



ISBN: 978-85-67169-04-0

# SIBRAGEC ELAGEC 2015

## São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

## ANÁLISE DE CANTEIROS DE OBRAS COM O USO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E MAPEAMENTO DE FLUXO

**ARAÚJO, Alexandre V. (1); VIVAN, André L.(2); ORTIZ, Felipe A. H. (3) PALIARI, José C. (4)**

(1) e-mail: alexandre\_vicentini@hotmail.com, (2) e-mail: andre.vivav@ufscar.br, (3) e-mail: pipealtas@hotmail.com, (4) PPGECiv – UFSCar, e-mail: jpaliari@ufscar.br

### RESUMO

Geralmente, a análise de desempenho de sistemas de produção pode ser feita com o uso de ferramentas, como o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), para a análise da situação atual do sistema e visualização de potenciais melhorias. No entanto, algumas questões relativas ao comportamento do sistema de produção podem não serem respondidas pelo MFV devido à sua análise estática da situação, o que pode dificultar a proposição de melhorias. Assim, este artigo promove a análise e diagnóstico de um canteiro de obras com o auxílio da simulação computacional e compara os resultados desta ferramenta, com aqueles obtidos com o uso do MFV. Trata-se de uma pesquisa experimental alimentada por dados coletados em um canteiro de obra no interior do estado de São Paulo, além de informações fornecidas pela empresa construtora responsável. O principal resultado e a contribuição deste artigo são representados pela possibilidade de análise dinâmica do canteiro de obras e, portanto, as verificações relativas ao transporte, trabalhos em progresso e uso de recursos físicos podem ser feitas de maneira mais precisa com a simulação computacional, que pode ser utilizada como ferramenta complementar ao MFV, fornecendo possibilidades de melhorias mais eficazes para a empresa.

**Palavras-chave:** Simulação, Melhorias, Canteiros de obras.

### ABSTRACT

*Generally, the performance analysis of production systems can be made with the use of tools, such as Value Stream Mapping (VSM), for the analysis of the current situation of the system and viewing of potential improvements. However, some issues concerning the behavior of the production system may not be answered by VSM due to its static analysis of the situation, which can make it difficult to propose improvements. Thus, this article promotes the analysis and diagnosis of a construction site, with the aid of computational simulation and compares the results of this tool, with those obtained with the use of VSM. This is an experimental research powered by collected data at a construction site in the state of São Paulo, in addition to the information given by responsible construction company. The main results and the contribution of this article are represented by the possibility of dynamic analysis of construction site and, therefore, the inspections related to transport, work in progress and use of physical resources can be made more accurately with the computational simulation, which can be used as complementary tool to VSM, providing opportunities for more effective improvements for the company.*

**Keywords:** Simulation, Improvements, Building sites.

## 1 INTRODUÇÃO

Considera-se que um dos primeiros passos para se introduzir os princípios *Lean*, como

veículos de melhorias no sistema produtivo, seja por meio da aplicação de uma ferramenta denominada Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) (PICCHI, 2003). Rother e Shook (2003) afirmam que o uso do MFV é muito importante, pois retrata o estado atual do processo de produção, ajuda na identificação dos desperdícios, mostra a relação entre fluxo de material e o fluxo de informação e visualiza mais do que simplesmente os processos individuais, possibilitando o entendimento do processo produtivo como um todo.

No entanto, o MFV, devido às suas características conceituais, pode não retratar ou não ser tão preciso em seus resultados devido a algumas características ou acontecimentos no sistema de produção. Estes atributos ou fatos são típicos de ambientes dinâmicos, como os canteiros de obras, e não condizem com a análise estática que os resultados do MFV fornecem, apesar de serem, inegavelmente, importantes. É fato que esta ferramenta foi concebida para retornar resultados rápidos, permitindo que o profissional tenha um panorama geral do que está acontecendo em seu objeto de análise. Portanto, dispensar um intervalo de tempo relativamente grande para a obtenção de resultados com o MFV, demonstra um esforço que não condiz com a precisão e as informações que tal ferramenta pode fornecer.

Desta forma, a simulação computacional surge como uma alternativa ao MFV. A simulação pode modelar o canteiro de obras afim de que os atributos e fatos dinâmicos possam ser representados e, em alguns casos, previstos nos resultados. Dooley (2002) mostra que com a simulação, portanto, os pesquisadores podem deduzir, com maior precisão, o que poderá ocorrer em situações reais se uma proposição de intervenção for implementada. Assim, para análises mais precisas e mais condizentes com o comportamento de sistemas de produção, a simulação computacional se mostra como uma ferramenta mais apropriada que o MFV.

Portanto, o presente artigo promove o diagnóstico de um canteiro de obras voltado para unidades habitacionais com o uso da simulação computacional como ferramenta para tanto. Os resultados desta simulação foram comparados com os resultados obtidos com o uso do MFV neste mesmo canteiro de obras. Tais resultados também mostram que a simulação, apesar de ser uma ferramenta mais complexa sob o ponto de vista da aplicação, fornece resultados mais precisos além de ser possível ter acesso a outras métricas e dados que não fazem parte do escopo do MFV. Por consequência, a prevenção do comportamento do canteiro de obras e o projeto das melhorias se tornaram mais claros com a simulação. Considera-se os resultados desta análise importantes para a Construção Civil, pois, como será visto, a simulação não é uma ferramenta de uso corrente no setor, mas que se mostra apropriada não só para a análise e proposição de melhorias, mas também para o planejamento do canteiro de obras.

## **2 OBJETIVOS, MÉTODO E ESTRATÉGIA DE PESQUISA**

Objetivo deste artigo é promover o diagnóstico e proposições de melhorias em um canteiro de obras com o auxílio da simulação computacional e comparar os resultados desta ferramenta com a análise e melhorias obtidas com o uso do MFV com o intuito de se demonstrar o comportamento de uma ferramenta pouco conhecida ou utilizada na Construção Civil.

O método de pesquisa é definido pela coleta de dados no próprio canteiro de obras, para os quais foram realizadas observações relativas ao comportamento do canteiro de obras. Estas observações foram necessárias para se entender a dinâmica das equipes de

trabalho, seus componentes, os transportes, as esperas por parte das equipes e a regularidade e duração das inspeções dos serviços. Isto foi feito após 5 visitas ao longo de 10 dias. Para a coleta destas informações os pesquisadores observaram as atividades do canteiro e registraram as informações utilizando cronômetros (medindo o tempo gasto para a realização das tarefas) e máquina fotográfica. De posse dos dados, foram elaborados um modelo de simulação, que procurou representar as condições do canteiro de obras e um MFV do estado atual. O modelo foi simulado no software ProModel® fornecendo resultados para a comparação com o MFV atual. Finalmente, com a comparação, foram feitas algumas análises a respeito do comportamento das duas ferramentas.

Com relação à estratégia de pesquisa associada aos resultados, a mesma pode ser definida como experimental. Isto pode ser justificado, pois o presente artigo parte da hipótese de que a simulação computacional pode representar uma ferramenta em que fornece algumas vantagens frente ao uso do MFV no que tange a análise, planejamento e melhoria de sistemas de produção. Como afirma Gil (2010), a pesquisa experimental consiste em determinar o objeto que será estudado (hipótese), selecionar as variáveis que podem influenciar este objeto e definir as formas de controle e observação que estas variáveis podem produzir no objeto determinado.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Mapeamento do Fluxo de Valor**

Uma das formas de se visualizar atividades de transporte, esperas, inspeções, estoques, trabalhos em progresso etc., em um processo de produção é por meio da aplicação do MFV. Esta ferramenta facilita a percepção dos desperdícios na produção e, consequentemente, permite sua administração com o objetivo de reduzir ou eliminar as atividades de fluxo. O MFV é largamente utilizado na indústria de produtos seriados, pois retrata o comportamento dos processos que estão sendo analisados. Seu uso é muito frequente para a avaliação da produção das empresas (fábrica), visando, principalmente, tempos de ciclo e desperdícios.

Samaniego *et al.* (2005) destacam o MFV como o ponto de partida para encontrar, dentro da cadeia produtiva, os desperdícios e, consequentemente, permitir a proposição de soluções. Yu *et al.* (2009) afirmam que o MFV é a ferramenta mais utilizada em processos de planejamento dentro do ambiente *Lean*., auxiliando os profissionais a pensarem a respeito dos fluxos do sistema de produção, implementando soluções para um sistema enxuto por completo, ao invés de se aplicar as ferramentas *Lean* isoladamente.

No entanto, é fato que um sistema de produção, como um canteiro de obras é entendido como algo dinâmico sendo constantemente atingido por fatos que não foram previstos durante o projeto e/ou planejamento. Neste sentido o MFV não é uma ferramenta capaz de analisar ou prever o comportamento do sistema, de maneira que o profissional fica sempre refém de novos processos de coleta de dados e posterior análise.

#### **3.2 Simulação**

Para Dooley (2002), a simulação permite que pesquisadores assumam a complexidade organizacional de um determinado sistema como sendo um dado que irá contribuir para a proposição. White Jr. e Ingalls (2009) consideram que a simulação é uma ferramenta

para o estudo de modelos projetados, tendo em vista que se assemelha muito a pesquisas de campo, exceto pelo fato de que o sistema em observação é substituído por um modelo que pode ser tanto físico quanto computacional. Assim, a simulação envolve a criação de um modelo que imita o comportamento ou situação que está sendo estudada, possibilitando a observação e entendimentos dos resultados (WHITE JR.; INGALLS, 2009).

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Resumo do Canteiro de Obras**

O empreendimento caracteriza-se por ser um condomínio fechado, localizado na cidade de Limeira-SP, constituído por 76 casas de médio padrão com dois pavimentos, totalizando 120 m<sup>2</sup> de construção cada casa. As habitações foram construídas em alvenaria estrutural de bloco de concreto, compostas de três suítes, sala de estar, sala de jantar, varanda, lavabo e banheiro de serviço. Optou-se por considerar a unidade de produção (o lote) como sendo o conjunto de duas casas pelo fato da construtora iniciar tais unidades desta forma, ou seja, duas casas por equipe de produção e, sendo assim, o canteiro de obras era composto por 38 lotes, dos quais 5 foram objeto de análise e coleta de dados. Durante o período de visitas no canteiro, a análise ficou limitada à concretagem da laje do primeiro pavimento, pois esta era, portanto, a atividade mais avançada na obra. Assim, as demais atividades analisadas durante as visitas foram identificadas por: viga baldrame, alvenaria de embasamento, contrapiso, alvenaria do térreo, laje do térreo, alvenaria do primeiro pavimento, além da laje do primeiro pavimento.

Foram coletados dados relativos ao tempo de execução das tarefas acima descritas. A coleta foi feita, como descrito no método de pesquisa, durante cinco visitas realizadas em um intervalo de dez dias. Ainda com relação aos processamentos, além dos tempos cronometrados, foram levantadas outras informações como equipes responsáveis por cada atividade e quantidade de operários de cada equipe. Inerente ao processamento, também foram observados os fluxos de transporte de materiais entre os estoques e os lotes de processamento, o que permitiu, também, a identificação tanto de estoques de materiais quanto estoques de trabalho. Assim, de posse destas informações, foram desenvolvidos os modelos de simulação e os MFV's, dos quais foram obtidos os resultados para comparação.

### **4.2 Resultados do MFV atual**

Com base no MFV, determinou-se a composição do *lead time* de apenas um lote. A Tabela 1 mostra os tempos, em horas e dias, de cada um dos componentes do *lead time* e, adicionalmente mostra-se a sua composição porcentual dentro do mesmo. Estes valores foram obtidos a partir da média dos valores apresentados nas 5 unidades de produção analisadas, tanto para as atividades de fluxo quanto para as atividades que agregam valor ao cliente interno e ao cliente final.

De fato, além dos dados numéricos que podem ser extraídos do MFV, com o mesmo, o profissional também pode analisar transportes, pontos de estoques e índices de produtividade nos processos. Neste caso, o MFV permitiu, principalmente, a identificação dos meios de transporte de materiais para os lotes em construção e pontos de formação de estoques intermediários, além de um panorama geral do comportamento

atual do canteiro de obras. No entanto, tais análises são estáticas e muitas delas não são imediatas, como aquelas que podem ser visualizadas no mapa, exigindo alguns cálculos e/ou comparações por parte do profissional. Como exemplo disso pode ser citada a análise de atividades de transporte, na qual o profissional fica restrito apenas ao que está e como está sendo transportado determinado material.

**Tabela 1 – Resultados numéricos do MFV**

<b>Composição <i>Lead Time</i></b>	<b>Tempo (horas)</b>	<b>Tempo (dias)</b>	<b>Percentual</b>
Atividades de processamento	223.9	24.9	21.3%
Atividades de fluxo	813.1	90.3	77.4%
Fluxo de operações	13.3	1.5	1.3%
<b><i>Lead time</i></b>	<b>1050.3</b>	<b>116.7</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autores

No entanto, tais análises são estáticas e muitas delas não são imediatas, como aquelas que podem ser visualizadas no mapa, exigindo alguns cálculos e/ou comparações por parte do profissional. Como exemplo disso pode ser citada a análise de atividades de transporte, na qual o profissional fica restrito apenas ao que está e como está sendo transportado determinado material.

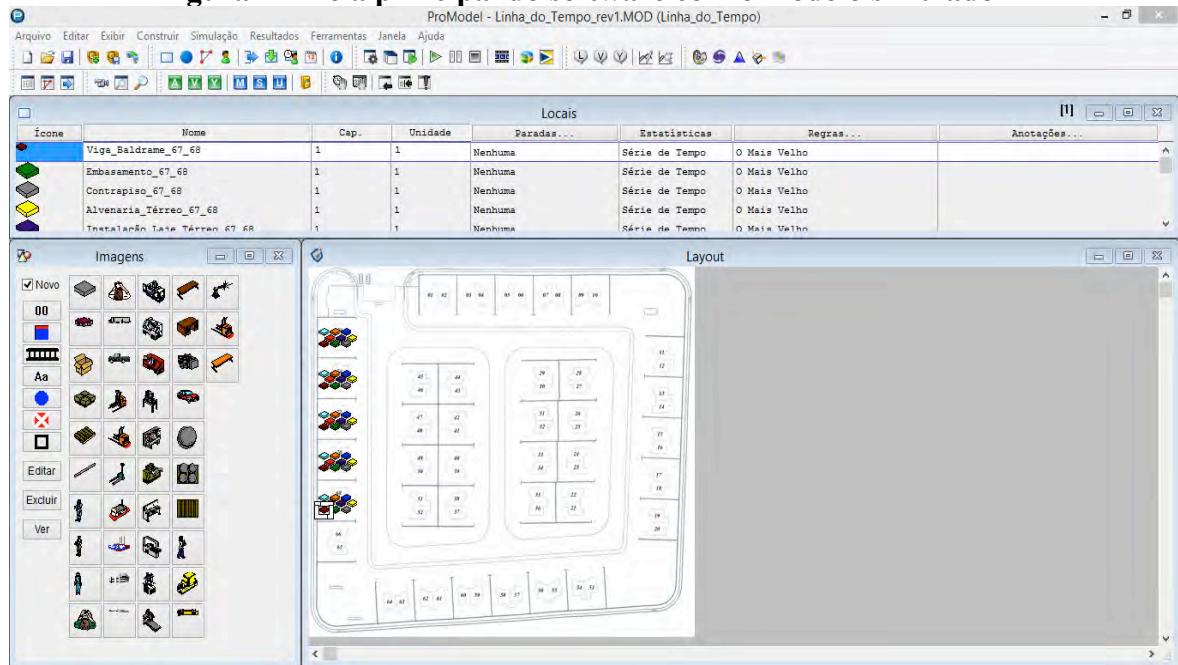
#### **4.3 Resultados da Simulação**

O primeiro passo para a simulação foi a construção do modelo computacional. Este modelo, de acordo com o conceito da ferramenta, deve representar o desempenho do sistema de produção, o qual foi observado durante as visitas técnicas. Uma característica da simulação computacional é representada pelo fato de que há a necessidade do profissional conhecer o software que fornecerá os resultados. Para o presente artigo, portanto, o modelo teve de se adequar aos comandos do software ProModel®. Assim, foi inserida no software a planta básica do canteiro de obras. Com base nesta planta, os autores identificaram os lotes de produção que foram objeto de análise e, nestes lotes, foram inseridos os comandos do ProModel® pertinentes à representação da dinâmica da obra observada nas visitas. Os mesmos processos utilizados no MFV atual foram inseridos no software, sendo estes alimentados pelos seus respectivos tempos de produção. Além destes dados, o modelo também contou com a inserção dos tempos de espera (formação de trabalho em progresso) entre os processos. Dessa forma, a Figura 1 ilustra a tela principal do software, representando uma das etapas da construção do modelo, com a definição do processos analisados em cada uma das unidades de produção utilizadas no estudo.

Destaca-se que a simulação também incorporou todos os 5 lotes observados nas visitas, para que o software analisasse o desempenho do modelo com atividades acontecendo simultaneamente em lotes diferentes. Isto pode ser considerado uma vantagem para com o MFV, no qual, na melhor das hipóteses, poderia ser feita uma média quando há a necessidade de se analisar atividades em vários lotes diferentes. Assim, o modelo abstruído, foi simulado e o software retornou diversos resultados e análises. Dentre os diversos resultados oferecidos, selecionaram-se dois dos mais interessantes para efeito de análise do desempenho dos 5 lotes utilizados como objeto de estudo. Na Figura 2

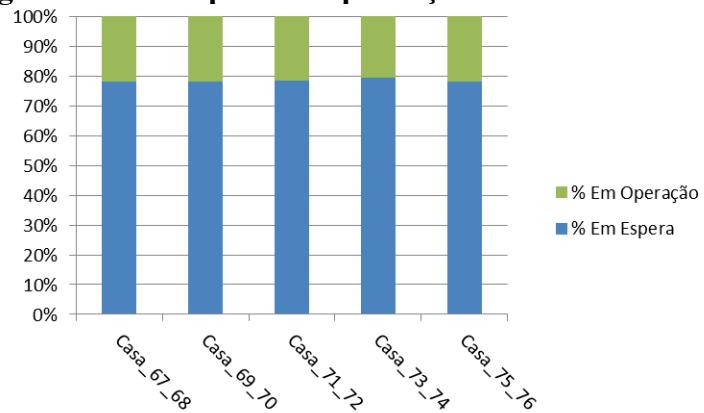
está representado o gráfico que representa o comportamento da produção nos lotes analisados ao longo de toda a duração das atividades descritas.

**Figura 1 – Tela principal do software com o modelo simulado**



Fonte: Autores

**Figura 2 – Desempenho da produção nos lotes analisados**

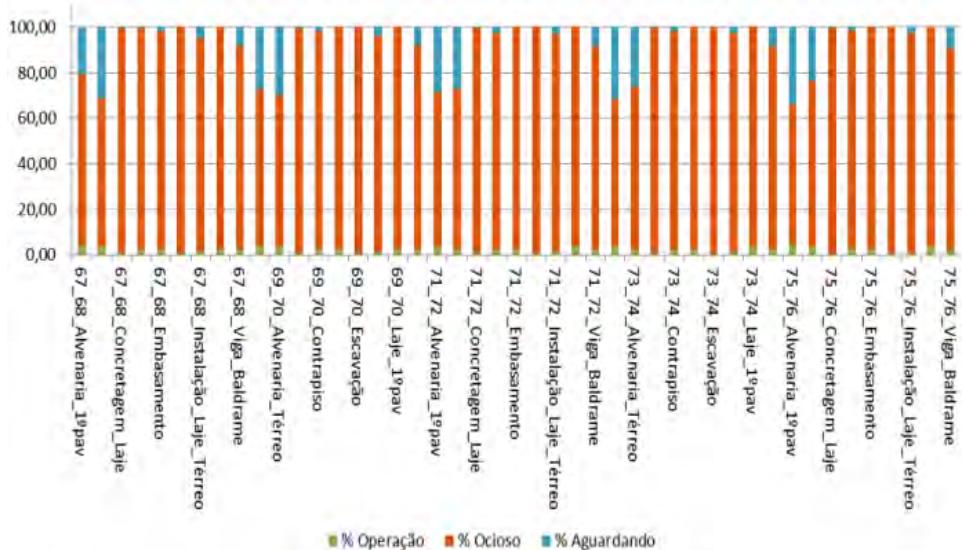


Fonte: Autores

O gráfico da Figura 2 mostra que ao longo do tempo total de duração das atividades, cada lote analisado passou, em média, cerca de 78,42% do tempo em espera. Esta espera está relacionada com altos índices de trabalho em progresso, ou seja, entre uma atividade e outra, há estocagem de serviços finalizados. Além disso, o gráfico também mostra que, em média, em apenas 21,58% do tempo total, houve processamento das tarefas nestes lotes. Nota-se uma correspondência com relação aos índices apresentados pelo MFV, na Tabela 1, como esperado. Um segundo gráfico pode ser visto na Figura 3. Neste gráfico há uma maior riqueza de detalhes com relação aos desperdícios de tempo durante a execução das atividades executadas em cada lote. Neste gráfico notam-se três porcentagens: operação, ocioso e aguardando. Destaca-se que a parcela identificada como “ocioso” é um resultado fornecido especificamente pelo ProModel®, sendo definido pela diferença entre a soma dos tempos de processamento e os tempos de

espera, com o tempo total da atividade, dividido pelo total de dias gastos para a conclusão de todos os lotes (*lead time*).

**Figura 3 – Desempenho das atividades em cada lote**



Fonte: Autores

Com a análise da Figura 3, notam-se, claramente, a falta de um fluxo ordenado da construção, excessivos tempos de espera e ociosidade e consequente formação de estoques intermediários (trabalhos em progresso). Ou seja, há uma grande porcentagem de perdas na atual condição do canteiro de obras. De fato, estes fatores foram comprovados durante as visitas técnicas, onde foram observados longos períodos de ociosidade por parte das equipes responsáveis por cada lote, seja devido ao sistema de transporte de materiais, seja devido à falta de frentes de serviço. Destaca-se que com os resultados apresentados pelo software, foi possível analisar o desempenho da obra sob o ponto de vista dinâmico. Além destes resultados apresentados, o software permite que o profissional analise o desenvolvimento das atividades através do ajuste na “velocidade de simulação”, possibilitando a observação de interfaces e interferências entre recursos e processos em um ambiente, no qual diversos lotes de produção e/ou atividades de processamento estão acontecendo ao mesmo tempo.

## 5 CONSIDERAÇÕES

O objetivo principal deste artigo foi mostrar que existem meios de se analisar e diagnosticar um sistema de produção de forma precisa. Neste caso, elaborou-se uma comparação entre uma ferramenta, representada pelo MFV, que vendo sendo utilizada em diversas pesquisas acadêmicas voltadas para a Construção Civil e a simulação computacional. Para isso, ambas as ferramentas foram aplicadas na análise de um canteiro de obras voltado para a produção 76 casas. Foram coletados dados pertinentes ao estudo e os mesmos alimentaram a elaboração do MFV atual e do modelo de simulação. Com o desenvolvimento do MFV atual, algumas informações puderam ser prontamente coletadas, como pontos de estoque, índices de produtividade das equipes, meios de transporte. No entanto, um dos principais resultados do MFV é numérico e representa os tempos relativos aos processamentos e aos desperdícios. Outras informações puderam ser retiradas do MFV, mas estas não foram imediatas e demandaram pelo processamento secundário tanto dos dados coletados quanto dos

resultados do MFV. No caso da simulação os dados coletados estruturaram o modelo que foi abstraído das condições reais do canteiro de obras analisado. A grande vantagem da simulação fica por conta de que o comportamento de várias atividades de processamento podem ser analisadas ao mesmo tempo para lotes diferentes. Além disso, há a possibilidade de aplicação de curvas estatísticas nos tempos atribuídos às atividades, promovendo variações na produtividade dos operários, fator este que ajuda no ganho de precisão dos resultados finais.

Analizando o processo de desenvolvimento das duas ferramentas e os resultados obtidos, notam-se duas distinções muito claras que são relativas à qualidade dos resultados e complexidade de execução. No caso do MFV, notou-se que o processo de elaboração é muito mais rápido e prático, podendo ser, até mesmo, desenvolvido no próprio canteiro de obras. Porém, seus resultados são relativamente simples e fornecem apenas um panorama da situação atual do sistema de produção. Já para a simulação foi observado que a elaboração do modelo é uma atividade muito mais complexa quando comparada com o MFV, envolvendo, também, o conhecimento por parte do profissional do software que está sendo utilizado, além do que, o profissional deve saber abstrair as informações do canteiro para o modelo de simulação, sem que o comportamento do sistema seja substancialmente alterado. Mas em termos de resultado, a simulação fornece muito mais informações, sem que sejam necessárias diferentes análises, sendo isto possível, obviamente, por ser uma ferramenta computacional.

Assim, entende-se que, dependendo da necessidade, seja interessante que as empresas trabalhem com as duas ferramentas. Utilizando o MFV como uma primeira etapa do processo de análise e diagnóstico, e a simulação como ferramenta de complementação desta análise para posterior projeto, análise e implementação das melhorias necessárias. Além disso, o uso da simulação computacional é considerado importante para a Construção Civil pelo fato da mesma não ser de uso corrente entre os profissionais da área, contribuindo, principalmente, para melhorias no campo de tomada de decisões.

## **REFERÊNCIAS**

- DOOLEY, K. *Simulation research methods*. In: BAUM, Joel (Ed.). **Companion to Organizations**. Blackwell. London. 2002.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- PASQUALINI, F.; **Mapeamento do Fluxo de Valor na Construção: Estudo de Caso em uma Construtora Brasileira**. Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2005.
- PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.3, n.1, p. 7-23, jan./mar.. 2003.
- ROOTHER, M.; SHOOK, J. *Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda*. Lean Enterprises Inst Incorporated. 2003.
- SAMANIEGO, C.; GRANJA, A.D.; PICCHI, F.A. **Integração da gestão da Fabricação e Montagem de Peças de Concreto Pre-fabricado In-situ Usando Conceitos Lean Thinking**. Simposio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2005.
- WHITE JR., K. P.; INGALLS, R. G. *Introduction to simulation*. **Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference**. 2009.
- YU, H.; TWEED, T.; AL-HUSSEIN, M.; NASSERI, R. Development of lean model for house construction using value stream mapping. **Journal of Construction Engineering and Management**. 9 p. August, 2009.