE ALTERNATIVAS UTILIZANDO BIM 4D E BIM 5D

Para o estudo apresentado neste artigo, foi utilizado o CP como recorte de análise das variáveis tempo da execução da tarefa (BIM 4D) e custo da superestrutura em uma edificação (BIM 5D).

O modelo base do projeto estrutural foi desenvolvido no *software Autodesk Revit®*, adotando uma estrutura em concreto armado para 7 pavimentos e laje de cobertura. As escoras foram dimensionadas visualmente, de forma simplificada, por meio de sistema de escoras tubulares, com vão inferior a 1,50m.

Para a simulação foram utilizados o CP III e o CP V-ARI, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Características e uso dos CP analisados

Tipo	**Característica**	**Uso comum**
Cimento Portland de alto-forno (CP III)	Maior impermeabilidade e durabilidade; resistência à sulfatos	Aplicação geral em argamassas e particularmente vantajoso em obras como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, pavimentação de estradas, pistas de aeroporto e obras em ambientes agressivos
Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI)	Resistência à compressão de 26 MPa (1 dia) à 53 MPa (28 dias)	Produção em indústrias e fábricas de blocos para alvenaria, pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados; utilizado também em pequenas obras até as edificações de maior porte

Fonte: Adaptado de Oliveira (1987)

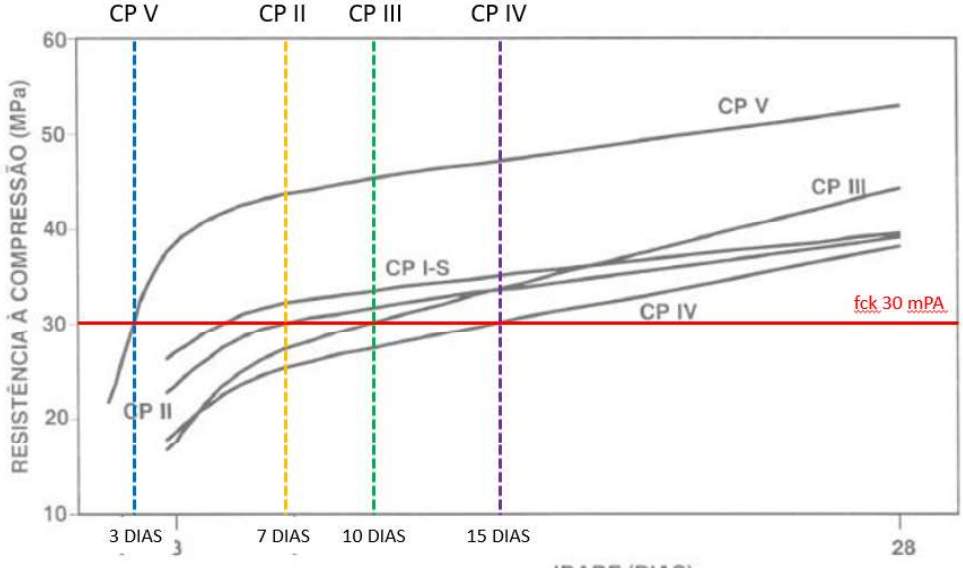
Os volumes da estrutura foram obtidos diretamente do modelo *Autodesk Revit®*. Complementarmente, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- custo do escoramento e tempo médio de produção da estrutura adotados conforme parâmetros de construtora consultada para o desenvolvimento

desta pesquisa;

- custo do CP orçado no município de Ribeirão Preto (SP);
- traço 1:2:3 (cimento, areia e brita), conforme Botelho (1983) e Oliveira (1987);
- parâmetro de retirada de escoramento considerado ao atingir fck médio de 30 MPa, por meio de estimativa das datas de obtenção desta resistência à compressão, de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Evolução da resistência à compreensão do CP para 30MPa



Fonte: Adaptado de Botelho (1983) e Oliveira (1987)

Considerando o traço previsto, de 1:2:3, serão necessários 4,22 sacos de cimento por m³ de concreto. O saco de CP III foi cotado em R$ 22,90 a unidade e o saco de CP V-ARI foi cotado em R$ 25,90 a unidade.

Desta forma, o custo de execução do CP III utilizado na pesquisa foi de R$ 96,62/m³ e para o CP V-ARI foi de R$ 109,28/m³. A Tabela 1 apresenta os custos do material e escoramentos considerados na simulação BIM 4D do modelo completo.

Para a simulação foi utilizado o *software Autodesk Navisworks®*. Foram criadas as tarefas de montagem de forma, concretagem de pilares, montagem do escoramento da laje e concretagem das lajes e vigas, nesta ordem. Foram utilizados parâmetros de construtora consultada, com sede em Ribeirão Preto (SP), para determinação da duração destas atividades.

Após levantamento das tarefas, foi inserido o custo calculado do escoramento, a partir dos dias de permanência, e o custo do CP para a estrutura de concreto, conforme Figura 2. Estas informações foram atribuídas ao modelo 3D desenvolvido no *Autodesk Revit®* para condução da simulação.

Tabela 1 – Levantamento material e escoras estruturais

M3 de concreto por pavimento		
Pilares	Vigas	Lajes
2,39	1,53	8,25

Custos em R$ de cimento CPIII por pavimento					
Pilares		Vigas		Lajes	
R$	230,92	R$	147,83	R$	797,12

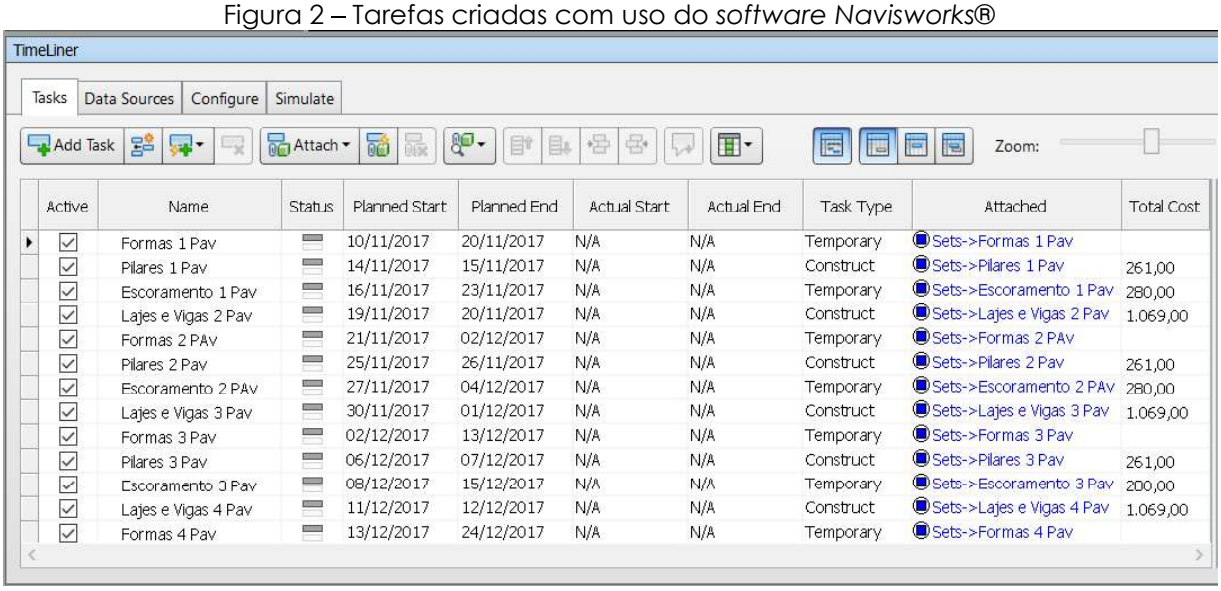
Custos em R$ de cimento CP-V por pavimento					
Pilares		Vigas		Lajes	
R$	261,18	R$	167,20	R$	901,56

Informações do mercado sobre escoramento		
	Por mês	Por Dia
Predios pequenos	1200	40
	Dias	Cimento
Montagem	4	CP- III - / CP - V

	Retirada escoramento	
Cimento	Dias	Total
CP - III	10	560
CP - V	3	280

Fonte: Dados da pesquisa

Figura 2 – Tarefas criadas com uso do *software Navisworks®*



Fonte: Dados da pesquisa

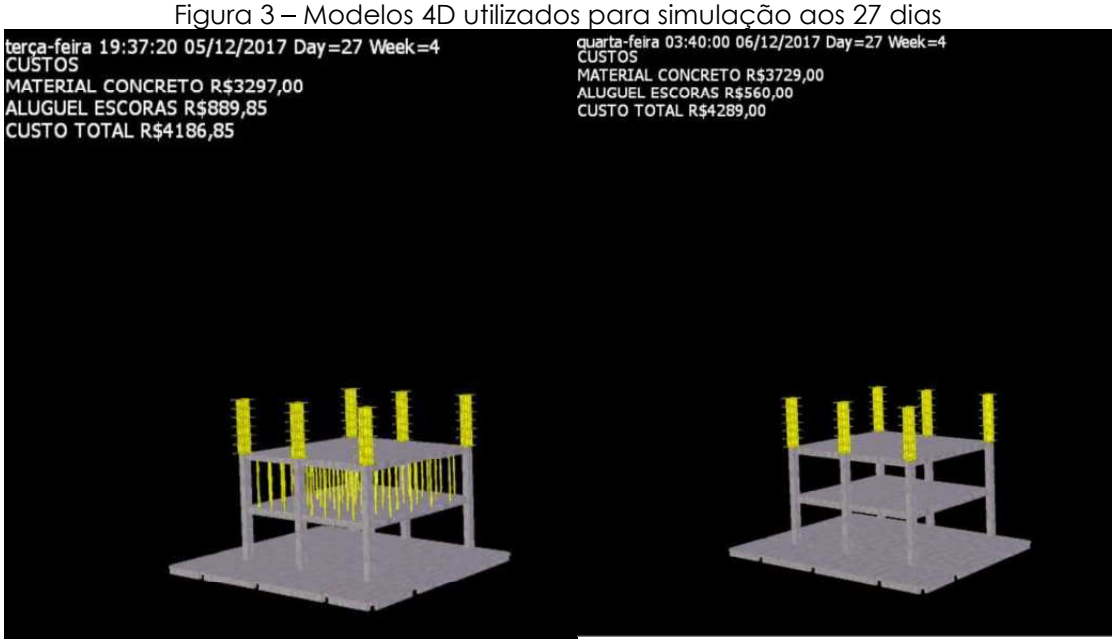
O processo de desenvolvimento desta pesquisa, por meio da criação de um modelo de edificação utilizando o *software Autodesk Revit®* e simulação de custo utilizando o *software Autodesk Navisworks®*, foi conduzido conforme Boton, Kubicki e Halin (2015), para a dimensão BIM 4D, e conforme Lu, Won e Cheng (2016), para a dimensão BIM 5D.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A simulação buscou parâmetros tempo e de custo (R$) do empreendido em cada uma das tarefas para cada um dos tipos de CP utilizados na análise desta pesquisa.

A Figura 3 apresenta o processo aos 27 dias de simulação, sendo à esquerda o CP III e à direta o CP V-ARI.

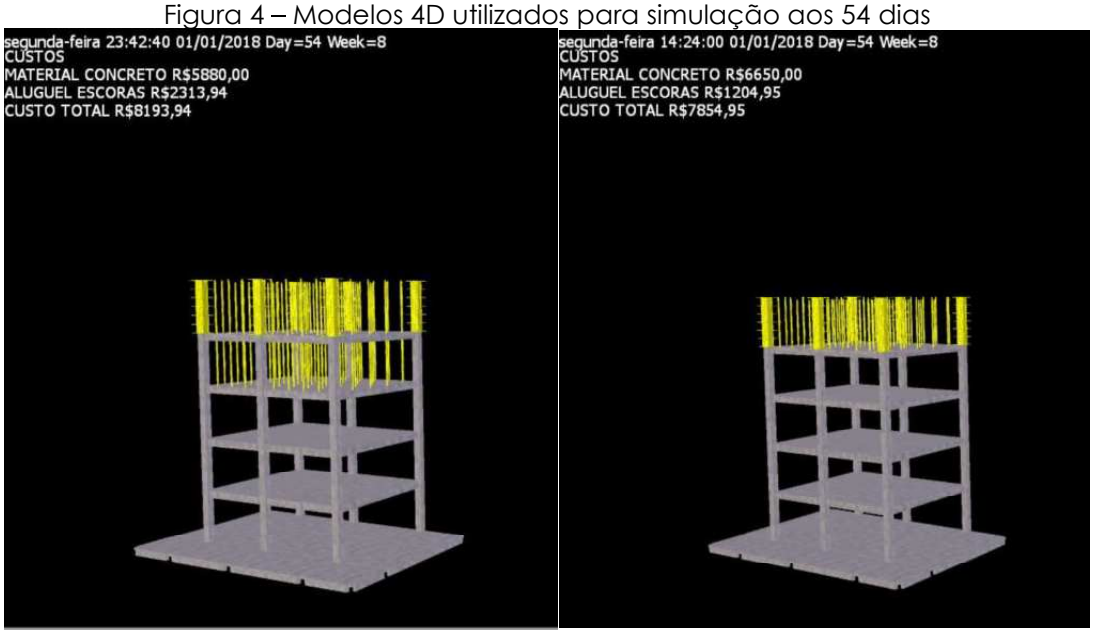
Figura 3 – Modelos 4D utilizados para simulação aos 27 dias



Fonte: Dados da pesquisa

A mesma simulação foi conduzida para 54 dias de execução da superestrutura e ao término da execução desta etapa da obra, conforme orçamento estimado. As simulações estão apresentadas nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Modelos 4D utilizados para simulação aos 54 dias



Fonte: Dados da pesquisa

O CP IV-ARI apresentou, em relação ao CP-III, um menor custo financeiro e menor prazo de execução, gerando, consequentemente, menor dispêndio com mão de obra e mobilização do canteiro de obra para a tarefa de execução da superestrutura do modelo desenvolvido para análise.

Figura 5 – Modelos 4D utilizados para simulação ao término da etapa



Fonte: Dados da pesquisa

O BIM 4D permite validar cenários de alternativas de projeto de maneira mais visual e mais prática, com possibilidade de fácil entendimento e comparação de soluções alternativas, inclusive, com o desenvolvimento de cenários comparativos, conforme apresentado por Han e Golparvar-Fard (2015). Para esta pesquisa foram analisados dois tipos específicos de CP comumente utilizados na construção civil. As vantagens da visualização das consequências das escolhas, incluindo ganhos relacionados à segurança de edificações, foram apontadas em estudo de El Debs e Ferreira (2014) e Zhang e Hu (2011) com ganho de produtividade e redução de erros projetuais por meio do BIM.

O BIM 5D permite conduzir análise financeira, tendo como parâmetro diferentes dados. No âmbito desta pesquisa, a análise entre os dois tipos analisados de CP apresentou uma diferença de 6% do valor total entre os materiais. Considerando tratar-se de apenas um insumo analisado (cimento) em apenas uma etapa do processo de execução da obra (superestrutura), os ganhos financeiros passíveis de inferência podem aproximar-se daqueles apontados por Azhar (2011), como por exemplo, redução em 80% para estimativas de custo, redução em 7% do tempo de projeto e economia de 10% nos contratos de execução de obras. Além disso, a formalização da especificação do CP em *software* permite o acompanhamento do desempenho da edificação em seu ciclo de vida, aspecto importante do BIM destacado por Botin, Kubicki e Halin (2015) e Hjelseth (2010).

Em relação à sustentabilidade do ambiente construído, referente à dimensão do BIM 6D, a análise prévia do material que apresentará o melhor desempenho, não apenas financeiro, permite a redução da geração de resíduos sólidos provenientes de desperdício em canteiro de obra, apontado por Won e Cheng (2017), assim como a utilização de uma matéria prima ou material com menor emissão de CO_2 em seu processo de produção.

5 CONCLUSÕES

Pensar o gerenciamento na construção civil, integrando o processo de projeto, execução da obra e a etapa de manutenção da edificação é um tema recorrente nas discussões em AECM (ALASHWAL; RAHMAN; BEKSIN, 2011; AZHAR, 2011; FERNÁNDEZ-SOLÍS, 2008; JAAFARI, 1997). As interações de práticas, processos e tecnologias que envolvem o BIM permitem, justamente, essa integração no contexto da AECM.

A análise apresentada neste artigo demonstra uma aplicação concreta de uso do BIM para condução de simulações técnicas, trazendo vantagens ao processo de projeto a partir de variáveis e dados que sejam utilizados como informação que alimente os modelos BIM 4D e BIM 5D.

Os achados corroboram com Azhar (2011), que aponta o BIM como o mais promissor desenvolvimento percebido dentro da indústria de AECM, imprimindo velocidade ao processo de tomada decisão, melhor qualidade dos projetos e informações incorporadas ao ciclo de vida do produto edificação.

Para estudos futuros faz-se necessário o melhor refinamento e ampliação das variáveis analisadas, permitindo inferências mais precisas para comparação com estudos internacionais em BIM e simulações BIM 4D e BIM 5D como ferramenta auxiliar na indústria da AECM, incluindo a incorporação dos reflexos estruturais na substituição de determinado insumo e o fluxo de caixa da organização responsável pela execução do empreendimento.

REFERÊNCIAS

ALASHWAL, A. M.; RAHMAN, H. A.; BEKSIN, A. M. Knowledge sharing in a fragmented construction industry: on the hindsight. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 7, p. 1530-1536, 2011.

AZHAR, S. Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, p. 241-252, 2011.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de modelagem 4D e building information modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 79-96, 2015.

BOTELHO, Manoel. **Manual de primeiros socorros do engenheiro e do arquiteto**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

BOTON, C.; KUBICKI, S.; HALIN, G. The challenge of level of development in 4D/BIM simulation across AEC project lifecycle. A case study. **Procedia Engineering**, v. 123, p. 59-67, 2015.

CHI, H. L.; KANG, S. C.; WANG, X. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineerings, and construction. **Automation in Construction**, v. 33, p. 116-122, 2013.

DONATO, V.; LO TURCO, M.; BOCCONCIO, M. M. BIM-QA/QC in the architectural design process. **Architectural, Engineering and Design Management**, v. 14, n. 3, p. 239-254, 2017.

EL DEBS, L. de C. FERREIRA, S. L. Diretrizes para o processo de fachadas com painéis pré-fabricados de concreto em ambiente BIM. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 41-60, 2014.

FADEYI, M. O. The role of building information modeling (BIM) in delivering the sustainable building value. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 6, n. 2, p. 711-722, 2017.

FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L. The systemic nature of the construction industry. **Architectural, Engineering and Design Management**, v. 4, p. 31-46, 2008.

HAN, K. K.; GOLPARVAR-FARD, M. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs. **Automation in Construction**, v. 53, p. 44-57, 2015.

HJELSETH, E. Exchange of relevant information in BIM objects defined by role and life-cycle information model. **Architectural, Engineering and Design Management**, v. 6, n. 4, p. 279-287, 2011.

JAAFARI, A. Concurrent construction and life cycle project management. **Journal of Construction, Engineering and Management**, v. 123, n. 4, p. 427-436, 1997.

LU, Q.; WON, J.; CHENG, J. C. P. A financial decision making framework for construction projects based on 5D building information modeling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 35, p. 3-21, 2016.

OLIVEIRA, H. M. de. Cimento Portland. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC, 1987. cap. 3, p. 35-62.

SMITH, P. BIM & the 5D project cost manager. **Procedia – Social and Behavioral Sciences,** v. 119, p. 475-484, 2014.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, p. 357-375, 2009.

SUCCAR, B.; SHER, W.; WILLIAMS, A. Measuring BIM performance: five metrics. **Architectural, Engineering and Design Management**, v. 8, n. 2, p. 120-142, 2012.

WON, J.; CHENG, J. C. P. Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. **Automation in Construction**, v. 79, p. 3-18, 2017.

ZHANG, J. P.; HU, Z. Z. BIM and 4D based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. principles and methodologies. **Automation in Construction**, v. 20, p. 155-166, 2011.