



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## APLICAÇÃO DO MECANISMO DA FUNÇÃO PRODUÇÃO AO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO SERIADA NA CONSTRUÇÃO

ISATTO, Eduardo L. (1); ZUCHETTI, Marcelo (2)

(1) NORIE/UFRGS, e-mail: [isatto@ufrgs.br](mailto:isatto@ufrgs.br) (2) DECIV/UFRGS, e-mail: [marcelozuchetti@gmail.com](mailto:marcelozuchetti@gmail.com)

### Resumo

O Mecanismo da Função Produção (MFP) foi proposto por Shigeo Shingo como parte do Sistema Toyota de Produção. Ele consiste em um instrumento de análise do fenômeno da produção como uma rede de processos e operações. O propósito deste artigo é demonstrar o uso desta ferramenta para planejar um método de produção a ser utilizado em um canteiro de obras, e identificar possíveis contribuições resultantes de seu uso na construção. O método de pesquisa adotado foi de estudo de caso, conduzido em um empreendimento composto por três prédios residenciais de 19 andares e um comercial. Uma análise crítica do processo de produção da estrutura de concreto armado foi conduzida em um dos prédios residenciais utilizando o MFP. Com base nos problemas identificados, o método de produção foi revisto, e então implementado em um prédio idêntico ao anterior, no mesmo empreendimento, resultando em uma substancial redução do tempo de ciclo de execução entre os pavimentos. O estudo identifica três principais contribuições do uso do MFP na análise da produção em ambiente da construção civil: torna explícitos os distintos tipos de dependências entre as atividades, leva em consideração a existência de ciclos de operação aninhados para fins de planejamento do método de produção, e incentiva o planejamento de operações em ciclos curtos e elevado nível de detalhe como subsídio às equipes na atribuição das tarefas aos seus componentes.

**Palavras-chave:** Mecanismo da Função Produção, trabalho padronizado, produção enxuta.

### Abstract

*The Mechanism of Production Function (MFP) was proposed by Shigeo Shingo as part of the Toyota Production System. It is a tool for analyzing the production phenomena as a network of processes and operations. The purpose of this article is to demonstrate the use of MFP to design a production method in a construction site, and to assess the contributions that result from its application to the construction. The research method adopted was case study, which was conducted in a construction site that comprises three residential 19 stories buildings plus a commercial one. A critical analysis of the production process of the concrete structure was performed using the MFP, in one of the three residential buildings. The production method was then revised and implemented in an identical building in the same construction site, resulting in a substantial reduction of the cycle time between stories. The study points out three important contributions that may arise from the use of MFP in construction: it explicits the distinct kinds of dependencies among activities, it takes into account the existence of nested operation cycles while planning the production method, and it enforces the planning of the operation cycles by adopting short cycle times and at a great level of detail, to aid production teams in assigning individual tasks to their members.*

**Keywords:** Mechanism of Production Function, standardized work, lean production.

## 1. INTRODUÇÃO

O Mecanismo da Função Produção (MFP) foi originalmente proposto por Shigeo Shingo em 1945, consistindo em um método para a análise de sistemas produtivos a

partir da consideração simultânea dos fluxos de materiais (objetos da produção) e de trabalhadores e máquinas (sujeitos da produção). Segundo Antunes Jr. (1994), o MFP é parte fundamental da base conceitual do Sistema Toyota de Produção, sendo a lógica básica de construção teórica do Mecanismo da Função Produção absolutamente geral e aplicável ao planejamento de quaisquer sistemas de produção.

Antunes Jr. (1994) salienta que apesar dos gerentes ocidentais estarem experimentando algumas características do Sistema Toyota de Produção (STP), esses o fazem sem compreender em profundidade as raízes conceituais desse Sistema e suas implicações. Como explica Lillrank (1995), tal deficiência pode afetar profundamente a capacidade de implementar o STP em contextos distintos daquele que lhe deu origem, como por exemplo a construção civil.

Diversos trabalhos foram publicados no sentido de salientar as características do MFP e suas possíveis aplicações na construção civil (como por exemplo KOSKELA, 1992 e ISATTO E FORMOSO, 1998). Mais recentemente, Jørgensen e Emmit (2008) afirmam que as dificuldades encontradas na transferência dos princípios do STP e da Qualidade Total (sob a denominação de *Lean Production*) ao contexto da construção civil residem fundamentalmente no fato das especificidades desse contexto terem sido amplamente desconsideradas ao longo do processo. Sugerem tais autores o retorno da discussão de alguns conceitos fundamentais do STP, bem como a apresentação de evidências empíricas que comprovem a superioridade desses conceitos no contexto da construção civil.

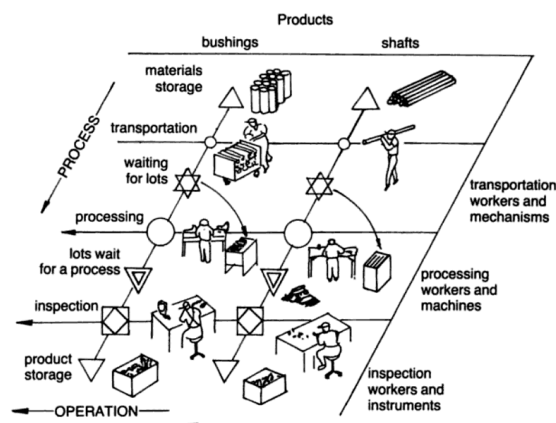
O presente artigo busca contribuir para esta discussão, tendo por objetivo demonstrar a aplicação do Mecanismo Função Produção no planejamento do método de produção de um processo construtivo, bem como identificar possíveis contribuições resultantes de seu emprego no contexto da construção civil.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. O Mecanismo da Função Produção

O Mecanismo da Função Produção parte da premissa que toda produção pode ser compreendida como uma rede constituída por processos (fluxos de materiais) e operações (fluxos de trabalhadores e máquinas) (Figura 1) (SHINGO, 1989).

**Figura 1 – O Mecanismo da Função Produção**



Fonte: Shingo (1989)

Na visão de Shingo (1989), processos e operações tem natureza fundamentalmente distinta. Os processos representam a transformação gradativa que deve ocorrer das matérias-primas em direção ao produto acabado, ao passo as operações dizem respeito à sequência de aplicação do trabalho de trabalhadores e máquinas a esses processos. De outra forma, as operações são meios utilizados para acionar os processos, visando a realização da produção. Devido a esta relação de meios e fins, Shingo (1989) é absolutamente claro quanto à precedência que deve ter a análise e as melhorias de processo em relação às operações. Segundo Shingo (1989), melhorias feitas na operação, sem que seja considerado seu impacto no processo podem, na realidade, reduzir a eficiência global.

## **2.2. Ferramentas para análise e melhoria da produção no contexto do Mecanismo da Função Produção**

Em razão das recomendações de Shingo, é natural que a análise da produção se dê segundo cada uma destas visões em separado. Ishiwata (1995) demonstra a aplicação de ferramentas de uso já consagrado no contexto da engenharia de produção para estes fins. A análise de processo emprega o diagrama de processo, onde são representadas as atividades segundo sua natureza (conversão, inspeção, transporte e esperas). A análise da operação pode ser realizada empregando diagramas de operação, semelhantes aos diagramas de processo, e onde são identificadas as atividades acima mencionadas em termos das suas operações principais, auxiliares, preparação e folgas. A operação ainda pode ser analisada de outras formas, visando fins específicos: através de diagramas de operação detalhados onde são identificados os movimentos específicos de cada trabalhador, para conduzir estudos de tempos e movimentos dos trabalhadores, visando aumentar sua eficiência por meio da redução de tempos e movimentos individuais; ou através de diagramas de operação conjunta (ou diagramas homem-máquina), onde a operação conjunta entre trabalhadores e máquinas é analisada segundo o grau de interação entre esses atores, visando a coordenação entre os mesmos. Descrições detalhadas destes diagramas e exemplos de sua aplicação podem ser encontrados em Barnes (1999) e Ishiwata (1995).

Por outro lado, existem ferramentas que permitem a avaliação integrada do método de produção empregado em termos de seus processos e operações. Uma destas ferramentas é o mapeamento do fluxo de valor (MFV) (ROTHER; SHOOK, 2009), que representa tanto o processo produtivo como as operações das equipes e trabalhadores. Isto permite a análise de aspectos ausentes nos diagramas anteriormente citados, como o tempo de ciclo do processo (intervalo entre a produção de produtos sucessivos) e das operações (o tempo de execução de um ciclo de trabalho por um operário ou equipe, geralmente para a produção de uma peça), bem o *lead time*<sup>1</sup> do processo.

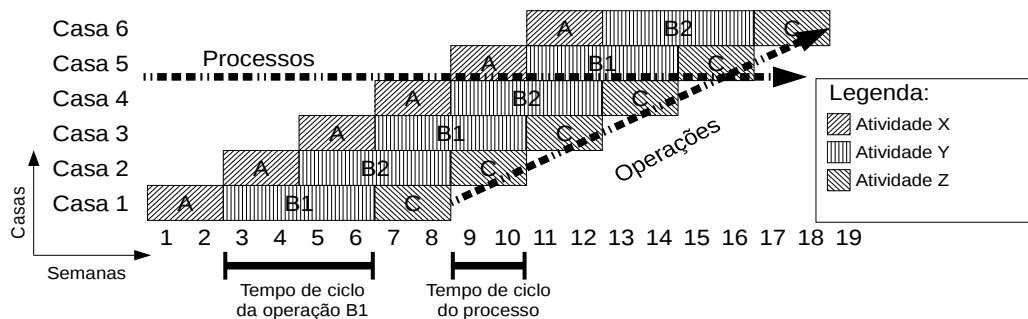
Outra ferramenta que permite a análise conjunta de processos e operações é o diagrama de linha de balanço (Figura 2), muito embora esta característica não seja explicitamente abordada na literatura sobre o assunto (p.ex. em MADERS, 1987; MENDES JUNIOR, 1999; ARDITI, TOKDEMIR E SUH, 2002). Assim como o MFV, essa técnica permite a identificação daqueles mesmos parâmetros, apresentando porém a vantagem de identificar cada uma das instâncias do processo (p.ex., as casas) individualmente. Sua aplicação na construção civil está principalmente associada ao planejamento de longo prazo dos empreendimentos (FORMOSO, 2001), no qual a produção é considerada em

---

<sup>1</sup>Por *lead time* do processo se entende o tempo necessário para um componente percorrer todo o processo.

um baixo nível de detalhe, com atividades bastante agregadas e operações ao nível das equipes.

**Figura 2 – Processos e operações em um diagrama de linha de balanço**



Fonte: Próprios autores

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

O presente estudo foi desenvolvido em um empreendimento composto por 3 torres residenciais e uma comercial, em Porto Alegre/RS, de agosto de 2012 a abril de 2013. Durante o período foi acompanhada a execução de todos os 19 pavimentos da estrutura de concreto armado de uma das torres. Com base em observação direta e entrevistas, foram analisados criticamente os métodos de produção planejados e em execução sob a ótica de seus processos e operações. A partir dessa análise, foram propostas diversas alterações no método de produção, as quais foram implementadas pela empresa ao longo da execução de 16 pavimentos de uma segunda torre idêntica à primeira. A implementação do plano elaborado iniciou-se em novembro de 2012 e se estendeu até o final da fase de execução da estrutura, em abril de 2013. Maiores detalhes quanto ao método empregado e os resultados da pesquisa podem ser encontrados em Zuchetti (2013).

### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

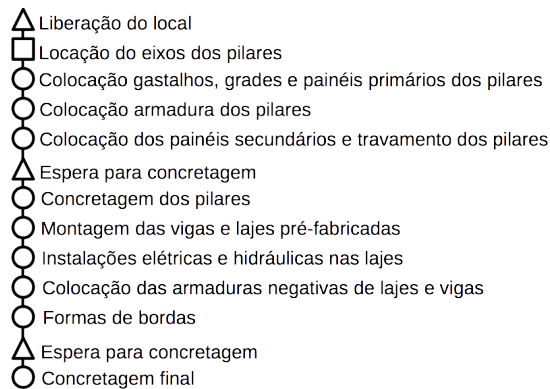
#### 4.1. O método de produção planejado segundo processos e operações

Os principais insumos utilizados eram o concreto, o aço para concreto – previamente cortado e dobrado – e vigas e lajes pré-fabricadas. As vigas e lajes eram pré-fabricadas fora do canteiro de obras, transportadas até a obra e armazenadas no térreo da torre. As armaduras dos pilares eram produzidas em uma central específica, dentro do canteiro, e então depositadas no térreo da torre. Posteriormente, tais componentes eram transportados até o local de aplicação por uma grua. A execução da estrutura também empregava um sistema de formas (produzido previamente), que era transferido do pavimento inferior quando da desforma da estrutura.

O processo de execução da estrutura, na forma como foi concebido, está representado na Figura 3. Ele tem início com a liberação do local, quando é realizada a locação dos eixos de referência. Logo após, segue-se a fixação dos galstinhos e das grades dos pilares, sendo em seguida montados os painéis principal e laterais dos pilares, vindos do pavimento inferior. É então posicionada a armadura do pilar, e realizado seu fechamento com a montagem do último painel. Segue-se a concretagem do pilar, seguida de espera mínima de 12 horas para cura preliminar. Na medida em que os pilares vão sendo liberados ocorre a montagem das pré-vigas e, em seguida, a montagem das pré-lajes. Com isto, é liberada a laje para a montagem das instalações elétricas e hidráulicas, e

posteriormente posicionadas as armaduras negativas das lajes e vigas. Naquelas lajes situadas no perímetro externo do pavimento e nos *shafts* ainda se faz necessário o posicionamento das formas de bordas, para então ser realizada a concretagem (“capeamento”) visando solidarização final dos elementos estruturais.

**Figura 3 - Diagrama do processo**

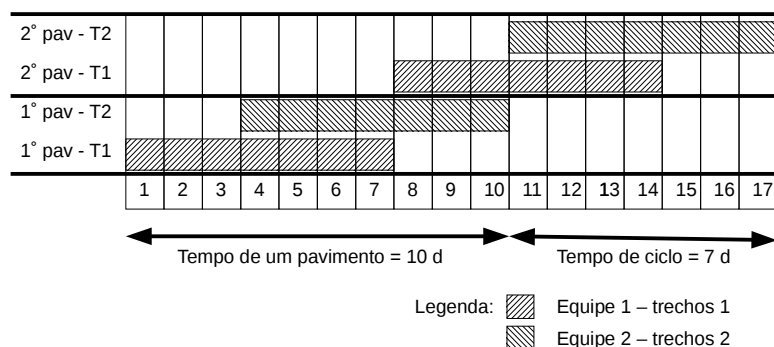


Fonte: Baseado em Zuchetti (2013)

Em função do prazo definido para a execução da estrutura, a produção dos pavimentos foi planejada de forma a atender um tempo de conclusão entre lajes sucessivas (*takt-time*) de sete dias. Como o tempo estimado para a produção de um pavimento em um único lote superava em muito esta duração (estaria entre 10 e 14 dias), cada pavimento teve de ser dividido em dois trechos, separados pela junta de dilatação.

A estratégia de execução das lajes foi planejada de forma a prever tanto uma superposição entre a execução de diferentes pavimentos como também entre trechos, como representado no gráfico de linha de balanço da Figura 4. Com isto, tornava-se possível viabilizar um tempo de ciclo planejado de 7 dias entre pavimentos, compatível portanto com o *takt-time* demandado. Com esta estratégia de execução, verificava-se também a existência de tempos de ciclo associados como os diversos trechos, os quais eram de 4 e 3 dias entre trechos sucessivos<sup>2</sup>.

**Figura 4 – Sequência de execução dos pavimentos e trechos segundo o método de produção planejado**



Fonte: Baseado em Zuchetti (2013)

No que diz respeito ao planejamento das operações, a sobreposição dos trechos demandava a atuação simultânea de duas equipes. A constituição e forma de organização destas equipes não foi objeto de planejamento prévio durante a preparação

<sup>2</sup> O que caracteriza um tempo de ciclo médio de 3,5 dias por trecho, equivalente portanto ao tempo de ciclo do pavimento (7 dias) dividido pelo número de trechos (2 trechos).

da produção. Os operários foram inicialmente organizados em uma única equipe de 12 carpinteiros, a qual deveria posteriormente definir sua forma de organização.

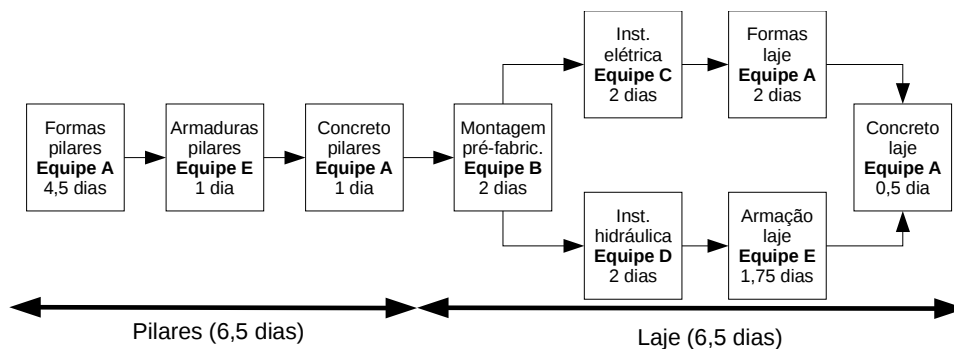
De igual forma, não houve um planejamento das operações individuais dos operários, a serem organizadas posteriormente pelos próprios trabalhadores.

#### 4.2. Análise do método de produção como executado

Durante a fase de observação direta da produção foi possível observar que a produção estava ocorrendo em condições distintas daquelas planejadas. Embora houvesse aderência a estratégia de execução da estrutura em trechos, em nenhum dos primeiros 3 pavimentos observados o tempo de ciclo atingiu o *takt-time* necessário de 7 dias, sinalizando futuras dificuldades para se atingir o prazo estabelecido para a obra. O tempo de ciclo efetivamente alcançado entre pavimentos estava em torno de 10 dias, sendo o tempo de execução de cada pavimento em torno de 13 dias.

Em função das distintas especialidades de trabalhadores necessárias, a execução da estrutura de cada trecho havia sido planejada pela empresa com o emprego de seis equipes de cinco tipos distintos: a equipe de carpinteiros antes mencionada, responsável pelas formas e concretagens (equipe A, que atuava simultaneamente em duas frentes de trabalho, realizando os trechos T1 e T2, identificadas por AT1 e AT2), uma equipe para montagem de vigas e lajes pré-fabricadas (equipe B), uma equipe de ferreiros (equipe E, responsável pelos pilares e lajes), e duas equipes de instaladores (elétricos e hidráulicos, respectivamente equipe C e equipe D). A sequência das atividades e os tempos observados para a execução de cada uma das atividades encontram-se representados na Figura 5.

**Figura 5 – Sequência e tempos reais de execução das atividades pelas equipes**



Fonte: Baseado em Zuchetti (2013)

Uma análise mais detalhada das operações mostrou que a equipe A, além de se dividir em duas frentes simultâneas, se organizava em times ainda menores, geralmente na forma de duplas, de maneira a permitir a alocação de tarefas em pequenos lotes, superpondo a execução dos trabalhos dos diferentes times. Sem isto, os tempos de execução dos pavimentos seriam *takt-time* ainda maiores que os 13 dias observados.

A partir da observação direta e de entrevistas, pois possível identificar uma série de possibilidades de melhorias a partir da visão de processos e operações. A primeira dizia respeito à equipe A, a qual se mostrou uma importante restrição da produção, demandando ações que aumentassem sua capacidade (p. ex. via aumento da produtividade) ou reduzissem sua carga de trabalho (p. ex., através da transferência de

conteúdo de trabalho para outras equipes), de forma a permitir o atendimento do *takt-time*.

A segunda constatação dizia respeito à participação das equipes A e E no processo, onde períodos de ociosidade e trabalho se intercalavam em cada trecho, obrigando sua atuação alternada em dois trechos simultaneamente. Isto demandava uma estrita sincronização entre os trechos 1 e 2, envolvendo não apenas as suas datas de início e fim, mas também o momento em ocorria a intervenção de cada uma destas equipes em um determinado trecho.

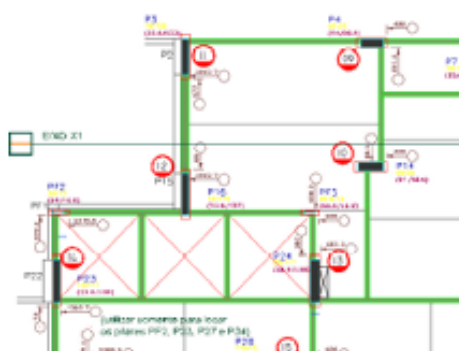
A terceira possibilidade de melhoria surgiu a partir da constatação de que não existia um ordenamento pré-definido para a execução dos pilares, o que aumentava a necessidade de deslocamento dos operários e de movimentação de materiais, interferências nos fluxos de trabalho e extravio de componentes do sistema de formas.

Uma quarta possibilidade identificada dizia respeito a necessidade de sincronização entre torres distintas. Como o período de montagem dos pré-fabricados era reduzido frente ao tempo de ciclo e uma vez que este tipo de atividade demandava uma equipe especializada (equipe B), a forma encontrada para manter a equipe B em operação durante todo o tempo de ciclo consistia em executar simultaneamente duas torres. Neste caso, criava-se uma dependência entre as duas torres cuja natureza não residia no processo da estrutura em si, mas nas operações realizadas pela equipe B. Isto acarretava maior necessidade de sincronização – agora entre duas torres distintas –, potencialmente aumentando a variabilidade e incerteza desses processos.

### 4.3. Alterações propostas ao método de produção

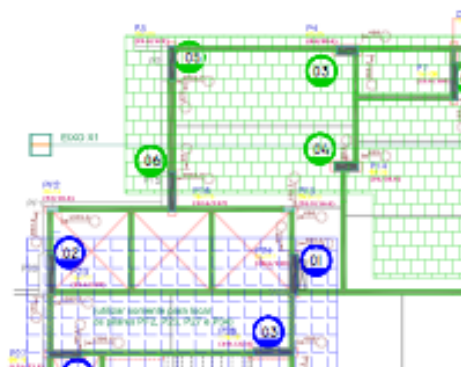
A revisão do método de produção iniciou pelo planejamento do processo em maior nível de detalhe, definindo a sequência de execução dos pilares, vigas e lajes, e estabelecendo também o lote de transferência dos mesmos para as atividades seguintes. Exemplos deste planejamento podem ser vistos na Figura 6 (sequência de execução de pilares) e Figura 7 (sequência de execução de vigas e lajes).

**Figura 6 – Sequência planejada de execução dos pilares**



Fonte: Zuchetti (2013)

**Figura 7 – Sequência planejada de execução de vigas e lajes**



Fonte: Zuchetti (2013)

A isto se seguiu um estudo detalhado da operação (ao nível das operações individuais dos operários) com principal ênfase na sincronização dentro dos times. Foi observada a operação de cada operário e cada time, e elaborados diagramas de operação conjunta

(BARNES, 1999) como exemplificado na Figura 8. Neste caso, a unidade de tempo considerada para análise foi segundo.

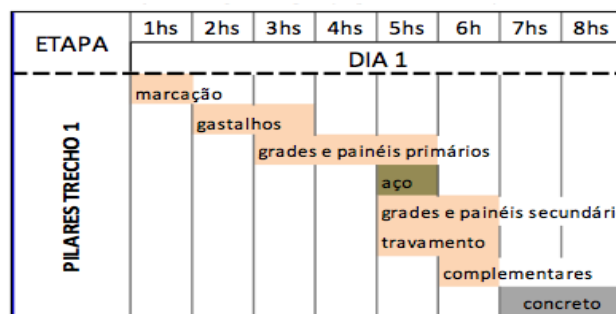
**Figura 8 – Exemplo de diagrama de operação conjunta**

t <sub>ac</sub>	t <sub>s</sub>	Carp 1	Carp 2	t <sub>ac</sub>	t <sub>s</sub>	Carp 1	Carp 2
15	15	Deslocar até pilar	Deslocar até pilar	255	22	Ligar furadeira	Marcar furo 1 no piso
27	12	Pegar grade	Pegar grade	291	36	Furar furo 1	Marcar furo 2 no piso
40	13	Posicionar grade	Posicionar grade				
74	34	Pregar grade no gastalho (6 pregos)	Segurar grade para que seja pregada	327	36	Furar furo 2	Marcar furo 3 no piso

Fonte: Baseado em Zuchetti (2013)

Com base nestes elementos, foi realizado um novo planejamento das atividades levando em conta a sincronização entre times e equipes (Figura 9). Neste planejamento, o nível de detalhe considerado foi menor, empregando-se como unidade de tempo intervalos fixos de 1 hora cada um. Procedeu-se de maneira semelhante para as demais atividades do processo, em ambos os trechos.

**Figura 9 – Exemplo do planejamento da sequência de execução entre times**



Fonte: Baseado em Zuchetti (2013)

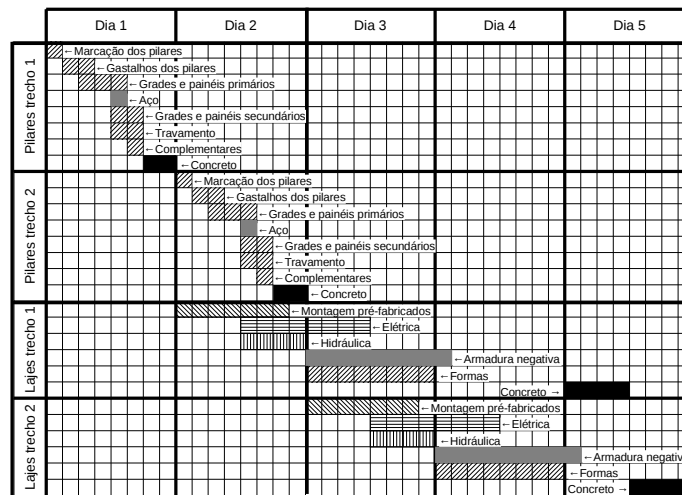
Ao final, foi elaborado um diagrama consolidando todas as atividades e trechos em um pavimento (Figura 10), a qual mostra tanto o processo de execução (o que será realizado em cada intervalo) como as operações (quem realizará o quê) dos diversos times que compunham a equipe A e demais equipes, prescrevendo como atingir um tempo de ciclo entre pavimentos de 5 dias. A escolha pelo tempo de ciclo de 5 dias visava reservar alguma folga em relação ao *takt-time* de 7 dias demandado pelo plano de longo prazo do empreendimento, para atender situações não previstas.

Embora as equipes tivessem características de grupos semiautônomos, distribuindo elas mesmas as atividades entre seus membros de forma dinâmica, ficou claro durante a observação do processo que elas careciam de conhecimento que auxiliasse na definição de como subdividir o trabalho necessário nas tarefas individuais, e subsequentemente atribuí-las aos trabalhadores. Assim, como sugerido por Fazinga (2012), foram elaboradas rotinas de operação detalhada das cada equipe. O planejamento das operações neste nível detalhe não foi realizado visando restringir a autonomia dos operários, mas servir como uma orientação às equipes de como atingir o objetivo



definido pelo tempo de ciclo planejado, nos moldes de um padrão de trabalho voltado a funcionários experientes como sugerido por Kondo (1991). Uma parte da rotina de operação da equipe A é mostrado na Figura 11, a título de exemplo.

**Figura 10 – Sequência de execução dos pavimentos e trechos segundo o método de produção proposto**



Fonte: Baseado em Zuchetti (2013)

**Figura 11 – Exemplo de rotina de operação da equipe**

OPERÁRIOS	EQUIPE	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5	
		08:00	12:00	08:00	12:00	08:00	12:00	08:00	12:00	08:00	12:00
TOPÓGRAFO	-	nível (T1/T2)									
ENCARREGADO	CONSTRUTORA	gestões (T1)	armaduras pilares (T1)	acomp. concreto pilares (T1)	gestões (T2)	armaduras pilares (T2)	acomp. concreto pilares (T2)		confirmação formas		acompanhamento concretagem
AJUDANTE (C)	A	transporte materiais e ferramentas (T1)	concreto pilares (T1)	transporte materiais e ferramentas (T2)	concreto pilares (T2)	limpeza laje (T1)	transporte materiais e ferramentas (T2)	limpeza laje (T2)	transporte materiais e ferramentas (T2)		concreto laje
C1 (encarregado)	A	gestões (T1)	comando atividades	concreto pilares (T1)	gestões (T2)	comando atividades	concreto pilares (T2)	comando atividades	comando atividades		concreto laje
C2	A	gestões malços (T1/T2)	nível nas grades (T1)	desforma vigas in loco pav n-1 a montagem (T2)	retirada cimes e prumos de gravidade pilares (T2)	nível nas grades (T2)	desforma vigas in loco pav n-2 a montagem (T2)	retirada cimes e prumos de gravidade pilares (T2)	desforma e ajustes gestões pavimento inferior (T1/T2)	SETUP	concreto laje
C3	A	desforma pilares pav n-1 (T1)	forma pilares (T1)	concreto pilares (T1)	desforma pilares pav n-2 (T2)	forma pilares (T2)	concreto pilares (T2)	forma de borda, emenda laje, caixas dos shafts, rebolo sacado e canaliza g/s (T1)	forma de borda, emenda laje, caixas dos shafts, rebolo sacado e canaliza g/s (T2)		concreto laje
C4	A	desforma pilares	forma pilares (T1)	concreto pilares	desforma pilares (T2)	forma pilares (T2)	concreto pilares (T2)	forma de borda, emenda laje, caixas dos shafts,	forma de borda, emenda laje, caixas dos shafts,		concreto laje

Fonte: Zuchetti (2013)

## 5. CONTRIBUIÇÕES DA APLICAÇÃO DO MFP NA CONSTRUÇÃO

Sob a ótica da empresa, a principal contribuição obtida a partir da aplicação do MFP no caso estudado foi a efetiva redução no tempo de ciclo de execução da estrutura. Durante a implementação, o tempo de ciclo de cinco dias foi atingido em duas oportunidades (no 8º pavimento, executado em janeiro de 2013, e no 13º pavimento, executado em fevereiro de 2013). Com a implementação do método, foi possível reverter a situação anterior e realizar uma média de um pavimento a cada 7 dias, atendendo assim o *takt-time* necessário, e confirmando a utilidade da aplicação do MFP para fins da elaboração do novo método de produção.

O presente estudo identificou ainda três contribuições relevantes a partir da aplicação do MFP para o planejamento do método de produção sob o ponto de vista teórico, descritas a seguir.

### **5.1. Dependências devido ao processo e dependências devido à operação**

A visão da produção como uma rede de processos e operações ressalta um importante aspecto observado no estudo: as dependências entre atividades não decorrem apenas de razões associadas com o processo (Figura 3), como por exemplo a necessidade de executar os pilares antes das vigas, mas também por razões associadas às operações, como por exemplo a necessidade da equipe A concluir os pilares do trecho T2 para poder iniciar as formas das lajes do trecho T1. O estudo sugere que este tipo de dependência múltipla, característica de processos de natureza repetitiva, resulta na necessidade de coordenação simultânea de toda a rede de processos e operações que compõe a produção, de forma a garantir uma sincronização entre os objetos e sujeitos do trabalho. Isto contradiz a visão geral empregada no planejamento de projetos de que as dependências entre atividades devem ser modeladas como dependências de processo, através de técnicas como as redes de atividades, sendo as dependências entre operações resolvidas posteriormente, por exemplo através de algoritmos de nivelamento de recursos.

### **5.2. Ciclos de operação aninhados**

O estudo aponta para a necessidade de se levar em consideração ciclos aninhados (ciclos de operação que se manifestam dentro de outros ciclos), os quais também devem ser adequadamente sincronizados em seus vários níveis. No que diz respeito ao processo investigado, já inicialmente se verificava a existência de ciclos definidos pelo intervalo dado pela conclusão de pavimentos sucessivos, e de trechos sucessivos. Porém, durante a realização do estudo tornou-se evidente a necessidade de um planejamento mais detalhado, incluindo ciclos entre elementos, tais como pilares e lajes. No tocante às operações, também seus ciclos e sua sincronização tiveram de ser analisados com maior detalhe, incluindo não apenas os ciclos de operação das equipes (e a sincronização entre elas), mas também dos pequenos grupos – “times” – (e a sincronização entre eles), e operários individualmente. Diagramas de operação conjunta se mostraram especialmente úteis para sincronização das operações nos seus diferentes níveis.

### **5.3. Planejamento detalhado da operação como subsídio à organização das equipes**

Partindo da premissa que as equipes operam de forma semiautônoma, a consideração de ciclos curtos de operação mostra-se fundamental para um planejamento e controle mais efetivo por parte dessas equipes, tornando assim mais ágil o processo de identificação de eventuais desvios que dificultem atingir a meta planejada (expressa pelo tempo de ciclo do pavimento). Fazinga (2012) sugere que tais tempos sejam explícitos, e considerados com um dos objetivos que devem integrar os padrões de trabalho.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo ilustra o uso do Mecanismo da Função Produção, proposto por Shigeo Shingo no contexto do Sistema Toyota de Produção, para fins de análise e implementação de melhorias em processos da construção, através de um estudo de caso do processo de execução de estrutura de concreto armado. A aplicação do MFP resultou em melhorias consideráveis no que diz respeito a produtividade e prazos envolvidos no processo estudado, reduzindo de dez para cinco dias o tempo de ciclo na execução dos pavimentos. O estudo também identifica contribuições que podem advir da aplicação do MFP aos processos da construção civil.

## 7. REFERÊNCIAS

- ANTUNES JR., José Antônio Valle. O Mecanismo da Função Produção: a Análise dos Sistemas Produtivos do Ponto-de-Vista de uma Rede de Processos e Operações. **Produção**, 4 (1), junho 1994. p.33-46.
- ARDITI, David; TOKDEMIR, Onur B.; SUH, Kangsuk. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**. November/December 2002. p.545-556.
- BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e tempos: projeto e medida do trabalho**. 6ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- FAZINGA, Wanessa. R. **Particularidades da construção civil para implantação do trabalho padronizado**. Universidade Estadual de Londrina, 2012. Dissertação de mestrado.
- FORMOSO, Carlos T. (org.) **Planejamento e Controle da Produção em Empresas de Construção**. Porto Alegre, RS: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE), 2001.
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement**. 3ª. ed. Great Barrington, MA: North River Press, 2004.
- ISHIWATA, Junichi. **IE For the Shopfloor**. Portland: Productivity Press, 1991.
- ISATTO, Eduardo L.; FORMOSO, Carlos T. Design and Production Interface in Lean Production: a Performance Improvement Criteria Proposition. **Proceedings of the IGLC-6**. Guarujá, Brazil: International Group of Lean Construction, 1995.
- JØRGENSEN, Bo; EMMIT, Stephen. Lost in Transition: the transfer of lean manufacturing to construction. **Engineering, Construction and Architectural Management**, (15) 4, 2008. p. 383-398.
- KONDO, Yoshio. **Human Motivation**. Tokyo, 3A Corporation, 1991.
- KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, CA: Stanford University, 1992. CIFE Technical Report n. 72.
- LILLRANK, Paul. The transfer of management innovations from Japan. **Organization Studies**, (16) 6, 1995. p. 971-989.
- MADERS, Berenice. **Técnica de programação e controle da construção repetitiva – Linha de Balanço: Estudo de caso de um conjunto habitacional**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1987. Dissertação de mestrado.
- MENDES JUNIOR, Ricardo. (1999). **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. Tese de doutorado.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see**. (Version 1.) Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 2009.
- SHINGO, S. **A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1989.
- ZUCHETTI, Marcelo. **Execução de Estrutura de Concreto com Elementos Pré-Fabricados: Proposta de Método para Organização dos Processos Visando Redução do Tempo de Ciclo**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Trabalho de Diplomação.