

Sinergia entre Princípios do *Lean Thinking* e Funcionalidades de BIM na Interdisciplinaridade de Gestão em Plantas Industriais

Synergy between Principles of Lean Thinking and BIM Functionalities in Interdisciplinarity of Management in Industrial Plants

Daniel Luiz de Mattos Nascimento* – danielmn@puc-rio.br
Elisa Dominguez Sotelino* – sotelino@puc-rio.br
Rodrigo Goyanes Gusmão Caiado** – rodrigoggcaiado@gmail.com
Paulo Ivson* – psantos@tecgraf.puc-rio.br
Pedro Saieg Faria* – pedrosf@tecgraf.puc-rio.br

* Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - (PUC-RJ), Rio de Janeiro, RJ

** Universidade Federal Fluminense – (UFF), Niterói, RJ

Article History:

Submitted: 2016 – 11 – 04

Revised: 2017 – 03 – 02

Accepted: 2017 – 03 – 14

Resumo: Existe uma necessidade real de diminuição do desperdício e retrabalho na indústria da construção, principalmente para que organizações se tornem competitivas globalmente. Uma solução para esses desafios é proposta nesta pesquisa, a partir de um modelo de gestão interdisciplinar em projetos de construção, realizando integração entre princípios do *Lean Thinking* e funcionalidades de BIM dentro do ciclo PDCA. Algumas tecnologias são exploradas para centralizar, analisar e propiciar um processo decisório tecnológico sobre as informações necessárias para melhoria contínua e incremental do planejamento e controle da produção. A etapa inicial da investigação é documental e bibliográfica, com caráter qualitativo. Em seguida, realizam-se quatro estudos de caso, observando na prática a aplicação do modelo *Digital Obeya Room* em diferentes fases do ciclo de vida de plantas industriais. A contribuição principal está na avaliação de quais princípios e funcionalidades são mais explorados a partir da sinergia desta integração no modelo proposto. Na avaliação destacaram-se a padronização, instituição de melhoria contínua, gestão visual e projeto do sistema de produção puxada da cadeia de valor.

Palavras-chave: BIM; Construção e Montagem Industrial; Interdisciplinaridade; *Lean Thinking*; Ciclo PDCA

Abstract: There is a real need for decreased waste and rework in the construction industry, especially for organizations to become globally competitive. A solution to these challenges is proposed in this research, from an interdisciplinary management model in construction projects through integration between principles of Lean Thinking and BIM functionalities within the PDCA cycle. Some technologies are explored to centralize, analyze and provide a technological decision-making process on the required information for continuous improvement and incremental of production planning and control. The initial stage of investigation explains concepts about related works from literature and documents with qualitative character. Then, four case studies, observing in

practice the application of the Digital Obeya Room Framework at different stages of the life cycle of industrial plants construction. The main contribution is in the evaluation of which principles and features are more exploited from the synergy of this integration in the proposed model. Among them stand-out the standardization, establishment of continuous improvement, visual management and production system design pulled of the value chain.

Keywords: BIM; Industrial Construction; Interdisciplinary Management; Lean Thinking; PDCA Cycle

1. Introdução

A gestão da construção em empreendimentos tem a necessidade de integrar processos, tecnologias e pessoas em prol de objetivos estratégicos. De acordo com Sacks *et al.* (2010), as funcionalidades *Building Information Modeling* (BIM) e princípios *Lean Thinking* estão efetuando mudanças fundamentais na Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Durante as duas últimas décadas, tornou-se uma característica inata do processo de projeto na indústria da construção, a fim de melhorar a qualidade da documentação que é produzido, bem como a construtibilidade e assertividade (Wang *et al.* 2013).

Além de impactos sobre a produtividade e qualidade em curto prazo, funcionalidades de BIM permitem mudanças no processo fundamental de gestão de projetos, pois fornecem os insumos necessários para orquestração de uma intensa pluralidade e quantidade elevada de informações, que é um dos princípios fundamentais da produção enxuta (Womack e Jones, 2003). Para Arayici *et al.* (2011), as empresas de construção estão enfrentando barreiras e desafios na adoção de BIM, visto que há poucas orientações claras ou estudos práticos para que possam aprender e reforçar suas capacidades no uso de BIM, a fim de aumentarem sua produtividade, eficiência e qualidade, em busca de vantagens competitivas no mercado global, estabelecendo e cumprindo metas em prol da sustentabilidade organizacional.

Sobretudo, mudanças são inevitáveis devido à natureza iterativa e exploratória de um projeto, no qual o conteúdo e a estrutura não são estáticos, mas sujeitos a mudanças contínuas mesmo depois que a construção começou, particularmente em projetos acelerados (*fast-track*). Assim, a gestão bem-sucedida de mudanças no projeto é fundamental para a entrega eficiente da construção e por isso BIM é vislumbrado a desempenhar um papel importante na identificação dos impactos das alterações do projeto, na integração entre fluxos de trabalho, na construção e na gestão das instalações (Pilehchian *et al.* 2015).

O potencial de BIM tem sido evidente para apoiar uma transformação dos processos de projeto e construção. Considerando que BIM é útil para melhorar a qualidade do projeto, eliminando conflitos e reduzindo o retrabalho e é mais frequentemente percebido como uma ferramenta para visualização e coordenação dos fluxos de trabalho na indústria AECO, evitando erros e omissões, melhorando a produtividade e apoiando a gestão efetiva no planejamento em prol da segurança, prazo, custo e qualidade em projetos de construção (Chen e Luo, 2014).

Mediante o exposto, Dave *et al.* (2015) afirmam que para promover unificação entre processos, tecnologias e pessoas são necessários sinergismos entre funcionalidades de BIM e princípios *Lean*. Sendo assim, o *Lean Thinking* (pensamento enxuto), oferece uma metodologia de fazer mais com menos - menos esforço humano, menos equipamento, menos equipe e menos espaço - a fim de alcançar o que os clientes realmente querem e resultar na eliminação de desperdício através de processos mais eficientes que geram as competências essenciais que o cliente valoriza (Comm e Mathaisel, 2005).

Sacks *et al.* (2010) afirmam que o *Lean Thinking* e BIM são iniciativas bastante diferentes e no atual estágio de ambas é provável que a maioria das empresas e profissionais ainda estejam na curva inicial de aprendizado. Entretanto, se a sinergia entre eles se tornarem devidamente compreendidas e se essas áreas estiverem enraizadas na compreensão conceitual da teoria da produção, essas interações podem ser exploradas para melhorar continuamente processos de construção.

A gestão de grandes empreendimentos e ativos de plantas industriais na indústria da construção envolve o uso de inúmeros sistemas computacionais e materiais, exigindo sinergismos entre diversas disciplinas e competências de áreas diferentes. Nesse contexto, esta pesquisa objetiva propor uma metodologia de gestão interdisciplinar em projetos de construção, por meio da compatibilização de princípios do *Lean Thinking* e funcionalidades de BIM dentro do ciclo PDCA. Desta forma, realizam-se quatro estudos de caso, aplicando e avaliando o modelo *Digital Obeya Room*. A partir da metodologia proposta na forma de um *framework* conceitual, pode-se replicar e aprimorar o conceito em projetos de natureza semelhante.

O artigo está estruturado da seguinte forma: primeiro, há uma breve visão do contexto das funcionalidades de BIM e princípios do *Lean Thinking*, definindo conceitos necessários ao estudo de caso. Na Seção 2 destacam-se as principais definições existentes na literatura,

princípios do *Lean Thinking* e funcionalidades de BIM, seus sinergismos e desafios de implantação. Os procedimentos metodológicos utilizados na revisão da literatura e as etapas do estudo caso em projetos de construção são discutidos na Seção 3. Os resultados dos estudos de caso aplicados são demonstrados e analisados pelos colaboradores que utilizaram o modelo na Seção 4, em que sob a ótica de Materiais, Pessoas, Processos e Tecnologia há a avaliação de quais princípios das práticas *Lean* e BIM são mais exploradas. Por fim, na Seção 5, determinam-se conclusões e contribuições da pesquisa para trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica conceitua o significado e cenário atual de princípios do *Lean Thinking* e funcionalidades de BIM. Além disso, avaliam-se trabalhos relacionados na literatura que identificaram sinergias entre BIM e *Lean Thinking*, buscando a melhoria contínua e incremental dos processos de engenharia. Na seção seguinte se descreve o conceito e as funcionalidades de BIM.

2.1. Cenário e Funcionalidades de BIM

Embora os projetos de construção tenham aprimorado seus processos ao longo do tempo, tecnologias de informação da construção foram pouco exploradas e tornaram-se fatores críticos de sucesso na indústria AECO (Hattab e Hamzeh, 2015). O surgimento de novas metodologias e tecnologias na engenharia por meio de BIM é descrito por Eastman *et al.* (2008) como “um verbo ou frase adjetiva para descrever ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas por uma documentação digital de leitura ótica sobre empreendimentos, possibilitando avaliar seu desempenho, seu planejamento, sua construção, e mais tarde sua operação”. As funcionalidades de BIM têm o potencial de aumentar a efetividade do gerenciamento de projetos, a reengenharia de processos e a integração entre *stakeholders* nos modernos projetos de construção. Nesse contexto, a reengenharia dos processos torna-se um ponto de atenção para aplicação de princípios do *Lean Thinking* (Bryde *et al.*, 2013).

Segundo Arayici *et al.* (2011), a implementação de BIM deve ter uma abordagem tanto *bottom-up* quanto *top-down*, a fim de envolver as pessoas na adoção, assegurar o aumento das competências e da compreensão das pessoas, aumentar a capacidade das empresas envolvidas, aplicar estratégias de gerenciamento de mudanças bem-sucedidas, e diminuir qualquer potencial resistência à mudança. Segundo os autores, os sete pilares de uma estratégia de implementação BIM são: eliminar o desperdício, aumentar o *feedback*, analisar decisões até

alcançar o consenso, otimizar pacotes de trabalho, projetar com integridade, capacitar continuamente a equipe e ver o todo.

Amorim e Kassem (2015) afirmam que no Brasil há uma separação cultural entre as fases de projeto e execução, seguindo em direção oposta das melhores práticas para implantação de BIM. Para obter os melhores benefícios com o uso de BIM é necessário utilizar fluxos de trabalho colaborativos e simultâneos. Entretanto, a falta de conhecimento dos profissionais, o custo inicial de implantação, maturidade das tecnologias, interoperabilidade entre sistemas e a demora para conscientização da indústria sobre a utilização de BIM são fatores críticos de sucesso para sua implantação.

Por outro lado, Eastman *et al.* (2008) e Sacks *et al.* (2010) propõem os seguintes aspectos relevantes da funcionalidade que o conceito de BIM fornece para compilação, edição, avaliação e relato de informações sobre projetos de construção:

- a) Visualização 3D (por estética e avaliação funcional);
- b) Geração rápida de múltiplas alternativas de projeto;
- c) Uso de dados do modelo para análise preditiva do edifício (análise preditiva do desempenho, estimativa de custos automatizado e avaliação da conformidade ao valor do cliente);
- d) Manutenção de informação e integridade do modelo (fonte de informação única, verificação de conflito automatizada);
- e) Geração automática de desenhos e documentos;
- f) Colaboração no projeto e construção (edição multiusuário de um modelo de disciplina única, visualização multiusuário de modelos multidisciplinares separados ou mesclados);
- g) Geração e avaliação rápidas de alternativas de planos de construção (geração automática de tarefas de construção, simulação do processo de construção, visualização 4D de cronogramas de construção);
- h) Comunicação baseada em objeto online/eletrônico (visualização do estado do processo, comunicação on-line de informações de produto e processo, fabricação controlada por computador, integração com o banco de dados de parceiro do projeto – cadeia de suprimentos, provisão do contexto para estado da coleta de dados no local/fora do local);
- i) Transferência de informação direta para apoio a fabricação controlada por computador.

As funcionalidades de BIM apresentadas por Eastman *et al.* (2008) e Sacks *et al.* (2010) devem ser avaliadas em relação aos sistemas de engenharia necessários para suportar tecnologicamente fluxos de trabalho e, também, ao nível de maturidade de BIM das competências (conhecimento, habilidades e atitudes). Essas funcionalidades necessitam de uma gestão enxuta e eficiente da produção em prol do desenvolvimento sustentável, na seção seguinte dentro desse contexto é descrito os princípios e conceitos do *Lean Thinking*.

2.2. Contexto e Princípios Lean Thinking

Para Aziz e Hafes (2013), desde a década de 1950, a produção *lean* ou princípios do sistema de produção Toyota evoluíram e foram implementados com sucesso pela Toyota Motor Company, sendo formado por duas concepções pilares: (1) fluxo *Just-in-Time* (consiste em produzir de acordo com a demanda) e (2) Autonomia ou *Jidoka* (separação homem-máquina, em que um operador gere várias máquinas).

O *Lean Construction* tem usado os mesmos princípios do *Lean Production* a fim de reduzir o desperdício e aumentar a produtividade e a eficácia em projetos de construção (Aziz e Hafes, 2013). Koskela (1992) fez uma adaptação do conceito do *Lean Production* para a indústria da construção e apresentou um novo paradigma de gestão da produção que pode ser conceituada em três aspectos complementares: (1) Transformação, (2) Fluxo e (3) Geração de Valor. Nesse contexto, o *Lean Thinking* pode ser resumido em onze princípios, mas conforme observado em Sacks *et al.* (2010) houve um incremento para dezesseis:

- a) Redução da variabilidade;
- b) Redução número de ciclos;
- c) Redução do tamanho da amostra;
- d) Aumento de flexibilidade;
- e) Seleção de um método apropriado de controle de produção;
- f) Padronização;
- g) Instituição de melhoria contínua;
- h) Uso de gerenciamento visual;
- i) Projeto do sistema de produção para fluxo da cadeia de valor;
- j) Garantia da captura compreensiva de requerimentos;
- k) Foco na seleção de conceitos;
- l) Garantia de requerimentos de fluxo operacional;

- m) Verificação e validação;
- n) Vá e veja você mesmo (Gemba);
- o) Decisão por consenso, considerando todas as opções;
- p) Cultivo de uma extensiva rede de parceiros.

É possível perceber algumas sinergias entre princípios do Lean Thinking e funcionalidades de BIM. Na seção seguinte avalia-se trabalhos relacionados que identificaram sinergias entre BIM e *Lean Thinking*.

2.3. Sinergismos entre BIM e Lean Thinking

Conforme Olatunji (2011), o BIM tem sido associado ao desenvolvimento de abordagens *lean* para a gestão de projetos, assim como a colaboração avançada e o compartilhamento de informações podem contribuir para o objetivo da gestão *lean* de eliminar desperdícios.

Para Sacks *et al.* (2009), embora os conceitos de BIM e *Lean Construction* sejam independentes e separados, existem sinergias entre eles que se estendem além da natureza da maturidade de suas abordagens contemporâneas. O *Lean Construction* é uma abordagem conceitual para gestão da produção e BIM trata-se de uma modelagem de informações da construção para automação dos processos de engenharia (Sacks *et al.* 2010).

Clemente e Cachadinha (2013) utilizaram o *Value Stream Mapping* (VSM) para identificar as atividades que agregam valor e associá-las aos princípios do *Lean Thinking* a cada funcionalidade de BIM em um estudo empírico. A sinergia e complementaridade entre BIM e Lean foram percebidas no momento da implementação de BIM, pela adição da dimensão de visualização proporcionada. Isso possibilitou a implementação de uma abordagem adequada para o *Last Planner System* (LPS). Segundo entrevistas com os trabalhadores envolvidos, houve melhoria na coordenação, facilidade de visualização se comparado à metodologia tradicional que utiliza documentos 2D, melhor comunicação para resolução de desafios e maior segurança na execução. Nesse estudo, constatou-se que uma abordagem BIM-Lean pode melhorar consideravelmente a eficiência dos processos.

Dave *et al.* (2011) afirmam que uma análise conceitual do *Lean Construction* e BIM indicaram sinergias positivas em todo ciclo de vida no setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Entrevistas com especialistas e usuários potenciais na indústria, constataram que o uso de BIM se encontra limitado a análises de interferências

físicas (*Clash Detection*) e planejamento 4D. Além disso, identificaram que ferramentas de gestão do *Lean Production* dependem da coleta manual de informações. A melhoria contínua e incremental de softwares e hardwares vem possibilitando a presença de BIM no campo (*Gemba*) focada na coleta automatizada de dados. Nesse contexto, os autores desenvolveram um sistema que possibilita aplicar ferramentas Lean integradas ao BIM, melhorando a coleta, visualização e histórico de problemas onde seria difícil gerenciar com desenhos em CAD 2D. Contudo, o sistema desenvolvido não foi aplicado ou validado por meio de um estudo experimental na indústria.

Entretanto, de acordo com Sacks *et al.* (2009) o maior esforço em pesquisas na área de visualização da construção se concentra na fase de projeto (3D) e planejamento da construção (4D). Segundo os autores, a gestão da construção efetivamente necessita deste tipo de ferramenta, uma vez que a complexidade da construção torna muito difícil que os participantes tenham uma imagem mental clara do que está acontecendo e do que precisa ser feito. Sobretudo, interfaces de usuário baseadas em preceitos de BIM para promover transparência de processos, se torna uma ferramenta ideal para uma gestão efetiva. Os autores demonstram como modelos 3D podem ser usados para visualizar processos de construção, estabilizar sistemas puxados com monitoramento e envio de sinais na visualização 3D baseados em Kanban, aspectos essenciais para o planejamento e controle na gestão por fluxos. A visualização dos riscos associados às tarefas planejadas possibilita saber onde direcionar eficientemente os recursos, capacitar equipes e/ou alterar planejamento de curto prazo. A modelagem de informação da construção é estruturada, centralizada e de fácil acesso, possibilitando aumento da transparência. Este aumento pode deixar trabalhadores mais engajados, minimizando incertezas e mal entendimento sobre fatos.

Gerber *et al.* (2010) descrevem três projetos analisados em um estudo de caso, onde obtiveram benefícios ao priorizar o que agrega maior valor ao cliente, enquanto reduziam significativamente desperdícios na forma de tempo, material e custo. Na visão dos autores, BIM e Lean estão entrelaçados de forma complementar. Sobretudo, destacam que melhorias nas diversas barreiras ainda presentes na implementação e uso de BIM na indústria, permitirão uma alavancagem de suas funcionalidades para o suporte aos princípios e práticas do *Lean Construction*.

Hamdi e Leite (2012) afirmam que a principal relevância de BIM é a informação organizada, definida e trocável, e não somente a modelagem 3D. Os pesquisadores

identificaram relações entre funcionalidades de BIM e princípios Lean em um estudo de caso. De acordo com os resultados obtidos, constatou-se o nível de maturidade CMM (NBIMS) de BIM na organização/projeto, demonstrando como a aplicação dos princípios *Lean* podem auxiliar no aumento do nível de maturidade em BIM. Os autores listam as iterações e benefícios da combinação entre BIM e *Lean* baseado na matriz de interações apresentada na literatura (Sacks *et al.* 2010).

A interação entre BIM e *Lean* na fase de operação pode ser avaliada por Oskouie *et al.* (2012), explicitando cada iteração na matriz apresentada por Sacks *et al.* (2010) e incluindo novas funcionalidades necessárias. Os princípios *Lean* mais aderentes a esta fase se destinam a redução da variabilidade e tempo de ciclo. As funcionalidades de BIM mais aderentes são: o reuso do modelo para análise preditiva de dados, visualização 3D da forma e funcional, facilidade de acompanhamento em tempo real e geração de relatórios visuais da construção. Esses princípios e funcionalidades integrados à visualização proporcionada pelo BIM podem facilitar significativamente o processo decisório, proporcionando uma construção mais enxuta (LC).

Sacks *et al.* (2010) descreve esforços que buscaram explorar a sinergia existente entre BIM e *Lean*. Um dos esforços integrou princípios *Lean* com *Computer Aided Visualization Tools* (CAVT) enfatizando geração de valor durante a fase de projeto (Rischmoller *et al.* 2006). Para realização compreensiva dos benefícios da integração entre BIM e *Lean* é necessário entendimento avançado em teoria da produção. Apesar do estudo apresentar uma matriz de interação aparentemente simples, esta iteração deve ser vista de maneira complexa e não como a soma de partes individuais, por isso o entendimento de especialistas não é suficiente para determinar os impactos de todas as interações, algumas destas apenas surgirão por meio de estudos empíricos para avaliar as vantagens e desvantagens de cada iteração. A viabilidade do relacionamento implica que qualquer organização/projeto na indústria da construção em uma jornada *Lean* deve considerar o uso do BIM para melhorar seus resultados e ao mesmo tempo empresas utilizando BIM devem garantir que seu processo de adoção está contribuindo ao máximo para deixar seus processos *Lean*.

Desta forma, Dave *et al.* (2015) afirmam que existem cada vez mais discussões acerca do potencial sinérgico entre BIM e *Lean* em todo o ciclo de vida na indústria da construção. Enquanto estas sinergias têm sido realizadas em implementações e projetos individuais, não existe uma estratégia de exploração abrangente e sistemática, e há uma carência de

tecnologias ou sistemas de integração que ajudem a concretizar estas iterações em estudos de caso.

2.4. Sinergismos entre Lean e Kaizen

De acordo com James et al. (2014) *Lean* e o *Kaizen* para melhoria contínua na gestão da qualidade total (TQM) pode ter um impacto significativo e positivo na melhoria da segurança, produtividade, redução do desperdício e risco em construções. Os autores apresentam um estudo em que a gestão de uma construção modular, decidiu implementar uma abordagem enxuta em estações de trabalho individuais através de uma série de eventos *Kaizen* (japonês para "mudança para melhor") para melhorar o tempo de ciclo.

Conforme definido pela *Productivity Press Development* (2002), os eventos *Kaizen* são divididos em três fases:

- ✓ Fase 1- planejamento, preparação e coleta de dados;
- ✓ Fase 2- implementação de soluções e coleta de dados para acompanhamento; e
- ✓ Fase 3- apresentação dos resultados.

De acordo com a Farris *et al.* (2008) geralmente o evento *Kaizen* é um fenômeno complexo organizacional. É curto e focado em alcançar seus objetivos em um determinado período de tempo. O *Kaizen* tem o potencial para impactar tanto um sistema técnico (ou seja, o desempenho da área de trabalho) quanto um sistema social (ou seja, os colaboradores ou participantes). As práticas *Kaizen* são comuns no chão de fábrica, mas alguns métodos *Kaizen*, incluindo 5S e atividades não operacionais, como pesquisa e desenvolvimento P&D são amplamente adotados (Machikita *et al.*, 2016).

De acordo com Taghizadegan (2006), *Lean* e *Kaizen* são técnicas estratégicas de resolução de problemas do mundo industrial e a integração desses métodos de qualidade trará poderosas ferramentas para eliminar o desperdício e melhorar a produtividade e rentabilidade. Além disso, as estratégias *Kaizen* são baseadas em várias regras que podem diferir de uma organização para outra, dependendo de sua aplicação. Eles são compostos dos processos baseados em ação sequenciada:

- a) Mantenha uma atitude positiva;
- b) Tenha a mente aberta;
- c) Envolver-se no trabalho em equipe e desafios;
- d) Sem desculpas - procurar soluções;

- e) Utilizar os cinco porquês
- f) Aplicar ideias imediatamente com os recursos disponíveis e não esperar a perfeição;
- g) Tratar todas as opiniões dos membros da equipe de forma igual. Ignorar ranking de membros;
- h) Aplicar 5S que vem dos seguintes cinco iniciais termos em japonês: *Seiri (sort)*, *Seiton (set)*, *Seiso (shine)*, *Seiketsu (standardize)* e *Shitsuke (sustain)*;
- i) Utilizar práticas just-in-time (JIT).

Ichikawa (2009) apresentou um estudo com uma simulação do modelo *kaizen* que considera a importância do fornecimento de peças pela técnica *mizusumashi*, um processo que fornece apenas os materiais necessários na quantidade e momento adequados, isto é, *just-in-time*. Neste estudo, o conhecimento tácito teve um papel importante para melhorar o sistema de produção. Aplicou-se um processo para melhoria contínua da produção, eliminando resíduos e assegurando que as pessoas utilizem os métodos mais eficazes de produtividade.

Machikita *et al.* (2016) destacam que para realizar a assimilação do conhecimento em toda a empresa, seus gestores precisam adotar uma implantação horizontal de melhores práticas, chamado por empresas japonesas de *Yokotenkai* ou *Yokoten*. Este modelo conceitual torna-se fator decisivo para a transferência de conhecimento para todos e imprescindível na realização de eventos *Kaizen*. O 5S e *Yokoten* podem fazer rotinas organizacionais, tais como documentação e padronização dos cases de sucesso e controle da qualidade melhorarem suas capacidades de transferência de conhecimento com o mínimo de desperdícios.

A melhoria contínua em uma organização sustentável é um elemento-chave para liderança *Lean*. Os elementos básicos da liderança *lean* são: a cultura de melhoria, o autodesenvolvimento e a qualificação (que deve ser suportada com rotinas padronizadas de resolução de problemas que visam a utilização sistemática e ritualizada de *Plan-Do-Check-Act*), o *Gemba* (ir e ver a si mesmo) e do *Hoshin Kanri* (Dombrowski e Mielke, 2014).

3. Método proposto

3.1. Estudos de caso: Digital Obeya Room em plantas industriais

A pesquisa abordou o desenvolvimento e aplicação do software técnico-científico, *Digital Obeya Room*. Esse modelo conceitual foi idealizado na construção e montagem de uma refinaria no sul do Brasil em 2009, implementado computacionalmente considerando dificuldades e lições aprendidas da integração entre sistemas de engenharia, até alcançar

maturidade para sua aplicação em 2011. O modelo foi aplicado de forma empírica através de quatro estudos de caso em projetos de construção e montagem industrial com realidades diversas. Conforme Stake (2005), o caso em estudo é considerado coletivo, pois se selecionam casos para estudar características de uma população, a fim de aprimorar o conhecimento acerca do universo a que pertencem. Assim sendo, o primeiro projeto trata-se de uma planta para geração de hidrogênio, o segundo se delimita em uma unidade de retortagem de xisto, o terceiro e quarto referiam-se à construção de diversas plantas industriais de uma refinaria petroquímica.

3.1.1. Estudo de caso I

Foram realizadas 22 reuniões com objetivo de implementar a metodologia e tecnologia *Digital Obeya Room* na execução do projeto executivo, fabricação e montagem industrial. Realizaram-se sessões semanais para apoio à decisão interdisciplinar no planejamento e controle da produção. Ao final do projeto, conduziu-se um brainstorming denominado workshop de lições aprendidas para gestão do conhecimento. A realização de cada evento ocorreu na própria empresa, iniciando-se em janeiro de 2013 e com encerramento em dezembro de 2014.

3.1.2. Estudo de caso II

Realizaram-se 16 reuniões, com objetivo de mapear pendências, planejar atividades e monitorar paradas de manutenção de uma planta industrial para o refino de petróleo proveniente do xisto. As reuniões foram realizadas na própria empresa, as 10 primeiras no mês de julho em 2012, no período da manhã, de acordo com as disponibilidades dos participantes, previamente à parada de manutenção. Após o mapeamento das pendências, houve a determinação do escopo e a implantação da gestão visual na sala *Obeya*. Com isso, foram realizadas quatro sessões toda sexta-feira para avaliar a produtividade semanal e planejar as atividades de manutenção da semana seguinte, com utilização do modelo 3D.

3.1.3 Estudo de caso III

Foi realizada uma simulação para a análise de interferências físicas no projeto 3D, mapearam-se as pendências impeditivas e não impeditivas para conclusão do projeto executivo de tubulações industriais de uma unidade de hidrosulfurização de nafta craqueada em um complexo petroquímico. Após esse mapeamento, foram realizadas seis sessões com periodicidade semanal entre os meses de agosto e setembro de 2014, com objetivo de verificar

a qualidade e efetividade da interdisciplinaridade no projeto. A sala *Obeya* foi montada em um container improvisado próximo ao canteiro de obras, contendo mesa com cinco cadeiras, computador com placa de vídeo e projetor. As informações foram registradas no banco de dados vinculado ao visualizador nD utilizado para realizar as simulações e monitorar a resolução dos problemas identificados.

3.1.4. Estudo de caso IV

Após perceber lições aprendidas nos estudos empíricos anteriores, nesse projeto buscou-se incrementar uma nova solução computacional, a fim de detalhar informações, verificar atendimento às normas de tubulações industriais e integrar o modelo 3D com o sistema de controle da fabricação e montagem de tubulações do empreendimento. Neste projeto foram realizadas oito reuniões com objetivo de utilizar a integração, gestão visual e a sala *Obeya*, envolvendo diversos *stakeholders*, para priorizar atividades no projeto executivo de acordo com as necessidades de fabricação e promover a produção puxada da montagem industrial. As configurações foram iniciadas em maio e concluídas em julho em 2014. A implantação do *Digital Obeya Room* foi realizada em agosto deste ano com eventos para operacionalizar seu uso, nas reuniões de definições dos pacotes de trabalho, e monitorar diariamente a execução de forma automatizada.

3.2. Metodologia de Pesquisa

A abordagem é exploratória porque objetiva levantar informações sobre funcionalidades BIM e princípios *lean* mais relevantes para aplicação em projetos de construção, a fim de identificar o grau de maturidade da aplicação desses conceitos no PDCA da gestão visual. É também descritiva porque busca revelar como as informações podem ser apresentadas e mostrar seus reflexos para ambientes semelhantes. É qualitativa, por meio de estudos de caso que mostram a proposição do modelo *Digital Obeya Room* e sua posterior aplicação em quatro casos (projetos de construção e montagem industrial).

Os dados qualitativos foram coletados por meio das reuniões com os participantes e os dados quantitativos foram extraídos das ferramentas de automação de projetos dos empreendimentos (Smart Plant, COMOS, PDMS, sistema de avanço físico-financeiro, sistema de controle da fabricação e montagem de tubulações, sistemas de suprimentos, sistema de comissionamento e visualizador 3D). Por fim, propôs-se realizar um survey com

os colaboradores que vivenciaram a aplicação em cada um dos projetos. Com isso, objetivou-se verificar a aderência dos 16 princípios *lean* e das nove funcionalidades BIM levantados na literatura, avaliando o grau de utilização desses 25 conceitos por meio da observação destes e avaliar quais princípios são mais demandados para alcançar a capacidade *kaizen*.

Assim, a metodologia da pesquisa foi composta pelas seguintes etapas:

- ✓ Etapa 1: pesquisa documental e bibliográfica do estado da arte de BIM e Lean, de forma intuitiva e indutiva.
- ✓ Etapa 2: estudos de caso realizados em projetos de construção em que é avaliada na prática a aderência dos princípios da filosofia Lean e funcionalidades de BIM nas etapas do ciclo PDCA.
- ✓ Etapa 3: survey com especialistas da área de gestão da construção e montagem, com experiência mínima de cinco anos de atuação na área de implementação de empreendimentos de plantas industriais.

O estudo é considerado válido na medida em que os dados são obtidos de diferentes procedimentos (teoria, documentos, reuniões e *survey*), o que constitui uma triangulação, evitando a subjetividade do pesquisador e garantindo a qualidade dos resultados (Yin, 2005).

4. Resultados e Análise de Dados

Nessa seção os resultados da proposição de modelo e estudos de caso são relatados. Além disso é realizado uma análise de acordo com a percepção dos especialistas que utilizaram o modelo, sobre quais princípios BIM e Lean foram mais explorados no estudo de caso.

4.1. Proposição de novo modelo: *Digital Obeya Room*

O modelo *Digital Obeya Room*, busca contribuir para gestão interdisciplinar de projetos. Este modelo foi adaptado do conceito *Obeya Room*, que foi definido por executivos da Toyota no início da década de 90, em prol da gestão visual e melhoria contínua (Terenghi et al. 2014). A adaptação foi implementada a partir da integração de diversos sistemas de engenharia, exportando, convertendo e centralizando no modelo 3D as informações, conforme definidas nas caixas verdes, ilustradas na Figura 3. Estas informações foram traduzidas, carregadas em base de dados relacional integrada e vinculadas a visualizações multidimensionais nD no ciclo PDCA da gestão visual. O visualizador nD utilizado tem forte aderência às funcionalidades BIM.

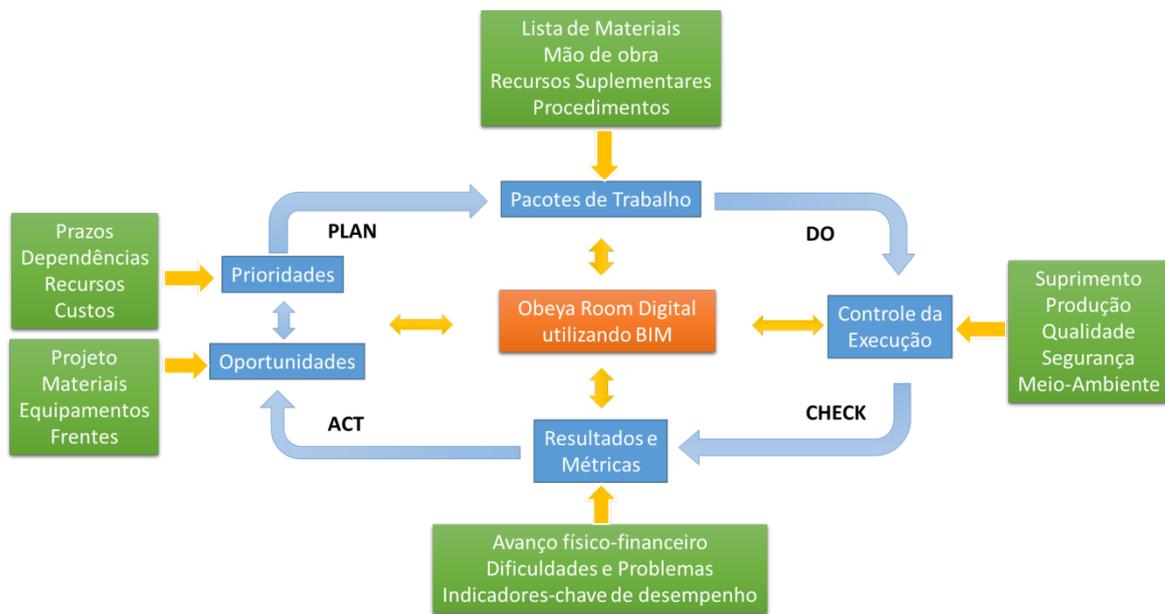


Figura 1 - Framework para integração do Lean Thinking ao BIM no PDCA da gestão visual nD

O fluxo de trabalho para melhoria contínua e validação de atividades, é descrito com as seguintes etapas:

No primeiro passo (*PLAN*), trata-se da equidade entre as oportunidades (de projeto, materiais, equipamentos e frentes de serviço) e prioridades (prazos, dependências, recursos e custos) com objetivo de promover o sistema puxado de produção da cadeia de valor, encontrando o ponto ótimo de produção. Nesta etapa, também é avaliada a capacidade produtiva e exequibilidade dos pacotes de trabalho (*Workface Planning*), considerando: lista de materiais, mão de obra, recursos suplementares e procedimentos padrão. O segundo passo (*DO*), consiste em: controlar a execução, considerando: suprimento, produção, qualidade, segurança e meio-ambiente. No terceiro (*CHECK*), é realizado análise dos resultados e métricas, relativas à: avanço físico-financeiro, indicadores-chave de desempenho, dificuldades e problemas. Por fim (*ACT*), são analisados os impactos no cronograma do projeto atualizando e redefinindo prioridades, a fim de selecionar as melhores oportunidades, com base nos resultados perante o planejado. Desta maneira, é definido plano de ação.

Em todos os passos o visualizador nD armazena e analisa planos de trabalho, as contingências são inseridas colaborativamente e verificadas visualmente. Todos os responsáveis são envolvidos em reuniões para definições de ações dentro do PDCA com uso e gerenciamento de pendencias no visualizador nD.

4.2. Aplicação do Obeya Room Digital na gestão interdisciplinar

Em seguida, aplicou-se o BIM e os conceitos de *Lean Thinking*, objetivando explorar possíveis soluções para preencher as lacunas nos temas centrais desta investigação. Os exemplos incluem: métodos de modularização na fabricação e construção, o uso do visualizador nD para a identificação de tarefas prioritárias do projeto e construção, com o uso de funcionalidades BIM e princípios *Lean* para a gestão visual do empreendimento, bem como a importância interoperabilidade dos sistemas, foi fundamental para otimização de processos de construção e aderência com funcionalidades e princípios BIM e *Lean*.

A sinergia entre funcionalidades BIM e os princípios *Lean* analisados neste artigo foi avaliada em quatro projetos focados na gestão visual das empresas envolvidas na construção das respectivas plantas industriais. O modelo de melhoria contínua foi implementado com três conceitos em mente: (1) promover o desafio através de uma visão de longo prazo (2) *Kaizen*, a busca da melhoria contínua dos produtos e serviços, processos e pessoas (3) *Genchi Genbutsu*, ir de forma planejada para a fonte "onde as coisas acontecem", entender fatos e orientar as decisões. A aplicação nos experimentos iniciou com avaliação dos processos existentes para identificar e definir o processo desejado, monitorar e gerenciar rotinas em busca das metas estabelecidas.

O planejamento e controle da produção foi a área utilizada para orientar os colaboradores a aplicar os conceitos-chave da pesquisa em projetos. Em uma reunião mensal com os gestores, os colaboradores usaram o sistema de visualização nD combinado com os bancos de dados de engenharia para registrar problemas e avanços das atividades, priorizados pelo PDCA da construção e montagem. Os eventos de validação de programações mensais utilizavam funcionalidades do BIM, definidas por um coordenador *Kaizen*, com as seguintes competências: foco em sete desperdícios, produção enxuta como um modelo de negócio, 5S e gestão visual. Esses eventos foram realizados com a aplicação do *Digital Obeya Room*, reunindo equipes multidisciplinares formando uma força-tarefa que continuamente implementava melhorias nos processos de engenharia.

Estudo de Caso I - Análise de construtibilidade, modularização e produção enxuta:

O primeiro estudo concentrou-se no planejamento e controle da fabricação e montagem de diversos módulos do *pipe-rack* em uma planta de geração de hidrogênio. O modelo proposto foi empregado em sessões rotineiras para análises de construtibilidade, envolvendo principais colaboradores de várias disciplinas para definir o melhor sequenciamento de

montagem e a viabilidade técnica dos pacotes de trabalho, previamente à execução. Os objetivos destas sessões foram:

- a) Coletar dados dos sistemas de engenharia com oportunidades para produção diariamente de forma automatizada;
- b) Analisar o planejamento 4D, realizando estudos de construtibilidade e determinação do sequenciamento de montagem ideal;
- c) Analisar a integridade do projeto 3D por meio de indicadores chave-de-desempenho;
- d) Utilizar visualizador multidimensional nD para identificar e determinar atividades com metas claras;
- e) Gerenciar pelas diretrizes definidas no planejamento estratégico da construção;
- f) Utilizar funcionalidades de BIM e princípios do *Lean Thinking* em fluxos de trabalho para melhoria contínua e incremental no ciclo PDCA.

Conforme ilustrado na Figura 2, as dimensões de cada módulo foram delimitadas usando volumes no modelo 3D. Para cada módulo, os participantes analisaram o peso e se atribuiu guindastes apropriados, estimativas de solda e quantidade de soldadores necessários, estratégias de fabricação, transporte e montagem.

Com os dados de engenharia integrados, foi possível verificar a conformidade entre projeto, suprimento e frentes de trabalho antes da execução. Isto permitiu um melhor sequenciamento de montagem, considerando diversas variáveis, bem como as opiniões dos especialistas por meio de uma representação visual com diferentes cenários.

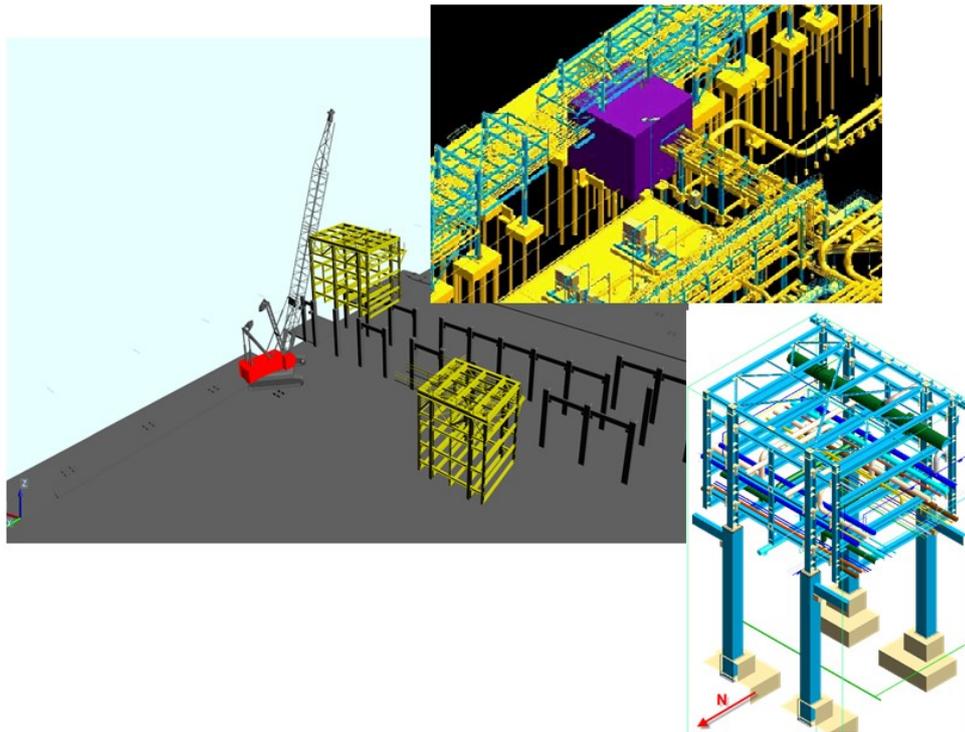


Figura 2 - Geração e avaliação rápidas e múltiplas alternativas de projeto e planos de construção

O *Digital Obeya Room* foi empregado tanto em reuniões de definições da programação de serviços para o mês seguinte quanto para análises com equipes de apoio técnico em prol da melhoria contínua dos processos. Equipes de projeto executivo, suprimento, planejamento, construção, transporte, logística, qualidade e liderança Kaizen estavam envolvidas. As decisões sobre o sequenciamento de montagem e planos de ação foram decididas democraticamente depois de considerar as opiniões de todos os envolvidos. Ao integrar dados de tubulação para fabricação, foi possível criar um link direto entre modelo 3D e o sistema de fabricação e montagem de tubulações.

A figura 2 demonstra os três passos para selecionar a amostra de cada módulo, preparar o pacote de trabalho de forma interdisciplinar e transportar peças pré-montadas até sua montagem no *pipe-rack*. O estudo destacou a facilidade de gerar os planos de construção a partir dos bancos de dados de projeto e utilizando o sistema de visualização nD combinado com a metodologia proposta. O sistema de gerenciamento visual trouxe vários benefícios em estudos anteriores por Liker (2004), Anand e Kodali (2009) e Sacks (2010).

Estudo de Caso II - Gestão visual para identificar e controle de manutenção programada:

O objetivo deste estudo foi otimizar os processos de coleta dos problemas para manutenção de uma planta industrial para processamento de xisto. Ao aplicar a metodologia proposta, foi possível aumentar a eficácia na comunicação entre as equipes de projeto, suprimento, operação e manutenção. O *Digital Obeya Room* forneceu uma visão geral das tarefas programadas e contribuiu para reduzir os riscos e aumentar a cooperação entre as equipes. As consequências foram percebidas com menos retrabalho e diminuição do tempo de espera para executar tarefas.

Inicialmente, os dados foram coletados de todos os itens que necessitavam de reparos ou substituições. Esta coleta de informações foi realizada com o auxílio do sistema de visualização nD usando computadores no chão de fábrica. Este fornecia uma interface fácil e prática para inserir itens pendentes e visualmente as tarefas de controle da execução através da codificação de cores. Um exemplo de visualização pode ser visto na Figura 3, onde a localização exata das tarefas de manutenção pode ser identificada no ambiente 3D.

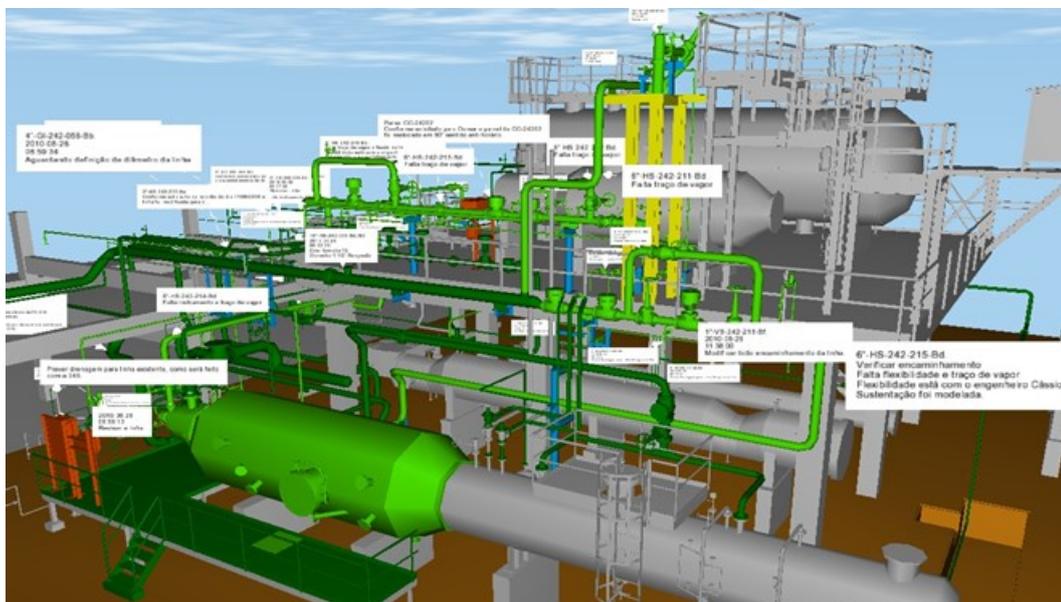


Figura 3 - Colaboração entre projeto e construção com visualizador nD

O aumento da comunicação e colaboração entre equipes melhorou a eficácia dos contratos com entrega *just-in-time* de recursos seguindo os conceitos do *mizusumashi*, evitando desperdícios e falta de materiais para a montagem industrial executar as tarefas de manutenção. Esses benefícios também foram identificados em pesquisas anteriores por (Sánchez e Perez, 2001; Shah e Ward, 2007; Eastman *et al.*, 2008; Sacks *et al.*, 2010).

Estudo de Caso III - Análise de interferências físicas com o uso do BIM:

Neste estudo, as tecnologias BIM foram usadas para realizar a detecção de conflitos entre os componentes da planta na fase de projeto executivo. O objetivo era identificar e verificar inconsistências antes de liberar cada item para a fabricação, evitando possíveis retrabalhos na construção.

O foco desta análise foi dado a componentes de tubulação, a fim de garantir que todos os itens na última etapa do projeto executivo de tubulações industriais não contenham interferências físicas. Essas verificações foram realizadas antes da análise de flexibilidade e liberação parcial das linhas de tubulação para a fabricação. Se uma interferência física fosse detectada, um nível crítico era atribuído e registrava-se a inconsistência no plano de ação a ser monitorado até que cada item pendente seja solucionado. Nos eventos de validação das programações de serviços era avaliado se cada item solucionado atendia o consenso das demais disciplinas antes de ser alocado para produção.

Na prática, várias interferências físicas foram detectadas, o que resulta em uma grande dificuldade na filtragem dos itens mais críticos e na exclusão das inconsistências encontradas apenas no modelo 3D. No entanto, a estratégia para avaliação de cada item durante as medições financeiras do projeto de tubulação ajudaram a garantir a confiabilidade do projeto 3D. Neste contexto, sempre que as inconsistências foram encontradas, regras de verificação automatizadas foram programadas no sistema de visualização nD para criar gradualmente uma base de dados com verificações de engenharia que atuava como um repositório para a gestão do conhecimento, conforme ilustra a figura 4.

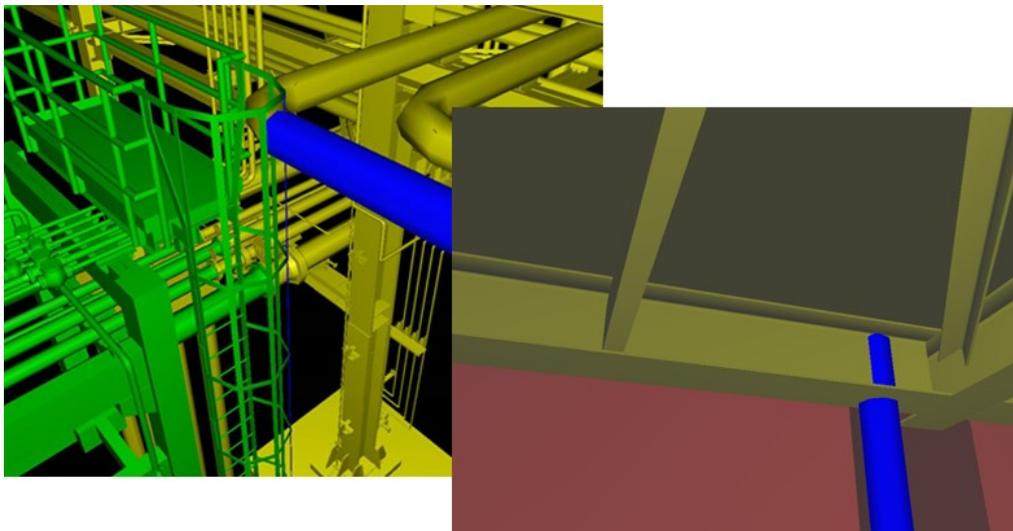


Figura 4 - Manutenção de informação e integridade do modelo com visualizador nD

A partir deste estudo foi possível concluir que é essencial desenvolver algoritmos de detecção de interferências, envolvendo grandes conjuntos de dados para automatizar a identificação de falsos positivos e realizar tratamentos. Este experimento se diferencia das abordagens anteriores - (Azhar, Nadeem e Mok, 2008; Becerik-Gerber e Rice, 2010; Azhar, 2011; Leite *et al.* 2011) - por utilizar um mecanismo de melhoria contínua do algoritmo para detecção de conflitos a partir da confirmação pelos usuários de falsos positivos.

Estudo de Caso IV - Análise de programação baseadas em BIM e gestão visual:

O principal objetivo deste estudo foi integrar o projeto executivo com suprimento, fabricação e montagem de tubulação. Mecanismos foram desenvolvidos para padronizar os processos de fabricação das tubulações, contendo transferência bidirecional de informações entre bancos de dados do projeto 3D e sistema de controle da fabricação e montagem. O sistema de visualização nD foi utilizado para promover a gestão visual, a fim de medir a produtividade das células de produção na fabricação para atender as diferentes localidades físicas da montagem industrial.

O modelo 3D foi personalizado para dividir linhas de tubulação em trechos exequíveis à fabricação, transporte e montagem. Seguindo os conceitos da metodologia proposta, as informações necessárias para começar a fabricação da tubulação foram padronizadas considerando opiniões de todas as partes envolvidas, permitindo inspetores de qualidade utilizarem dispositivos móveis para verificar o avanço físico e atualizarem cada etapa até o trecho ser completamente fabricado.

Desta maneira, o sistema de visualização nD foi capaz de apresentar o avanço físico da fabricação por cores diariamente. A Figura 5 ilustra a gestão visual contendo todo o processo de fabricação até a liberação para montagem, quando se atingia o status de primeira demão de pintura concluída.

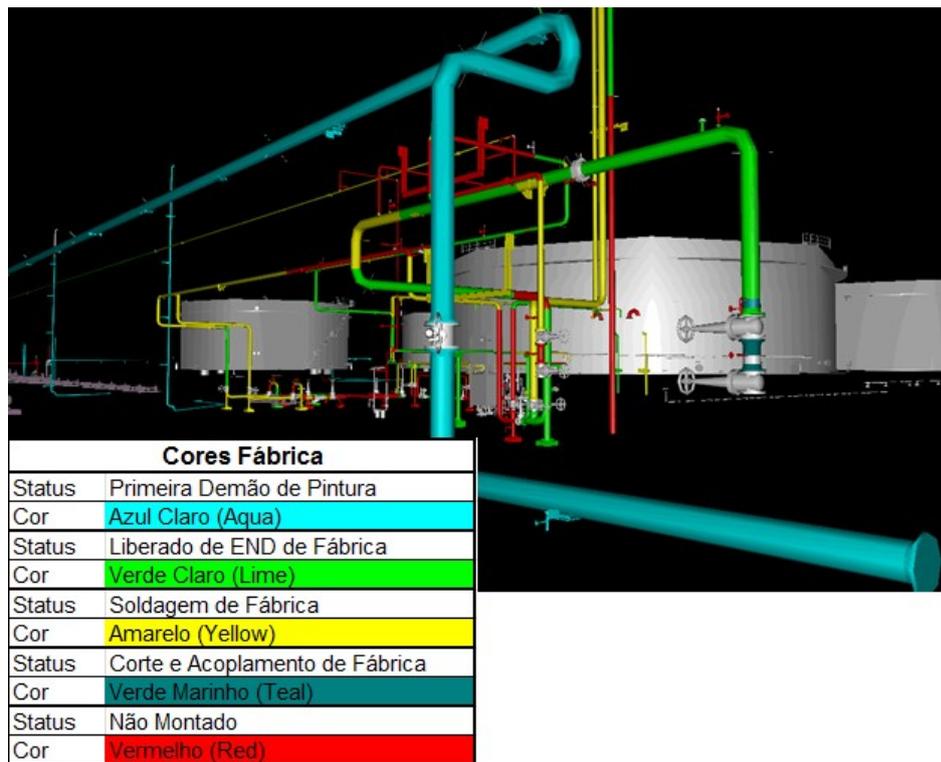


Figura 5 - Transferência de informação direta para apoio a fabricação controlada por computador.

A gestão visual de fabricação da tubulação motivou os colaboradores de várias disciplinas de engenharia a analisar as melhores rotas materiais, planejar fluxos de trabalho, realizar análise de construtibilidade e orientar as prioridades do projeto para um sistema de produção puxada. A definição clara de objetivos aumentou a produtividade e qualidade dos itens fabricados. Estes resultados corroboram com as principais diretrizes de várias pesquisas anteriores (Azhar *et al.*, 2008; Arayici *et al.*, 2011; Eastman *et al.*, 2011; Lu *et al.*, 2015).

4.3. Análise dos princípios BIM e Lean Thinking na aplicação do Digital Obeya Room

A partir dos projetos analisados neste estudo, constatou-se que as seguintes funcionalidades de BIM e princípios do *Lean Thinking* (Figura 6), foram mais aderentes conforme a percepção dos especialistas que responderam o *survey*. Os respondentes da pesquisa utilizaram as ferramentas de automação de projetos e o modelo conceitual desenvolvido no planejamento e controle da produção. Percebeu-se que a gestão visual contribuiu significativamente para a diminuição das barreiras de tempo, custo, qualidade, escopo e segurança.

- L1 Redução da variabilidade
- L2 Redução número de ciclos
- L3 Redução do tamanho da amostra
- L4 Aumento de flexibilidade
- L5 Seleção de um método apropriado de controle de produção
- L6 Padronização
- L7 Instituição de melhoria contínua
- L8 Uso de gerenciamento visual
- L9 Projeto do sistema de produção para fluxo da cadeia de valor
- L10 Garantia da captura compreensiva de requerimentos
- L11 Foco na seleção de conceitos
- L12 Garantia de requerimentos de fluxo operacional
- L13 Verificação e validação
- L14 Vá e veja você mesmo (Gemba)
- L15 Decisão por consenso, considerando todas as opções
- L16 Cultivo de uma extensiva rede de parceiros
- B1 Visualização 3D (por estética e avaliação funcional)
- B2 Geração rápida de múltiplas alternativas de projeto
- B3 Uso de dados do modelo para análise preditiva do edifício
- B4 Manutenção de informação e integridade do modelo
- B5 Geração automática de desenhos e documentos
- B6 Colaboração no projeto e construção
- B7 Geração e avaliação rápidas de alternativas de planos de construção
- B8 Comunicação baseada em objeto online/eletrônico
- B9 Transferência de informação direta para apoio a fabricação controlada por computador

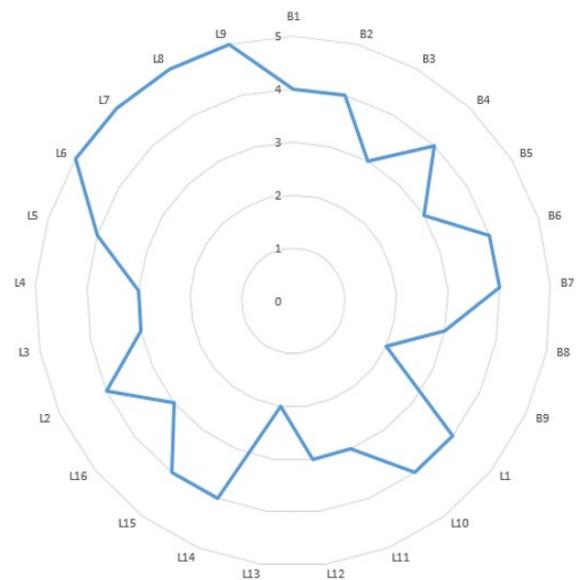


Figura 6 – Princípios-chave analisados pela percepção dos especialistas

A partir disso, são definidos os graus de aderência de cada funcionalidade de BIM e princípio do *Lean Thinking* em aplicações nos projetos de plantas industriais. Segundo a percepção dos colaboradores envolvidos nos projetos, percebeu-se que os princípios do *Lean Thinking* – padronização, instituição da melhoria contínua, uso da gestão visual e projeto do sistema puxado da cadeia de valor - e as funcionalidades de BIM - geração rápida de múltiplas alternativas de projeto, manutenção da informação e integridade do modelo, colaboração no projeto e construção e geração de rápidas alternativas de planos de construção - destacaram-se como as mais relevantes.

5. Conclusões

O objetivo de propor uma metodologia para gestão interdisciplinar de projetos de construção por meio da integração de princípios e funcionalidades do *Lean Thinking* ao BIM dentro do PDCA foi alcançado pelo desenvolvimento de um modelo de gestão científico e tecnológico.

A pesquisa contribui do ponto de vista prático para previsibilidade no planejamento de modo a torná-lo mais aderente ao realizado, melhorar a integração entre *stakeholders* do projeto, aumentar utilização de princípios e ferramentas *Lean* e BIM, promovendo o sistema puxado da cadeia de valor. E, do ponto de vista teórico, entende-se que a pesquisa poderá orientar futuros pesquisadores e nortear suas ideias para o desenvolvimento de novos estudos nesse campo.

A contribuição acadêmica dar-se-á na aplicação das iterações entre funcionalidades de BIM e princípios do *Lean Thinking* a partir da aplicação empírica do modelo *Digital Obeya Room*, sendo possível implementar um sistema de produção puxada que melhorou o nivelamento de recursos, minimizando o retrabalho e desperdícios durante sua aplicação em plantas industriais. Os princípios e funcionalidades mais explorados foram explicitados na seção anterior, comprovando nesse contexto que oito deles tornaram-se mais aderentes ao modelo. Além disso, pode-se replicar o modelo em novas áreas para identificar a relevância da sinergia entre os conceitos e otimizar processos de engenharia.

Recomendam-se para pesquisas futuras que sejam estudadas as seguintes proposições:

- ✓ Aplicação de *survey* contendo amostra com mais especialistas de diferentes áreas da indústria para posterior análise estatística inferencial dos dados;
- ✓ Estudo experimental da compatibilidade dos princípios *lean* e BIM em empresas de diferentes setores;
- ✓ Propor melhoria no framework tecnológico desenvolvido com o uso do LAMDA (*Look, Ask, Model, Discuss and Act*);
- ✓ Desenvolvimento de extensão de novas classes no *Industry Foundation Classes* (IFC), para conter todas as informações necessárias e definidas no framework tecnológico e conceitual.

REFERÊNCIAS

- Al Hattab, M., & Hamzeh, F. (2015). Using social network theory and simulation to compare the traditional practice versus BIM–lean practice for design error management. *Automation in Construction*, 52(1): 59–69.
- Anand, G., & Kodali, R. (2009). Development of a framework for lean manufacturing systems. *International Journal of Services and Operations Management*, 5(2): 687–716.
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O’Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*, 20(2): 189–95.
- Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J.Y.N., & Leung, B.H.Y. (2008, August). Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. Proceedings of *First International Conference on Construction in Developing Countries*.
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3): 241-252.
- Aziz, R.F., & Hafez, S.M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4): 679-695.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J.M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7): 971-980.

- Becerik-Gerber, B., & Rice, S. (2010). The perceived value of building information Modeling in the U.S. building industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 15:185-201.
- Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46: 64-73.
- Clemente, J., & Cachadinha, N., 2013. BIM-lean synergies in the management on MEP works in public facilities of intensive use - A case study, in: 21st Annual Conference of the international Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013, *The International Group for Lean Construction*, 70-79.
- Comm, C.L., & Mathaisel, D.F.X., (2005). A case study in applying lean sustainability concepts to universities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6(2): 134-146.
- Dave, B., Boddy, S., & Koskela, L., (2011). Visilean: Designing a production management system with lean and BIM, in: 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2011, IGLC 2011, *The International Group for Lean Construction*, 477-487.
- Dave, B., Kubler, S., Pikas, E., Holmström, J., Singh, V., Främling, K., Koskela, L., & Peltokorpi, A. (2015). Intelligent products: shifting the production control logic in construction (with Lean and BIM). In *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (341-350).
- Dombrowski, U., & Mielke, T. (2014). Lean Leadership – 15 Rules for a sustainable Lean Implementation. Variety Management in Manufacturing, In *Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems* (565-570). Ontario, Canada: Elsevier.
- Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, architects, engineers, contractors, and fabricators*, Wiley, Hoboken, N.J.
- Farris, J.A., Van Aken, E.M., Doolen, T.L., & Worley, J.M. (2008). Learning from less successful kaizen events: a case study. *Engineering Management Journal*, 20(3): 10–20.
- Gerber, D.J., Becerik-Gerber, B., & Kunz, A., (2010). Building information modeling and lean construction: Technology, methodology and advances from practice, in: Challenging Lean Construction Thinking: What Do We Think and What Do We Know? - 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 18, *The International Group for Lean Construction*. (683-693).
- Hamdi, O., & Leite, F., (2012). BIM and Lean interactions from the bim capability maturity model perspective: A case study, in: IGLC 2012 - 20th Conference of the International Group for Lean Construction, *The International Group for Lean Construction*.
- Ichikawa, H. (2009, December). Simulating an applied model to optimize cell production and parts supply (mizusumashi) for laptop assembly. In *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference* (2272-2280). Austin, Texas. IEEE.
- James, J., Ikuma, L.H., Nahmens, I., & Aghazadeh F. (2014). The impact of Kaizen on safety in modular home manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(1): 725–734.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Center for Integrated Facility Engineering. Technical Report No. 72, CIFE, Stanford University, CA.
- Leite, F., Akcamete, A., Akinci, B., Atasoy, G., & Kiziltas, S. (2011). Analysis of Modeling effort and impact of different levels of detail in building information models, *Automation in Construction*, 20 (5): 601-609.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.
- Lu, Q., Won, J., & Cheng, J.C.P. (2015). A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*, 34(1): 3-21.
- Machikita, T., Tsuji, M., & Ueki, Y. (2016). Does Kaizen create backward Knowledge transfer to Southeast Asian firms?. *Journal of Business Research*, 69: 1556–1561.
- Olatunji, O.A. (2011). Modelling the costs of corporate implementation of Building information modelling. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 16(3): 211–231.
- Oskouie, P., Gerber, D.J., Alves, T., & Becerik-Gerber, B. (2012). Extending the interaction of building information modeling and lean construction, in: IGLC 2012 - 20th Conference of the International Group for Lean Construction, *The International Group for Lean Construction*.

Pilehchian, B., Staub-French, S., & Nepal, M.P. (2015). A conceptual approach to track design changes within a multi-disciplinary building information Modeling environment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(2): 139-152.

Productivity Press Development Team (2002). *Kaizen for the shop floor*. Productivity Press, NewYork.

Rischmoller, L., Alarco_n, L., & Koskela, L. (2006). Improving value generation in the design process of industrial projects using cavt. *Journal of Management in Engineering*, 22: 52-60.

Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4): 785–805.

Sánchez, A. M., & Pérez, M. P. (2001). Lean indicators and manufacturing strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(11): 1433–1452.

Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of work ow to support lean construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 135: 1307-1315.

Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, 19(5): 641-655.

Stake, R. Case Studies. In: Denzin, N.; Lincoln, T. (2005). *Handbook of Qualitative Research*. London: Sage, 2005. 108-132.

Taghizadegan S. (2006). *Design for Lean/Kaizen Six Sigma*. Essentials of Lean Six Sigma.

Wang, X., Love, P.E.D., Jeong, M., Park, C., Sing, C. & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality, *Automation in Construction*. 34: 37–44.

Womack, J. P., & D. T. Jones (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York, Simon & Schuster.

Yin, R. K. (2005). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 212.



This journal is licenced under a [Creative Commons License, Creative Commons - Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).