MELHORIAS DOS PROCESSOS PRODUTIVOS EM SISTEMAS PPAC E TILT-UP A PARTIR DO MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR

BUSNELLO, Emerson Cremm (1); KANAI, Julia (2); GOMES, Karolina Miranda (3); RUIZ, Eliandra Mara (4); FONTANINI, Patrícia Stella Pucharelli (5)

(1) Pós-graduação, Universidade Estadual de Campinas, emerson@qualitec.eng.br; (2) Mestranda, Universidade Estadual de Campinas, julia_kanai@hotmail.com; (3) Pós-graduação, Universidade Estadual de Campinas, engenharia.karolina@gmail.com; (4) Pós-graduação, Universidade Estadual de Campinas, eliandr9@gmail.com; (5) LABTEC, Universidade Estadual de Campinas, pspucha@gmail.com

Resumo: *A construção industrializada permite que a produção de edificações seja realizada de maneira mais rápida e com melhor qualidade. Seguida da industrialização, vem a necessidade da racionalização da produção, com o objetivo de utilizar de maneira mais eficiente os materiais e a mão de obra. A utilização de tecnologias construtivas inovadoras, como os sistemas de fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) e o* Tilt-up*. Os painéis, bem como as paredes moldadas* in loco*, têm geralmente forma plana, são fabricados em forma de unidades com dimensões padronizadas e possuem estabilidade ao conjunto das vedações verticais externas. Porém, a variabilidade na produção e a falta de nivelamento balanceado entre os processos são fatores que provocam interrupções no fluxo da produção, aumentando as atividades que não agregam valor, tais como: transportes desnecessários, esperas e estoques. A nova NBR 16475:2017 sobre Painéis de parede de concreto pré-moldado apresenta os requisitos e procedimentos para facilitar a execução de projeto, produção e montagem. O objetivo deste trabalho é apresentar um Mapa do Fluxo de Valor (MFV) de um processo PPAC, para identificar possíveis desperdícios e propor soluções para eliminá-los a partir de um projeto de sistema de produção, também é proposto um MFV do estado futuro, no qual sugere o uso de ferramentas* lean*. A metodologia da pesquisa será respaldada na apresentação no MFV; identificação dos processos; aplicabilidade das ferramentas* lean*. Conclui-se com as oportunidades de melhoria identificadas nos sistemas observados.*

Palavras-chave: *painéis pré-fabricados de concreto, paredes moldadas* in loco*, Mapa do Fluxo de Valor, fluxo contínuo,* kanban*,* lean thinking*.*

Área do Conhecimento: *Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos – Processo de Produção.*

1 INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que as primeiras construções de pré-fabricados surgiram na Europa, no período da 2º Guerra Mundial a partir de 1950, com a necessidade de se construir em larga escala ocasionada por demolições na guerra. Eles foram construídos por sistemas fechados. Segundo Ferreira (2003), no período pós-guerra os sistemas pré-fabricados de ciclo fechado representaram uma tecnologia dominante, buscando uma produção em série com alto índice de repetição dos elementos pré-moldados. Porém, entre o período de 1970 a 1980, ocorreram acidentes em edifícios com grandes painéis pré-fabricados, e por este motivo, houve um retrocesso a este sistema construtivo. Após 1980, foi consolidada a pré-fabricação de ciclo aberto, que possui a finalidade de realizar uma produção de peças padronizadas e que sejam compatíveis com diferentes elementos do projeto (PIGOZZO; SERRA; FERREIRA, 2005).

A partir do desenvolvimento tecnológico de pré-fabricados na Europa na década de 60, os Estados Unidos fundaram uma associação *Precast Concrete Association* (PCI), que desenvolve até hoje pesquisas e informações técnicas à construção pré-fabricada, em especial à painéis pré-fabricados.

Apesar da falta de necessidade de construir edificações em larga escala no Brasil, como o que aconteceu na Europa, os empresários, interessados no avanço da industrialização, buscavam redução de custos e velocidade na construção dos seus empreendimentos, utilizando processos construtivos de pré-fabricados. Na década de

90, a cidade de São Paulo teve um grande avanço da economia relacionada a serviços, como hotelaria e shoppings centers. E por este fato, investidores buscaram obras com velocidade de vendas e execução, para um retorno mais rápido de lucro. Acrescendo ainda que este tipo de empreendimento requer um acabamento em suas fachadas mais sofisticado, houve um interesse em utilizar tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos. Estes painéis incorporam revestimentos, detalhes construtivos, melhorando a estética do produto (OLIVEIRA; SABBATINI, 2003).

2 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo deste trabalho é apresentar um Mapa do Fluxo de Valor (MFV) de um processo PPAC, para identificar possíveis desperdícios e propor soluções para eliminá-los a partir de um projeto de sistema de produção, também é proposto um MFV do estado futuro, no qual sugere o uso de ferramentas *lean*.

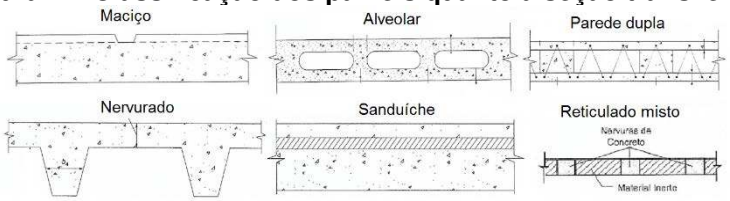
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Norma NBR 16475:2017

Os painéis de parede de concreto pré-moldado passaram por processo recente de padronização através da Norma NBR 16475 – Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos (ABNT, 2017). Esta Norma estabelece os requisitos e procedimentos a serem atendidos no projeto, na produção e na montagem de painéis de parede pré-moldados, sendo importante ressaltar que não se aplica à esta Norma os painéis de parede pré-moldados estruturais com dimensão horizontal maior que 12 metros ou espessura maior que 25 centímetros, painéis de parede sem armaduras, painéis de paredes curvos, painéis de parede submetidos a carregamento predominantemente horizontal, como muros de arrimo ou reservatórios e painéis de parede como elementos de fundação.

Os painéis de parede pré-moldados são classificados quanto à forma da sua seção transversal, sua utilização (uso), sua função de acabamento e sua função estrutural. Quanto à forma na seção transversal, os painéis de parede são classificados em maciços, alveolares, reticulados misto, sanduíche, nervurados e de parede dupla (Figura 1). Quanto ao uso, os painéis de parede são classificados em função do uso da edificação, sendo residencial, comercial e industrial. Quanto ao acabamento, os painéis podem ser classificados em bruto ou arquitetônico. Quanto ao comportamento estrutural, os painéis podem ser estruturais ou não estruturais.

Figura 1 – Classificação dos painéis quanto à seção transversal



Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017)

Segundo a Norma NBR 16475 (ABNT, 2017), a produção dos painéis de parede pré-moldados deve atender a Norma NBR 9062 (ABNT, 2017) e as seguintes etapas: planejamento da produção, formas, concretagem e cura, aplicação do composto arquitetônico, manuseio, armazenamento, transporte, montagem, controle de execução e inspeção. Através da elaboração diária de programa da produção com locais para as estocagens e planos para as pilhas de estocagem, o processo produtivo dos painéis deve ser contemplado nos documentos do projeto estrutural. As fôrmas podem ser de aço, alumínio, concreto ou madeira, revestidas ou não de chapas metálicas, fibra, plásticos ou outros materiais, bem como formas para moldagem na vertical (formas em bateria) ou na horizontal (formas em linha para elementos retangulares) dependendo da tecnologia disponível. A inspeção das fôrmas deve ser realizada em todas as concretagens para peças não seriadas e inspeção por amostragem para peças produzidas em série.

A concretagem e a cura devem atender as Normas NBR 12655 (ABNT, 2015) e NBR 14931 (ABNT, 2004), ter cuidado antes da concretagem para garantia do correto posicionamento dos insertos e demais elementos de ligações e atender as especificações de tolerâncias. A aplicação de compostos arquitetônicos deve seguir

especificações técnicas dos fabricantes e no caso de concreto, somente admite-se a aplicação sem formação de junta fria. O manuseio, o armazenamento e o transporte devem ser realizadas atendendo às especificações de projeto e procedimentos do fabricante e às prescrições da NBR 9062 (ABNT, 2017). Após a cura, os painéis de parede devem ser transportados conforme planejamento de projeto. No planejamento de montagem, deve-se prever, quando necessário, ligações ou contraventamentos temporários, especificações de idade e resistência característica do concreto para a desforma, a fim de garantir a segurança da estrutura à estabilidade global e ao colapso progressivo durante as situações transitórias de montagem.

3.2 Painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC)

Os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) possuem fôrmas especiais ou padronizadas, com revestimento em suas faces externas e variadas cores. Podem ter função estrutural, vedação ou somente de recobrimento (PCI, 2007 apud OLIVEIRA, 2002). As fachadas pré-fabricadas em PPAC buscam, sobretudo, a velocidade de execução, o aumento da produtividade da mão-de-obra, a redução de etapas de produção em canteiro de obra, a eliminação de entulhos e a garantia de qualidade do produto. São compostas por três componentes: painel, dispositivo de fixação e as juntas, sendo o painel constituído, geralmente, de uma camada de concreto armado, uma camada de revestimento, e também uma camada de isolante termo acústico. Além disto, os painéis devem apresentar segurança estrutural, resistência ao fogo, ao impacto, às deformações, forças devido às construções, ação sísmica e durabilidade compatível à vida útil do edifício (OLIVEIRA, 2002).

O fabricante desenvolve projetos, memorial de cálculos, desenhos de montagem com todos os detalhes necessários para a fabricação e são encaminhados para a obra e submetidos à aprovação. Primeiramente criam-se amostras de tamanho pequeno para ter uma referência de cores e texturas. Após aprovados, são feitos painéis de tamanhos normais (ACI, 2000; PCI, 2007). O cimento utilizado para painéis pré-fabricados é em função do valor da resistência inicial necessária para realizar a desforma e içamento das peças em um intervalor entre 6 a 18 horas, por este fato, utiliza-se cimento ARI. Para a mistura de concreto, são utilizados agregados graúdos, aditivos, pigmentos e água conforme as especificações do projeto. Depois da preparação da mistura, a armação é colocada nos moldes (fôrmas), insere-se a mistura e aguarda a cura (ACI, 2000). A camada de revestimento pode apresentar diferentes tipos de acabamentos e pode ser incorporado na moldagem ou após ocorrer a desforma do painel. Suas especificações dependem das funções que a camada exercerá e suas condições de exposição ao longo da sua vida útil (PCI, 1985 apud OLIVEIRA, 2002). Muitos dos custos de fabricação, manuseio e montagem são independentes do tamanho de uma peça. Portanto a fabricação de painéis maiores diminui o custo total do projeto, aumenta a produtividade e a velocidade de execução. Para melhorar ainda mais na velocidade e produtividade, recomenda-se que os painéis sejam enviados para o canteiro de obras no processo *just in time*, pois ele elimina uma etapa do processo de montagem (PCI, 2007; ACI, 2000).

É interessante que os painéis estejam transportados na vertical para facilitar o içamento e fixação. Com exceção de painéis com uma das dimensões muito maior que a outra, neste caso, o transporte deverá ser na horizontal (TAYLOR, 1992 apud OLIVEIRA, 2002). Os equipamentos de transporte vertical são geralmente guindastes móveis ou fixos e sua posição deverá ser planejada de modo que otimizem o máximo sua utilização. Caso não seja possível a montagem *just in time*, o local e a posição de armazenamento deve ser protegido do acúmulo de sujeira e manchas e dando preferência em ordená-los na mesma ordem em que serão (ACI, 2000). Depois de içado os painéis iniciam a sua fixação com conectores. São, no mínimo, quatro pontos de fixação dos painéis, sendo dois para suportar o peso do painel e os outros dois suportam forças laterais e possíveis movimentações diferenciais entre painel e estrutura. Fixado os painéis, inicia o preenchimento das juntas. As juntas entre painel e estrutura devem ser preenchidas com material isolante, a fim de evitar propagação de fogo e ajuda a proporcionar um isolamento acústico entre os pavimentos. Este preenchimento ocorre com um material selante. Caso o painel seja do tipo “Sanduiche”, é fixado primeiramente o painel interno, inserido material termo acústico e então fixado o painel arquitetônico.

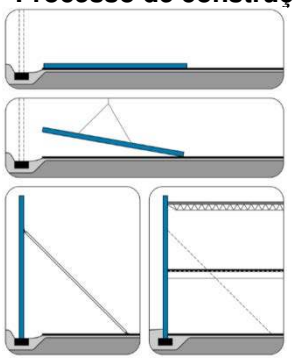
3.3 Painéis *tilt-up*

O ACI 551R-92 descreve o *Tilt-Up* como “uma técnica de construção de elementos de concreto moldado em uma posição horizontal no canteiro de obras e depois inclinado e levantado os painéis para sua posição final na estrutura" (ACI, 1992, p. 2, tradução nossa). A pré-moldagem de elementos de construção não é uma ideia nova, aldeões em Jarmo, no Iraque, fez paredes para suas habitações de "*touf*", uma lama pressionada, em 4700 a.C.

Em 1890, o cimento Portland foi amplamente aceito como o material de cimentação padrão. *Tilt-up* evoluiu a partir de inovações iniciais, no entanto, sua viabilidade para a construção de painéis de parede grandes, finos, teve que esperar a chegada de concreto armado, que entrou em uso no início de 1900. O crédito para uma das primeiras paredes de concreto armado moldado horizontalmente e depois inclinado vai para o construtor Robert Aiken. Aiken (1909) descreveu um método inovador de moldar painéis em mesas basculantes e, em seguida, levantá-los no lugar por meio de macacos mecânicos especialmente concebidos. Esta técnica foi usada para construir pilares de alvo, quartéis, munições e casas de armas, um refeitório, prédios de fábricas e igrejas (TILT-UP CONCRETE ASSOCIATION, 2011).

A seguir, as etapas para a construção de um típico edifício *Tilt-up* são definidas por *Tilt-up Concrete Association* (2011) como mostra a Figura 2. Primeiro, a laje de pavimento onde os painéis serão moldados é preparada ao mesmo tempo que as fundações são construídas. Depois, começa a montagem dos moldes. Com as formas no lugar, os desmoldantes são pulverizados, a armadura é posicionada, os suportes de içamento são anexados à forma e o concreto é lançado nas formas e curado, respectivamente. Em seguida, é um período de espera de uma semana a 10 dias enquanto o concreto atinge a força suficiente para o levantamento. No dia do levantamento, os cabos são conectados aos suportes anexados nos painéis e a grua eleva cada painel na sequência desejada e a coloca sobre a base preparada. Antes de soltar os painéis, escoras temporárias são instaladas para apoiar o painel até a estrutura do telhado ser anexado. Este processo é repetido até que todos os painéis sejam colocados na sua posição desejada. As conexões entre os painéis são feitas, o concreto é colocado para amarrar a laje do chão às paredes, as juntas são calafetadas e uma vez que o telhado é conectado permanentemente às paredes, as escoras são removidas.

Figura 2 – Processo de construção do Tilt-up



Fonte: Tilt-up Construction Association (2011)

Os tipos de edifícios que podem ser economicamente construídos usando *Tilt-up* são: escolas, edifícios de escritórios de vários andares, edifícios de armazenamento de baixa temperatura, projetos industriais e de manufatura, instalações recreativas, igrejas, estruturas residenciais, armazéns e centros de distribuição, centros comerciais, igrejas, bombeiros, estruturas de estacionamento, hotéis e motéis, cavernas, concessionárias de automóveis, bancos, teatros, bibliotecas, produção de fornos de armazenamento e de madeira, paredes de retenção, paredes independentes, cercas, tanques, silos, paredes de proteção acústica para transporte (túneis), assentos de estádio, torres e até esculturas (TILT-UP CONCRETE ASSOCIATION, 2011). O mercado de construção é altamente competitivo, e o *Tilt-up* é escolhido apenas quando suas vantagens, dada a localização e as circunstâncias de um projeto, claramente o favorecem. De acordo com a *Tilt-up Construction Association* (2011) as vantagens incluem: economia em áreas onde o design *Tilt-up* e perícia de construção está disponível com uma grua treinada e equipamento de tripulação; velocidade de construção; durabilidade; possibilidade de expansão; baixos custos de manutenção; baixos custos de aquecimento ou arrefecimento; resistência ao fogo por ser feito de concreto; atratividade arquitetônica; taxas mais baixas do seguro devido à resistência ao fogo e a durabilidade, segurança; e valorização do imóvel devido à todos os benefícios citados.

3.4 Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV)

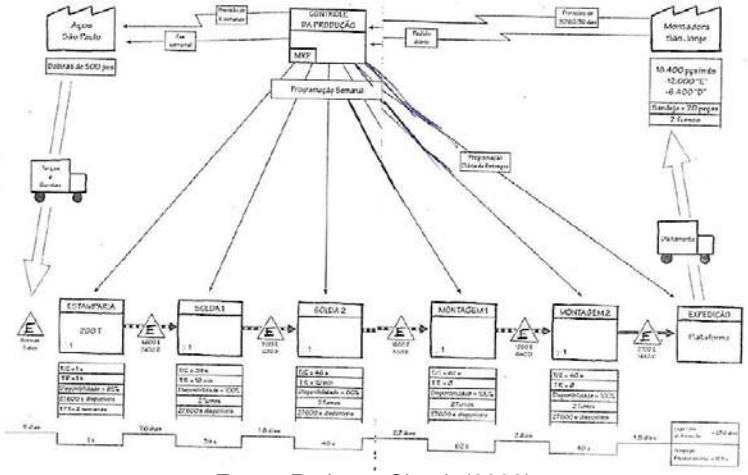
O MFV é uma ferramenta que utiliza papel e lápis, e ajuda a enxergar e entender o fluxo de material e de

informação, na medida em que o produto segue o fluxo de valor. Um fluxo de valor é toda ação necessária para fazer um produto por todos os fluxos essenciais à cada produto, desde a demanda do consumidor até matéria-prima. Os pontos positivos do MFV são: ajuda a visualizar os processos e a enxergar o fluxo todo; ajuda a identificar os desperdícios e suas fontes; junta conceitos e técnicas enxutas; forma a base de um plano de implementação, é uma referência para a implementação enxuta; e mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material. Números são bons para criar um senso de urgência ou como medidas e comparações ante e depois. O MFV é bom para descrever o que você realmente irá fazer para chegar a esses números (ROTHER; SHOOK, 2003).

O desenho do Mapa de Estado Atual começa com uma análise da situação atual da produção, usando um conjunto de símbolos, ou "ícones" para representar os processos e os fluxos. O primeiro passo é iniciar pela expedição final e em seguida nos processos anteriores, o mapeamento deve começar com as demandas dos clientes desenhando no canto superior direito do mapa o ícone que represente seu cliente, e a baixo deste ícone uma caixa de dados, registrando as necessidades do cliente. O próximo passo é desenhar os processos básicos de produção, usando a caixa de processo, usamos a caixa de processo para indicar uma área de fluxo de material. O fluxo de material é desenhado da esquerda para a direita, na parte de baixo do mapa, na sequência das etapas do processo. Os dados típicos dos processos são: tempo de ciclo, tempo de troca, disponibilidade, tamanho dos lotes de produção. Com os dados obtidos pelas observações das operações desenhadas no mapa, pode-se registar o *lead time* de produção, o tempo que leva uma peça para percorrer todo o caminho no chão da fábrica. Na medida em que se percorre o fluxo de material do produto, encontra-se lugares onde o estoque se acumula. Usamos o ícone triângulo de advertência para mostrar a localização e a quantidade de estoque. Para indicar o transporte de caminhão entre o fornecedor e a fábrica ou entre a fábrica e o cliente, utiliza-se um ícone de caminhão com uma seta larga para indicam o movimento dos produtos (ROTHER; SHOOK, 2003).

Os fluxos de informações são representados por setas e é desenhado da direita para a esquerda na parte superior do mapa. Os fluxos de informações podem ser via papel, neste caso é representado por uma linha reta, ou pode ser via eletrônico, neste caso deve ser representado com uma descontinuidade no meio. Com o desenho do fluxo de valor completo (Figura 3) é possível mudar o nível de amplitude focalizando para mapear cada etapa individual ou ampliando para abarcar o fluxo de valor externo à planta. Após desenhar o Estado Atual para cada uma das famílias de produtos, projeta-se o Estado Futuro com metas quantitativas, objetivos estratégicos, responsabilidades e prazos (ROTHER; SHOOK, 2003).

Figura 3 – Exemplo de MFV completo



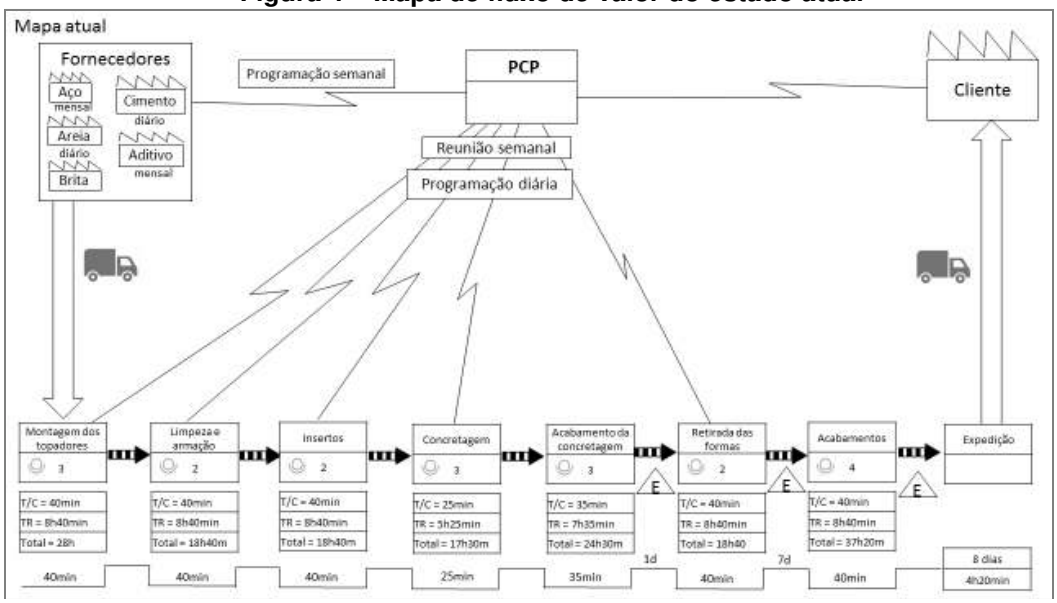
Fonte: Rother e Shook (2003)

4 ESTUDO DE CASO NUMA FÁBRICA DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS

Os autores visitaram uma fábrica de pré-fabricados de concreto da região de Campinas-SP para a coleta de dados. De acordo com engenheiro responsável pela nave de painéis, as etapas de produção consistem basicamente da confecção das armaduras, preparação da fôrma, posicionamento da armadura, concretagem,

secagem, retirada das fôrmas e acabamento. Ao fim da produção, as peças são encaminhadas para estoque até o momento de transportar para a obra. Conforme as informações do especialista em painéis pré-fabricados da fábrica e os conhecimentos em mapeamento de fluxo de valor, foi feito um mapa atual da produção (Figura 4).

Figura 4 – Mapa de fluxo de valor do estado atual

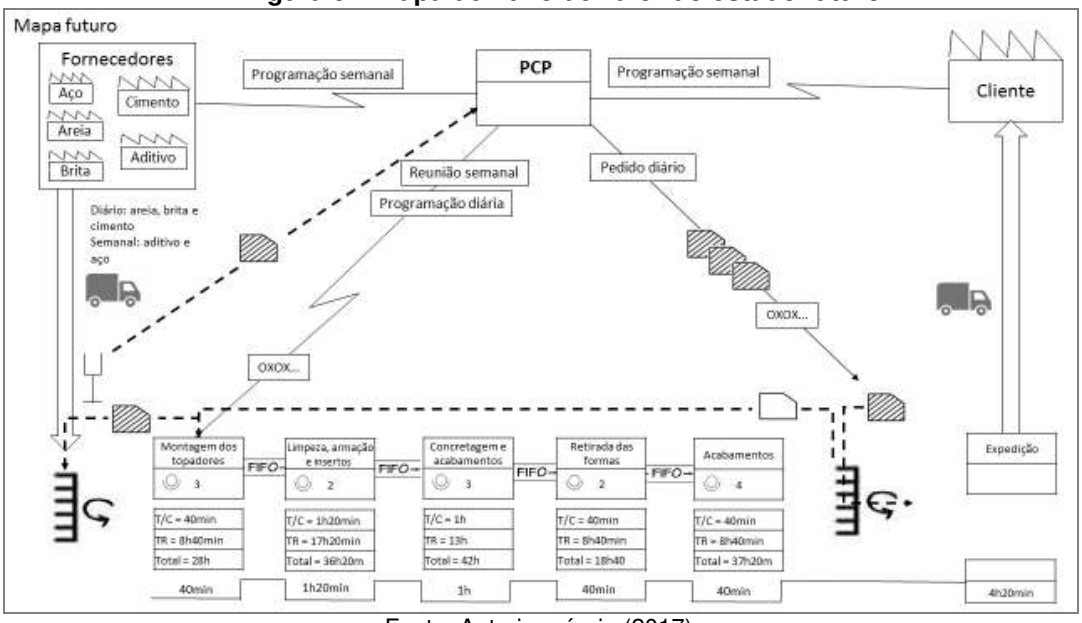


Fonte: Autoria própria (2017)

A primeira proposta de melhoria é colocar um sistema puxado com supermercado para eliminar estoques nos pontos onde o fluxo contínuo não é possível devido à diferença de *lead time* entre os processos e fabricar em lotes é necessário. O objetivo de colocar este sistema é ter uma maneira de dar ordem exata de produção ao processo anterior, sem tentar prever a demanda posterior e programar este processo. No chão da fábrica, os supermercados devem estar localizados próximos ao processo de fornecimento para ajudar aquele processo a ter uma noção visual das necessidades e usos do cliente. O responsável pela movimentação de material do cliente vem então ao supermercado do fornecedor e retira o que precisa. Estas retiradas acionam o movimento *kanban* impresso (geralmente cartões) desde o supermercado até o fornecedor, onde são utilizados como instrução de produção. A segunda proposta é utilizar a linha FIFO ("*first in, first out*", primeiro a entrar, primeiro a sair) entre os processos para substituir o estoque e evitar o uso de supermercado devido à falta de espaço. Sempre que a linha estiver cheia, o processo anterior para de produzir as peças.

Em terceiro lugar, é preciso nivelar o mix de produtos para distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente durante um período de tempo. Quanto mais a fábrica nivela o mix de produto no processo puxado, mais apta ela estará para responder às diferentes solicitações dos clientes com um pequeno *lead time*, enquanto mantem um pequeno estoque de produtos acabados. Isto também permite que os supermercados seguintes sejam menores. O controle da produção deve colocar um *kanban* de retirada correspondente ao pedido do cliente em uma caixa de nivelamento de carga próxima da doca de expedição. Um controlador de materiais pega então esses *kanbans* na caixa de nivelamento, um de cada vez, no ritmo do incremento, e move as peças do supermercado de produtos acabados para a área de liberação, uma a uma, de acordo com o *kanban* de retirada. Ao mesmo tempo, é enviado um *kanban* de produção para o início dos processos para autorizar a produção de novas peças. Além disso, o fornecimento de materiais passou a ser diário, exceto os aditivos que mudaram para semanal. É importante conferir as dimensões da peça, testes de *slump* para o concreto e, todos os espaçamentos e cobrimentos da armadura com o projeto antes de começar a produção evitando assim retrabalhos e desperdícios. Conforme as propostas de melhoria do mapa de fluxo de valor, desenvolveu-se o mapa do estado futuro (Figura 5) com as ferramentas *lean* para proporcionar aumento na produtividade e para reduzir as atividades que não agregam valor. A meta é construir uma cadeia de produção onde os processos individuais são por meio de fluxo contínuo ou puxado, e cada processo se aproxima o máximo possível de produzir apenas o que os clientes precisam e quando precisam.

Figura 5 – Mapa de fluxo de valor do estado futuro



Fonte: Autoria própria (2017)

5 DISCUSSÃO

Como não houve tempo de aplicar o mapa do estado futuro na produção, não há dados para estabelecer os resultados da pesquisa em relação a eficiência da ferramenta. Contudo, é importante relatar a ergonomia quando se trabalha com painéis pré-fabricados e o quanto o estudo pode contribuir para melhorar a qualidade de trabalho dos operadores.

À medida que a construção residencial avança para métodos de construção industrializados, as exposições ergonômicas dos trabalhadores da construção civil podem aumentar devido a componentes mais pesados e mudanças nas atividades de construção. Considerações ergonômicas no início das fases de projeto são esperadas para ter o maior impacto, desde que os designers estejam conscientes dos riscos ergonômicos e estejam dispostos a incorporar princípios ergonômicos em projetos. Em um estudo realizado por Kim et al. (2008), 12 construtores de painéis preencheram um questionário e sete desses designers participaram de uma entrevista. No questionário os participantes foram perguntados: "Para uma pessoa que passa anos como um trabalhador da construção, que partes do corpo provavelmente irá dar-lhes problemas?" Os construtores de painel responderam que a parte inferior das costas é mais provável, seguido pelo joelho e as extremidades superiores (ombro, braço, pulso e mão). Os projetistas classificaram a fadiga como a causa mais provável de lesões, seguida de excesso de esforço devido ao peso de um painel. Afirmaram que os trabalhadores fariam mais erros que poderiam conduzir aos ferimentos quando fatigados.

Os designers de painéis foram ligeiramente resistentes à incorporação de ergonomia em projetos. Embora os participantes reconhecessem a necessidade de ergonomia, estavam preocupados com as possibilidades de aumento da carga de trabalho, custos e diminuição da flexibilidade do desenho. A pesquisa representou um passo inicial na criação de ferramentas de suporte que diminuem o risco de lesões e doenças relacionadas ao trabalho em trabalhadores da construção civil. A instalação de painéis pré-fabricado é substancialmente mais rápida do que o levantamento tradicional de paredes, são estruturalmente resistentes, são mais retos e mais nivelado do que o enquadramento tradicional e a utilização de painel reduz o roubo de materiais no local. A incorporação de ergonomia na concepção de painéis, assim como o mapeamento de fluxo de valor, pode conduzir a um aumento da produtividade e a uma melhor qualidade de construção, uma vez que o design melhorado do painel reduz potencialmente as exposições (por exemplo, dupla manipulação) sem comprometer a integridade estrutural ou a resistência de um sistema de painel de parede (KIM et al., 2008).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou que tanto os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) como os painéis *Tilt-up* oferecem benefícios na velocidade de execução, aumento da produtividade da mão-de-obra, redução de etapas de produção em canteiro de obra, eliminação de entulhos e garantia de qualidade do produto. Além disso, quando trabalhadas em conjunto com o mapeamento de fluxo de valor podem acrescentar ainda mais atividades de valor à fábrica e reduzir os estoques. Para finalizar, a recente atualização da Norma NBR 16475: 2017 trouxe novos requisitos e procedimentos a serem atendidos no projeto, na produção e na montagem de painéis de parede pré-moldados.

Por último, a visita à fábrica foi essencial para o entendimento e aprendizagem da produção de painéis pré-fabricados de concreto na prática. Assim, com as instruções de especialistas, foi possível desenvolver um mapeamento do fluxo de valor mais realista. Várias melhorias foram propostas para agregar atividades de valor ao fluxo, como sistema puxado com supermercado, linha FIFO, nivelamento da produção e *kanban*. Apesar de faltar tempo para a implementação das melhorias e computação dos resultados, foi relatado alguns aspectos ergonômicos que devem ser levados em conta quando se trabalha com pré-fabricados de concreto. Contudo, o mapeamento de fluxo de valor tende a relevar essas preocupações contribuindo para um aumento da produtividade e a uma melhor qualidade de construção, uma vez que reduz potencialmente atividades que não agregam valor, especialmente transporte e movimentação desnecessários de componentes.

7 REFERÊNCIAS

AIKEN, R. Monolithic concrete wall building: methods, construction and cost. ACI Journal, Proceedings, p. 5, p. 83-105, 1909.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado; Rio de Janeiro, 2017.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação; Rio de Janeiro, 2015.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931 Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16475 Painéis de parede de concreto pré-moldado – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2017.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 304R: Guide for precast concrete wallpanels. EstadosUnidos: ACI, 2000.

AMERICA CONCRETE INSTITUTE. ACI 551R: Tilt-up construction structures. Estados Unidos: ACI, 1992. 46 p.

FERREIRA, M. de A. Manual de sistemas pré-fabricados de concreto. Campinas: ABCIC, 2003.

KIM, S.; SEOL, H.; IKUMA, L. H.; NUSSBAUM, M. A. Knowledge and opinions of designers of industrialized wall panels regarding incorporating ergonomics in design. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 38, p. 150-157, 2008.

OLIVEIRA, L. A. de. Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios. 2002. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, L. A. de; SABBATINI, F. H. Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios. São Paulo: Anais, p. 22, 2003.

PIGOZZO, B. N.; SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. de A. A industrialização na construção e o estudo de uma rede de empresas em obra de pré-fabricados em concreto armado. In: XII SIMPEP, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2005, Bauru. Anais... . Bauru: Anais, 2005. p. 1-12.

ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeamento do fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003. 102 p.

TILT-UP CONCRETE ASSOCIATION (United States of America). The Construction of Tilt-Up. Mount Vernon: TCA, 2011. 220 p.