

Análise do potencial de uso de BIM para o desenvolvimento do projeto do sistema de produção (PSP)

Analysis of the potential use of BIM for the development of the production system design (PSD)

Fábio Kischel Durante* - fabiodk@gmail.com

*Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR

Article History:

Submitted: 2020- 09 - 02

Revised: 2020- 09 - 06

Accepted: 2020- 10 - 14

Resumo: O Projeto do Sistema de Produção (PSP) representa o produto final de um processo de análises e simulações que deve permitir a identificação da estratégia e dos sistemas de produção mais adequados ao projeto. Contudo, essa é uma atividade muitas vezes negligenciada na indústria da construção. A Modelagem da Informação da Construção (BIM) vem estabelecendo novos processos de modelagem computacional de projetos de construção, além de fornecer um banco de dados digital do projeto. Este artigo busca identificar de que formas o BIM poderá facilitar o processo de desenvolvimento do PSP. Foi realizada uma revisão da literatura sobre PSP para construção e sobre o BIM, de forma a identificar as principais características dos processos, além de entrevistas com profissionais responsáveis por tais atividades. Foi então estabelecida uma matriz relacionando os princípios do PSP com as funcionalidades BIM. A partir desta matriz realizou-se uma análise do potencial de aplicação do BIM para o desenvolvimento do PSP, buscando-se ainda, evidências de tais possibilidades de aplicação, em pesquisas já publicadas. Verificou-se que há grande sinergia entre o PSP e o BIM, no entanto, é necessária uma atenção especial à necessidade de se obter dados adequados aos processos que serão analisados.

Palavras-chave: Projeto do Sistema de Produção (PSP); Modelagem da Informação da Construção (BIM); Construção Enxuta; Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC); Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC)

Abstract: The Production System Design (PSD) represents the final product of a process of analysis and simulation that should allow the identification of the strategy and production systems most appropriate to the project. However, this is often neglected in the construction industry. The Building Information Modeling (BIM) has established new processes of computational modeling of construction projects, as well as providing a digital project database. This article seeks to identify how BIM can facilitate the PSD development process. A review of the literature on PSD for construction and on BIM was carried out in order to identify the main characteristics of the processes, as well as interviews with professionals responsible for such activities. A matrix was then established relating the principles of PSD to BIM functionalities. From this matrix an analysis of the potential of application of the BIM to the development of the PSD was carried out, seeking also, evidences of such possibilities of application, in research already published. It has been found that there is great synergy between PSD and BIM, however, special attention is required to the need to obtain adequate data for the processes that will be analyzed.

Keywords: Production System Design (PSD); Building Information Modeling (BIM); Lean Construction; Information and Communication Technology (ICT); Architecture, Engineering and Construction (AEC).

1. Introdução

A Indústria da Construção Civil é mundialmente reconhecida pela sua baixa eficiência/eficácia, baixa produtividade e grande fragmentação do setor, envolvendo muitos agentes em diferentes frentes de serviço em um mesmo empreendimento (Vrijhoef e Koskela, 2005). Desta fragmentação e pela falta de padrões que centralizem a comunicação e organizem o planejamento, surgem elevados custos relacionados a interoperabilidade dos sistemas adotados nos empreendimentos, baixa produtividade e qualidade final do produto (Yang e Wei, 2010). Scheer *et al.* (2008) afirma que a gestão deficitária das informações no processo de desenvolvimento dos projetos, inclusive na fase de execução e operação, pode ser apontada como causa para a baixa qualidade dos projetos. O uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) se torna cada vez mais importante no sentido de promover a inovação, suportar a tomada de decisão e o gerenciamento de processos (Calazans, 2008)

Diante do aumento da complexidade dos projetos e dos processos envolvidos na construção de empreendimentos surge a necessidade da adoção de uma mentalidade industrial para o desenvolvimento dos projetos. Técnicas como: *Lean Manufacturing* e a modelagem paramétrica tridimensional orientada a objetos; que já são utilizadas em outras indústrias, potencialmente podem também ser desenvolvidas no contexto da indústria da construção. Deste cenário originou-se o conceito de Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling*, BIM), caracterizado como uma modelagem que prioriza a integração de todos os processos relacionados à construção de edificações (Souza; Amorim e Lyrio, 2009).

Dentre as atividades que compõem o desenvolvimento dos projetos de construção, o Projeto do Sistema de Produção (PSP) é um processo gerencial que antecede a etapa de produção e, se bem realizado, pode contribuir em um melhor desempenho do empreendimento (Rodrigues, 2006). Enquanto que o processo BIM prevê uma maior integração entre os processos de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO), através, principalmente, da organização e distribuição sistemática das informações que permeiam estes processos (Eastman, 2014).

Diante das características e funcionalidades do BIM, é esperado que o desenvolvimento do PSP possa ser facilitado através de sua aplicação. A integração das

informações do projeto em um modelo federado¹ deverá fornecer uma base de dados sólida para a análise, avaliação das diferentes possibilidades e cenários e, finalmente, a tomada de decisão. Ainda, tecnologias associadas ao BIM poderão automatizar algumas atividades ou evitar o trabalho de reinserir dados em diferentes plataformas e softwares que auxiliem o desenvolvimento do PSP, graças à centralização das informações em um mesmo modelo.

Apesar do crescente interesse da indústria e de pesquisadores do setor na última década, há uma necessidade de se estabelecerem protocolos e arcabouços que integrem a modelagem do produto e dos processos relacionados, criando uma ponte entre o entendimento acadêmico e industrial do BIM (Succar, 2009).

Diante destas possibilidades de associação entre tais tecnologias, neste artigo é apresentada uma pesquisa acerca dos dois temas, seguida de uma análise do potencial teórico de aplicação do BIM no desenvolvimento do PSP.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Projeto do Sistema de Produção (PSP)

As primeiras definições a respeito deste tema em construção civil remetem ao *Lean Construction Institute* (LCI), que associou este processo ao *Lean Construction* e o *Lean Project Delivery System* (Ballard, 2008). Segundo Ballard (1999), os princípios associados ao PSP são: minimizar e gerenciar a variabilidade; integrar os projetos de produto e processo; e estruturar o fluxo de trabalho entre equipes. Busca, portanto, o desenvolvimento do projeto (empreendimento) alinhando o projeto de engenharia com a cadeia de suprimentos, alocação de recursos, tecnologias e processos de montagem ou manufatura. O objetivo é tornar o fluxo de trabalho mais confiável e rápido, enquanto entrega o valor esperado para o cliente (Howell e Ballard 1999; Tsao *et al.*, 2000).

¹ Lowe e Muncey (2009) definem um modelo federado como um modelo composto por modelos distintos, desenhos derivados dos modelos, textos e outras fontes dados conectadas, em que suas fontes de dados não perdem a identidade ou integridade pelo fato de estarem conectadas.

LOWE, R. H.; MUNCEY, J. M. ConsensusDOCS 301 BIM Addendum. **Construction Lawyer**, EUA, v. 29, n. 1, p. 1-9, 2009.

O PSP integra as diversas informações que envolvem um projeto e busca alinhá-las. Desta forma, ele se estende desde a organização global e interesses da empresa/cliente, até as operações, definindo os papéis de cada agente nos processos envolvidos. De forma diferente dos processos tradicionais, focados em dividir o trabalho sem agregar uma visão holística do projeto e da interdependência entre estas partes então divididas. Desta forma, o PSP provê melhores condições para controle do sistema e das operações, assim como para a melhoria destes, já que usualmente o projeto de engenharia é desenvolvido com pouca ou nenhuma consideração do projeto de operações e, desta forma, torna-se ineficiente (Tsao *et al.*, 2000).

Segundo Schramm (2004), o PSP consiste no processo de análise e discussão de alternativas para a organização do sistema de produção, e na escolha da alternativa mais adequada, isto é, que entregue maior valor ao cliente, dentro das condições específicas do projeto. Com isso pretende-se antecipar as decisões relacionadas ao sistema de produção, reduzindo a incerteza e a variabilidade, visando garantir que possam ser operacionalizadas. O (Quadro 1) apresenta de forma resumida os principais tipos de decisões associados ao PSP (Schramm, 2004; 2009; Rodrigues, 2006).

Devido à natureza interativa da estruturação do trabalho, torna-se necessário, portanto, envolver neste processo todos agentes de projeto, incluindo o próprio cliente do empreendimento, projetistas, suprimentos, planejadores, execução e montagem. Caso contrário, corre-se o risco de se perder conhecimentos valiosos sobre habilidades, capacidade/disponibilidade, fabricação e montagem, entre outros.

Quadro 1 - Escopo de Decisões do PSP

Tipo de decisão	Definição
Capacidade produtiva	Determinar a capacidade efetiva das operações produtivas de forma que ela possa responder à demanda. Pode ser dividida nos níveis estratégico, tático e operacional. Os principais fatores que influenciam são: tamanho da unidade produtiva, composição dos produtos ou serviços, natureza do processo, fatores humanos (habilidades) e fatores externos.
Nível de integração vertical	Relacionada à estratégia de gestão da cadeia de suprimentos das empresas, ou seja, como as empresas estabelecem parcerias com fornecedores e clientes, quais materiais ou processos serão executados pela empresa ou adquiridos de fornecedores externos, a gestão dos fluxos dos produtos e informações, desde as atividades básicas, até a entrega do produto. Pode impactar na qualidade, agilidade, confiabilidade, flexibilidade e custos do produto final. Quanto maior a verticalização, maior a necessidade de sistemas complexos de planejamento, coordenação e controle das operações. É esperado que o quanto antes sejam envolvidos os fornecedores no processo de desenvolvimento do produto, maior deverá ser sua colaboração para o desenvolvimento de

Tipo de decisão	Definição
	soluções realistas.
Leiaute	Está relacionado com a disposição física dos processos, o espaço necessário para a operação dos mesmos e para as funções de apoio. É influenciado principalmente pelo espaço disponível e natureza dos materiais e processos envolvidos.
Fluxos e sincronia da produção	A filosofia enxuta de produção prevê a adoção, sempre que possível, de fluxos contínuos, que pode ser definida como a produção e movimentação de um item (ou pequenos lotes) por vez, continuamente, realizando-se em cada etapa apenas o que é necessário para a etapa seguinte. As principais variáveis envolvidas são: <i>takt time</i> , <i>lead time</i> e tempo de ciclo. A obtenção de dados confiáveis associados a essas variáveis é essencial para a obtenção de fluxos confiáveis, assim como, a elaboração de leiautes que favoreçam o fluxo e a redução da parcela de atividades que não agregam valor. A rapidez e precisão com que fluem esses dados pode oferecer maior autonomia para as equipes. É importante que gargalos sejam identificados o mais breve possível.
Projeto de processos	Deve determinar os meios específicos a serem usados pelas forças operacionais para alcançar as metas do produto. É bastante influenciado pelas questões anteriores, sendo associado às definições de: disposição e sequência de atividades de obras e frentes de serviço, uso de equipamentos, tecnologias e processos empregados, arranjo físico do canteiro e sua evolução durante a obra, dentre outros fatores vinculados às características e recursos da empresa construtora.

Fonte: Elaborado a partir de Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006).

2.1.1 Modelos para o Desenvolvimento do PSP na Indústria da Construção

Visando o desenvolvimento do PSP para empreendimentos habitacionais de interesse social em larga escala, Schramm (2004) desenvolveu uma série de seis etapas, não necessariamente sequenciais, que tratam do escopo de decisões do PSP, representadas na (Figura 1). Este mesmo modelo é aprimorado por Schramm (2009) onde é incluído no processo o uso de simulação computacional para o apoio à tomada de decisão (Figura 2). De acordo com o autor do modelo “as decisões são interconectadas e o processo de tomada de decisão é iterativo, ou seja, decisões à jusante podem alterar decisões tomadas à montante” (Schramm, 2009).

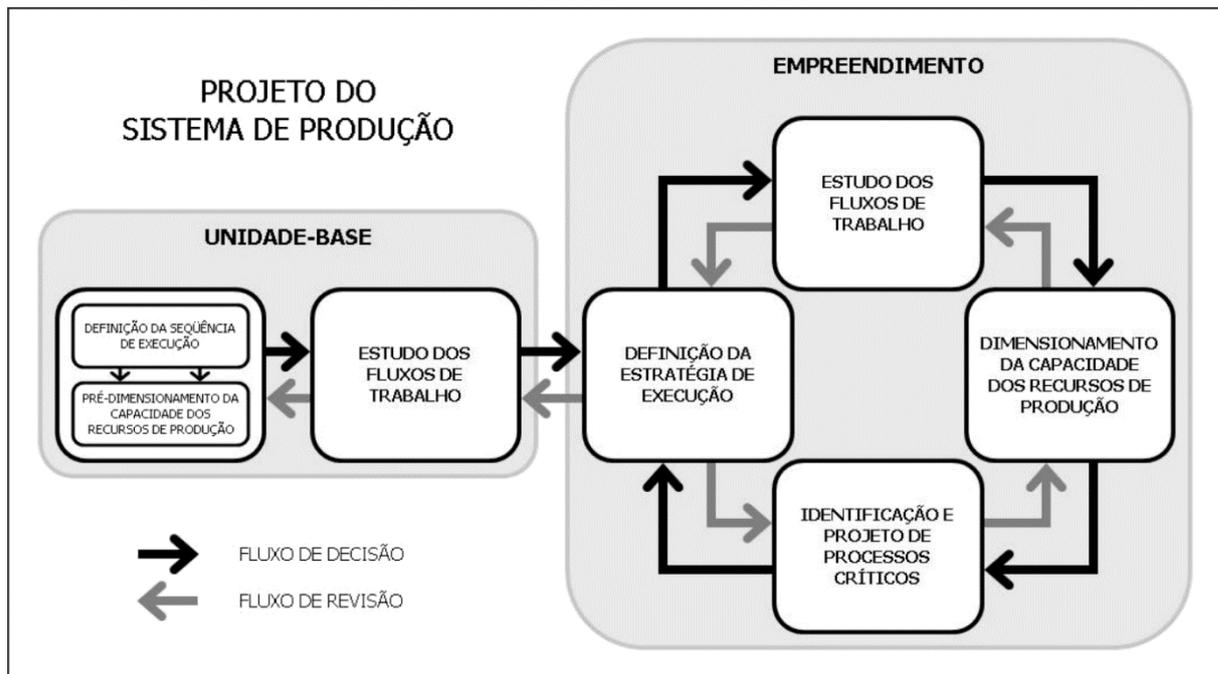


Figura 1 - Modelo de Desenvolvimento do PSP em EHIS

Fonte: Schramm (2004).

Com base em Schramm (2004), Rodrigues (2006) apresenta um modelo para desenvolvimento do PSP no contexto de projetos complexos, isto é, projetos não repetitivos e com elevado número de elementos diferentes que o constituem. Há uma maior importância neste modelo à captação das necessidades dos clientes, assim como, é proposto que as decisões sejam aprofundadas a partir da redução das imprecisões inerentes ao desenvolvimento do projeto, além da necessidade de atendimento dos requisitos do cliente, que tendem a se alterar durante o desenvolvimento do projeto.

Há também uma diferença no que se refere à definição da unidade-base. Como nesta categoria de empreendimentos não há uma repetição clara de unidades, esta etapa pode gerar confusão. A recomendação é que sejam levados em consideração o grau de intensidade e complexidade dos elementos e processos que compõem os ambientes do empreendimento, exigências do cliente para cada ambiente e detalhes arquitetônicos. A partir da consideração destas questões, os espaços podem ser divididos em grupos não idênticos, mas com nível de complexidade conjunta semelhante. Desta forma são definidas as “unidades-base” para o caso de empreendimentos complexos.

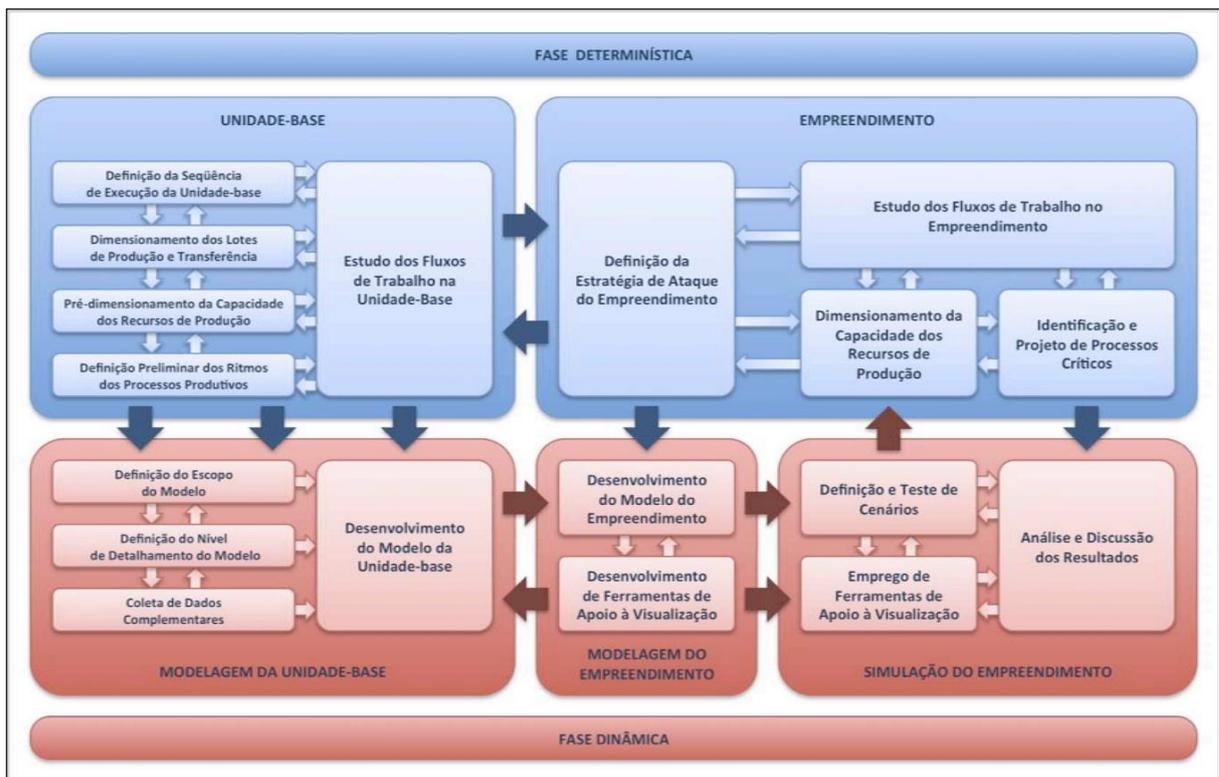


Figura 2 - Modelo de Desenvolvimento do Psp proposto por Schramm (2009)
Fonte: Schramm (2009).

2.1.2 Técnicas e ferramentas aderentes ao PSP

Schramm, Rodrigues e Formoso (2006) recomendam que sejam usadas ferramentas que possam dar suporte a uma redução da incerteza inerente ao processo. Neste sentido, Howell e Ballard (1999), por exemplo, recomendam a realização do *First Run Study* (FRS), que pode ser entendido como uma prototipagem física realizada antes do início da execução do empreendimento, com o objetivo de conhecer melhor e detalhar as operações que serão realizadas. Nguyen, Lostuvali e Tommelein (2009) utilizaram o virtual FRS para suportar o desenvolvimento do projeto de um hospital. Segundo estes autores, o virtual FRS ajudou a integrar os projetos do produto e do processo, durante a fase de *design*. Contudo, há de se considerar que Howell e Ballard (1999) afirmam que a prototipagem virtual pode, em alguns casos, não contribuir para a análise de fatores como confiabilidade do sistema e decisões preliminares de capacidade produtiva para a execução dos serviços.

Outra técnica utilizada para a realização do PSP é a linha de balanço, aplicada por exemplo em Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006). Através desta técnica é possível obter de forma gráfica as trajetórias, ritmos de produção e informações sobre a duração das

atividades e seu encadeamento. Através da linha de balanço, segundo Mendes Jr. (1999), são apresentadas visualmente informações relativas à qual recurso (equipe ou equipamento) executará que atividade, quando e onde essa atividade será executada.

Schramm (2004) utilizou também o diagrama de precedência que, segundo o autor, permitiu uma melhor visualização dos processos que compoariam o sistema de produção do empreendimento, sua sequência e inter-relacionamentos. Outra ferramenta similar utilizada pelo mesmo autor foi o diagrama de sincronia.

Outra técnica recomendada por Howell e Ballard (1999) e aplicada, por exemplo, em Tuholski e Tommelein (2010), é a Design Structure Matrix (DSM). Esta técnica oferece uma maneira de representar, analisar e decompor sistemas complexos, buscando melhorar sua performance, através da antecipação e eliminação de interações não desejadas. É caracterizada pelo mapeamento de informações das relações de dependência entre processos e atividades associadas.

2.1.3 Considerações sobre o PSP

Work Structuring ou o Projeto do Sistema de Produção inclui a consideração de diversos elementos da indústria de AEC, como construtibilidade, engenharia de valor, produtividade, entre outros. Pelos processos tradicionais de desenvolvimento de projetos de construção, os agentes envolvidos raramente têm a oportunidade de planejar o sistema de produção de forma conjunta, considerando o que é melhor para todo o sistema. Desta forma o projeto se torna mais orientado ao produto específico de cada agente envolvido, do que orientado ao sistema como um todo. Negando o fato de que otimizações locais podem ser prejudiciais para a otimização global, ou sistemática (Tsao *et al.*, 2004).

A falta de organização dos dados na indústria da construção (Scheer *et al.*, 2008; Schramm, 2009) conduz a uma grande dificuldade em criar um aprendizado estruturado entre um projeto e outro. O grande volume de informações utilizadas como entrada e geradas como saídas do processo de desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção, necessita ser gerenciada de forma prática e rápida. O processo BIM, e seu produto principal o modelo BIM, sendo um agregador de informações do empreendimento, pode representar uma forma eficaz de gerenciar essas informações.

2.2 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

Do inglês *Building Information Modeling* (BIM), a Modelagem da Informação da Construção trata-se de uma mudança tecnológica e processual, que afeta todos os envolvidos em arquitetura, engenharia e construção. Trata-se de um conjunto de políticas, processos e tecnologias gerando uma metodologia para gerenciar o projeto de construção e seus dados em um formato digital, por todo o ciclo de vida da edificação (Succar, 2009; Penttilä, 2006). O produto da atividade é o Modelo de Informação da Construção, uma representação digital de características físicas e funcionais de uma edificação, provendo uma base de dados confiável (Buildingsmart, 2010).

BIM se constitui em uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados que visam a produção, a comunicação e análise de modelos de construção. O BIM incorpora componentes ou objetos de informação, ali introduzidos pela equipe de colaboração do projeto, com informações necessárias para todo o ciclo de vida da edificação. Ainda, o processo BIM redistribui esforços alocando a equipe em atividades importantes de forma sequenciada (Eastman *et al.*, 2014).

Segundo Miettinen e Paavola (2014) é esperado que o BIM promova um aumento da colaboração interdisciplinar e interorganizacional na indústria da construção, além de promover um aumento da produtividade e qualidade do projeto, execução e manutenção das edificações.

Um conceito importante relacionado ao processo BIM é o Nível de Desenvolvimento do Modelo (*Level of Development*, ou *Detail*, LOD), proposto pela *American Institute of Architects* (AIA). Segundo Manzione (2013), o LOD “descreve o grau de completude para o qual um elemento do modelo é desenvolvido”. Assim como o projeto evolui conforme decisões vão sendo tomadas e detalhadas, o modelo deve seguir a mesma lógica, evitando que sejam geradas informações que em seguida serão descartadas. As graduações são feitas em escalas de 100 unidades, permitindo que níveis intermediários descrevam a precisão de cada uma dessas graduações. Este conceito se relaciona com o volume de dados que é agregado ao modelo ao longo do desenvolvimento do projeto.

A modelagem em múltiplas dimensões (nD) é também uma característica dos modelos BIM. A partir do modelo tridimensional, podem ser adicionados outros dados no modelo, que passarão a compor as múltiplas dimensões. Addor *et al.* (2010) descreve essas dimensões e seus respectivos usos:

- 3D – Visualização e compatibilização de elementos físicos;
- 4D – Cronograma e sequência de execução da obra;
- 5D – Estimativa de custos/orçamento;
- 6D – Operação e manutenção do edifício; e
- nD – Etc.

3. Método de Pesquisa

Visando atender ao objetivo de estabelecer uma relação entre o processo de desenvolvimento do PSP e o potencial teórico da utilização do BIM como suporte à realização deste processo foram realizadas: uma Revisão Sistemática da Literatura sobre PSP para construção civil, entrevistas semiestruturadas com profissionais que atuam em atividades correlatas ao PSP e um levantamento bibliográfico sobre o processo BIM e sua aplicação em processos associados ao PSP.

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. A primeira etapa, denominada exploratória, é constituída principalmente pelo levantamento bibliográfico que forneceu embasamento teórico para o restante da pesquisa. A busca incluiu pesquisas nacionais e estrangeiras que estavam indexadas nas principais bases disponíveis. Para atender aos objetivos desta pesquisa, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), (Conforto; Amaral e Silva, 2011; Kitchenham, 2004) sobre o PSP buscando as definições deste processo, o escopo de decisões envolvido, modelos práticos para seu desenvolvimento e ferramentas utilizáveis. Os resultados desta RSL foram publicados nos anais do simpósio XVI SEPROSUL, realizado em 2016 (Durante e Santos, 2016).

Foi também realizado um levantamento bibliográfico sobre o processo BIM, onde foram buscadas por definições, aplicações e ferramentas associadas ao BIM (especialmente aquelas que pudessem ser relacionadas com o PSP), benefícios e dificuldades relacionadas à adoção deste processo.

Com base na literatura consultada e nos modelos para desenvolvimento do PSP estudados, foi definido o protocolo de coleta de dados (Quadro 2). Neste protocolo as etapas sugeridas no modelo de Schramm (2004) foram relacionadas com o escopo de decisões do PSP e sugeridas algumas questões pertinentes à cada etapa. A validação deste protocolo ocorreu através de entrevistas com dois profissionais responsáveis pelo desenvolvimento do

PSP em uma construtora na cidade de Curitiba-PR. Verificou-se a aderência da relação estabelecida no protocolo com a prática realizada na organização. Mesmo que algumas etapas fossem realizadas parcialmente, os agentes entrevistados concordaram que o escopo e as questões eram pertinentes às etapas do PSP.

A segunda etapa, de desenvolvimento, é constituída por uma análise dos dados obtidos na etapa anterior, onde foram identificadas sinergias entre o PSP e o BIM e seu potencial teórico de apoiar o desenvolvimento do PSP. Foram analisadas quais das aplicações e ferramentas BIM identificadas na etapa exploratória poderão ser utilizadas no processo de desenvolvimento do PSP e de que forma. Esta análise do potencial de aplicação do BIM no PSP pode em seguida prover a base para o desenvolvimento das diretrizes para se desenvolver o PSP com a aplicação de ferramentas e processos relacionados ao BIM suportando a tomada de decisão e promovendo a colaboração entre os agentes envolvidos no projeto.

Quadro 2 - Protocolo de Coleta de Dados

Etapas segundo Schramm(2004)	Escopo associado	Questões
Captação das Necessidades dos Clientes	Capacidade Produtiva	Quais os prazos e recursos necessários para cada cliente interno? Qual será a capacidade produtiva em diferentes cenários?
	Nível de Integração Vertical	Como as necessidades podem influenciar no nível de integração necessário?
	Leiaute	Qual a necessidade de espaço?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Como deve ser o fluxo? Quais as predecessoras?
	Projeto de Processos	Quais as tecnologias necessárias, ou adequadas? Quais recursos são necessários?
Definição da Sequência de Execução do Empreendimento	Capacidade Produtiva	Qual a capacidade necessária para a(s) possível(íveis) sequência(s)
	Nível de Integração Vertical	Qual será o nível de integração necessário?
	Leiaute	Qual esquema de leiaute é necessário? Quais as implicações no leiaute global do canteiro?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Qual a interdependência entre as atividades?
Definição da Unidade Base	Capacidade Produtiva	Qual será o tamanho dos lotes de produção? Qual a capacidade necessária para esses lotes?
	Leiaute	Como será distribuído o espaço nestas unidades? Serão iguais para todas atividades?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Como será o fluxo e sincronismo de atividades na unidade?

Etapas segundo Schramm(2004)	Escopo associado	Questões
Dimensionamento da Capacidade de Recursos	Capacidade Produtiva	Como as demais definições influenciam na capacidade de recursos/produção necessária?
	Nível de Integração Vertical	Para atingir a capacidade necessária, será preciso terceirizar atividades? Quais? Quanto?
	Projeto de Processos	Qual a capacidade de recursos necessária para cada alternativa? Quais as tecnologias e processos adequados?
Estudo dos Fluxos de Trabalho	Leiaute	Qual leiaute favorece mais o fluxo de trabalho? De que forma? Como ele evoluirá com o andamento da obra?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Quais os possíveis fluxos de trabalho? Qual o ritmo necessário para cada proposta?
	Projeto de Processos	Como serão dispostas e sequenciadas as atividades e frentes de serviço?
Estudo dos Processos Críticos	Nível de Integração Vertical	Será necessário terceirizar os serviços dos processos críticos? Há capacidade interna para realiza-los?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Como os processos críticos influenciam o fluxo? Quais os impactos no fluxo, caso haja algum problema com um processo crítico?
	Projeto de Processos	Qual projeto de processo pode assegurar a realização dos processos críticos conforme necessário?

4. Resultados da Pesquisa

4.1 Matriz de Interações entre Funcionalidades BIM e Princípios do PSP

Com base na matriz de interações entre princípios do *Lean Construction* e Funcionalidades BIM proposta por Sacks *et al.* (2009; 2010), foi desenvolvida uma matriz semelhante (Figura 3), mas associando BIM aos princípios do PSP. Para isto o autor se baseou nas principais características destes processos (BIM e PSP) levantadas a partir da revisão bibliográfica.

Nas duas primeiras colunas foram relacionadas as principais funcionalidades do BIM e na linha superior foram relacionados os princípios do PSP, além do *Virtual First Run Study*. Este último representando um processo que colabora com o desenvolvimento do PSP (Howell e Ballard, 1999; Nguyen; Lostuvali e Tommelein, 2009) e que pode ter sua aplicação facilitada pelo BIM. Os espaços preenchidos na cor cinza representam possíveis interações positivas, ou seja, que se beneficiam entre si.

A seguir serão detalhadas as interações sugeridas na matriz, a partir dos princípios do PSP:

Minimizar e gerenciar a variabilidade: Duas funcionalidades do BIM em específico possuem potencial de favorecer este controle. A visualização do status do processo construtivo através do modelo BIM podem ajudar a identificar possíveis situações que gerem variabilidade durante a execução, permitindo também que sejam realizados estudos e simulações através do modelo para buscar gerenciar esta variabilidade. Da mesma forma, o uso do modelo como banco de dados do projeto pode promover uma gestão da comunicação mais eficiente, com maior compreensão do projeto pelos agentes envolvidos e permitindo que quaisquer alterações sejam repassadas em tempo real;

Integrar os projetos de produto e processo: Neste sentido as possibilidades de simulações do modelo BIM ajudam a verificar e promover essa integração. A criação de regras e parametrização dos modelos, conforme as necessidades específicas dos processos associados a cada elemento modelado, permite a verificação ao atendimento destas necessidades. O envolvimento dos responsáveis pela execução e de fornecedores em fases iniciais do projeto é também uma prática amplamente sugerida em processos BIM, o que deverá promover maior integração dos projetos do produto e dos processos associados (Miettinen e Paavola, 2014). A combinação destes fatores deverá promover análises de construtibilidade mais eficientes, conforme pesquisas recentes têm sugerido (Tauriainen; Puttonen e Saari, 2015; Wang *et al.*, 2016) e facilitar o fornecimento de informações aos operários conforme sua real necessidade (Van Berlo e Natrop, 2015);

Estruturar o fluxo de trabalho entre equipes: As simulações, especialmente em 4D (Biotto, 2012), e análises facilitadas pelo uso do BIM podem ajudar a alcançar este princípio do PSP. Através da visualização dos fluxos torna-se mais fácil a identificação de interferências entre esses fluxos, assim como, a utilização do BIM amplia as possibilidades de simulações de diferentes cenários e da utilização de algoritmos (Yahya e Saka, 2014; Hammad e Akbarnezhad; Rey, 2016) para definição de *designs* favoráveis ao fluxo esperado (Lu e Olofsson, 2014; Wang *et al.*, 2014; 2015; Kumar e Cheng, 2015);

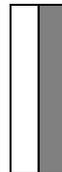
Determinar a capacidade efetiva de produção: De forma semelhante à estruturação do fluxo de trabalho, as simulações realizadas sob o modelo BIM podem fornecer respostas importante no sentido de determinar a capacidade efetiva de produção em diferentes cenários. Claro que para isso são necessários também dados que forneçam o embasamento adequado

para tais simulações. Neste sentido, a utilização de processos BIM e a inserção de dados reais do canteiro de obras do projeto em andamento no modelo BIM ajuda a organizar e gerenciar estes dados para sua utilização futura;

Determinar o arranjo físico do canteiro (leiaute) e sua evolução durante a obra: Para atingir este objetivo novamente as possibilidades de simulação de eventos discretos e gestão da execução através do modelo e processos BIM podem ser importantes aliados (Elnimr; Fagiar e Mohamed, 2016). A visualização da forma permite tanto sua avaliação estética como funcional, combinada com a capacidade de se gerar múltiplas alternativas para o projeto e analisa-las de forma rápida, considerando ainda a construtibilidade, interferências e a evolução ao longo do tempo. A automatização de alguns processos de análise através de *softwares* também deverá permitir que o arranjo físico do canteiro seja determinado com uma série de informações adequadas para a tomada de decisão desta natureza, além da possibilidade de se empregarem algoritmos generativos (Kumar e Cheng, 2015). Outro fator importante que deve ser considerado no desenvolvimento do PSP são as questões relativas à segurança no trabalho, que também podem impactar no arranjo físico do canteiro, inclusive entre as fases de execução do projeto. Huang e Wong (2015) descrevem um sistema capaz de otimizar o planejamento do leiaute do canteiro considerando questões relativas à segurança. O uso de modelos BIM nestes casos deverá facilitar a aplicação de tais sistemas e a consideração de elementos temporários, como andaimes (Kim; Cho e Zhang, 2016);

Determinar tecnologias e processos empregados: Novamente as simulações providas por ferramentas BIM podem ser importantes facilitadoras neste processo, permitindo que diversas tecnologias possam ser simuladas e avaliadas considerando sua respectiva influência em termos de construtibilidade, custos, atendimento ao programa (escopo/plano de necessidades) do projeto. A integração com fornecedores, deverá prover a consideração de informações valiosas para a tomada de decisão neste processo. Além da possibilidade de fabricação sob demanda, os fornecedores poderão disponibilizar bibliotecas e instruções de *code checking* que deverão prover uma base confiável para a tomada de decisão. A utilização do modelo como repositório de dados permite que o aprendizado adquirido com o uso de determinada tecnologia em um projeto possa ser acessado em projetos futuros, permitindo a consideração deste conhecimento na avaliação da possibilidade de emprego da tecnologia construtiva em questão; e

Funcionalidades BIM	Princípios do PSP		Minimizar e gerenciar a variabilidade	Integrar os projetos de produto e processo	Estruturar o fluxo de trabalho entre equipes	Determinar a capacidade efetiva de produção	Determinar o arranjo físico do canteiro (leiaute) e sua evolução durante a obra	Determinar tecnologias e processos empregados	Virtual First Run Study
Visualização da forma/realidade aumentada/virtual	Estética								
	Funcional								
Rápida geração de múltiplas alternativas	Sistemas construtivos								
	Leiaute								
	4D								
Análise preditiva de performance	Construtibilidade								
Estimativa de custos automatizada									
Avaliação da conformidade com o programa									
Detecção de interferências automatizada									
Geração automatizada de pranchas e documentos									
Acesso e edição colaborativa de múltiplos usuários em um mesmo modelo	Comunicação								
	Integração com fornecedores								
Visualização do status do processo construtivo									
Modelo como banco de dados centralizado	Gestão do conhecimento								
	Gestão da comunicação								



Legenda:
 Nenhuma interação positiva identificada:
 Uma ou mais possibilidades de interação:

Figura 3 - Matriz de Interações entre Princípios do PSP e Funcionalidades BIM

Virtual First Run Study: Apesar deste não ser um princípio do PSP e sim uma técnica que auxilia o seu desenvolvimento, a maioria das funcionalidades associadas ao BIM podem ser acessadas e beneficiarem o desenvolvimento do Virtual First Run Study. Sendo assim, optou-se por dedicar um espaço na matriz para salientar a sinergia entre este e o BIM. O modelo BIM poderá ser utilizado para a realização das simulações adequadas ao Virtual First Run Study, poupando o tempo de desenvolvimento de um protótipo físico ou mesmo do desenvolvimento de um modelo virtual voltado especificamente para este fim.

4.2 Análise do potencial do referencial teórico conceitual para aplicações do BIM no processo de desenvolvimento do PSP e os dados necessários

Tomando como base as etapas previstas nos modelos de desenvolvimento do PSP propostos por Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006) serão propostas algumas aplicações do BIM que devem auxiliar o desenvolvimento do PSP. A partir das sinergias apresentadas na matriz (Figura 10) foram sugeridas as aplicações que serão apresentadas ao longo deste capítulo. Para cada etapa do processo foram também sugeridos alguns dados, ou tipo de dados, pertinentes às necessidades da etapa em questão (Quadro 3).

A iminente necessidade de se obter dados confiáveis para o desenvolvimento do PSP fica ainda mais evidente ao se estruturar o processo e considerar a aplicação de TICs para seu desenvolvimento. Se hoje há uma deficiência na obtenção destes dados na indústria da construção (Scheer *et al.*, 2008; Said e El-Rayes, 2014), a inserção do BIM e de outras TICs poderá melhorar esse quadro. Neste sentido, a utilização do modelo BIM como repositório de dados do projeto pode prover dados de entrada em futuros projetos.

Diante da necessidade de um banco de dados apropriado para os objetivos do PSP, um dos primeiros passos para se implementar o BIM visando a realização do PSP, é a verificação de quais dados serão importantes para o processo. Deve-se considerar os objetivos da organização de maneira geral e as metas para cada projeto em específico. A partir de então iniciar a coleta destes dados, armazenando-os e organizando-os de maneira que sua recuperação seja prática e condizente com a forma que serão lidos durante o processo.

Quadro 3 - Principais diretrizes para desenvolvimento do PSP baseado em processos BIM e os dados associados

Diretrizes	Dados associados
Criação de formulários para captação das necessidades dos clientes visando a conversão destas necessidades em parâmetros para o desenvolvimento do modelo BIM.	Demanda, padrões, desejos / necessidades do consumidor, características do produto, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, tecnologias que podem ser adquiridas, potencialidades predominantes, fragilidades, estratégia de posicionamento, armas competitivas necessárias, alocação de recursos.
Utilização do BIM 4D para estudo das seqüências executivas. Consideração das necessidades dos clientes (internos e externos).	Demanda, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidades, alocação de recursos.
Definição da unidade base, ou lotes de produção, através de parâmetros do modelo BIM, especialmente para o caso de empreendimentos complexos.	Volumes, padrões, características do produto, alocação de recursos.
Utilização do BIM 4D/5D para avaliar qual a necessidade de recursos ao longo do tempo em diferentes estratégias de execução e cenários.	Demanda, preços/volumes, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidade, alocação de recursos.
Utilização do BIM 4D, algoritmos de otimização do canteiro e outras técnicas suportadas por softwares BIM para a realização de estudos do fluxo de trabalho, visando sua otimização.	Demanda, volume, padrões, características do produto, disponibilidade de recursos, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidades, foco das fábricas, alocação de recursos.
Aplicação de técnicas suportadas pelo BIM para estudos focados em processos críticos e nas principais dificuldades enfrentadas historicamente pela organização.	Demanda, padrões, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, tecnologias que podem ser adquiridas, potencialidades predominantes, fragilidades, alocação de recursos.

A definição dos dados específicos a serem coletados dependerá das prioridades e estratégias de cada organização e/ou projeto, assim como, da relação entre os diferentes agentes envolvidos. Ao se manter relações de parceria por longos períodos de tempo ambas organizações passam a conhecer melhor as principais características uma da outra o que pode colaborar para reduzir a variabilidade associada a realização das atividades altamente manuais do canteiro de obras. Reduzir a variabilidade é desejável e importante no sentido de aumentar a confiabilidade dos dados associados a execução destas atividades.

Deve-se considerar, ainda, que conforme sugerido por Schramm (2009), o modelo de simulação deverá apresentar maior nível de detalhamento conforme a etapa de desenvolvimento e maturidade do PSP do projeto. Sendo assim, sugere-se associar as etapas

de desenvolvimento do PSP com o LOD (nível de detalhe ou desenvolvimento) do modelo BIM. Isto é, sugere-se a criação marcos, ou metas, para cada etapa de modelagem, conforme as necessidades do processo de desenvolvimento do PSP definido para a organização/projeto. É também uma forma de estabelecer de maneira clara e objetiva os requisitos de dados e informação necessários em cada uma das etapas de modelagem.

É necessário também que a estruturação dos dados que serão utilizados ao longo do desenvolvimento do PSP torne possível sua recuperação e uso. Ao se considerar, por exemplo, “a captação das necessidades dos clientes” através de formulários, é preciso se considerar quais softwares/algoritmos serão utilizados e como os dados obtidos nos formulários serão lidos e processados por estes softwares. A partir disso definir tais formulários de forma a permitir a integração dos dados, desde sua obtenção até seu uso. Há de se considerar, ainda, que é comum que algumas necessidades dos clientes se alterem durante o desenvolvimento do projeto e nestes casos é ideal que seja possível realizar tais alterações de maneira rápida, permitindo também a reavaliação do projeto frente a tais imprevistos.

A perspectiva de se utilizar dados reais do projeto para se desenvolver o PSP também é promissora nas etapas de “definição da sequência de execução” e “definição da unidade-base”. Em muitos empreendimentos essa definição fica a cargo das equipes responsáveis pela execução, durante a execução, que eventualmente, podem definir estas sequências conforme suas necessidades individuais e não conforme as necessidades do projeto. Realizando-se um estudo 4D do projeto, com a divisão adequada das atividades, eventuais problemas podem ser identificados previamente e os pacotes de atividades serem estabelecidos considerando a relação global entre as diferentes interfaces de projeto.

Conforme Rodrigues (2006) em empreendimentos complexos essa definição é especialmente difícil. A inserção de parâmetros relacionados ao volume de trabalho, por exemplo, no modelo BIM, pode permitir que softwares de análise do modelo facilitem essa definição. O estudo da sequência de execução dentro da unidade base, ou de uma unidade específica, também se torna mais prático de ser realizado, permitindo que haja também maior controle sob cada atividade específica ao replicar os resultados da análise na unidade base a todo o projeto.

Para o “dimensionamento da capacidade de recursos” o modelo BIM deverá conter parâmetros em seus elementos que englobem dados como custos e capacidade de produção por unidade padrão (ex. hora/homem, m²/hora ou qualquer unidade adequada à

atividade/elemento construtivo) para cada estratégia a ser analisada. Muitos dos dados necessários para esta e outras etapas do desenvolvimento do PSP, também poderão ser obtidos através das verificações das necessidades dos clientes, neste caso, principalmente os clientes internos.

Para o “estudo dos fluxos de trabalho” e da sincronia entre os mesmos, também são necessários dados bem específicos para cada atividade/processo construtivo. A inserção de TICs deverá favorecer a criação de índices baseados nos dados históricos da empresa, dando mais confiabilidade aos resultados deste processo. A introdução dos conceitos de lote de produção e lote de transferência (Schramm, 2009) e índices como *takt time*, tempo de ciclo e *lead time* são dados importantes neste processo. Ferramentas BIM que gerem de forma automatizada a Linha de Balanço do empreendimento também podem ser valiosas nesta etapa.

Finalmente, ao se considerar a utilização do BIM em todo o processo de desenvolvimento do projeto, incluindo a elaboração do PSP, deverá também facilitar o “estudo dos processos críticos”. A identificação de tais processos poderá ser feita de maneira objetiva através, principalmente, dos recursos visuais que a tecnologia oferece. Outra possibilidade é a criação de critérios, baseados nas diretrizes para o desenvolvimento do PSP ou em outras características do projeto, que identifiquem processos ou etapas críticas através dos softwares de análise do modelo. As possibilidades de uso do BIM já apontadas podem ser aplicadas de forma mais ampla e focada nestes processos críticos, de forma a reduzir a incerteza inerente aos mesmos. O controle desses processos também poderá ser feito através do modelo BIM, trazendo resposta imediata a eventuais problemas. Ainda, há a possibilidade de se gerar fichas de verificação de forma automatizada.

A abordagem sistêmica e colaborativa dos processos, conforme os princípios do BIM sugerem, demonstrou-se relevante na medida em que se observou que a natureza dos dados utilizados para a tomada de decisão no processo de desenvolvimento do PSP é diversa e constantemente interdependente, já que uma definição pode limitar outras ou mesmo impossibilita-las. Também reforça a importância do estabelecimento de um processo que seja claro para todos envolvidos, com dados de entrada e saída bem definidos em cada etapa do processo. Neste sentido, a criação de protocolos de modelagem é também importante para se garantir a padronização e qualidade do modelo, assim como, o controle de seu desenvolvimento.

O desenvolvimento de forma sistemática do PSP através do BIM deverá proporcionar uma maior capacidade de controle sobre a execução das atividades em canteiro. Neste sentido, a partir do PSP desenvolvido para o projeto poderiam ser estabelecidas metas específicas para cada atividade, assim como a criação de *check-lists* conforme as características “chave” para a realização da atividade em questão. Desta forma o controle das atividades em canteiro torna-se mais prático de ser realizado.

5. Conclusão

A inserção de processos e funcionalidades associadas à tecnologia BIM no processo de desenvolvimento do PSP deverá estabelecer um novo patamar para a qualidade do PSP na construção civil. Durante a análise do potencial de aplicação do BIM para o desenvolvimento do PSP verificou-se uma evidente sinergia entre tais processos e tecnologias associadas. É evidente que o desenvolvimento do PSP não está necessariamente atrelado ao uso do BIM, contudo, esta tecnologia deverá prover uma base mais confiável e de resposta mais rápida, para que seu desenvolvimento seja realizado com sucesso.

O desenvolvimento do PSP de forma sistemática e holística exige a consideração de uma ampla gama de dados e uma gestão eficiente destes durante todo o processo, o que inicialmente pode representar uma dificuldade. Contudo, as possibilidades de aplicação do BIM são realmente promissoras e deverão permitir que não só o desenvolvimento do PSP, mas também que o controle das atividades em canteiro ocorra de forma mais eficiente. Espera-se uma maior consideração de variáveis e menor risco de falhas humanas, a partir da automatização de algumas etapas e de análises e simulações realizadas durante o processo.

O princípio do BIM de promover a colaboração e o desenvolvimento de planos para execução em etapas prévias do projeto, em relação aos processos tradicionais deverá permitir que as decisões associadas ao escopo do PSP sejam tomadas de forma mais conectada com as necessidades do projeto. Deverá, também, estreitar a relação entre os diferentes agentes que participam das diversas etapas do processo de desenvolvimento de projetos na indústria da construção. Através desta relação mais próxima, permitir uma maior consideração de questões associadas a execução das atividades em canteiro, em relação aos processos tradicionais onde há pouco espaço para participação dos agentes responsáveis diretamente pela execução do empreendimento.

É válido ressaltar que a análise realizada nesta pesquisa foi tendo em vista os modelos de processo de desenvolvimento do PSP sugeridos por Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006). Portanto, as diretrizes apresentadas estão associadas às tipologias de projetos de construção para o qual esses autores desenvolveram seus modelos, isto é, edificações residenciais com grande repetição de unidades e edificações complexas. Apesar das características diferentes desses tipos de projeto de construção, o escopo de decisões e os tipos de dados necessários são similares, assim como o formato do processo de maneira geral. Desta forma é esperado que as diretrizes sejam aplicáveis a todas estas tipologias de edificações: complexas ou com múltiplas unidades horizontais ou verticais.

É importante lembrar que a adoção de um processo sistemático para desenvolvimento do PSP através do BIM está condicionada à maturidade da organização tanto em relação ao BIM como ao desenvolvimento do PSP como prática gerencial, conforme apontado em Schramm (2009). Assim sendo, a implantação de tais processos deverá acontecer de forma gradativa, conforme a capacidade de associação da organização/equipe com as técnicas e ferramentas que serão utilizadas.

A partir dos resultados produzidos por esta pesquisa, são recomendados os seguintes tópicos para pesquisas futuras que visem explorar essa relação entre o BIM e o PSP:

- Procurar mais evidências práticas que confirmem ou refutem a relação entre BIM e PSP estabelecida na matriz;
- Avaliar a pertinência das diretrizes através da implantação do processo em projetos reais; e
- Mensurar através de métricas os impactos no desenvolvimento do PSP sem e com o BIM.

Referências

- Addor, M.R.A., Almeida Castanho, M.D. De Cambiaghi, H., Delatorre, J. P. M., Nardelli, E. S., & Oliveira, A. L. de. (2010) Colocando o "i" no BIM, *Revista eletrônica de Arquitetura e Urbanismo*, São Paulo, N.4.
- Ballard, G. Work Structuring = Process Design. (1999) White Paper 5, Lean Construction Institute (LCI).
- Ballard, G. (2008) The lean project delivery system: An update. *Lean Construction Journal*, 8 (1): 1–19. Disponível em: <http://www.leanconstruction.org/pdf/WP_9_ProjectDefinition.pdf>.
- Biotto, Clarissa N. (2012) *Método de gestão da produção na construção civil com uso da modelagem BIM 4D*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- Buildingsmart. (2010) Information Delivery Manual: guide to components and developers methods. Disponível em: <http://iug.buildingsmart.org/idms/development/idmc_004_1_2.pdf>. Acesso em 15/07/2014.

- Calazans, A.T.S. (2008) Qualidade da informação: conceitos e aplicações. *TransInformação*, Campinas, 20 (1): 29-45.
- Conforto, E.C., Amaral, D.C., & Silva, S.L.D. (2011) Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *8o Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP*. Anais, p.1–12. Porto Alegre.
- Durante, F.K., & Santos, A.P.S. (2016) Revisão Sistemática da Literatura sobre Projeto do Sistema de Produção (PSP) para Construção Civil. In: *XVI Simposio Sudamericano de Ingeniería de la Producción, SEPROSUL*, 16, 2016, Mendoza, Argentina. Anais... p. 626-635, San Rafael: Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2014) *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. Tradução de AYRES FILHO, C. Bookman, Porto Alegre.
- Elnimr, A., Fagiar, M., & Mohamed, Y. (2016) Two-way integration of 3D visualization and discrete event simulation for modeling mobile crane movement under dynamically changing site layout. *Automation in Construction*, 68: 235-248. Elsevier B.V.
- Hammad, A.W.A., Akbarnezhad, A., & Rey, D. (2016) A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout planning to minimise noise pollution and transport costs. *Automation in Construction*, 61: 73-85. Elsevier B.V.
- Howell, G., & Ballard, G. (1999) Design of Construction Operations. White Paper 4, Lean Construction Institute (LCI).
- Huang, C., & Wong, C. K. (2015) Optimization of site layout planning for multiple construction stages with safety considerations and requirements. *Automation in Construction*, 53: 58-68. Elsevier B.V.
- Kim, K., Cho, Y., & Zhang, S. (2016) Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. *Automation in Construction*, 70: 128-142. Elsevier B.V.
- Kitchenham, B. (2004) Procedures for Performing Systematic Reviews. Joint Technical Report TR/SE-0401. Software Engineering Group, Department of Computer Science, Keele University, Australia.
- Kumar, S.S., & Cheng, J.C.P. (2015) A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. *Automation in Construction*, 59: 24–37. Elsevier B.V.
- Lu, W., & Olofsson, T. (2014) Building information modeling and discrete event simulation: Towards an integrated framework. *Automation in Construction*, 44: 73-83. Elsevier B.V.
- Manziane, L. (2013) Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM. 389 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Mendes Junior, R. (1999) Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2014) Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 43: 84–91.
- Nguyen, H.V., Lostuvali, B., & Tommelein, I. D. (2009) Decision analysis using virtual first-run study of a viscous damping wall system. Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Anais. p.371–382.
- Penttilä, H. (2006) Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 11: 395–408. Disponível em: <http://itcon.org/cgi-bin/works/Show?2006_29>. Acesso em: 10/4/2015.
- Rodrigues, A. (2006) O projeto do sistema de produção no contexto de obras complexas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- Sacks, R., Dave, B.A., Koskela, L., & Owen, R. (2009) Analysis Framework for The Interaction Between Lean Construction and Building Information Modelling. 17th International Group for Lean Construction, Taipei. Anais... p.221–234.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B.A., & Owen, R. (2010) The Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136 (9): 968–981.
- Said, H., & El-Rayes, K. (2014) Automated multi-objective construction logistics optimization system. *Automation in Construction*, 43: 110-122. Elsevier B.V.
- Scheer, S., Gehbauer, F., Mendes Junior, R., & Freitas, M.C.D. (2008) *Técnicas de Produção e Materiais para Fluxo de Informação em Canteiros de Obras*. 1ª ed. Curitiba: UFPR, p. 201.
- Schramm, F.K. (2004) *O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Schramm, F.K. (2009) *Projeto de Sistemas de Produção na Construção Civil Utilizando Simulação Computacional como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão*. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Schramm, F.K., Costa, D.B., & Formoso, C.T. (2004) The Design of Production Systems for Low-Income Housing Projects. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Anais... Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/299>>. Acesso em: 14/7/2015.
- Schramm, F.K. (2006) O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 6 (2): 59–74.
- Souza, L.L.A., Amorim, S.R.L., & Lyrio, A.M. (2009) Impactos do Uso do BIM em Escritórios de Arquitetura: oportunidade no mercado imobiliário. *Revista Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, 4 (2): 26-53.
- Succar, B. (2009) Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, *Automation in Construction*. 18 (3): 357-375. Elsevier B.V.
- Tauriainen, M.K., Puttonen, J.A., & Saari, A.J. (2015) The assessment of constructability: BIM cases. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Special Issue: ECPPM 2014, 20: 51-67. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2015/4>>. Acesso em: 21/4/2017.
- Tsao, C.C.Y., Tommelein, I.D., Swanlund, E., & Howell, G.A. (2000) Case Study for Work Structuring: Installation of Metal Door Frames. 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Anais. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/125>>. Acesso em: 14/7/2015.
- Tsao, C.C.Y., Tommelein, I.D., Swanlund, E., & Howell, G.A. (2004) Work Structuring to Achieve Integrated Product–Process Design. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130 (6): 780–789. American Society of Civil Engineers.
- Tuholski, S.J., & Tommelein, I.D. (2010) Design Structure Matrix Implementation on a Seismic Retrofit. *Journal of Management in Engineering*, 26 (3): 144–152. American Society of Civil Engineers.
- Van Berlo, L.A.H.M., & Natrop, M. (2015) BIM on the construction site: providing hidden information on task specific drawings. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Special Issue: ECPPM 2014, v. 20, p. 97-106. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2015/7>>. Acesso em: 21/4/17
- Vrijhoef, R., & Koskela, L. (2005) Revisiting the three peculiarities of production in construction. 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings. Anais. Sydney, Australia.
- Wang, W., Weng, S., Wang, S., & Chen, C. (2014) Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*, 37: 68-80. Elsevier B.V.
- Wang, J., Zhang, X., Shou, W., Wang, X., Xu, B., Kim, M.J., & Wu, P. (2015) A BIM-based approach for automated tower crane layout planning. *Automation in Construction*, 59: 168-178. Elsevier B.V.
- Wang, J., Wang, X., Shou, W., Chong, H., & Guo, J. (2016) Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability. *Automation in Construction*, 61: 134-146. Elsevier B.V.
- Yahya, M., & Saka, M.P. (2014) Construction site layout planning using multi-objective artificial bee colony algorithm with Levy flights. *Automation in Construction*, 38: 14-29. Elsevier B.V.

Yang, J.B., & Wei, P.R. (2010) Causes of Delay in the Planning and Design Phases for Construction Projects. Journal of Architectural Engineering, Reston, 16 (2): 80-83.