

Análise dos Processos e Práticas da Produção *Lean* no Gerenciamento da Construção Enxuta: Proposta pela Pré-fabricação.

Elias Riffel(UNIVILLE) elias@rieg.com.br

Resumo:

A adaptação e aplicação dos princípios da Produção Enxuta tem se tornado, nas últimas décadas, um grande desafio para a construção civil, cujos novos parâmetros de produtividade, sustentabilidade e qualidade precisam ser inseridos. A evolução da produção enxuta (*Lean Manufacturing*) idealizada por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, da indústria automobilística, a partir da década de 1950, constitui-se de embasamento para elaboração dos princípios da construção enxuta, denominada *Lean Construction*, organizada por um grupo de pesquisadores e liderados por Lauri Koskela, em 1992. Na pesquisa foi analisado um conjunto de 63 publicações entre artigos e livros, com o objetivo de compreender quais ferramentas ou práticas da produção enxuta possam ser apropriadas na construção enxuta, a fim de eliminar ou diminuir um dos problemas críticos da construção civil: o desperdício de materiais. A industrialização, como uma solução tecnológica para a construção civil, em específico a partir da pré-fabricação de estruturas de concreto, potencializa o processo construtivo em relação ao processo convencional, diminuindo o desperdício e os impactos ambientais. As variáveis analisadas foram a sustentabilidade, o planejamento e a qualidade, atribuídas em função da convergência dos fatores da construção enxuta. Contudo, o emprego de ferramentas e práticas são limitadas, pois há falta de aprendizagem e conhecimento dos trabalhadores no canteiro de obras, comprometendo a eficiência e a eficácia de implantação da construção enxuta ou, em outros casos, inabilitando todo o processo.

Palavras-chave: Indústria da construção, Construção enxuta, Pré-fabricação, Gestão da construção.

Analysis of Lean Production Processes and Practices in Lean Construction Management: Proposal for Pre-Fabrication.

Abstract

The adaptation and application of the Lean Production principles has become, in the last decades, a great challenge for civil construction, whose new parameters of productivity, sustainability and quality need to be inserted. Lean Manufacturing (*Lean Construction*), developed by Eiji Toyoda and Taiichi Ohno, from the 1950s onwards, is the basis for Lean Construction, organized by a group of Researchers and led by Lauri Koskela in 1992. In the research we analyzed a set of 63 publications between articles and books, with the objective of understanding which tools or practices of lean production may be appropriate in lean construction, in order to eliminate or to reduce one of the critical problems of construction: the waste of materials. Industrialization, as a technological solution for civil construction, specifically from the prefabrication of concrete structures, boosting the constructive process in relation to the conventional process, reducing waste and environmental impacts. The analyzed variables were sustainability, planning and quality, attributed due to the convergence of lean construction factors. However, the use of tools and practices is limited because there is a lack of learning and knowledge of the workers at the construction site, jeopardizing the efficiency and effectiveness of lean construction or, in other cases, disabling the entire process.

The abstract must have a maximum of 250 words, in Times New Roman font, size 11, justified, simple intervals between lines. The abstract must express, in a coherent and clear way, the main points of the article. It must be preceded by at least 3, and a maximum of 5 key-words, divided by comas, as this model presents.

Key-words: Construction industry, Lean construction, Pre-fabrication, Construction management.

1. Introdução

Na primavera de 1950, o engenheiro japonês Eiji Toyoda deu início a uma visita de três meses à fábrica da Ford, em Rouge River, Detroit, nos Estados Unidos. Após ter estudado cuidadosamente o maior complexo fabril do mundo, percebeu que era possível melhorar o sistema de produção. De volta à cidade de Nagoya, no Japão, juntamente com Taiichi Ohno, concluíram que a produção em massa jamais funcionaria no Japão. Assim, deste início experimental nasceu o que a Toyota veio a chamar de Sistema Toyota de Produção (STP) e, posteriormente, *Lean Production* (WOMACK, JONES & ROOS, 1992).

Um grupo internacional de pesquisadores propuseram estudos para aplicação desse novo paradigma ao setor na construção civil, denominado Grupo Internacional da *Lean Construction* e proposto por Lauri Koskela em 1992 (Hirota e Formoso, 2003). Desse modo, a *Lean Construction*, é uma filosofia de produção para a construção civil, originária dos esforços desse grupo de pesquisadores para aplicar os conceitos, princípios e práticas de gestão da produção enxuta na construção civil (Bernardes, 2003).

Para Debs (2000); Janhunen (1996), a construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais. A razão disso está no fato de apresentar baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade. Uma das formas de buscar a redução desse atraso é com técnicas associadas à utilização de elementos pré-fabricados. O emprego dessas técnicas recebe a denominação de concreto pré-moldado ou de pré-moldagem e as estruturas formadas pelos elementos pré-moldados recebem a denominação de estruturas de concreto pré-moldado.

Tam et al., (2007); Cao et al., (2015), atestam que o emprego da pré-fabricação aumenta o grau de desenvolvimento tecnológico, pois proporciona maior oferta de equipamentos, valorização da mão de obra e exigências mais rigorosas em relação à qualidade dos produtos.

Em Polito (2015), a evolução construtiva das edificações e das atividades de engenharia civil nas próximas décadas será influenciada pelo desenvolvimento do processo de informação, pela comunicação global, pela industrialização e pela inovação.

Sob esta ótica, o trabalho tem o objetivo de identificar quais ferramentas ou práticas da produção enxuta possam ser empregadas no gerenciamento da construção enxuta a fim de atenuar um dos problemas mais críticos na construção civil: o desperdício de materiais.

A pesquisa foi embasada na leitura de referenciais bibliográficos os quais dão luz aos temas de produção enxuta e construção enxuta. A metodologia utilizada foi a pesquisa na literatura, sendo constituída pela consulta e análise de 63 publicações entre livros e artigos internacionais, considerando palavras-chave como *lean construction*, *lean manufacturing*, *prefabrication*, *precast*, com intuito de avaliar a convergência entre os autores sobre quais variáveis dos princípios *lean* poderiam ser empregados às especificidades do setor da construção civil.

A seção 1 contextualiza os ambientes da produção enxuta e da construção civil para compreensão do objetivo e do problema de pesquisa. A seção 2 apresenta o processo histórico e evolutivo do ambiente da produção industrial, por meio da produção enxuta, conhecido como *Lean Manufacturing* e da construção enxuta, *Lean Construction*, além de enunciar a construção civil pré-fabricada. A seção 3 esclarece a metodologia de pesquisa aplicada no artigo. A seção 4 destaca a elaboração de um quadro conceitual com os conceitos da produção enxuta e que foram propostas pelos autores como aplicáveis para a construção enxuta, as quais são definidas como variáveis de pesquisa. A seção 5 mostra os resultados para solução

do problema abordado pelo artigo e as propostas sugeridas. A seção 6 apresenta um texto conclusivo, na qual é feito uma argumentação das considerações finais para continuidade das pesquisas.

2. Referencial Teórico

2.1 A Produção Enxuta

No período pós nuclear da II Guerra Mundial, na década de 1950, em sua visita de três meses à fábrica da Ford, em Rouge, Detroit/Estados Unidos, Eiji Toyoda, escreve para sua empresa dizendo ser possível melhorar o sistema de produção (Womack et al., 1992). A este novo início experimental de pensar a produção, nasce no Japão, o Sistema de Produção Toyota e, finalmente, a Produção Enxuta (Tuholski et al., 2009; Tezel e Nielsen, 2013).

Womack et al. (1992) contrasta os três métodos de produção concebidos pelo homem. A produção artesanal se utiliza de trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples para produzir um item de cada vez e de acordo com o anseio do consumidor. A produção em massa utiliza máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa adicionando folgas como suprimentos, trabalhadores e espaço. A produção enxuta, em contraposição, evita os altos custos da produção artesanal e a rigidez da produção em massa, empregando equipes de trabalhadores multidisciplinares, maquinário flexível e automatizado para produzir grandes volumes de ampla variedade.

Womack e Jones (1998); Arslankaya e Atay (2015), relatam que executivo da Toyota, Taiichi Ohno, também um dos idealizadores do Sistema Toyota de Produção juntamente com Eiji Toyoda, deu início às atividades agrupando trabalhadores em equipes que eram responsáveis por um conjunto de etapas de montagem. Após o funcionamento das equipes, reservavam periodicamente um horário para que os grupos pudessem sugerir um conjunto de medidas a fim de melhorar o processo; essa prática de sugestões para aperfeiçoamento coletivo e gradual, veio a se denominar Círculo de Controle da Qualidade (CCQ), Kaizen, em japonês.

Ishikawa (1993); Paladini (2007) definem qualidade de forma mais ampla, qualidade significa qualidade de trabalho, qualidade de processo, qualidade de informação, qualidade de pessoal em todos os níveis organizacionais, ou seja, o enfoque é controlar a qualidade em todas as suas manifestações. O controle da qualidade é feito com o propósito de alcançar a qualidade adequada às exigências do consumidor, não apenas atendendo a padrões normativos nacionais e internacionais ou empresariais, mas com o objetivo de atender as exigências de qualidade dos consumidores.

Em Ishikawa (1993), Dr. Deming, dos Estados Unidos, realizou em 1950, um seminário de 8 dias para o Sindicato dos Cientistas Japoneses, onde fala de um ciclo de projeto que deve ser seguido por um outro ciclo que começa com a re-execução do projeto baseado na experiência obtida no ciclo anterior. Desta forma, a qualidade está continuamente sendo reprojeta e melhorada continuamente.

Schindler e Eppler (2003); Thomke e Fujimoto (2000); Reed et al., (2010), trazem a abordagem do melhoria continua, totalmente consistente e atualizado conforme os parâmetros de busca de conhecimento e aprendizagem, reuso de informações de projetos, identificação e solução de problemas, em projetos e processos de manufatura de produtos que já foram executados, mas que podem ser previamente identificados, diminuindo custos ao minimizar consumo de materiais em retrabalhos, serviços e tempo máquina, estimulado e considerando como ação estratégica para criação de vantagem competitiva nas organizações.

Neste contexto, a palavra japonesa *muda* definida por Womack e Jones (1998), significa desperdício e, em específico, refere-se a qualquer atividade humana que absorve recursos mas não cria valor, como por exemplo: movimentação de funcionários e transporte de mercadorias de um lugar para outro, equipes de trabalho posteriores ociosas em função da equipe anterior, produtos e serviços que não atendem às expectativas dos clientes, acúmulo de mercadorias nos estoques, fases ou etapas de processos não necessárias, erros que exigem retrabalho. Por outro lado, como logística reversa, o combate ao desperdício é denominado pensamento enxuto, *lean thinking*, para língua inglesa.

Em tal perspectiva, Tezel e Nielsen (2013); Buyukozkan et al., (2015); Urban (2015), afirmam que o pensamento enxuto representa uma forma metodológica de especificar valor, alinhando a sequência das ações que criam valores, realizando-as sem interrupção e de forma cada vez mais eficaz, ou seja, é uma forma de fazer mais com cada vez menos, menos esforço humano, menos equipamento, menos espaço e tempo, aproximando-se cada vez mais em oferecer aos clientes o que eles desejam.

Tezel e Nielsen (2013); Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009); Polito (2015) relatam que, outro conceito importante na direção do pensamento enxuto é analisar o fluxo das etapas que criam valor, pois combatendo o pensamento departamentalizado, dividido em lotes, as tarefas podem ser realizadas de forma mais eficiente e eficaz quando se trabalha continuamente no produto da matéria-prima à mercadoria acabada, ou seja, o processo funciona melhor quando é focalizado o produto e suas necessidades, e não a organização ou o equipamento, de modo que todas as etapas de produção ocorram em um fluxo contínuo.

Neste contexto, Womack e Jones (1998) concluíram que o verdadeiro desafio é criar o fluxo contínuo na produção de pequenos lotes em dezenas ou centenas de cópias de um insumo, e não milhões. O primeiro efeito visível da conversão de departamentos e lotes em equipes de produção e fluxo é que o período da concepção à entrega do produto cai drasticamente, pois quando se introduz o fluxo na cadeia de valor, outro princípio do pensamento enxuto pode ser inserido: a produção puxada.

Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) descrevem que a produção puxada é um método de gerenciamento da produção onde o cliente puxa o produto, projetando, programando e fabricando o fluxo conforme a demanda referente às necessidades dos clientes, utilizando-se assim estoques mínimos; enquanto que na produção empurrada, o controle da produção é realizado com altos volumes de trabalho em progresso, com grandes tamanhos dos lotes e longos *lead time*.

2.2. A Construção Enxuta

Koskela et al. (2014) afirmam que desde a década de 1990 a construção enxuta tem surgido como um novo conceito no gerenciamento e na prática da construção civil. Os princípios da construção enxuta visam maximizar o uso de materiais e mão de obra, evitando o desperdício e as atividades que não agregam valor ao trabalho. Tezel e Nielsen (2013); Polito (2015); Bernardes (2013), classificam os princípios fundamentais da construção enxuta em: eliminação do desperdício, redução do tempo de ciclo, redução da variabilidade, controle da produção puxada, fluxo contínuo e melhoramento contínuo.

Li et al., (2016); Henriques e Silva (2010); Hosseini, Nikakhtar e Ghoddousi (2012), atestam que desde a proposta de Koskela na concepção da produção enxuta em construção, a construção enxuta tem experimentado um longo período de desenvolvimento. Teoricamente, o principal pensamento da metodologia da construção enxuta pode ser explicado pelo modelo

Transformação, Fluxo e Valor (TFV), determinando os seguintes conceitos para a produção na construção: gerenciamento da cadeia de Transformação da matéria-prima (*raw materials*) em produção (*output*) para controlar o consumo e o desperdício de materiais, Fluxo de materiais e informações para reduzir atividades que não agregam valor ao processo e geração de Valor, que enfatiza o aumento do valor do projeto quando se atinge os requisitos do cliente.

Polito (2015) estima que cerca de 70% do tempo gasto pelos trabalhadores da construção civil não agrega valor em atividades de transporte, estoque e retrabalho. Para assegurar o fluxo contínuo de produção, Dave et al., (2015); Zhang e Chen (2016); Kurek et al., (2006), apresentam o método de planejamento da construção denominado *Last Planner System (LPS)*, baseado em um planejamento de coordenação do fluxo produtivo com o objetivo de controlar as atividades no canteiro de obras e facilitar a comunicação entre todos os envolvidos nas diversas etapas da obra. Bernardes (2003) descreve o gerenciamento *Last Planner System* em três níveis de organização: o planejamento de curto prazo, tratado como operacional; o planejamento de médio prazo, tratado como tático e o planejamento de longo prazo, tratado como estratégico.

Dave et al., (2015); Hamdar et al., (2015), atestam que o fluxo de informações no canteiro de obras é uma questão complexa e depende de uma variedade de fatores. O fluxo de informação regular é essencial para assegurar um eficiente controle e gerenciamento da produção. O sistema de gerenciamento da construção enxuta deve levar em conta a natureza dinâmica dos projetos de construção e deve ter o objetivo de melhorar o fluxo de informações durante a construção do ciclo de vida do projeto. Alguns sistemas computacionais já foram desenvolvidos como *Enterprise Resource Planning (ERP)*, *VisiLean*, *BuildingInformationModeling (BIM)*, como forma de viabilizar as atividades dos trabalhadores no canteiro de obras e como suporte de informações referente ao fluxo de trabalho ao *LastPlanner System*, fornecendo recursos específicos de planejamento e controle da produção.

Forbes e Ahmed (2010) alegam que a implementação do conceito *lean* no setor da construção civil tem provado ser um desafio devido a singularidade de cada projeto e que na construção o proprietário define o produto final e o mesmo projeto é raramente recorrente.

Perumal, Sulaiman e Leong (2013); Hannus, Kazi e Zarli (2010), definem a indústria da construção como uma indústria baseada no projeto, na qual a informação geralmente reside em sistemas diferentes que não são sempre os avaliados pelo trabalhadores do canteiro ou até mesmo perceptível por um ou outro, o que se torna um grande obstáculo para alcançar a eficiência.

Caldas et al., (2005), menciona que em um desenvolvimento dinâmico e fragmentado, a integração e troca de informações entre vários sistemas e fontes informacionais é crucial para o gerenciamento eficiente da informação.

Navon e Sack (2007), destacam que a construção enxuta engloba o ciclo de vida completo dos projetos da construção, abrangendo as definições do projeto, a cadeia de suprimentos e também dever ser analisado a fabricação, logística e implantação da obra no canteiro, formando assim uma visão coerente do fluxo de informações do projeto, integrando e interpretando o monitoramento de dados reunidos de várias fontes.

2.3. A Construção Civil Pré-fabricada

Chastre e Lucio (2012); Ordonéz (1974), afirmam que a industrialização da construção civil está associada às questões sociais e mercadológicas, ao longo da história da humanidade. Alguns aspectos de industrialização como coordenação modular, engenharia de materiais e racionalização já estavam presentes na complexidade das obras da Grécia Antiga ou da Arquitetura Gótica. O surgimento de sistemas construtivos que possibilitassem elevada produtividade começou no pós Segunda Guerra Mundial, em 1942, na Europa, em função da alta demanda por infraestrutura e habitação. Nesse contexto, a pré-fabricação em concreto se tornou o meio mais difundido para a industrialização da construção Civil.

Serra, Ferreira e Pigozzo (2005); Vasconcelos (2002), enfatizam que o primeiro marco da pré-fabricação de concreto, no Brasil, refere-se à obra do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, em 1926. No fim da década de 50, na cidade de São Paulo, a Construtora Mauá, executou os primeiros galpões pré-moldados no canteiro de obras.

A grande aplicabilidade da pré-fabricação em concreto de obras industriais, comerciais, habitacionais e de infraestrutura, agregam nas fases de concepção e produção, conceitos de racionalização, sustentabilidade e controle de qualidade. A construção industrializada de concreto, mais especificamente, o setor da pré-fabricação de estruturas, tem elevado a qualidade e a produtividade em obras de construção civil, nos mais diversos contextos como infraestrutura e superestrutura (CHASTRE e LUCIO, 2012).

Em Schokker (2010), o concreto pré-moldado é produzido com muito pouco desperdício, pois o uso repetitivo de padrões e modelos geram um concreto uniforme com precisão e controle de qualidade. O concreto pré-moldado tem uma perda de aproximadamente 2%, pois o desperdício produzido pode ser reusado para manufatura de outros produtos ou pode ser regenerado lavando ou separando os agregados para uso em outros lotes de operação.

Li, Shen e Alshawi (2014), constataam que a pré-fabricação tem sido amplamente considerada como um método de construção sustentável em termos de impacto de proteção ambiental. Um importante aspecto nesta perspectiva é a influência da pré-fabricação na redução do desperdício da construção e as consequentes atividades de tratamento de resíduos, incluindo triagem de resíduos, reuso, reciclagem e disposição. A redução do desperdício é o processo que evita, elimina ou minimiza os resíduos na sua fonte, permitindo o reuso ou a reciclagem para fins benignos. Em seus estudos, cerca de 40% do lixo sólido urbano é resíduo da construção civil e que obras pré-fabricadas têm sido executadas com geração de 1% de desperdício comparadas com edificações convencionais.

Li, Shen e Xue (2014), classificam a construção pré-fabricada como um método de construção sustentável e cada vez mais adotada em todo o mundo para aumentar a produtividade e para aliviar os efeitos ambientais e sociais das atividades da construção convencional. Analisam também que, o reconhecimento da importância da tecnologia da pré-fabricação para melhoria da produtividade e conservação ambiental, tem gerado vários estudos; contudo, conteúdos relativos ao assunto na literatura existente parecem insuficientes, impedindo os pesquisadores de abstrair uma visão geral da evolução das pesquisas em campo, propondo uma disciplina específica de Gerenciamento da Construção Pré-fabricada (GCP).

Cao et al., (2015), alegam existir uma necessidade urgente em avaliar a performance ambiental da tecnologia da pré-fabricação para identificar que ela é um método efetivo de desenvolvimento sustentável. Em estudos comparativos com uma edificação residencial, foi analisado o processo construtivo pré-fabricado e o processo tradicional de construção,

obtendo os seguintes resultados: a amostra da construção residencial pré-fabricada foi mais eficiente em energia consumindo 20,49% menos energia que o processo convencional; redução de 35,82% no esgotamento de recursos; redução de 6,61% de prejuízos à saúde e redução de 3,47% de prejuízos em ecossistemas.

Tam et al., (2007), consideram o desperdício da construção como um dos principais fatores de impacto ambiental. Com o aumento da demanda de maior implementação de obras de infraestrutura, prédios comerciais e programas de desenvolvimento residencial, grande quantidade de entulho está sendo produzido e que falta aplicação por parte dos governantes. A indústria da construção gera uma quantidade diária que alcança 40% do total de entulho em aterros sanitários. Para um desenvolvimento sustentável e manutenção da capacidade dos aterros, existe uma necessidade urgente para a indústria adotar novas tecnologias ou métodos de construção, na qual pode reduzir efetivamente o desperdício. Por este motivo, a pré-fabricação está sendo largamente usada em países da Europa, Japão e Singapura, proporcionando uma melhor solução para os problemas de geração de desperdício nos canteiros de obra.

3. Procedimentos Metodológicos.

Os procedimentos metodológicos para realização da pesquisa estão estruturados em três etapas. Na primeira etapa, a partir da abordagem qualitativa e do método bibliográfico, são estudados as práticas e ferramentas da produção enxuta, para determinação de quais princípios podem ser apropriados na construção civil. Na segunda etapa, os princípios *lean* mais citados pelos autores são determinados e definidos como variáveis da pesquisa, pois convergem como factíveis e exequíveis para a construção civil. Ainda também, nesta etapa, são analisados os autores que evidenciam as principais vantagens da construção civil industrializada por meio da pré-fabricação. Na etapa complementar, é concluído e proposto a metodologia da indústria pré-fabricada como forma de mitigação do problema de pesquisa, visto as vantagens da modalidade via pré-fabricação estarem alinhadas com os conceitos da construção enxuta.

4. Análise dos Resultados

A leitura e interpretação dos referenciais teóricos possibilitam analisar a indústria da construção civil como uma atividade que vem sendo criticada pelo excessivo desperdício de materiais e por processos ineficientes em relação aos princípios da produção enxuta, onde o sistema produtivo opera sem estoques e o desenvolvimento do produto é integrado com a cadeia de suprimentos e serviços.

A construção enxuta, por meio das práticas e técnicas incorporadas da produção enxuta, representam um novo pensar e interagir com os atuais processos metodológicos construtivos de gerenciamento e de execução. Considerando as deficiências incorporadas no processo tradicional e as possibilidades de integração em uma nova filosofia de trabalho, o artigo analisou um conjunto de publicações por meio de livros e artigos científicos, os quais convergiram em variáveis cujos autores alinharam ferramentas e práticas para aplicação na construção civil.

A tabela 1 relaciona as principais ferramentas da produção enxuta apropriadas para a construção enxuta, orientando soluções para o problema da pesquisa e definindo as variáveis de maior impacto gerencial, como sendo a sustentabilidade, o planejamento e a qualidade.

Construção Enxuta Práticas e Ferramentas	Benefícios	Autores
Transformação Fluxo Valor (TFV)	Controle da produção Agregar valor. Fluxo contínuo de trabalho. Qualidade.	[6], [14], [16], [18], [20], [21], [31], [34], [35], [37].
Last Planner System (LPS)	Planejamento da Produção. Diminuir desperdício. Visualizar o cronograma físico.	[2], [6], [9], [14], [16], [21], [34].
Produção Puxada	Menor Estoque. Atender necessidades do cliente.	[6], [17], [18], [31], [44].
Aprendizagem e Informação Kaizen JIT	Multifuncionalidade. Melhora a utilização dos processos. Melhoria do processo construtivo. Eliminar estoques no canteiro. Entrega de materiais no tempo certo.	[9], [16], [31]. [24], [25]. [18], [44].
Kanban	Controle de Fluxo e Material.	[9].

Tabela 1: Ferramentas e práticas da Construção Enxuta

A tabela 2 mostra as variáveis da construção civil pré-fabricada de maior ênfase entre os autores consultados.

Vantagens.	Autores.
Construção sustentável	[3], [4], [5], [8], [38]
Aumenta a produtividade	[4], [5]
Aumenta a qualidade	[5], [38]
Aumenta a produtividade	[4], [5]
Conhecimento Prévio	[2]
Multifuncionalidade	[33]

Tabela 2 - Variáveis da construção pré-fabricada

5. Resultados e Discussões

A interpretação da tabela 1 referente às práticas mais citadas e significativas entre os autores, alinham a variável de sustentabilidade por meio da teoria do modelo de Transformação, Fluxo e Valor, que corresponde a filosofia da construção enxuta, para que operações de Transformação de matéria-prima (*raw materials*) em produto (*outputs*) sejam dimensionadas a fim de diminuir o consumo de materiais, redução do Fluxo de materiais e serviços que não agregam valor às atividades e Valor, que é gerado pela qualidade ao projeto, ao atender a necessidades do cliente.

A variável de planejamento está contemplada no *Last Planner System*, que é baseado no sistema de gerenciamento das atividades de engenharia da construção enxuta, enfatizando a produção puxada ao contrário da produção empurrada do método convencional.

A variável qualidade está alinhada com os conceitos tradicionais da produção enxuta, como produção puxada, *Kaizen* e *Just in Time (JIT)*; outro fator que aparece nas citações é a aprendizagem e a informação, pois a construção enxuta compreende uma filosofia de trabalho que busca a geração de valor e a melhoria contínua dos processos, ou seja, uma mudança cultural e não apenas uma adequação por melhores práticas e técnicas.

Como proposta à problematização da pesquisa, é possível implantar a metodologia construtiva por meio da pré-fabricação que, conforme a tabela 2, tem grande apelo pela sustentabilidade. Contudo, conforme citado por alguns autores, o setor da pré-fabricação ainda demanda de mais pesquisas e estudos, em vista de poucas publicações relacionadas ao setor. Também deve-se compreender que, nem todas as obras podem adotar a concepção da metodologia construtiva da pré-fabricação, principalmente em edificações residenciais, pois a singularidade de cada projeto, limite a construção industrial e seriada.

O framework da figura 1 faz referência as três variáveis que mais convergiram no estudo das ferramentas da produção enxuta e que podem ser aplicadas às especificidades da construção civil.

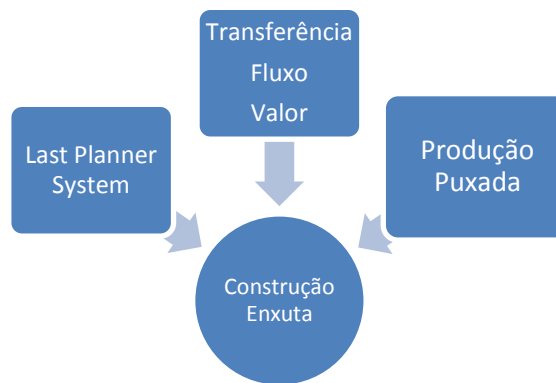


Figura 1: Framework das ferramentas e práticas da construção enxuta

6. Conclusão

A metodologia da produção enxuta que décadas atrás revolucionou os sistemas produtivos mundiais por meio do Sistema Toyota de Produção, hoje está instaurado na construção civil. Os parâmetros ferramentais da produção enxuta migraram para a indústria da construção, constituindo o que denominamos de construção enxuta. Neste novo olhar para a construção civil, existem processos de gerenciamento mais avançado em alguns países da Europa e Japão, contudo, em outras regiões, ainda incipiente. A construção civil urge em adotar novos processos gerenciais para conter o desperdício de materiais, hoje desproporcional e defasado com os conceitos de sustentabilidade inseridos no contexto mundial.

Juntamente com os métodos processuais da produção enxuta, outra atividade se fez paralelo ao emprego físico de práticas e técnicas: o pensamento enxuto (*lean thinking*). O pensamento enxuto representa o princípio inverso de um dos problemas mais críticos da construção civil, que é o desperdício. A cultura enxuta precisa estar inserida em todos os níveis organizacionais da cadeia produtiva da construção civil em superação à cultura convencional, que ainda prevalece. Conclui-se que o fomento ao conhecimento e a aprendizagem técnica são indispensáveis à incorporação da construção enxuta, implementada de forma fragmentada e limitada ao emprego de algumas ferramentas ainda de inadequado conhecimento teórico.

Outra dificuldade para inserção de ferramentas e técnicas da produção enxuta na construção enxuta, trata da linha de produção; enquanto o processo é repetitivo, controlado e industrializado, como por exemplo, da indústria automobilística, na construção civil o canteiro de obras é aberto e sujeito aos intemperismos, a singularidade de cada projeto torna o processo exclusivo e único, com um conjunto muito grande da cadeia de suprimentos para consolidar o processo gerencial integrado. Desafios pontuais à parte, a construção enxuta deve vislumbrar a conquista do novo paradigma da produção em toda sua concepção.

Referências

- AGARWAL, Renu; GREEN, Roy; BROWN, Paul J.; TAN, Hao; RANDHAWA, Krithiaka.** Determinants of quality management practices: An empirical study of New Zealand manufacturing firms. 2013. (36)
- AL-SUDAIRI, Abdulsalam.** Evaluating the Effect of construction process characteristics to the applicability of lean principles. 2007. (37)
- ANRÉS-LÓPEZ, E.; GONZÁLEZ-REQUENA, I.; SANZ-LOBERA, A.** Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing of Service. 2015. (26)
- ARSLANKAYA, Seher; ATAY, Hatice.** Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products. 2015. (25)
- AZADEH, Ali; YAZDANPARAST, Reza; ZADEH, Saeed Abdolhossein; ZEDAH, AfshinEsmail.** Performance Optimization of Integrated Resilience Engineering and Lean Production principles. 2017. (12)
- BERNARDES, M. M e S.** Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil. Rio de Janeiro: LTC-Livros técnicos e Científicos Editora S.A. 2003. (41)
- BÜYÜKÖZKAN, Gülçin; KAYAKUTLU, Gülgün; KARAKADILAR, Ibrahim S.** Assessment of lean manufacturing effect on business performance using Bayesian Belief Networks. 2015. (27)
- C.H. Caldas, L. Soibelman, L. Gasser,** Methodology for the integration of project documents in model-based information systems, J. Comput. Civ. Eng. 19 (1) (2005) 25-33. (54)
- CAO, Xinyng; LI, Xiaodong ; ZHU, Yimin; ZHANG, Zhihui.** A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. 2015. (5)
- CHASTRE, C; LÚCIO, V.** Estruturas Pré-Moldadas no Mundo. Guarulhos: Editora Parma. 2012. (42)
- CHEN, Jieh-Haur; YANG, Li-Ren; TAI, Hsing-Wei.** Process reengineering and improvement for building precast production. 2016. (10)
- CIARNIENE, Ramunė; VIENAZINDIENE, Milita.** An Empirical Study of Lean Concept Manifestation. 2015. (30)
- DAVE, Bhargav; KUBLER, Sylvain; FRÄMLING, Kary; KOSKELA, Lauri.** Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things Standards. 2015. (6)
- EL DEBS, M. K.** Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações. São Carlos: Oficina de Textos. 2017. (43)
- EPSTEIN, Dagmar B.** Creating Value for LEED Projects with LEAN. 2013. (32)
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J. A. (ed.).** (1974). Prefabricación: teoría y práctica. Barcelona, Editores Técnicos Asociados. 2v. (50)
- FILHO, A. N. B.** Projeto e Desenvolvimento de Produtos. 1ª edição. São Paulo: Atlas. 2009. (61)
- Forbes, Lincoln H., and Syed M. Ahmed.** Modern Construction: lean project delivery and integrated practices. CRC Press, 2010. (57)
- FREITAS, Jéssica Galdino de; COSTA, Helder Gomes; FERRAZ, Fernando Toledo.** Impacts of Lean Six Sigma over organizational Sustainability: A survey study. 2017. (7)
- HAAS, A. M. (1983).** Precast concrete: design and applications. London, Applied Science. (51)

- HAMDAR, Yara; KASSEM, Hussein; SROUR, Issam; CHEHAB, Ghassan.** Performace-Based Specifications for Sustainable Pavements: A Lean Engineering Analysis. 2015. (29)
- HENRIQUES, Pedro G; SILVA, Patrícia de F.** Implementation of lean construction principles in Portugal. 2010. (16)
- HIROTA, E. H.; FORMOSO, C. T.** O processo de Aprendizagem na Transferência dos Conceitos e Princípios da Produção Enxuta para a Construção. 2003. (15)
- HOSSEINI, S. A. Abbasian; NIKAKHTAR, A.; GHODDOUSI, P.** Flow Production of Construction Processes through Implementing Lean Construction Principles and Simulation. 2012. 18)
- HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn.** Implementing Lean Construction: Understanding and Action. 1998. (17)
- ISHIKAWA, K.** Constrole de Qualidade Total à Maneira Japonesa. 3º edição. Rio de Janeiro: Campus. 1993. (48)
- JAMIL, Ahmad HuzaimiAbd; FATHI, Mohamad Syazli.** The Integration of Lean Construction and Sustainable Cosntruction: A Stakeholder Perspective in Analyzing Sustainable Lean Construction Strategies in Malaysia. 2016. (11)
- JANHUNEN, P.** (1996). Finnish precast concrete technology. Betoni, n.3, p.18-23. (49)
- KONCZAK, Aneta; PASLAWSKI, Jerzey.** Decision support in production planning of precast concrete slabs based on simulation and learning from examples. 2015. (2)
- KOSKELA, Lauri; HOWELL, Greg; BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris.** The Foundations Of Lean Construction. 2014. (19)
- KUREK, J. et al.** Aplicação dos princípios lean ao setor de edificações: Construção enxuta – uma abordagem prática. Passo Fundo: Editora UPF. 2006. (44)
- LI, Shuquan; WU, Xiuyu; ZHOU, Yuan; LIU, Xin.** A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. 2017. (21)
- LI, Zhengdao; SHEN, Geoffrey Qiping; ALSHAWI, Mustafa.** Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: An empirical study in China. 2014. (3)
- LI, Zhengdao; SHEN, Geoffrey Qiping; XUE, Xiaolong.** Critical review of the research on the management of prefabricated construction. 2014. (4)
- LORENZON, Itamar Aparecido.** A medição de desempenho na construção enxuta: estudos de caso. 2008. (40)
- M. Hannus, A. S. Kazi, A. Zarli, Ict** Supported energy efficiency in construction strategic research roadmap and implementation recommendations, Tech. rep., REEB report, 2010. (56)
- MRUGALSKA, Beata; WYRWICKA, Magdalena k.** Towards Lean Production in Industry 4.0. 2017. (1)
- NAVON, R., and SACKS, R.** (2007). “Assessing research issues in automated project performance control (APPC)”. Autom. Constr., 16(4), 474-484. (53)
- OGUNBIYI, Oyedolapo; OLADAPO, Adebayo; GOULDING, Jack.** An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. 2014. (34)
- PALADINI, E. P.** Gestão da Qualidade: Teoria e Prática. 2º edição. São Paulo: Atlas. 2007. (60)
- PAVÃO, Yeda Maria Pereira; SHENEM, Simone; HOFFMANN, Valmir Emil.** Análise dos recursos organizacionais que sustentam a vantagem competitiva. 2011. (22)
- PHENG, Low Sui; GAO, Shang; LIN, Jun Liang.** Converging early contractor involvement (ECI) and lean construction practices for productivity enhancement. 2015. (23)
- POLITO, G.** Gerenciamento de Obras: Boas práticas para a melhoria da qualidade e da produtividade. 1º edição. São Paulo: Pini. 2015. (62)

ROCHA, F. E. M. da. et al. Logística e Lógica na Construção Lean: Um processo de gestão na construção de edifícios. Fortaleza: Fibra Construções Ltda. 2004. (45)

ROSENBLUM, Anna; AZEVEDO, Vanessa da Silva de; JUNIOR, Cyro Alves Borges; TAVARES, Maria Elizabeth da Nóbrega. Avaliação da Mentalidade Enxuta (*leanThinking*) na construção civil – Uma visão estratégica de implantação.(14)

ROSSO, T. Racionalização da Construção. São Paulo: FAAUSP, 1980. (52)

ROTONDARO, R. G.; MIGUEL, P. A. C.; GOMES, L. A. de V. Projeto do Produto e do Processo. São Paulo: Atlas. 2010. (59)

SACKS, R.; ESQUENAZI, A.; GODIN, M. LEAPCON: Simulation of Lean Construction of High-Rise Apartment Buildings. 2007. (33)

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of Work to Support Lean Construction. 2009. (31)

SCHOKKER, Andrea J. The Sustainable Concrete Guide *Applications*. 2010. (38)

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos Pré-fabricados de Concreto. 2005. (39)

SOHLER, F. A. S.; SANTOS, S. B. dos. Gerenciamento de Obras, qualidade e desempenho da construção. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2017. (63)

T. Perumal, M. N. Sulaiman, C. Y. Leong, Eca-based interoperability framework for intelligent building, Autom. Constr. 31 (2013) 274-280. (55)

TAM, Vivian W. Y.; TAM, C. M.; ZENG, S. X.; NG, William C. Y. Towards Adoption of prefabrication in construction. 2007. (8)

TEIXEIRA, Marcelo da Costa; KEMMER, Sérgio Luiz; SILVA, Maria de Fátima Souza e; HEINECK, Luiz Fernando Mahlmann. Melhorias gerenciais e tecnológicas: princípios da construção enxuta contemplados. 2004. (13)

TEZEL, Algan; D, Ph; NIELSEN, Yasemin. Lean Construction Conformance among Construction Contractors In Turkey. 2013. (24)

TOMMELEIN, Iris D.; ASCE, A. M. Journey toward Lean Construction: Pursuing a Paradigm Shift in the AEC Industry. 2015. (20)

TUHOLSKI, Stan J.; D, Ph; E, S; GURSEL, A. Petek; TOMMELEIN, Iris D; ASCE, A.M.; BOMBA, Geoff; ENG, C. “Lean” Comparison Using Process Charts of Complex Seismic Retrofit Projects. 2009. (35)

URBAN, Wieslaw. The Lean Management Maturity Self-Assessment Tool Based on Organizational Culture Diagnosis. 2015. (28)

WOMACK, J.P.; JONES, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza. 5ª edição. Rio de Janeiro: Campus. 1998. (47)

WOMACK, J.P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A Máquina que mudou o Mundo. 4ª reedição. Rio de Janeiro: Campus. 1992. (46)

ZHANG, Lianying; CHEN, Xi. Role of lean tools in supporting knowledge creation and performance in lean construction. 2016. (9)