

O uso do BIM em obras compostas por sistemas estruturais de betão pré-fabricado

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.13>

**Daniela Gutstein¹, Larissa Queiroz Henz²,
Luis André Tomazoni³, Paulo Costeira Silva⁴**

¹ *Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-Brasil*

² *Cassol Pré-fabricados, Curitiba-Brasil*

³ *Cassol Pré-fabricados e ABCIC, São Paulo-Brasil*

⁴ *Instituto Politécnico de Viseu, Viseu*

Resumo

O emprego de sistemas estruturais de betão pré-fabricado tem sido cada vez maior nas obras brasileiras, onde a rapidez construtiva, qualidade e racionalização dos processos são premissas principais. A normalização brasileira traz especificações para análise, dimensionamento, produção e montagem dos elementos construtivos pré-fabricados, estabelecendo tolerâncias dimensionais e de desvios no posicionamento dos elementos em obra a serem criteriosamente controladas. Também define critérios para a avaliação da estabilidade global de estruturas pré-fabricadas relevantes para a etapa de concepção de cada projeto. A modelagem BIM tem-se mostrado uma importante metodologia para considerar esses requisitos normativos, bem como aprimorar e racionalizar a implantação de obras com sistemas construtivos pré-fabricados de betão. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão geral do emprego do BIM nas diferentes etapas de projeto e construção da estrutura pré-fabricada de acordo com as normas brasileiras em vigor. A metodologia apresentada envolve o uso dos softwares Revit e TQS-Preo e biblioteca de elementos parametrizados onde são apresentados dois casos de projeto como exemplo. Dentre as conclusões evidencia-se que a modelagem BIM tem-se mostrado uma importante metodologia para aprimorar e racionalizar a implantação de obras com sistemas construtivos pré-fabricados de betão, atendendo aos requisitos normativos de segurança e prazos reduzidos.

1. Introdução

O emprego de sistemas estruturais de betão pré-fabricado tem sido cada vez maior nas obras brasileiras, onde a rapidez construtiva, qualidade e racionalização dos processos são premissas principais. Neste contexto, a norma brasileira ABNT NBR9062:2017 [1] traz especificações para análise, dimensionamento, produção e montagem dos elementos construtivos pré-fabricados, estabelecendo tolerâncias dimensionais e de desvios no posicionamento dos elementos em obra a serem criteriosamente controladas.

A utilização de sistemas pré-fabricados traz inúmeros benefícios para os envolvidos com a construção da edificação em si e também para o meio ambiente pois proporcionam redução de custos, minimização de desperdícios através da racionalização dos processos, sendo soluções sustentáveis quando comparadas a demais soluções em betão armado e outros sistemas. Porém, o projeto de sistemas estruturais pré-fabricados precisa levar em consideração situações transitórias provenientes das diversas etapas que passam os elementos até a sua posição final na estrutura, o que leva a um detalhamento de projeto maior nas fases iniciais de projeto. De uma forma geral, segundo Doniak e Gutstein [2] as situações transitórias de projeto muitas vezes introduzem esforços que ocasionam situações de dimensionamento estrutural condicionantes, bem como, custos diferenciados de construção. Com relação aos aspectos construtivos, a racionalização dos processos e sucesso da montagem passa pela previsão de todas as interfaces multidisciplinares na obra durante as fases de projeto, o que torna o projeto mais complexo. Segundo Van Acker [3] nas estruturas em betão pré-fabricado emprega-se menos da metade do tempo necessário em relação à construção convencional de betão moldado no local. Isto se deve principalmente à padronização e à automatização dos processos, onde o cronograma da obra pode ser otimizado, permitindo a redução do tempo de retorno de investimento da construção, tornando-as viáveis economicamente. Segundo Doniak e Gutstein [2] a busca maior na última década por estruturas que também sejam adaptáveis (como para mudanças de utilização ou renovação arquitetónica), além de sustentáveis e economicamente viáveis para atender prazos reduzidos de construção, tem refletido no crescente avanço das aplicações do pré-fabricado.

Sendo assim, para atingir tais objetivos os estudos de projeto requerem atenção especial onde o emprego do BIM em seus diferentes níveis é justificável e vem sendo utilizado para otimizar os processos envolvidos, onde uma vez aprimorando os projetos, permite-se orçamentos detalhados e gestão construtiva aprimorada em todas as etapas da obra. O BIM também auxilia nas etapas iniciais de concepção arquitetónica e estrutural. Para isso, se pode utilizar a metodologia de análise estrutural estudada em Rezende e Gutstein [4] em que uma geometria de estrutura estável à estabilidade global para todas as combinações de ações seja encontrada. Adotam-se os coeficientes de estabilidade global segundo as recomendações de [1] de forma que o modelo da arquitetura possa ser ajustado de acordo com as necessidades do modelo estrutural. A automatização dos processos no ambiente colaborativo em BIM, através da modelagem da arquitetura e análise estrutural permite maior otimização

das soluções estruturais, devido à habilidade de troca de dados entre softwares que utilizam a modelagem BIM e em decorrência da possibilidade de se definir parâmetros geométricos a vários elementos estruturais que compõem o projeto. Como a estrutura pré-fabricada utiliza de elementos padronizados sempre que possível, o uso de modelagem em BIM permite a criação de biblioteca de elementos parametrizados conforme as tipologias previstas em catálogo de produtor e assim maior agilidade de estudos para seleção dos elementos (seções transversais ou geometria) mais adequados, em conformidade com as necessidades estruturais e arquitetônicas.

No Brasil as legislações federais e estaduais definem diretrizes para a licitação de obras públicas utilizando a metodologia BIM durante as fases de projeto, construção e operação. Neste contexto, a metodologia BIM passou a ser obrigatória em diferentes níveis a depender do escopo do projeto segundo esta legislação. A nível federal o decreto 11.888/2024 [5] define regulamentos para uma estratégia nacional de disseminação do BIM que possui como principal objetivo aprimorar o projeto e a execução, bem como minimizar os custos de implantação e manutenção das obras ao longo da vida útil. Isso tem feito com que as empresas e profissionais do setor estejam desenvolvendo suas metodologias internas utilizando ferramentas em BIM.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão geral do emprego do BIM nas diferentes etapas de projeto e construção da estrutura pré-fabricada, bem como, uma metodologia para a otimização do projeto na fase de concepção, de acordo com as normas brasileiras em vigor. Para isso são apresentados dois exemplos de aplicações da metodologia BIM no contexto de sistemas construtivos pré-fabricados. O primeiro corresponde a um estudo paramétrico de projeto estrutural em BIM onde se utilizou o Revit para modelagem arquitetônica e estrutural e o TQS-Preo para análise da estrutura. Para este estudo foi desenvolvida uma biblioteca de elementos parametrizados e estudo de interoperabilidade entre os softwares, paginação e análise estrutural, adotando uma metodologia de projeto estrutural segundo Rezende e Gutstein [4] envolvendo análise de estabilidade global para estudos de concepção estrutural e arquitetônico de um projeto. Este exemplo se baseia no trabalho de pesquisa de Perin [6]. O segundo exemplo corresponde à obra do Campus WPP, segundo Sugahara e Lacourarie [7] e Gutstein, Heinz e Tomazoni [8] que está em fase final de conclusão na cidade de São Paulo – Brasil e se dedica a apresentar um *case* de projeto e os usos de demais ferramentas para as fases de produção, montagem, planejamento e orçamento de uma obra de grande porte em estrutura pré-fabricada. Ambos exemplos demonstram a potencialidade do emprego do BIM para o aprimoramento de projetos como um todo.

2. Usos do BIM em estudos de concepção estrutural em betão pré-fabricado

O primeiro caso corresponde ao estudo desenvolvido em Perin [6] onde foi feita análise paramétrica de um projeto de estrutura pré-fabricada. Dentre outras análises, neste trabalho foram estudadas 3 tipologias de estrutura, variando as seções

transversais de pilares com a finalidade de se atenderem os critérios de estabilidade global e aplicar a metodologia de projeto segundo Rezende e Gutstein [4]. O autor adotou um caso de projeto com modelagem em BIM e análise estrutural com o software TQS Preo, desenvolvido para o projeto de estruturas pré-fabricadas utilizando-se a normalização brasileira de referência, com opções de interoperabilidade com o Revit para trabalho num ambiente em BIM. Para o projeto de referência foi feita modelagem paramétrica com elementos estruturais pré-fabricados e situações de carregamento em sua fase final de utilização, ou seja, para a estrutura já montada e finalizada. O objetivo foi desenvolver um fluxo de trabalho que permita otimizar o projeto estrutural a partir da composição de uma biblioteca de elementos estruturais, utilizando-se de elementos paramétricos modelados como famílias de elementos que possam ser selecionados no modelo BIM e analisados no programa de análise estrutural. Como principal critério de otimização estrutural foi adotado a análise de estabilidade global de estruturas pré-fabricadas conforme a ABNT NBR9062, a partir do cálculo dos coeficientes de avaliação da segurança à estabilidade global, denominado por gama z (γ_z).

2.1. Famílias e parametrização de elementos pré-fabricados

A criação de elementos paramétricos compondo uma biblioteca é importante na modelagem de uma edificação em BIM pois auxilia tanto arquitetos quanto engenheiros que trabalham no mesmo projeto. O projeto arquitetônico pode ser feito prevendo variações de parâmetros em famílias de elementos, minimizando retrabalhos por conta da adaptação arquitetônica da edificação em decorrência de mudanças realizadas no projeto estrutural e vice-versa [6].

Segundo Autodesk [9] uma família é um grupo de elementos com um conjunto de propriedades chamadas parâmetros e uma representação gráfica relacionada. A vantagem da criação de famílias corresponde a criar uma biblioteca que pode ser utilizada em diferentes projetos, composta de elementos padronizados que têm uma tipologia específica, mas que podem conter variações em determinadas dimensões de sua geometria ou em suas propriedades, denominadas de parâmetros. Os tipos de famílias podem ser utilizados para modelar elementos com variações geométricas ou em situações de idades diferentes das peças, por meio de especificações das propriedades dos materiais, por exemplo, nas situações transitórias típicas do processo de pré-fabricação (etapas de moldagem, desforma, transporte, armazenamento e montagem). O Autodesk Revit possui a função de criação e edição de famílias que permite realizar análises considerando variações dos parâmetros. A Figura 1(a) apresenta exemplos de pilares de extremidade parametrizados para cada configuração específica de consolas presentes no projeto de estudo adotado em Perin [6]. A Figura 1(b) mostra um exemplo de uma família parametrizada de pilares intermediários com consolas simétricas (que servem de apoio para vigas em ambos os lados) e indicação dos respectivos parâmetros editáveis para a modelagem em estudo desenvolvida em Perin [6].

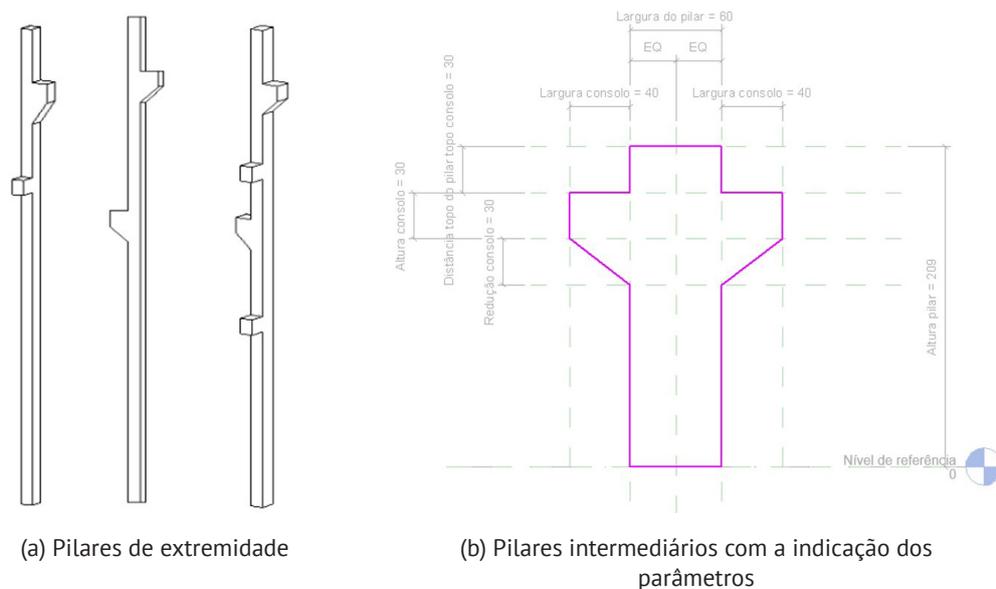


Figura 1
Consolas de pilares parametrizados adotados num projeto em estrutura pré-fabricada (Extraído de Perin [6]).

A Figura 2 mostra o projeto de estudo adotado por este autor onde os pilares foram utilizados. Uma vez criada uma família num determinado projeto, a mesma pode ser adotada posteriormente no modelo BIM de qualquer outro projeto.

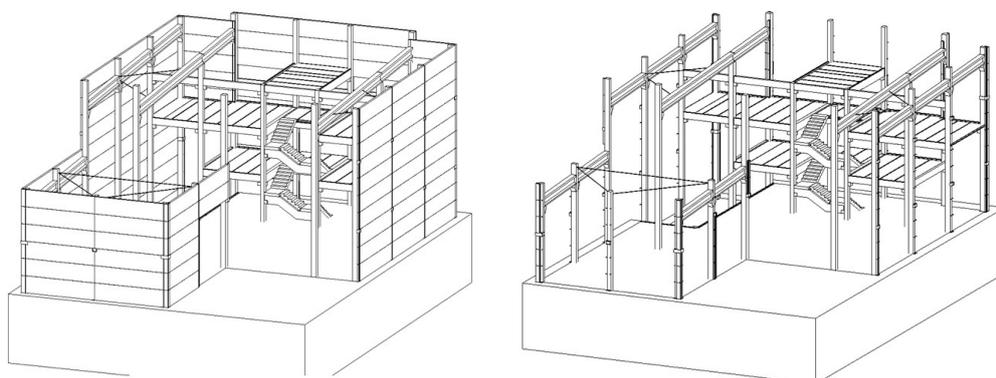


Figura 2
Projeto de estudo onde foram parametrizadas as famílias de pilares em Perin [6] (projeto cedido).

2.2. Análise de estabilidade global: concepção estrutural e dimensionamento de pilares

Dentre as facilidades da programação em BIM se destaca a possibilidade de realizar alterações de projeto de arquitetura e a partir da interoperabilidade entre as diferentes ferramentas em BIM adotadas, realizar a análise estrutural no programa específico de estrutura para diferentes opções de elementos e respectivos parâmetros. Essas variações podem ser feitas para atingir melhores requisitos de segurança (como atender aos critérios de estabilidade global) e ou de economia (otimizar as secções dos pilares para atender aos requisitos sem muita folga, por exemplo). Como exemplo, no projeto em estudo adotado em Perin [6] (Figura 2) foi realizada uma análise paramétrica, onde alguns pilares sofreram alterações na sua secção transversal para analisar as variações nos coeficientes de estabilidade global, γ_2 , segundo

a ABNT NBR9062 [1]. A Tabela 1 mostra as variações das secções adotadas em cada análise, onde a arquitetura foi modelada no Revit (projeto cedido por empresa) e a estrutura foi analisada utilizando o TQS-Preo que prevê a interoperabilidade entre os programas para transferência dos dados dos modelos. Demais dados e análises realizadas no trabalho podem ser encontrados em Perin [6].

Tabela 1: Coeficientes de estabilidade global γ_z obtidos por Perin [6] para diferentes situações de carregamentos, variando-se a seção transversal dos pilares (análises 1 a 3).

	Combinação Vento 90°	Combinação Vento 180°	Combinação Vento 270°	Combinação Vento 360°
Análise 1	1,03	1,04	1,03	1,04
Análise 2	1,04	1,04	1,04	1,04
Análise 3	1,08	1,06	1,08	1,06

3. Usos do BIM no projeto do Campus WPP

O projeto da superestrutura do Campus WPP foi idealizado pela arquitetura com elementos compondo a estrutura se integrando perfeitamente à arquitetura (Figura 3). Foram utilizados na concepção elementos lineares pré-fabricados (vigas e pilares), elementos bidimensionais pré-fabricados na fachada (painéis arquitetônicos em concreto armado) e no sistema de pisos dos pavimentos compostos por lajes alveolares pré-fabricadas protendidas com vãos de até 11m e capa estrutural executada na obra.

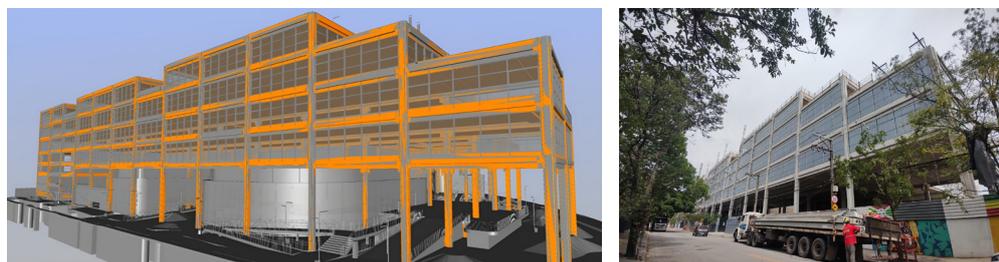


Figura 3
Edifício Campus WPP –
Perspectiva de projeto
da obra acabada em
sistema pré-fabricado
(Fonte: www.wpp.com
[7]).

3.1. Concepção da estrutura: compatibilização e estudo de fôrmas

A modelagem em BIM da arquitetura e estrutura do Campus WPP foi realizada em Revit desde a fase de orçamentação do projeto. A concepção da obra em BIM facilitou a tomada de decisões para a concepção da estrutura e definição dos elementos

estruturais, a partir da melhor compreensão e análise visual da interface entre a arquitetura e a estrutura (Figura 4).



a) Modelo em BIM – sobreposição das disciplinas de arquitetura (em cinza) e estrutura (em laranja)

b) Visualização na obra (interface com as esquadrias)

Figura 4
Modelo em BIM e visualização em obra.

Esses modelos proporcionaram a visualização e estudo de interfaces de elementos que apresentaram soluções inovadoras no projeto de pilares e de vigas (Figura 5). O projeto de arquitetura adotou pilares com seção transversal em cruz de forma predominante no empreendimento, com a finalidade estética da fachada e de diminuição do vão real das vigas. A produção respondeu a desafios relacionados à maior complexidade da fôrma e ao detalhamento das emendas que foram necessárias nos pilares, uma vez que ultrapassaram 21 metros de altura devido às limitações de transporte e logística da obra. Com isso, foram necessários oito conjuntos de emendas por pilar, sendo um conjunto em cada vértice da seção. Com relação às vigas, o estudo da estrutura apresentou um número significativo de seções especiais, para solucionar aspectos de projeto, tais como, continuidades na estrutura, desníveis nos pavimentos, variação de espessuras das lajes e detalhes arquitetônicos de fachada. A fachada foi projetada com a composição de painéis de vedação e de painéis estruturais que demandaram soluções diferenciadas de produção e de montagem devido à sua geometria e seus acabamentos. Gutstein, Heinz e Tomazoni [8] descrevem os estudos de produção desenvolvidos em fábrica para atender as exigências de desempenho estrutural e de acabamento superficial dos painéis de fachada definidos pela arquitetura. Os estudos de concepção da estrutura da fachada tiveram como premissa subdividir as prumadas de painéis em peças pré-fabricadas respeitando-se as dimensões máximas e outros critérios, que levaram em conta aspectos que viabilizassem a produção, içamento, transporte, montagem e solidarização em obra. Após estudos da arquitetura, da estrutura e de planejamento da obra por meio de plano de *rigging*, os painéis de fachada resultaram em grandes dimensões ($2,70 \times 16,40 \text{m}^2$) e peso de aproximadamente 28t. A Figura 6 apresenta um detalhe do modelo em BIM dos painéis de fachada e da obra na fase de montagem.

Figura 5
Exemplo de projeto de pilar e amostragem visual de vigas.

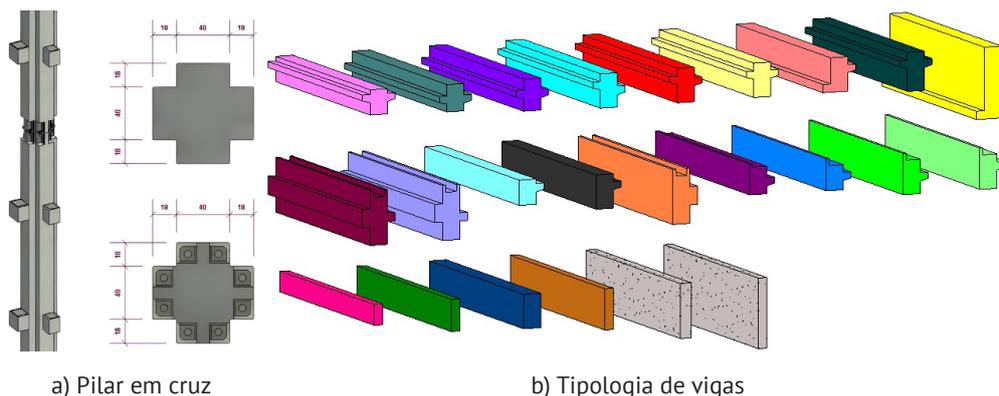
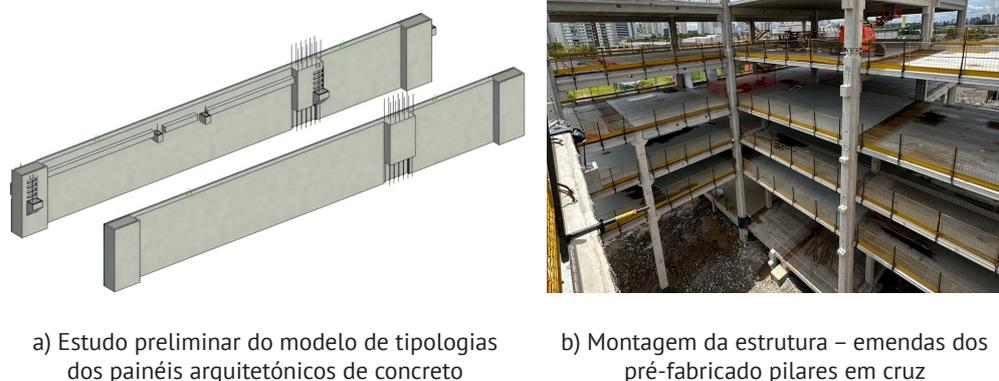


Figura 6
Painéis em peças pré-fabricadas e emendas de pilares em campo.



O modelo em BIM da estrutura foi idealizado com o emprego de objetos paramétricos e possibilitou a extração das informações dimensionais de todas as peças do projeto. Esses dados foram base para estudo de padronização e recorrência das seções, resultando na definição das formas metálicas a serem produzidas para a obra.

O detalhamento de projeto para a produção foi desenvolvido a partir da construção virtual de todos os componentes pré-fabricados do projeto, onde cada elemento foi detalhado, considerando a sua geometria, especificação de materiais e demais detalhes de encaixes, como esperas e neoprene. Isso proporcionou uma análise crítica de produção, onde cada peça foi disposta em uma região do modelo BIM que simulava o pátio de fábrica. Em seguida, foi modelada a locação das peças em sua posição final no empreendimento, de acordo com o projeto de montagem. O objetivo foi identificar qualquer falta de informação nas pranchas de detalhamento ou incompatibilidade na obra que poderiam causar retrabalhos, custos adicionais e atrasos na montagem ou na produção. A análise virtual de conflito físico entre as peças, denominada de *Clash*, foi muito importante porque permitiu identificar falhas na produção ou de detalhamento de projeto devido a presença de elementos sobrepostos ou falta de componentes no modelo que impossibilitariam ou dificultariam a execução. Foram estudadas também interferências de posicionamento, alinhamento e níveis de

consolas, vigas e lajes (Figura 7). Para esta finalidade, também foi utilizada como apoio a ferramenta *Clash Detection* no software *Navisworks*.

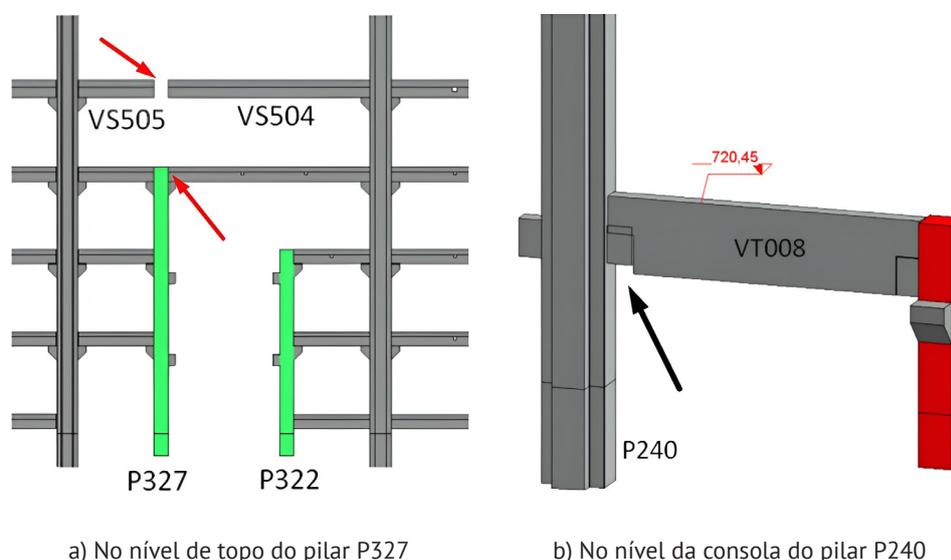


Figura 7
Detecção de conflitos físicos entre peças.

3.2. Montagem e plano de ataque

Como premissa para o estudo de montagem e plano de ataque da estrutura foi considerado o tempo total de 148 dias úteis. As equipes de montagem necessárias para cumprimento do prazo foram definidas levando-se em conta as quantidades e características das peças do modelo BIM, bem como seus índices de fabricação e montagem. Também foram estabelecidas as quantidades de produção de fábrica para atendimento às equipes. Com o estudo dos acessos à obra, a partir do software *Infraworks* foi possível também estudar a melhor solução para a subdivisão da estrutura em quadrantes de montagem e suas respectivas equipes, bem como definir o sentido de montagem mais adequado. Como solução final se chegou à subdivisão em 18 quadrantes associados às equipes e respectivo sentido de montagem, conforme exemplificado na Figura 8.

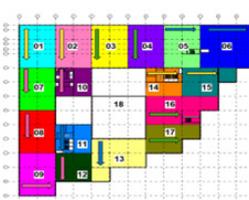
Para a produção dos elementos em fábrica, foi analisada a distribuição de peças por tipologia, por volumes e por equipe, visando manter as necessidades em obra compatíveis com a fabricação. Foram desenvolvidas animações em BIM 4D no software *Navisworks* e *Fuzor* (Figura 9) para facilitar o entendimento de todos os envolvidos na construção do empreendimento. A fim de garantir a exequibilidade da operação e minimizar os impactos no entorno da obra foram realizados estudos de logística estudando a chegada de equipamentos e caminhões ao canteiro de montagem. A partir da validação da estratégia de execução, iniciou-se o detalhamento do plano de ataque peça a peça. Os quadrantes de montagem iniciais foram subdivididos em regiões menores, resultando em 73 quadrantes, com o objetivo de aumentar o número de marcos de controle de projeto. As equipes de montagem foram responsáveis por um

conjunto de quadrantes, cada um com prazos de projeto, fabricação e montagem (Figura 10).

Figura 8
Plano para a montagem da estrutura.

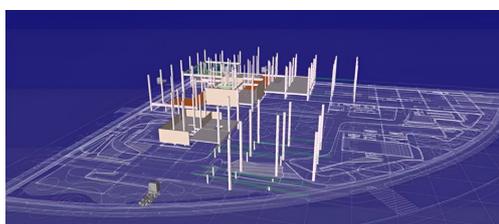


a) Posicionamento do modelo BIM



b) Distribuição preliminar de quadrantes e sentido no terreno de montagem

Figura 9
Simulação BIM 4D em diferentes softwares.

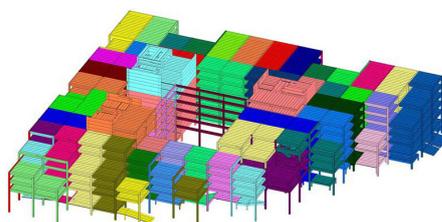


a) Navisworks

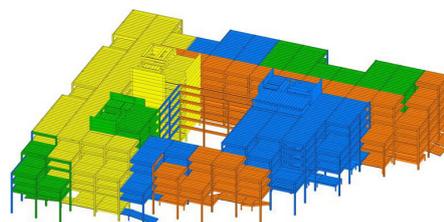


b) Fuzor

Figura 10
Distribuição final da estrutura.



a) Quadrantes



b) Equipes de montagem

Os quantitativos para desenvolvimento do planejamento peça-a-peça foram extraídos com automações em *Dynamo*, envolvendo parâmetros como pavimento, tipologia de forma e nomenclatura de peças. Foi necessário compreender e adaptar as informações importantes para cada fase executiva, para que a base de dados gerada fosse útil e confiável. Sendo assim, o único parâmetro incluído manualmente no modelo (que não era nativo do processo de projeto) correspondeu ao respectivo quadrante de montagem. Para simulações 4D eram feitas associações automáticas com base no parâmetro de identificação das peças no modelo BIM. Com a setorização peça a peça, a análise crítica e adaptabilidade do cronograma se tornou mais simples, onde se passou a considerar a complexidade do número de quadrantes e não do número de peças. O acompanhamento do avanço físico do empreendimento foi feito com auxílio do modelo BIM por meio da plataforma *Nimble* para navegação e atualização em tempo real dos status das peças por meio de dispositivos móveis no campo. A partir desse controle, *dashboards* de análise de produtividade e conformidade de prazos também foram feitos em *PowerBI*.

4. Conclusão

A modelagem BIM tem-se mostrado uma importante metodologia para considerar esses requisitos normativos, bem como aprimorar e racionalizar a implantação de obras com sistemas construtivos pré-fabricados de betão. Em ambas situações apresentadas como exemplo observaram-se aspectos importantes das metodologias e ferramentas em BIM utilizadas, com a finalidade de se obter estruturas seguras e económicas dentro dos prazos pré-estabelecidos com o cliente.

Agradecimentos

À TQS pela cedência do programa TQS PREO para realização das análises; bem como à Rocontec Construção e Tecnologia, Brookfield Properties, CMA Engenharia e Cassol Pré-fabricados, pelas informações fornecidas.

Referências

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. “ABNT NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado”. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- [2] Doniak, I.L.O.; Gutstein, D. “Concreto Pré-fabricado”, in *Concreto: Ciência e Tecnologia*, Tutikian B., Pacheco F., Isaia G. e Batagin I. (editor), 3.^a ed. São Paulo: Editora Ibracon, 2022.
- [3] Van Acker, A. Manual de sistemas Pré-fabricados de Concreto. Tradução: Marcelo de Araujo Ferreira, Disponível em: <http://www.netpre.ufscar.br/wp-content/uploads/2016/12/Manual-de-Pr%C3%A9-Fabricados-de-Concreto.pdf>. Acesso em 28 dez, 2023.
- [4] Rezende, A. H., Gutstein, D. “Análise de Sensibilidade de Parâmetros na Estabilidade Global de Estruturas de Concreto Pré-moldadas segundo ABNT NBR9062:2017”, in *Congresso Brasileiro de Concreto*, 62.^o, Anais-Parte II, Florianópolis, 2021.
- [5] Decreto 11.888/2024 – “Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil”. Legislação brasileira publicada em 22 de Janeiro de 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Decreto/D11888.htm#art14. Acesso em 28 fev, 2024.
- [6] Perin, A.G.S. “Dimensionamento estrutural e compatibilização em BIM de uma edificação através dos softwares Autodesk Revit e TQS PREO”, Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022, Curitiba.

- [7] Sugahara, J., Lacourarie, L. WPP. Anuncia seu primeiro Campus no Brasil. Disponível em: <https://www.wpp.com/en/news/2022/11/wpp-announces-its-first-campus-in-brazil-portuguese>. Acesso em 29 fev, 2024.
- [8] Gutstein, D.; Heinz, L.Q. e Tomazoni, L.A. “Primeiro campus no Brasil da WPP: edificação sustentável na esfera da transformação criativa”. *Revista Concreto & Construções*, São Paulo, n.112, p.57-63, 2023.
- [9] Autodesk. “Vantagens da BIM”. Disponível em <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim/benefits-of-bim>. Acesso em 28 dez, 2023.