



Aplicação da modelagem da informação da construção (BIM) no projeto do canteiro de obras

¹TEIXEIRA, Nathan Santos, ²SARTI JUNIOR, Luiz Antonio e ³SERRA, Sheyla Mara Baptista

¹B.Sc. Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar) São Carlos, Brasil.

²Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos (PPGECiv/UFSCar) São Carlos, Brasil.

³Professora Dra., Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos (DECiv/UFSCar) São Carlos, Brasil.

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 18 Mar 2021

Revisão: 22 Mar 2021

Aprovação: 7 Abr 2021

Palavras-chave:

Building Information Modeling

Canteiro de obras

Projeto do canteiro

Resumo:

Na construção civil, as atividades de fluxo físico ou transporte ainda representam uma parcela considerável do total de atividades necessárias para o desenvolvimento dos empreendimentos. Nesse contexto, estudos sobre a melhoria do arranjo físico do canteiro de obras se fazem cada vez mais necessários. Neste estudo, utilizou-se a tecnologia Building Information Modeling (BIM) associada com o método Systematic Layout Planning (SLP) simplificado para a concepção do projeto do canteiro de obras. Para isso, o método de pesquisa foi o de estudo de caso, fazendo uma abordagem comparativa da realidade do canteiro em estudo com um modelo proposto com o uso do BIM durante a fase de execução da vedação e revestimentos. Dessa forma, por meio da modelagem BIM-4D do canteiro em estudo, foi realizada uma avaliação dos resultados. Verificou-se que, ganhos qualitativos relacionados à facilidade de visualização do modelo pelos diferentes agentes envolvidos foram obtidos. Além disso, obteve-se maior facilidade para alteração do projeto de acordo com o planejamento e maior interoperabilidade com outros softwares de projeto. Em relação aos ganhos quantitativos, obteve-se uma mensuração do espaço de armazenamento necessário e redução de 48 % na distância percorrida para transporte de blocos e 27 % para transporte de argamassas e grautes.

1. Introdução

Devido à crescente demanda por projetos mais sustentáveis, torna-se cada vez mais necessária uma boa gestão dos recursos disponíveis e o uso de ferramentas que ajudem na organização do ambiente de trabalho. Nesse sentido, a busca por modelos

eficientes mostra-se cada vez mais presente nos meios acadêmicos e científicos [1].

Uma estratégia tem sido o conceito de agregar valor às obras na construção civil brasileira, mesmo que essa se apresente tradicionalmente com níveis de produtividade mais baixos que outras

indústrias, como a automobilística [2]. A construção é reconhecida como um setor com elevados níveis de desperdícios devido à baixa industrialização do sistema construtivo e ausência de projetos complementares, principalmente projetos para produção [3].

Para Ciampa [4], as atividades que geram valor ao produto dentro de um canteiro de obras são muitas vezes relacionadas aos processos de operação e podem ser medidas de forma a identificar oportunidades de melhoria. Assim, são necessários estudos que diminuam o percentual de atividades de fluxos, que não agregam valor, pois estas, apesar de indispensáveis, podem representar tempo e recursos além do necessário. Para uma melhor análise, pode-se utilizar dos princípios da construção enxuta [4].

Outra contribuição é a inclusão da tecnologia de modelagem da informação da construção (BIM - *Building Information Modeling*, na língua inglesa), que pode ser uma alternativa para a concepção prévia do projeto de canteiro, devido à possibilidade de interoperabilidade entre os projetos existentes, visualização mais acessível e integração com o planejamento da obra. Além disso, a utilização de modelos BIM-3D e BIM-4D pode se tornar importante para o processo de tomada de decisão.

Alguns autores como Eastman *et al.* [5] e Koo e Fischer [6] definem a modelagem 4D como um processo de associação entre um modelo 3D do produto da construção com um plano de atividades distribuídos no tempo.

Durante o processo de projeto do empreendimento é possível tomar decisões de grande impacto no tempo e custo da obra de maneira mais eficaz. Fabricio e Melhado [7] afirmam que, assim como em outras indústrias, o processo de projeto (*layout*) na construção de edifícios é uma etapa importante para a obtenção de um produto de maior qualidade. Podem ser criados projetos complementares voltados para o

desenvolvimento e organização do processo de produção, no caso da construção civil, os canteiros de obras.

Segundo Bargstädt [8], as atividades inerentes ao canteiro de obras necessitam de um conjunto de informações, as quais devem possuir alto nível de confiabilidade e devem ser fornecidas no momento oportuno. Para a gestão, somente as informações geométricas não são suficientes [8], sendo necessário contar com informações, como as especificações sobre o tipo material a ser utilizado e parâmetros como resistência e desempenho.

Tommelein [9] afirma que a modelagem 4D pode ser utilizada para diversos propósitos, tais como, visualização durante a concepção, construção e marketing; estudo de alternativas e definição do sequenciamento de montagem.

Observa-se que, pesquisas têm sido realizadas em busca de métodos de gestão de canteiros de obras, tais como, o gerenciamento do canteiro de obras por meio de projetos repetitivos [10], gerenciamento do canteiro de obras de sistemas industrializados [11] e planejamento de *layout* dinâmico [12]. Outros pesquisadores atuam em pesquisas com foco no desenvolvimento de modelos 4D para o gerenciamento de canteiros de obras [13, 14].

No Brasil, a grande maioria dos canteiros de obras não são padronizados e possuem estruturas variáveis ao longo da construção. Cada fase do empreendimento possui necessidades e elementos específicos, sendo necessários estudos logísticos integrados. Assim, torna-se necessário o uso de técnicas e ferramentas para projetar e gerenciar o espaço físico com eficiência e segurança.

Nesse contexto, o presente estudo propõe um procedimento para elaboração do projeto do canteiro de obras com base nos

conceitos sistemáticos de organização dos arranjos físicos e no BIM-4D.

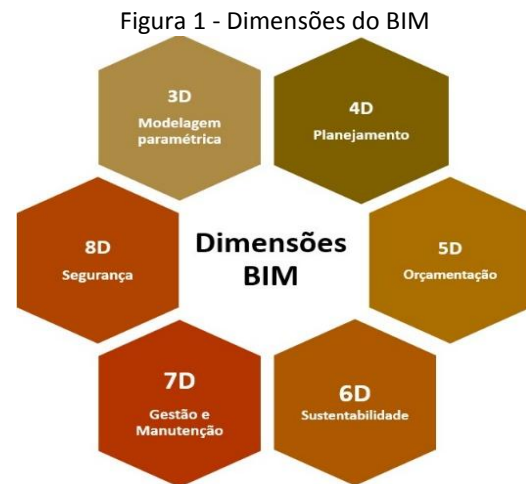
2. Revisão Bibliográfica

Para Eastman *et al.* [5], a tecnologia associada ao BIM, pode ser vista como “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”. Dessa forma, o modelo BIM pode ser munido de informações como a representação espacial do modelo, quantificação dos componentes, bem como informações particulares de cada elemento, como densidade, resistência, cor, dentre outros.

Essa capacidade multidimensional do BIM pode ser definida como modelagem ‘nD’, de forma a tornar possível gerar modelos com vários tipos de informações [5]. Os modelos se iniciam com o 3D, que representam a modelagem das três dimensões do objeto de forma espacial, podendo conter parâmetros ou informações relacionadas ao tipo de elemento a ser construído. Outra possibilidade que tradicionalmente se apresenta como a dimensão 4D, consiste na incorporação do tempo ou do cronograma do empreendimento aos elementos do modelo representado em 3D [15]. Ao incorporar a estimativa de custos no modelo, obtêm-se a dimensão 5D, possibilitando ver a evolução dos custos ao longo do desenvolvimento da construção [15]. O uso considerado como 6D é o que avalia aspectos de sustentabilidade, fazendo-se análise energética, além de ser possível verificar a escolha de instalações de acordo com a eficiência energética [15]. Por fim, com o uso da dimensão 7D é realizado a gestão de uso e manutenção da construção, levando-se em consideração todo seu ciclo de vida [15].

Posteriormente, com o avanço dos estudos da tecnologia BIM, foi introduzido o

conceito da dimensão 8D, na qual é incorporado a previsão de riscos durante a construção e operação, adicionando elementos de segurança e prevenção de acidentes [16]. Na Figura 1 são representadas as dimensões que o BIM contempla.



Fonte: Adaptado de Sienge [16]

Na construção civil, por muitos anos, o desenvolvimento de projetos de engenharia esteve culturalmente atrelado a representações em 2D, por meio da planificação do empreendimento. Entretanto, tal método já se mostrou suscetível a erros, seja por falha de compatibilização entre diferentes áreas de projeto, ou pelo simples equívoco na interpretação das representações 2D [17].

Segundo Fouquet e Serra [18], a introdução de informações direcionadas nos modelos 3D, permite a maior compressão do projeto por todos os intervenientes. Também, permite a utilização da detecção de conflitos (*clash detection*) possibilitada por alguns *softwares* como Revit ou Navisworks, por meio da resolução de problemas de compatibilização espacial de maneira mais simples, se comparado ao processo tradicional de sobrepor os desenhos 2D.

A utilização da tecnologia BIM como uma ferramenta de simulação do *layout* do canteiro de obras, em suas diferentes etapas

possibilita a sua melhor gestão do canteiro [19]. Com isso, é possível atrelar o uso da modelagem 4D para dimensionamento do *layout* do canteiro ao longo das diferentes etapas da construção, a partir do planejamento e projetos do produto [20].

2.1. Canteiro de obras

A Norma Regulamentadora NR-18 [21] define o canteiro de obras como área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução à construção, demolição ou reparo de uma obra. A Norma Brasileira NBR 12.284 [22] define que o canteiro de obras pode ser visto como a área destinada à execução e apoio dos trabalhos da indústria da construção, dividindo-se em áreas operacionais e áreas de vivência. Desta forma, a principal função do canteiro e obras é propiciar infraestrutura para produção do edifício, sendo que sua eficiência depende do projeto do produto e da produção, e da forma como é gerido [23].

O canteiro de obras pode ser definido também como uma estrutura dinâmica e mutável com o desenvolvimento da obra, devendo assim se munir de informações relacionadas ao cronograma da obra [24].

Segundo Tommelein e Zouein [25], o *layout* das instalações temporárias, nos canteiros de obras, pode mudar em função do avanço da obra. Dessa forma, percebe-se que a grande maioria das mudanças que ocorrem no *layout* estão atreladas ao cronograma de construção. Para descrever uma sequência de *layouts*, que abrangem toda as fases de construção de um projeto, usualmente utiliza-se o termo *layout* dinâmico [12].

Ferreira e Franco [23] afirmam que o projeto do canteiro deve atender aos requisitos para produção conforme os processos construtivos definidos, utilizando-se da organização e correta disposição dentro do canteiro. Para isso, é necessário englobar todos os serviços e seus respectivos fluxos

físicos e ciclos, considerando o atendimento dos processos inter-relacionados.

Cesar *et al.* [24] mencionam que existem condicionantes do projeto do canteiro que podem alterar uma tomada de decisão, como: a disponibilidade de espaço no canteiro, a frequência de abastecimento, a velocidade de utilização dos estoques e as programações físicas dos serviços a serem executados.

Segundo Borba [26], para definir um arranjo físico (*layout*) é necessário “planejar e integrar os caminhos dos componentes de um produto ou serviço”. Tal condição é fundamental na elaboração do *layout* para a indústria da construção civil que deve integrar e inter-relacionar os fluxos físicos existentes dentro de um canteiro.

Independentemente do tipo de obra sabe-se que existem dinâmicas e configurações diferentes dependentes da etapa de execução para a concepção do projeto do canteiro. Essa característica temporal do canteiro, visando um bom desenvolvimento da construção, ressalta a importância de o planejamento da execução estar em sinergia com o projeto do canteiro [27].

2.2. Fluxos físicos

Mourão [28] afirma que, para começar o trabalho de organização dentro de um canteiro, é necessário fazer uma análise com base na racionalização dos fluxos físicos. Além disso, o autor observa que as dificuldades de localização das instalações no canteiro, bem como de locomoção são um dos maiores responsáveis pela perda de produtividade na obra.

Para Cesar *et al.* [24], a sinalização e organização adequada do canteiro contribui para o desenvolvimento dos fluxos físicos. Com a definição do local de armazenagem de cada insumo, evita-se que materiais sejam alocados em locais incorretos, gerando fluxos desnecessários.

Para Alves [29], o uso de ferramentas da qualidade, como o diagrama de processo e o mapofluxograma, podem ser utilizadas para documentar como o processo desenvolve-se por meio do uso de gráficos e símbolos, o que pode facilitar na compreensão e visualização dos processos e identificação de possíveis falhas. Essas duas ferramentas se complementam, pois enquanto o Diagrama de Processo representa a sequência das atividades que fazem parte do processo, o mapofluxograma registra também o local onde cada uma dessas atividades será desenvolvida, por meio de símbolos alocados em planta de acordo com a atividade executada naquele espaço.

O Mapofluxograma é uma ferramenta visual que pode auxiliar no processo de decisão no planejamento do empreendimento. Além disso, por meio de tal ferramenta é possível realizar diferentes simulações, visando a melhor realização dos trabalhos no canteiro e reduzindo perdas e se baseando em dados e fatos [13].

2.3. Systematic Layout Planning

Proposto por Muther [30], o Planejamento de Layout Sistemático (SLP - *Systematic Layout Planning*, na língua inglesa), é uma sistematização de etapas para a realização de projetos de arranjo físico. Tal sistema baseia-se na estruturação de fases, nas quais aplicam-se procedimentos para identificar, avaliar e visualizar as áreas que compõem o planejamento. Embora não tenha sido desenvolvido especificamente para construção civil, o modelo mostra potencial para aplicação em projetos de canteiro [31].

As inter-relações, o espaço e o ajuste são conceitos fundamentais para o planejamento de qualquer arranjo físico, pois determinam, respectivamente, o nível de dependência entre as atividades; a forma, tipo e quantidade dos componentes; e a melhor forma possível para o arranjo das áreas [30].

Para o levantamento dos dados de entrada, é necessária a realização de uma análise das informações acerca do produto, da quantidade e dos serviços que darão o suporte e o tempo de realização de cada tarefa. Tais tarefas precisam ser levantadas, mostrando os insumos necessários e as relações de dependência entre elas. O fluxo dos materiais necessários à realização das tarefas pode ser determinante para o arranjo, devendo ser determinada a melhor sequência de movimentação dos materiais, bem como a intensidade e frequência dessas movimentações [30].

Integrando os resultados das necessidades, os quais são obtidos por meio do balanceamento das atividades e espaços necessários, ao diagrama de inter-relações, obtêm-se o diagrama de inter-relações de espaços [30]. Para dar continuidade no arranjo físico, é necessário considerar possíveis mudanças e limitações práticas, como segurança, custo e legislação vigente. Tendo sido feitas essas considerações, podem surgir diversos planos exequíveis, sendo necessário, por fim, a escolha do melhor plano segundo algum critério. Esses critérios podem ter com base as vantagens e desvantagens, ponderação dos fatores ou a comparação de custos de cada alternativa. Após escolhido e aprovado o arranjo físico, este pode ser detalhado por meio do projeto do canteiro, no caso da construção civil [30].

2.4. Lean Construction

Após o conceito de *Lean Production* ou *Lean Thinking* estarem bem difundidos, foi apresentada uma derivação aplicada à indústria da construção civil, denominada posteriormente de *Lean Construction*, fazendo as adaptações adequadas à realidade desse setor. Nesse sentido, Koskela [32] elencou os onze princípios da construção enxuta, visando otimizar o processo de construção, reduzindo desperdícios e custos, aumentando a qualidade do produto e melhorando o cumprimento de prazos, sendo

os seguintes: (1) reduzir a parcela das atividades que não geram valor; (2) aumentar o valor do produto por meio da consideração das necessidades do cliente; (3) reduzir a variabilidade; (4) reduzir o tempo de ciclo; (5) simplificar o processo via redução do número de passos ou partes; (6) aumentar a flexibilidade na execução do produto; (7) aumentar a transparência no processo; (8) focar o controle no processo global; (9) Introduzir melhoria contínua no processo; (10) manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões e (11) referências de ponta (*benchmarking*).

Para Reis [33], a boa organização do *layout* do canteiro proporcionada pelo projeto de canteiro contribui para a implantação da Construção Enxuta ao mesmo tempo que pode reduzir significativamente o esforço investido em atividades que não agregam valor ao produto. Além disso, durante a concepção antecipada do *layout* do canteiro, é possível identificar erros e corrigi-los, colaborando com o princípio de transparência do processo [32].

3. Método de pesquisa

O método de pesquisa adotado para o presente trabalho foi o de Estudo de Caso complementado por uma intervenção ou proposta de melhoria para o projeto estudado. Para tal, foi realizado contato com instituição pública que tivesse obra na fase de construção considerada crítica, com grande volume de materiais e alto número de funcionários presentes no canteiro de obras. O critério de escolha foi embasado na premissa de facilidade de acesso às informações e documentos do empreendimento, como projetos, orçamento e planejamento, além do acesso físico ao local da obra.

A construção possui 221,13 m² de área construída, sendo composta inicialmente por quatro salas de pesquisa, hall de entrada,

uma copa, uma área de serviço e dois sanitários. O edifício possui apenas um pavimento, construído em alvenaria estrutural, que pode ser caracterizado como um sistema racionalizado de construção. A cobertura foi realizada em telhas metálicas. Posteriormente, a construção sofreu um acréscimo de cerca de 70 m² por meio de um aditivo de contrato. Tal ampliação fez parte da presente análise.

Um levantamento reunindo as informações acerca das documentações e condições do entorno da obra foi realizado. As seguintes fontes foram identificadas: projeto das instalações provisórias para o canteiro, cronograma físico-financeiro da obra, planejamento operacional das atividades e registros fotográficos.

3.1 Modelagem da proposta de melhoria

Após a avaliação do projeto das instalações provisórias propostas, foi realizada a criação de um modelo em 3D, comparando com o observado no canteiro real. Foram realizadas visitas no canteiro com o objetivo de identificar os locais de armazenamento e as estratégias de entrega de materiais. De posse dos dados, foi dado início à modelagem da proposta de melhoria do projeto do canteiro existente, com foco na aplicação dos conceitos de construção enxuta, com auxílio de *softwares* BIM, Autodesk Revit 2019 (para modelagem 3D) e Autodesk Navisworks 2020 (para integração com o cronograma da obra 4D).

A escolha de tais *softwares* partiram das seguintes premissas: disponibilidade de licenças gratuitas para utilização (estudantis), semelhança entre os comandos com o Autodesk AutoCAD e facilidade de interoperabilidade entre os *softwares*. Portanto, a criação do modelo 4D norteou-se pela concepção do canteiro tendo como base o método SLP, o cronograma físico e os fluxos físicos programados.

3.2 Análise dos resultados

Após a modelagem da solução proposta, foram realizadas análises, a fim de verificar os ganhos e dificuldades devido a introdução da tecnologia BIM na concepção do canteiro. Para isso, foi determinado o espaço necessário para armazenamento de materiais e componentes e os percursos percorridos dentro do canteiro, além da facilidade de visualização e entendimento do projeto. Em seguida, realizou-se a análise comparativa do modelo proposto e do canteiro de estudo, com foco na resolução dos pontos de atenção encontrados no canteiro real.

Além disso, avaliou-se o uso das ferramentas BIM em sua utilização independente e em conjunto, verificando a interoperabilidade entre elas.

De posse das análises, realizou-se uma comparação dos resultados para então determinar como o modelo proposto colaborou para a melhoria do projeto de fato.

4. Resultados

4.1 Layout atual do canteiro

Durante a visita, observou-se que a obra estava em fase de execução da estrutura e vedação, e as principais instalações eram a área de vivência confeccionado em madeira com chapas compensadas (Figura 2), almoxarifado em contêiner metálico, área para disposição de agregados, local para betoneira, estoque de blocos, estoque de escoras e caçamba, conforme Figura 3.

Figura 2 - Área de vivência e administrativa



Fonte: Próprios autores

Figura 2 - Depósito de agregados e de blocos



(a)



(b)

Fonte: Próprios autores

Com o posicionamento da central da betoneira e do estoque de blocos, foi possível calcular a distância até o ponto de aplicação, possibilitando a comparação entre as distâncias e conseqüente verificação da redução da atividade de fluxo de transporte para o transporte de argamassa. Nesse sentido, apresenta-se na Tabela 1 uma comparação das distâncias calculadas. Para o serviço de alvenaria, a Figura 4 (a) apresenta o *layout* real e na Figura 4 (b) o *layout* com as melhorias propostas.

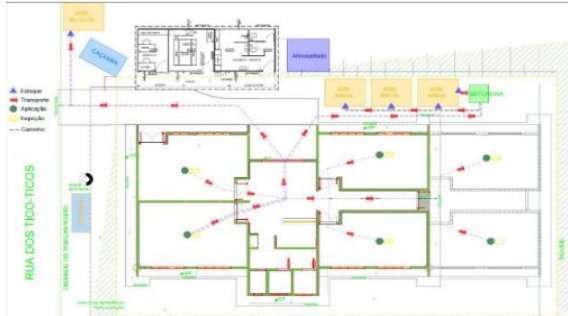
Tabela 1- Comparação de distâncias para transporte de blocos, argamassa e graute

Insumo	Distância atual (m)	Distância proposta (m)	Redução
Bloco	33,6 (BC)	17,5 (B'C')	48 %
Argamassa/ graute	27,3 (AC)	20,0 (A'C')	27 %

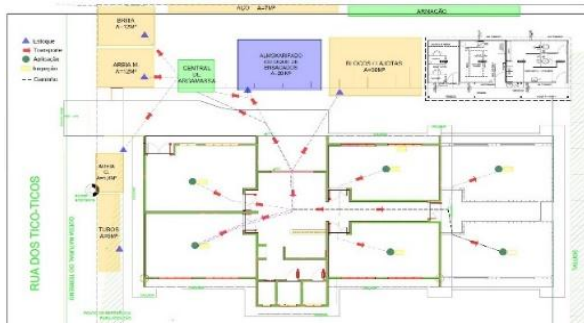
Fonte: Próprios autores

Figura 3- Proposta de melhoria no layout do canteiro de obras

a) Situação Real



b) Projeto Proposto



Fonte: Próprios autores

Analisando-se a Tabela 1, verificou-se uma redução de 48 % de distância para os blocos comparando os canteiros reais (trecho BC) e proposto (trecho B'C'), bem como uma redução de 27 % para o transporte de argamassa de assentamento e graute.

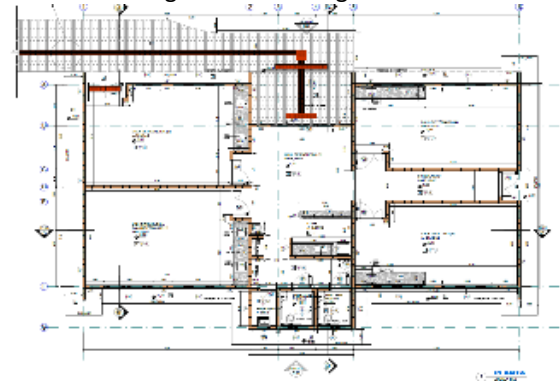
4.2 Modelagem proposta de melhoria

Para elaboração da proposta de melhoria, iniciou-se por meio da modelagem 3D da construção que será executada, tomando como base os projetos fornecidos pelo contratante. Na Figura 5 (a) apresenta-se a planta baixa inicial (sem o aditivo), utilizada como base para o modelo 3D, enquanto na Figura 5 (b) a fundação e na Figura 5 (c) o modelo 3D.

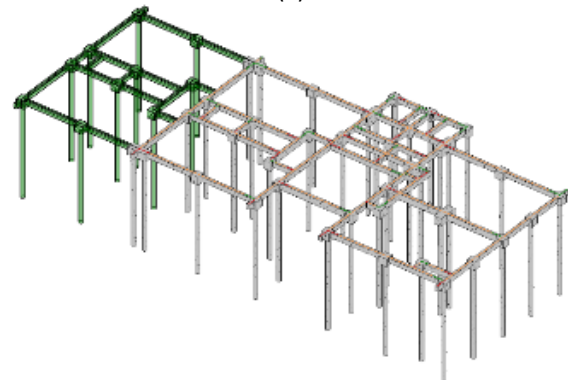
Após ter sido realizada a modelagem dos elementos de canteiro, realizou-se a distribuição espacial dos espaços necessários dentro do espaço disponível para o canteiro.

Para isso, utilizou-se a metodologia SLP simplificada [34] buscando-se posicionar as áreas de processamento e de estoques relacionados, procurando-se reservar uma posição privilegiada a esses elementos devido à constante utilização. Com isso, buscou-se a diminuição das atividades de transporte, consideradas improdutivas, conforme os princípios da construção enxuta.

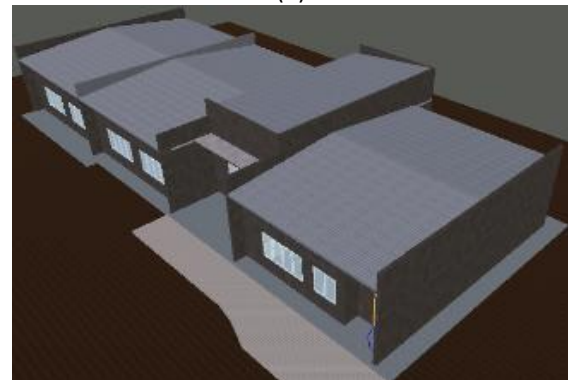
Figura 4 - Modelagem 3D



(a)



(b)



(c)

Fonte: Próprios autores

Para encaixar os elementos dentro da área disponível, verificou-se que seria

necessário recuar o tapume cerca de 2 metros na direção norte do canteiro, liberando mais espaço para as central de processamento do aço em canteiro e para as baias de agregados. Essa mudança tornou possível, por exemplo, a instalação de duas das três baias de agregados lado a lado, na parte frontal, facilitando a descarga deste material que se caracteriza pelo peso e condições de armazenagem específicas. A instalação da área de montagem e armazenamento de aço foi colocada próxima e viabilizada por essa alteração. A área de vivência do canteiro real que ocupava a parte de entrada ao terreno, foi deslocada para uma região mais distante da entrada da obra e do acesso principal à edificação. A Figura 6 (a) apresenta uma vista superior do canteiro modelado e na Figura 6 (b) apresenta-se uma visão do canteiro em perspectiva.

Figura 5 - Canteiro de obras modelado 3D.



(a)



(b)

Fonte: Próprios autores

Para a realização da integração do modelo 3D da construção ao planejamento, foi necessário a adaptação do cronograma de

entregas de materiais com base no observado no canteiro. Para isso, utilizou-se como base o cronograma físico-financeiro fornecido, analisando criticamente a sequência executiva da obra. Para a elaboração do cronograma, utilizou-se o programa MS Project, da Microsoft, devido a compatibilidade com o Navisworks, programa onde foram vinculadas as informações de planejamento e modelo 3D, gerando um modelo 4D da construção.

Seguindo as orientações do método SLP simplificado, elaborou-se a carta de interligações preferenciais. Com essa carta, é possível determinar qual tipo de relação existente entre os elementos do canteiro. Para elaboração e validação da carta, buscou-se auxílio de um mestre de obras, com mais de 20 anos de experiência e que atualmente trabalha com empreendimentos residenciais de grande porte com ampla experiência.

Para simplificar a utilização do SLP, foram utilizadas apenas quatro divisões na carta de interligações preferenciais, sendo elas: absolutamente importantes (A), importantes (I), desprezíveis (U) e indesejáveis (X). Além disso, foram determinados os motivos ou justificativas para tais classificações. Os motivos foram representados por números no diagrama, conforme experiência do mestre de obras. No Quadro 1, apresenta-se um recorte do diagrama, onde é possível identificar a existência de condicionantes no posicionamento dos elementos.

Neste caso, conforme Quadro 1, é possível notar que a relação de proximidade das centrais de aço e de argamassa é classificada como indiferente. Verifica-se também que é importante que o estoque de aço esteja próximo da central de aço por dois motivos: (1) proporcionar otimização do fluxo de material, sem interferências e (2) pelo uso de pessoal em comum nos dois locais.

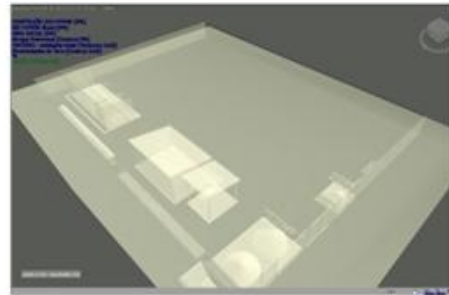
Quadro 1 - Recorte da adaptação da carta de interligações preferenciais na forma de planilha

Áreas	Centrais		Estoques		
	Aço	Argamassa	Formas	Aço	Agregados
Central de aço	-				
Central de argamassa	U	-			
Estoque de formas	U	U	-		
Estoque de aço	A,1,2	U	U	-	
Estoque de agregados	U	A,1,2	U	U	-
Estoque de Ensacados	U	A1,2	U	U	U
Estoque de tubos	U	U	U	U	U
Estoque de blocos	U	U	U	U	U
Almoxarifado	I,1	U	U	U	U

Fonte: Próprios autores

De posse dos modelos 3D, canteiro e edificação, e do cronograma do projeto realizou-se a simulação 4D. Para isso, foi realizada a importação do modelo criado no Revit para o ambiente do Navisworks. Após a importação, deu-se início ao processo de criação de *sets*, conjuntos de elementos, agrupando os elementos do modelo conforme a finalidade da seleção, neste caso, corresponder às atividades do cronograma. Nessa etapa, buscou-se nomear esses *sets* de acordo com o nome da tarefa correspondente no MS Project para tornar possível o uso da ferramenta *Auto-Attach Using Rules* do Navisworks no qual, entre outras funções, possibilita a associação dos *sets* às tarefas de maneira automática, reduzindo o esforço e prevenindo eventuais erros de vinculação. Após ajustes na configuração, foi possível dar início à simulação, sendo possível pausá-la e alterar as configurações a qualquer momento. Na Figura 7 é possível observar algumas capturas de tela da simulação 4D da edificação e do canteiro. Após os ajustes na simulação e verificação das falhas, foi possível conceber uma proposta de canteiro mais consistente com o cenário idealizado.

Figura 6 - Modelagem 4D: (a) Semana 1 – início, (b) Semana 8, (c) Semana 16 e (d) Semana 34 – término.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Próprios autores

5. Conclusões

Uma análise propondo melhorias no *layout* do canteiro de obras com utilização da tecnologia BIM. Além disso, as ferramentas de diagrama do processo e de mapofluxograma e o método SLP foram utilizadas.

Nesse sentido, verificou-se que o planejamento, das instalações provisórias, juntamente com o dimensionamento adequado proporciona arranjos físicos mais eficientes e seguros. Corroborando com o estudo de Wang *et al.* [35] na qual afirmam que, o planejamento logístico do espaço ao longo do tempo são peças-chaves para um projeto de construção eficiente.

Acredita-se que o objetivo do presente estudo foi alcançado, uma vez que foi possível analisar o canteiro real e verificar suas ineficiências, bem como, propor melhorias por meio do projeto de canteiro gerado com o auxílio do BIM e de outras ferramentas.

Nos resultados obtidos, foram observadas reduções de 48 % na distância percorrida para transporte de blocos e de 27 % para argamassas e graute. Assim como nos estudos de Zouein e Tommelein [36], por meio deste estudo percebeu-se que, a elaboração do projeto do canteiro juntamente com a logística da obra indica reduções nas distâncias de transporte, conseqüentemente, obtenção de melhorias no desempenho, na segurança e na produtividade.

Além disso, foi possível observar reduções nas interferências entre fluxos físicos e maior facilidade de visualização prévia do projeto do canteiro, confirmando a hipótese de que se trata de uma ferramenta de grande valia na concepção do *layout*. Os principais resultados obtidos corroboram com os conceitos de construção enxuta elencados por Koskela [32], mostrando a atualidade e relevância do pensamento Lean na concepção do produto na construção civil.

Verificou-se que o processo de desenvolvimento do projeto do canteiro de obras necessita de várias informações prévias para aumentar sua eficiência, podendo ser considerado trabalhoso, principalmente no caso de obras públicas. Porém, o seu uso frequente e sistemático auxiliará na definição

antecipada de um layout onde se possa aplicar princípios de organização do arranjo físico e de segurança do ambiente de trabalho na indústria da construção.

7. Referências

- [1] FECOMERCIO. Cresce demanda pela arquitetura sustentável no Brasil. Disponível em: <shorturl.at/FHLRZ>. Acesso em janeiro 2020.
- [2] FIESP. Voluntariado agrega valor. São Paulo, 2016. Disponível em: <shorturl.at/lyFPW>. Acesso em janeiro 2020.
- [3] CONSTRUCT. Desperdício na construção civil: impactos no meio ambiente, 2016. Disponível em: <shorturl.at/ayS24>. Acesso em janeiro 2020.
- [4] CIAMPA, D. The CEO's role in time-based competition. Blackburn, JD (ed.), p. 273-293, 1991.
- [5] EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. 2011.
- [6] KOO, B.; FISCHER, M. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. Stanford: CIFE, 998. P. 135.
- [7] FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. O Projeto na Arquitetura e Engenharia civil e a atuação em equipes multidisciplinares. Revista Tópos, v. 1, n. 2, p. 11-28, 2007.
- [8] BARGSTÄDT, H. J. Challenges of BIM for construction site operations. Procedia Engineering, v. 117, p. 52-59, 2015.
- [9] TOMMELEIN, I. D. Acknowledging variability and uncertainty in product and process development. Netherlands: Swets & Zeitlinger, Lisse, 2003.

- [10] HAJDASZ, M. Flexible management of repetitive construction process by an intelligent support system. *Expert Systems with Applications*, v.41, n.4, p. 962-973, 2014.
- [11] ISMAIL, F.; BAHARUDDIN, H. E. A.; MARHANI, M. A. Factors Towards Site management improvement for industrialized building system (IBS) construction. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v.85, p. 43-50, 2013.
- [12] ANDAYESH, M. SADEGHPOUR, F. Dynamic site layout planning through minimization of total potential energy. *Automation in Construction*, v. 31, p. 92-102, 2013.
- [13] RUSSEL, A.; STAUB-FRENCH, S.; TRAN, N.; WONG, W. Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction*, v. 18, p. 219-236, 2009.
- [14] MOON, H.; KIM, H.; KIM, C.; KANG, L. Development of a schedule workspace interference management system simultaneously considering the overlap level of parallel schedules and workspaces. *Automation in Construction*, v. 39, p. 93-105, 2014.
- [15] HASHTAGBIM. BIM do 3D ao 7D. Ceará, 2015. Disponível em <shorturl.at/ciwIO>. Acesso em 20 abril 2019.
- [16] SIENGE. Dimensões do BIM. Brasil, 2019. Disponível em <shorturl.at/aiuU9>. Acesso em 20 abril 2020.
- [17] BOMFIM, C. A. A.; MATOS, P. C. C.; LISBOA, B. T. W. Gestão de obras com BIM. In: XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 2016, Buenos Aires, Argentina, p. 9-11, 2016.
- [18] FOUQUET, J.; SERRA, S. M. B. Planejamento de Edifícios Através de Software 4D. In: V Congresso de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil (V TIC), 2011, Salvador - BA. V Congresso de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil (V TIC). Salvador - BA: UFBA, 2011. v. 1. p. 1-10.
- [19] ASTOUR, H.; FRANZ, V. BIM-and simulation-based site layout planning. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 2014.
- [20] HE, K.; WU, I. C. Dynamic simulation and visualization for site layout planning. In: ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Vilnius Gediminas Technical University, p. 1, 2012.
- [21] BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-18. Considerações e Meio Ambiente do Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: Fundacentro, 2018. 70 p.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12284: Áreas de vivência em canteiro de obras. Rio de Janeiro, 1991.
- [23] FERREIRA, E. A. M.; FRANCO, L. S. Metodologia para elaboração do projeto do canteiro de obras de edifícios. São Paulo, 1998.
- [24] CESAR, L. D.; ZANUTTO, T. D.; BISINOTTO, S. L.; SERRA, S. M. B.; SOUZA, L. C. L. Projeto do canteiro de obras: avaliação das instalações provisórias e dos fluxos físicos de materiais. *Simpósio Brasileiro do Projeto no Ambiente Construído*, v. 2, 2011.
- [25] TOMMELEIN, I. D.; ZOUENIN, P. Interactive Dynamic Layout Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.119, p. 266-287, 1993.
- [26] BORBA, M. Arranjo Físico. 2p. 1998. Apostila do curso de Engenharia de Produção, UFSC. Disponível em: <shorturl.at/pqCFU>. Acesso em abril 2019.

- [27] KUMAR, S. S.; CHENG, J. C. P. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. *Automation in Construction*, v. 59, p. 24–37, 2015.
- [28] MOURÃO, C. A. M. A. Gestão de fluxos logísticos internos na construção civil - o caso de obras verticais em Fortaleza-CE. 171f. Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFPB, João Pessoa, 2007.
- [29] ALVES, T. Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudos de caso. *Porto Alegre*, v. 152, 2000.
- [30] MUTHER, R. Planejamento do layout: sistema SLP. São Paulo: Edgard Blucher, 1978.
- [31] ELIAS, S. J. B.; LEITE, M. O.; SILVA, R. R. T.; LOPES, L. C. A. Planejamento do layout de canteiros de obras: aplicação do SLP. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, Florianópolis, 1998.
- [32] KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. Stanford: Stanford University, 1992.
- [33] REIS, C. C. C.; MORO, M. F.; FLORES, S. A.; WEISE, A. D. Construção enxuta, proposta de diagnóstico e análise do canteiro de obras. *Revista da FAE*, v. 20, n. 1, p. 42-58, 2017.
- [34] MUTHER, R.; WHEELER, J. D. Planejamento sistemático e simplificado de layout. São Paulo: IMAM, 2000. 50p.
- [35] WANG, H. J.; ZHANG, J. P.; CHAU, K. W.; ANSON, M. 4D Dynamic Management for Construction Planning and Resource Utilization. *Automation in Construction*, v.13, n.5, p. 575-589, 2004.
- [36] ZOUEN, P. P.; TOMMELEIN, I. D. Improvement algorithm for limited space scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.127, n. 2, p. 116-124, 2001