

A implementação BIM em projetos replicáveis em escala considerando elementos estruturais pré-fabricados.

Alessandra S. R. D. San Secondo¹, Elisa D. Sotelino¹, Alexandre S. Cruz¹

¹Dept de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro/RJ, CEP 22451-900, Brasil
alessandrasansecondo@gmail.com, sotelino@puc-rio.br, cruzalexandre@gmail.com

Abstract. The employment of standardized structural elements manufactured off-site construction, such as structural precast element, is considered a valid practice to achieve this purpose. Building Information Modeling (BIM) methodology provides a promising environment for the exchange of information between those involved in the development of a project. In addition, it is possible to incorporate planning analyzes during the design phase to support decision making. This has great potential in the context of replicable building projects. An experiment of a school complex was developed to simulate the planning analysis and interpretation in the project phase. The results indicated that the consideration of precast concrete elements does not always contradict economic, practical and aesthetic interests. Moreover, the inclusion of the planning analysis proved to be an important parameter in decision making, improving the identification of opportunities for improvement in the project and enhancing the work efficiency at the construction site.

Keywords: BIM, design for manufacturing and assembly, repetitive construction scheduling, productivity.

1 Introdução

Durante o estágio inicial de concepção do projeto, é de fundamental importância tomar decisões guiadas para aumentar a eficiência da produção. Em obras de edificações replicáveis em escala é necessário que haja um esforço conjunto da equipe de projetistas e de especialistas em construção desde o estágio de projeto, assim como na definição de estratégias construtivas, a fim de garantir a eficiência no canteiro de obra [1]. De acordo com Oliveira et al. [2] as obras de edificações replicáveis em escala são caracterizadas por uma unidade de repetição, que pode ser uma casa, um edifício ou um pavimento. A singularidade e a natureza repetitiva dessas edificações fazem com que a utilização de técnicas que se contrapõe às práticas tradicionais do setor da construção facilite o planejamento construtivo e potencializem os desempenhos almejados pelos empreendedores.

Nesse contexto, a adoção de elementos estruturais pré-moldados aliados a tecnologias orientadas a dados, como o BIM pode potencializar considerações de projeto com foco na eficiência da fabricação e montagem em edificações replicáveis em escala.

2 Building Information Modeling

A metodologia BIM propicia a troca de informações entre os especialistas da indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) durante as diferentes fases de projeto. O BIM fornece ferramentas que permitem o armazenamento e exibição de dados e documentos inerentes ao projeto, à construção e a operação de forma digital, através de modelos virtuais 3D que contém informações.

O método colaborativo que o BIM oferece permite incorporar análises de planejamento durante o processo de tomada de decisão para garantir um projeto otimizado. O objetivo fundamental da adoção do BIM em projetos que elaboram um planejamento construtivo é aprimorar o acesso a informações a partir da coordenação, colaboração e gerenciamento de informações entre os atores envolvidos no processo [3].

A eficiência da otimização dos projetos depende da qualidade de informações sobre as quais as decisões de projeto são tomadas. Embora a troca de informações seja útil, sua quantidade e maturidade são essenciais para indicar o desenvolvimento do modelo.

Segundo Gerrish et al. [4] medir a quantidade e qualidade das informações em estágios-chave do projeto pode ser alcançado por meio do uso do conceito de Nível de Desenvolvimento (LOD - *Level of Development*). O Instituto Americano de Arquitetos e Empreiteiros Gerais Associados da América (2019) definiu uma escala arbitrária de 100 a 400 que é usada para indicar a quantidade de informações no modelo [5].

3 Metodologia

3.1 Plano de Execução BIM

O método colaborativo que o BIM oferece permite incorporar análises de planejamento e construtibilidade durante o processo de tomada de decisão para garantir um projeto otimizado. Foi elaborado um plano de execução BIM para integrar a metodologia BIM ao processo de entrega de projeto.

O PEB desenvolvido definiu o fluxo do processo de trabalho e de tarefas, as trocas de informações e conhecimentos entre os participantes do projeto, os *softwares* utilizados, bem como as diretrizes de modelagem. Este documento garantiu que todas as partes envolvidas na elaboração do projeto estivessem cientes das oportunidades e responsabilidades associadas ao processo de entrega do projeto dentro da metodologia BIM [6].

3.2 Planejamento de edificações replicáveis em escala

Por se tratar de um projeto que possui padronização e repetitividade de pavimentos e edificações em uma mesma obra foi adotado o método da linha de balanço (LoB) no desenvolvimento do cronograma, como indicado no trabalho de Vargas e Formoso [7].

A principal vantagem do desenvolvimento de cronogramas com linha de balanço é o seu formato gráfico simples para representar o fluxo de produção ao longo das atividades desempenhadas no projeto. O eixo horizontal do gráfico indica o tempo decorrido para a execução das unidades de repetição, cuja quantidade é plotada no eixo vertical, ilustrado na Fig.1. Sua representação em forma de linha permite obter as informações necessárias sobre taxa de produção e duração das tarefas [8].

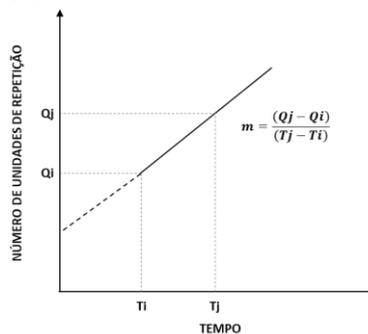


Figura 1. Gráfico da linha de balanço. Adaptado de [9].

A inclinação da linha que une os horários de início e fim da atividade repetitiva é denominada taxa de produtividade (ritmo de trabalho), seu cálculo é exposto na eq. (1) [10]. Desse modo, o ritmo de trabalho é calculado a partir da relação entre unidades de repetição e tempo.

$$m = \frac{Q_j - Q_i}{T_j - T_i} \quad (1)$$

onde m é a taxa de produtividade, Q_i e Q_j são o número de unidades de repetição, T_i e T_j são tempos decorridos entre o início e fim de uma atividade, respectivamente.

Segundo Lucko e Gattei [11] o método LoB pode ser empregado tanto na fase inicial do projeto, quanto

durante o controle da obra. Quando essa abordagem é aplicada a nível de planejamento de longo prazo, a linha de balanço permite obter uma visão global das informações referentes aos locais, ao fluxo de trabalho e a interferências de projeto.

3.3 Atribuições para desenvolvimento do cronograma preliminar

O primeiro passo para realizar a análise de planejamento é desenvolver uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP) após obtenção das opções de projeto modelados. A elaboração de uma EAP se faz necessária uma vez que nela as entregas e trabalhos do projeto são subdivididos em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis [12].

Em seguida, a equipe responsável por elaborar o planejamento do projeto deve definir a composição unitária que mais se adequam as alternativa de projeto estudadas com base nas principais características arquitetônicas, estruturais e decisões relativas à caracterização do processo [13].

A definição das composições unitárias é considerada a etapa mais dispendiosa em tempo pela necessidade de atribuir todos os insumos que contribuem diretamente na execução de uma unidade de serviço. Ela é também a mais propícia a erros humanos, pois a atribuição é realizada de forma manual e depende da experiência de seus colaboradores.

Existem diversas bases orçamentárias que podem ser utilizadas como referência para escolha das composições de custo. Os bancos de dados mais conhecidos são: SINAPI, EMOP, SICRO e TCPO. Nessa etapa foi utilizado o *software* Sisplo para extrair as composições unitárias presentes nas bases orçamentarias. Esse *software* contém todas as bases de dados de serviço de engenharia com seus valores atualizados, além de possuir interoperabilidade com o sistema Autodesk Revit

A partir da definição das composições unitárias foi possível extrair os fatores de produtividade de mão de obra para os diferentes serviços do projeto.

4 Estudo de Caso

O estudo de caso abordado se baseia no complexo das Fábricas de escolas localizado em bairros da zona norte e oeste da cidade do Rio de Janeiro. O experimento tem como objetivo identificar oportunidades de melhorias no desempenho construtivo em projetos que possuam edificações replicáveis em escala com a introdução de elementos pré-fabricados.

O projeto estrutural original das unidades de escolas previa a utilização de sistemas construtivos mais ágeis. Para isso, as vigas, pilares e lajes tiveram suas dimensões padronizadas. As peças foram fabricadas em 8 fabricas localizadas em pontos estratégicos entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais para facilitar a logística de transporte e estocagem de materiais para construção das escolas.

Para o experimento proposto, foi adotado uma tipologia de escola específica e foi desenvolvido um modelo no software Autodesk Revit 2019, conforme ilustrado na Fig. 2. O modelo é utilizado como sugestão volumétrica inicial nesse estudo, possuindo área de 1.040 m² por pavimento. A tipologia escolhida é composta por 2 andares, possui pé-direito de 2,65m e contém 12 salas.



Figura 2. Escola modelada no software Autodesk Revit, fachada em perspectiva.

Para avaliação do planejamento duas propostas de projeto conceitual foram elaboradas pela equipe de arquitetura, em que ambas levam em consideração apenas os elementos estruturais. As opções de projeto desenvolvidos neste estudo se diferenciam em relação ao material estrutural empregado em vigas, pilares e lajes. No cenário 01, a supra estrutura é composta por elementos estruturais de concreto armado moldado in loco. No

cenário 02, toda a supra estrutura é composta por peças de concreto armado pré-fabricado.

Os diferentes cenários são representados na Fig. 3.



Figura 3. Ilustração das diferenças entre os cenários analisados.

É importante ressaltar que os modelos desenvolvidos no software Autodesk Revit apresentam o nível de desenvolvimento 200, conforme sugerido por Vargas e Formoso [7]. O nível de detalhe do LOD 200 consiste em elementos genéricos, portanto, contém apenas informações de geometria, forma, localização e orientação aproximada [5]. Ademais, foram extraídos dos modelos os quantitativos de volume e área dos elementos estruturais que servirão como dados de entrada para realização da análise de planejamento.

4.1 Análise do cronograma

Com base no trabalho realizado por Senger [14], foi definido o pavimento como uma atividade de entrega da EAP, chamada de atividade “mãe”. Os serviços atrelados a essa atividade foram definidos como componentes menores, denominados de atividades “filhas”.

Para esta análise foram consideradas todas as atividades realizadas no canteiro de obra, tais como, fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas, montagem e desmontagem de armadura e concretagem para a opção de cenário que utiliza elementos moldados in loco. No cenário que incorpora peças pré-fabricadas foi considerada apenas a atividade de montagem das peças estruturais.

O banco de dados utilizado como referência para escolha das composições de custo foi o Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices de Construção Civil (SINAPI) do estado do Rio de Janeiro. Tal banco de dados foi escolhido uma vez que o projeto está localizado no referido estado e por ser uma base orçamentária Federal [13].

Esta base orçamentária é disponibilizada pela Caixa Econômica Federal. Seus relatórios abrangem insumos (materiais, mão de obra e equipamentos) e composições que representam os serviços mais frequentes na construção civil [15].

Embora a base de dados SINAPI seja muito difundida e completa não se encontrou uma composição unitária que fosse adequada para o cenário 02 deste estudo nessa base orçamentária. Desta forma, foi adotada uma composição de custo proveniente da base orçamentaria EMOP-RJ (Empresas de obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro) para a opção de projeto 02. Desta composição foram extraídos os indicadores de produtividade para cada insumo e serviço utilizado [16].

Segundo a CBIC [13], no momento do dimensionamento das equipes de mão de obra é recomendável reduzir o fator de indicadores de produtividade de trabalhadores (RUP), a fim de considerar um planejamento adequado que minimize gargalos e ineficiências previsíveis. Como indicado pela CBIC [13], será utilizado um fator referencial de 30%, que representa um valor médio percebido no serviço de execução de estrutura.

Para o dimensionamento da equipe ideal foi considerado para esse estudo que cada operário trabalha 8 horas por dia e que o mês tivesse 22 dias [14]. Ademais, preservou-se em cada atividade o tamanho da equipe de operários para que a duração da produção de uma unidade permanecesse constante para cada serviço [10].

5 Resultados

5.1 Produtividade dos trabalhadores por atividade

Para avaliação do planejamento o foco inicial foi a métrica do total de produtividade em homem-hora por

atividade (H.h), por ser uma métrica que expressa a quantidade de horas necessárias para realizar um determinado serviço [13].

A Fig. 4 mostra a comparação entre as opções de projeto estudadas para a métrica do total de produtividade em homem-hora por atividade. As atividades são separadas nesta etapa em “fabricação, montagem e desmontagem de fôrma”, “fabricação e montagem de armadura”, “concretagem” para o cenário 01 de estruturas de concreto moldadas in loco; e em “fabricação e transporte de peças” e “montagem de peças” para o projeto com estruturas pré-fabricadas.

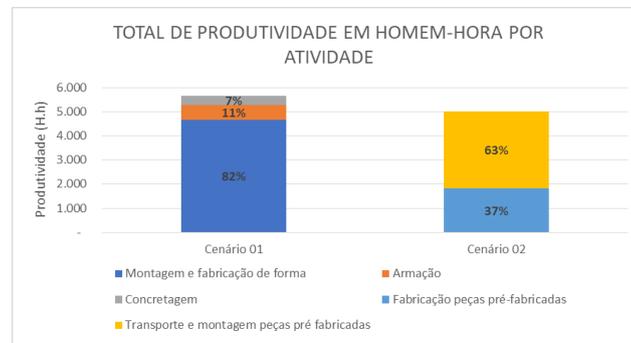


Figura 4. Comparativo entre os dois cenários do total de produtividade em homem-hora por atividade.

Inicialmente, é possível identificar a diminuição entre os cenários do total de produtividade em homem-hora por atividade. O cenário 02 foi o modelo que apresentou menor consumo de produtividade em homem-hora para montagem de um pavimento de repetição, levando em conta todas as etapas de elaboração da estrutura.

No cenário 01 a métrica do total de produtividade em homem-hora por atividade é igual a 5.663 H.h, 82% deste valor corresponde ao tempo despendido durante o serviço de fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas de concreto armado, o que equivale a 4.658 H.h.

A análise realizada demonstra um alto valor de tempo utilizado para realizar os serviços de fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas para um pavimento no canteiro de obra. Nesse sentido, para melhorar o desempenho produtivo dos trabalhadores para realizar a execução da estrutura na obra, buscou-se verificar a substituição de vigas, pilares e lajes de concreto armado por peças de concreto pré-fabricadas como alternativa de projeto.

Ademais, pode ser verificado na Fig. 4 que a fabricação das peças no cenário 02 corresponde a 37% do total de produtividade em homem-hora por atividade, o que equivale a 1.832 H.h. A redução do total de homem-hora para esse serviço está relacionada ao sistema construtivo pré-fabricado que produz suas peças em fabricas. A introdução de máquinas auxilia os trabalhadores na fabricação da estrutura e melhoram a eficiência construtiva no canteiro de obra.

5.2 Cronograma preliminar

Com base na determinação do total de produtividade em homem-hora no canteiro de obra, nas definições das durações e do ritmo de execução das tarefas para cada um dos dois cenários, elaborou-se o cronograma dos casos propostos. O comparativo entre as linhas de balanço adotadas como plano de longo prazo para elaboração da estrutura dos cenários 01 e 02 é apresentado na Fig. 5.

O tempo total calculado para realizar a execução da estrutura de um pavimento de repetição com uma equipe ótima foi de 33 dias corridos para a possibilidade de projeto 02. Portanto, em comparação com o sistema convencional estrutural do cenário 01, que foi de 47 dias corridos, houve uma redução de 14 dias.

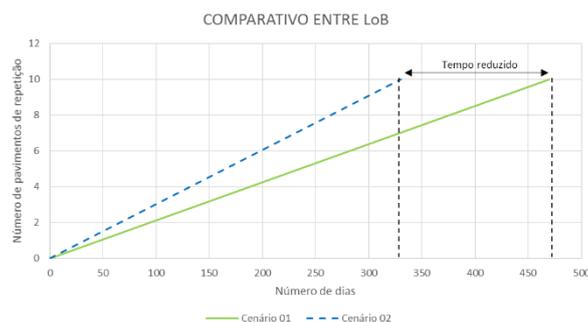


Figura 5. Comparativo entre as linhas de balanço dos cenários 01 e 02.

Assim, quando se analisa a construção de 10 pavimentos que correspondem a 5 escolas, uma vez que, cada modelo de escola estudada possui 2 andares tipo a diferença de dias se mantem proporcional. Ou seja, para elaboração de 5 escolas são necessários 470 dias para o cenário 01, e 330 dias para o cenário 02.

A redução de aproximadamente 30% no total de dias corridos de obra deve-se ao fato que em sistemas convencionais de concreto armado a fabricação e montagem de fôrmas e armadura são atividades que requerem uma demanda elevada de dias de trabalho. Entretanto, quando se utiliza sistemas estruturais pré-fabricados de concreto esses serviços são executados em fábricas, economizando boa parte de tempo despendido no canteiro de obra.

5.3 Discussões dos resultados

Os estudos de planejamento dos cenários mostraram que as decisões tomadas pelos responsáveis do projeto impactam na eficiência de montagem no canteiro de obra. A realização de análises de planejamento construtivo, ainda nos estágios iniciais do desenvolvimento de projetos de edificações replicáveis em escala pode beneficiar os interesses econômicos, práticos e de prazo do projeto. Além disso, essas análises auxiliariam clientes e arquitetos como mais um parâmetro nas tomadas de decisões, a fim de aprimorar a identificação de oportunidades de melhorias no desempenho construtivo.

No experimento desenvolvido foram identificadas oportunidades de melhorias do desempenho construtivo com a introdução elementos estruturais pré-fabricados padronizados. A simplificação do layout do projeto e a utilização de peças estruturais pré-fabricados permitiram a redução do número de passos e processos de montagem no canteiro de obra.

6 Conclusões

- A abordagem BIM forneceu um ambiente no qual o planejamento de construções replicáveis em escala atrelado a conceitos de projeto para fabricação e montagem poderiam ser considerados nos estágios iniciais do projeto.
- As informações provenientes dos modelos paramétricos desenvolvidos em ambiente BIM foram utilizadas como dados de entrada para a análise de planejamento permitindo que fossem contemplados diferentes cenários de soluções estruturais.
- As análises da produtividade dos trabalhadores e cronograma nesse estudo foram incluídas como mais um parâmetro que auxiliaria nas tomadas de decisões e permitiria a identificação de oportunidades de melhoria no projeto que facilitem a montagem e potencializem a eficiência de trabalho no canteiro de obra.
- A consideração de elementos de concreto pré-fabricado apresenta potencial econômico, prático, estético e de prazo competitivos. As soluções de projeto utilizadas no experimento reduziriam o cronograma de obra, estimulariam a produção de peças em larga escala e facilitariam a montagem da estrutura através da minimização de peças e partes a serem construídas.
- A metodologia BIM propiciaria a maior interação entre os atores durante o desenvolvimento do projeto

e possibilitaria a redução da necessidade de modificações de projeto e serviços durante a fase de construção, além de dar a oportunidade de as soluções de projeto serem melhores formuladas e analisadas.

- Em termos de cronograma para construir 5 escolas, a utilização de elementos pré-fabricados na estrutura apresentaria uma redução de 30% no total de dias corridos de obra, devido ao fato que em sistemas convencionais de concreto armado a fabricação e montagem de fôrmas e armaduras são atividades que requerem uma demanda elevada de dias de trabalho.
- A aplicação da metodologia BIM facilitou o armazenamento, o acesso e o uso de informações para promover melhorias contínuas dos sistemas de avaliação e otimização de projetos.

Agradecimentos. Os autores agradecem a PUC-Rio pelo apoio durante o desenvolvimento deste estudo e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro contínuo.

Authorship statement. This section is mandatory and should be positioned immediately before the References section. The text should be exactly as follows: The authors hereby confirm that they are the sole liable persons responsible for the authorship of this work, and that all material that has been herein included as part of the present paper is either the property (and authorship) of the authors, or has the permission of the owners to be included here.

Referências

- [1] A. Q. Gbadamosi *et al.*, “Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 215, pp. 1180–1190, 2019.
- [2] A. OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, R. R.; HAMERSKI, “Estudo de Indicadores de Qualidade em Obras Repetitivas,” *Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente Construído*, 1998.
- [3] A. Grilo and R. Jardim-Goncalves, “Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments,” *Automation in Construction*, vol. 19, no. 5, pp. 522–530, 2010.
- [4] T. Gerrish, K. Ruikar, M. Cook, M. Johnson, and M. Phillip, “Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 24, no. 2, pp. 190–208, 2017.
- [5] T. A. I. AIA and T. A. G. ACG, “Level of Development (LOD) Specification Part I & CommentaryBIMFORUM,” 2019.
- [6] Computer Integrated Construction Research Group, “BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.0.” Cambridge University Press, 2010.
- [7] F. B. De Vargas and C. T. Formoso, “Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM,” *Ambiente Construído*, pp. 129–151, 2020.
- [8] P. G. Ioannou and I. T. Yang, “Repetitive Scheduling Method: Requirements, Modeling, and Implementation,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 5, pp. 1–13, 2016.
- [9] A. Damci, D. Arditi, and G. Polat, “Resource leveling in line-of-balance scheduling,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 28, no. 9, pp. 679–692, 2013.
- [10] A. Damci, D. Arditi, and G. Polat, “Impacts of different objective functions on resource leveling in Line-of-Balance scheduling,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 58–67, 2016.
- [11] G. Lucko and G. Gattei, “Line-of-balance against linear scheduling: Critical comparison,” *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Management, Procurement and Law*, vol. 169, no. 1, pp. 26–44, 2016.
- [12] PMI, Ed., *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos*, 5ª Edição. 2013.
- [13] CBIC, “Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil,” 2017.
- [14] E. W. Senger, “Método para Quantificação do Valor Percebido por Construtores para Sistema de Banheiros Pré-Fabricados: Redução do Cronograma,” Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2018.
- [15] SINAPI: *Catálogo de Composições Analíticas Sinapi de Setembro/2019* Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_556>. Acessado em 20 mar. 2020.
- [16] EMOP-RJ. *Boletim e Catálogo de Composição de Preços Unitários EMOP de Julho/2019*. Disponível em: <http://www.emop.rj.gov.br/cad_catalogo.asp>. Acessado em: 25 mar. 2020.