

# Uso da simulação computacional com o mapeamento do fluxo de valor para auxiliar na tomada de decisão

*Use of computer simulation with the value stream mapping to assist in decision-making*

## Ricardo Becker Mendes de Oliveira

Mestrando, Engenharia Mecânica, Departamento de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté – UNITAU. Taubaté, SP – Brasil. prof\_becker@yahoo.com.br

## Valesca Alves Corrêa

Doutora, Engenharia Mecânica, Departamento de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté – UNITAU. Taubaté, SP – Brasil. valesca.correa@unitau.com.br

## Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes

Doutor, Engenharia Mecânica, Departamento de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté – UNITAU. Taubaté, SP – Brasil. luiz@unitau.br

## Resumo

Neste trabalho, objetiva-se propor a utilização da metodologia de Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) de modo integrado a um modelo de simulação computacional, construído com o *software* Arena. O objeto de estudo está baseado em um sistema produtivo no qual surgiu a necessidade de realizar modificações a fim de acomodar novos produtos e, para isso, devem-se detectar os possíveis gargalos e visualizar os impactos gerados pelas futuras mudanças. Como resultados, será apresentado o modelo de simulação computacional qualificado para representar o sistema atual e o futuro em conjunto com os resultados do Mapeamento do Fluxo de Valor para identificar as atividades que agregam ou não valor ao processo. Há a inclusão de eventos *kaizen* para que no mapa futuro os desperdícios sejam encontrados de forma mais prática e confiável, auxiliando na tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Mapeamento do fluxo de valor. Pensamento enxuto. Simulação computacional. Tomada de decisão.

## Abstract

The aim in this paper is to propose the use of the methodology of Value Stream Mapping (VSM) in an integrated manner with a computer simulation model built with the software Arena. The object of study is based on a production system where there was a need to make changes in the current system to accommodate new products and it should be possible to detect bottlenecks and visualize the impacts generated by future modifications. Results will be presented as the model of computer simulation qualified to represent the current and future system, together with the results of the Value Stream Mapping to identify activities that add value to the process or not. There is the inclusion of *kaizen* events to map future, waste will be found in a more practical and reliable, assisting in decision-making.

**Key words:** Computer simulation. Decision-making. Lean thinking. Value stream mapping.



## 1 Introdução

No mundo globalizado, as empresas buscam aumentar a produtividade reduzindo custos e adotando políticas de gestão enxuta. Por isso, verifica-se a crescente importância de construir modelos que tragam uma melhor aplicabilidade de técnicas e regras em um processo de tomada de decisão empresarial em que a informação se mostra um recurso fundamental para as novas tendências mundiais. O pensamento enxuto aparece nesse conceito e é descrito em alta gama de bibliografias com sucesso em sua aplicação em indústrias de transformação e beneficiamento.

Segundo Choo (2003), as decisões resultam da adoção de um curso de ação e facilitam esta ação na medida em que definem e elaboram propósitos, alocam recursos e autorizam sua execução, portanto, o processo decisório pode ser visto como um conjunto de ações e fatores que têm início a partir da identificação de um estímulo para a resolução do problema e que se finaliza com a alocação do recurso específico para saná-lo.

Pegden et al. (1995) determinam a simulação como uma metodologia experimental que é aplicável a diversos sistemas e tem como premissas: descrever o comportamento de sistemas, a construção de teorias ou hipóteses que explicam o comportamento observado, o uso do modelo de simulação computacional para prever um comportamento futuro, isto é, efeitos produzidos por mudanças no sistema ou na forma de operá-lo. Ela permite identificar previamente o comportamento de processos de forma que os custos sejam reduzidos somente o necessário e o projeto atenda à sua demanda de maneira eficaz.

O objetivo neste trabalho é utilizar a ferramenta de Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) proveniente do conceito da filosofia *lean*, em conjunto com o aplicativo Arena, para construir um modelo de simulação computacional que valide o

mapa atual e os mapas futuros do fluxo de valor a fim de apontar os desperdícios na produção e, assim, poder quantificar as possíveis melhorias ou modificações que podem ser realizadas, com a finalidade de auxiliar a tomada de decisão.

## 2 Fundamentação teórica

### 2.1 Tomada de decisões

Segundo Harrison (1993), o processo de tomada de decisão é um produto de uma cultura em que a decisão ocorre e, ao mesmo tempo, influencia essa cultura. Esse autor afirma também que o processo decisório, em um universo mutável e complexo, leva em conta relevantes aspectos de muitas disciplinas, não só da disciplina econômica, matemática e estatística. Um modelo de tomada de decisão mostra, graficamente, qual a ênfase que as disciplinas em pauta devem receber no processo de tomada de decisão e deve incluir um número “ideal” de variáveis que vão expor os fenômenos do sistema de forma mais simplificada.

Dos elementos que compõem o processo de tomada de decisão, alguns deles influenciam de forma direta na escolha dos administradores e trazem consequências para os demais. Os objetivos, o estado da natureza e a situação determinarão as possíveis alternativas para a escolha da estratégia que melhor definirá a tomada de decisão. E, por fim, os resultados serão consequências da estratégia estabelecida para alcançá-los (CHIAVENATO, 2004).

### 2.2 Filosofia *lean*

A produção enxuta é uma filosofia que engloba diferentes práticas gerenciais, como: *Just in Time* (JIT), Sistema da Qualidade Total (SQT), trabalho em equipe, *layout* celular e Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV). Foca na identificação e eliminação de desperdícios por toda a cadeia

de valor para que essas práticas possam trabalhar sinergicamente, de maneira que as organizações fabriquem produtos com qualidade esperada pelo cliente e acompanhem a demanda (CRUTE et al., 2003; SCHERRER-RATHJE; BOYLE; DEFLORIN, 2009; SHAH; WARD, 2003 obras citadas por GAMBI, 2011). Algumas empresas, como Dupont e Bosch, têm aplicado os conceitos do *lean thinking* ou pensamento enxuto também fora do chão de fábrica e colhendo ótimos resultados (LEAN SUMMIT, 2004).

Ohno (1997) aponta a origem da filosofia *lean* no Sistema Toyota de Produção e seu objetivo principal é trabalhar para atender os clientes no menor tempo possível, na mais alta qualidade perceptível pelo cliente e com o menor custo possível.

Womack e Jones (1996) afirmam que o pensamento enxuto traz redução de desperdícios e melhora a eficiência da organização. É necessária uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção e fazer todas estas de forma a melhorar continuamente em um ciclo contínuo e considerando o conjunto inteiro de atividades na criação e na fabricação de um produto, na execução de um serviço e no fluxo de informações.

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que está na base dos pilares do pensamento enxuto que facilita a visualização e o entendimento do fluxo de materiais e informações, e identifica quais os fluxos estão agregando valor ao processo. Permite a identificação dos desperdícios que ocorrem por toda a cadeia mapeada, além de um suporte à tomada de decisão, e forma a base para um plano de oportunidades e melhorias. Mapear o fluxo de valor pode representar uma ferramenta informal de comunicação, de planejamento de negócios e um instrumento valioso para gerenciar o processo de mudança, cuja

função estratégica é a de estruturar toda a implementação da metodologia do pensamento enxuto. O mapeamento do fluxo de valor segue as seguintes etapas: desenho do estado atual, desenho do estado futuro e plano de trabalho (ROTHER; SHOOK, 1999).

O mapeamento do fluxo de valor utiliza um conjunto padronizado de símbolos e necessita que todos os envolvidos estejam alinhados com os objetivos do projeto e compreendam os conceitos dos mapas do MFV e sua simbologia.

### 2.3 Simulação computacional

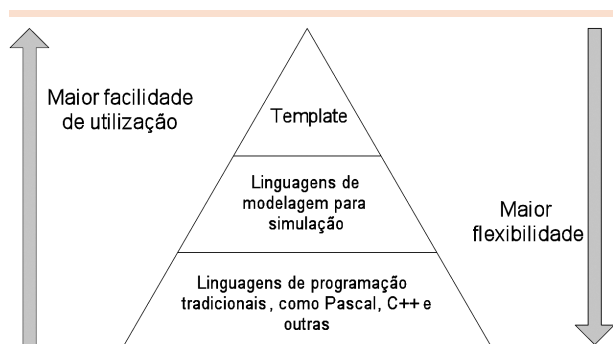
A simulação, segundo Pegden et al. (1995), é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo objetivando entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.

As indústrias de manufatura sempre foram as maiores usuárias da simulação, principalmente devido à facilidade de uso e à pressão competitiva pela eficiência operacional, sendo a simulação computacional uma das mais poderosas ferramentas para modelagem e análise de problemas, utilizada para o planejamento, projeto e controle de sistemas complexos em diversos segmentos, como manufatura, sistemas de manuseio de materiais, engenharia civil, indústria automobilística, transporte, área militar, sistemas de comunicação, sistemas de planejamento e vários sistemas com forte estrutura em filas (HARREL et al., 1997 apud SILVA, 2006).

A simulação é uma técnica utilizada para analisar problemas cuja solução analítica é impraticável, seja pela presença de variáveis aleatórias ou por excessiva complexidade do sistema (PINTO, 2007). Um dos modos de reduzir custos no planejamento é utilizar a técnica de simular o sistema a ser estudado a fim de prever as diversidades e a viabilidade técnica e econômica. Freitas Filho (2008) define a simulação como forma de

imitar praticamente qualquer operação de um processo ou sistema do mundo real utilizando técnicas matemáticas.

A simulação computacional é bem flexível e podem-se criar cenários que contemplam a logística de materiais e informações, bem como previsão de defeitos e comportamentos aleatórios. A Figura 1 mostra uma representação das diversas propostas de técnicas de simulação quanto à flexibilidade.



**Figura 1: Prós e contras na escolha da ferramenta utilizada na modelagem**

Fonte: Adaptado de Fioroni (2008).

Os principais dados de entrada do modelo simulado neste trabalho estão armazenados em variáveis que são definidas por Kelton et al. (1998) como elementos que guardam informações globais, podendo registrar grande quantidade dentro do sistema. As variáveis podem ser usadas para registrar o número de entidades no sistema ou o estado de um determinado elemento dele (como, por exemplo, indisponibilidade de um comércio em razão do horário de atendimento). Elas podem conter informações simples, bem como armazenar uma quantidade considerável de dados, quando utilizada como vetor ou matriz.

Segundo Martins (2009), variáveis indexadas são arranjos multidimensionais para o armazenamento de dados, e as funções são procedimentos de código pré-definidos para a modularização e organização dos códigos em programas.

Silva et al. (2012) empregam a simulação computacional, desenvolvida no aplicativo Arena, para estudar os impactos das regras de sequenciamento de produção no desempenho de ambientes de manufatura *job shop* e *flow shop*. O modelo de simulação computacional contempla a aleatoriedade da chegada de ordens e dos tempos de produção nesses ambientes. Os resultados mostram que as regras *Earliest Due Date* (EDD) e *Dynamic Least Slack* (SIPT) apresentaram os melhores desempenhos nos ambientes *job shop* e *flow shop*, respectivamente.

### 3 Formulação do problema

O estudo de caso está baseado em um sistema de produção com processo de embalagem automático e diversidade de insumos. Por motivo de confidencialidade, o sistema de produção não será exposto em detalhes, assim como o tipo de produto final, os detalhes de máquinas e o nome da empresa. O processo de fabricação consiste em um fluxo contínuo de abastecimento de matéria-prima, dividido em três turnos e com estoque intermediário entre setores que garantem o balanceamento da linha.

Na empresa analisada, apresentava-se um problema na tomada de decisões sobre as melhorias que poderiam ser implementadas e a respeito de seus reais impactos. As melhorias vêm da necessidade de realizar modificações em seu sistema para acomodar novos produtos, visualizar os gargalos atuais e os impactos gerados pelas futuras modificações, bem como o comportamento do sistema trabalhando com todas as variáveis do processo.

Há dois insumos principais que compõem a fabricação do produto, e a chegada destes materiais são programadas para alimentar um estoque mínimo. O planejamento e programação da produção são feitos de forma manual e se concentra em três setores principais, a saber: o setor de mis-

tura, o de movimentação com silos móveis e o de embalagem. O processo de chegada de material, estocagem e transporte até o início da produção não é relevante e não interfere neste estudo, a pesquisa tem foco no planejamento e na programação da produção, uma vez que a empresa sempre encontrou dificuldades para balancear e controlar a linha de produção.

Em face da grande quantidade de variáveis do processo produtivo relevantes na análise dos eventos, o modelo que será utilizado neste trabalho foi desenvolvido por meio de um método determinístico de simulação computacional que permite simular o processo de forma que se assemelhe ao funcionamento desse sistema em particular. Por isso, a empresa recorreu à simulação computacional para viabilizar os testes e prever com precisão a resposta do sistema.

## 4 Desenvolvimento

O modelo de simulação é composto pela “interface” e pelo “modelo” que permitem ao usuário

desenvolver simulações e análises baseadas no modelo desenvolvido no aplicativo Arena.

Todas as variáveis do modelo são preenchidas em uma planilha do aplicativo Microsoft Excel que interagem com o modelo de simulação e reconhecem os valores previamente definidos que, conseqüentemente, alimentam o simulador. Os resultados também são exportados para esse arquivo que pode ser visualizado após a conclusão do cenário simulado.

Os dados de entrada e recursos podem ser modificados e permite o estudo minucioso de cada etapa da produção. Isso abre oportunidade de construção de diversos cenários que apontam as limitações atuais e as futuras que poderão afetar a capacidade de abastecimento de produto nas máquinas de embalagem.

O padrão de variáveis elaborado no Microsoft Excel é mostrado na Figura 2 e representa as máquinas, equipamentos e demais variáveis do processo que foram construídas para serem exportadas para o aplicativo Arena. O objetivo de construir as variáveis em planilhas é controlar o comportamento do modelo, permitir alterações

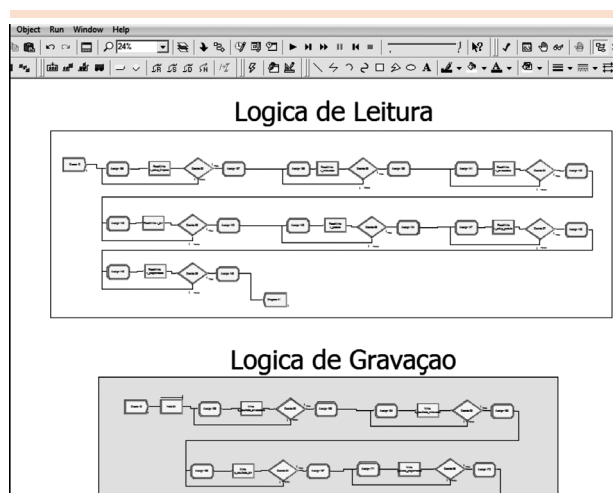
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
16									
17			1	2	3	4	5	6	7
18		v_maquina	Maquina Ativa?	Ultimo produto na Maquina	Taxa de produção Pratica (kg/min)	Quantidade de produtos na Maquina	Qtde Demandada (kg) "Contolado pelo Arena"	Qtos pallets precisa ?	Qtde Virtual (Kgl) "Contolado pelo Arena"
19	1	Maquina_01	1	2	16,25	10		5	
20	2	Maquina_02	1	3	17,25	10		4	
21	3	Maquina_03	1	4	18,25	10		5	
22	4	Maquina_04	1	5	13,5	10		5	
23	5	Maquina_05	1	3	9	10		4	
24	6	Maquina_06	1	4	10,4	10		6	
25	7	Maquina_07	1	5	23,3	10		6	
26	8	Maquina_08	1	6	14	10		6	
27	9	Maquina_09	1	1	14	10		6	
28	10	Maquina_10	1	7	16	10		6	
29	11	Maquina_11							
30	12	Maquina_12							
31	13	Maquina_13							
32	14	Maquina_14							
33	15	Maquina_15							
34	16	Maquina_16							
35	17	Maquina_17							
36	18	Maquina_18							
37	19	Maquina_19							
38	20	Maquina_20							
39	21	Verificação ARENA	10						

Figura 2: Planilha de construção da variável indexada para alimentar os dados de entrada no modelo de simulação

Fonte: O autor.

de diferentes parâmetros de acordo com cada cenário, e usar as matrizes das planilhas como gabaritos para alimentar as variáveis do modelo no aplicativo Arena.

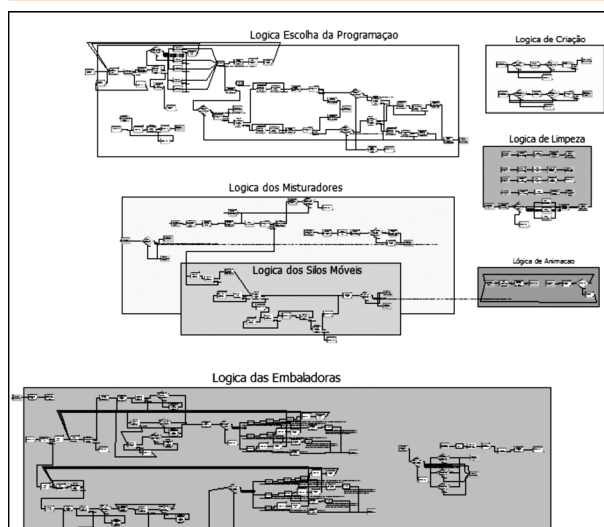
A variável indexada “v\_maquina” construída em uma planilha do Microsoft Excel é exportada para o modelo de simulação como dados de entrada. Nela, o usuário pode ligar ou desligar a quantidade de máquinas de acordo com cada cenário e modificar cada parâmetro de forma individual. Para receber essas matrizes de variáveis, o modelo no aplicativo Arena precisa ser ajustado de forma a trabalhar com as variáveis indexadas para que durante a simulação procure os dados de forma correta e conforme as lógicas modificar esses dados corretamente durante a simulação. A Figura 3 mostra as lógicas usadas para o modelo “ler” as variáveis e “gravar” os resultados do arquivo na referida planilha.



**Figura 3: Planilha de construção da variável indexada para alimentar os dados de entrada no modelo de simulação**

Fonte: O autor.

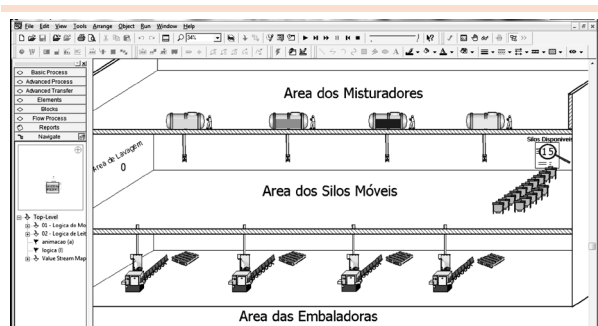
O modelo foi elaborado de acordo com os três setores principais do sistema: Misturadores, Silos Móveis e Embaladoras. A Figura 4 mostra as lógicas usadas na estrutura de construção do modelo no aplicativo Arena.



**Figura 4: Estrutura de construção da lógica do modelo no software Arena**

Fonte: O autor.

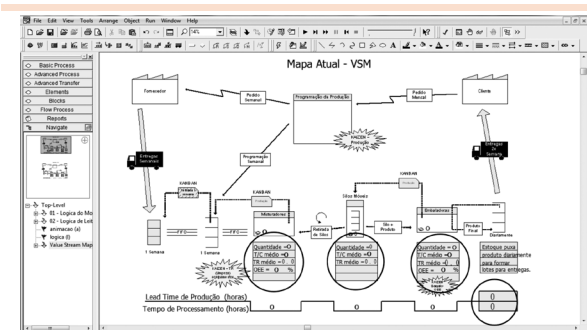
O modelo simula uma semana de planejamento, sendo os produtos a ser produzidos colocados seguindo a ordem em que o usuário insere os dados no Excel. O sistema possui um método complexo de escolha de lavagens, pois a cada troca de produto, a máquina respeita uma tabela de lavagem de cada tipo de produto final. De acordo com essa tabela, para receber um novo produto, as máquinas que já foram utilizadas podem necessitar de lavagem completa (maior duração), limpeza a seco ou não precisar de limpeza. Após a leitura automática das tabelas preenchidas no Excel, o modelo começa com a lógica de criação das programações, que cria o número de entidades de acordo com o número de produtos e as envia para a lógica de programação em que o modelo escolhe o misturador com menor tempo de limpeza. Na lógica dos misturadores, enquanto o insumo é misturado, a quantidade de silos móveis é selecionada na lógica, respeitando também o menor tempo de lavagem em relação ao produto que vai ser depositado e, após essa etapa, os silos móveis enviam o produto para a lógica das embaladoras. A Figura 5 representa todo o processo simulado com uma animação construída no modelo com o aplicativo Arena.



**Figura 5: Representação da animação do modelo no aplicativo Arena representando o sistema de produção**

Fonte: O autor.

Os mapas do fluxo de valor foram construídos dentro do ambiente de modelagem do simulador Arena. Esta abordagem permite utilizar as vantagens de um modelo de simulação computacional e as dos princípios da filosofia *lean* para eliminar desperdícios.



**Figura 6: Mapa atual do MFV com os indicadores de resultado do cenário e apontamento dos eventos kaizen**

Fonte: O autor.

O ambiente computacional Arena possui integração com alguns dos aplicativos da Microsoft e, por esse motivo, foi escolhido o Microsoft Visio, que possui as simbologias para construir os mapas do MFV. O mapa atual do sistema construído no Microsoft Visio foi elaborado para receber os indicadores do aplicativo Arena para depois ser importado para o modelo de simulação. A Figura 6 mostra o mapa atual do sistema com as observações para o mapa futuro

nas caixas de eventos *kaizen* e os indicadores dos resultados do cenário atual.

A Tabela 1 mostra o significado dos indicadores de resultado inseridos nos mapas atual e futuro do MFV.

**Tabela 1: Legendas dos indicadores utilizados no mapa atual do MF**

Indicador	Significado
Quantidade	Quantidade de máquinas no setor.
T/C médio (horas)	Tempo de Ciclo para produzir todos os produtos.
T/R médio (horas)	“Changeover Time” ou Tempo de Troca. Nesse caso, classificado como tempo para realizar todas as limpezas.
OEE	Overall Efficiency Equipment.
Lead time de produção	Tempo total que as máquinas levam para concluir a produção de todos os produtos no período. É o tempo total da simulação.
Tempo de processamento	O período que agrega valor ao produto sendo igual ao maior tempo de ciclo (setor gargalo).

Fonte: O autor.

## 5 Resultados

O modelo de simulação expõe todos os resultados de forma individual para cada máquina, mas para seguir os princípios do pensamento enxuto, os resultados das máquinas foram agrupados, tratados como um fluxo e dividido pelos três setores. Com essa divisão, a linha do tempo do mapa futuro do fluxo de valor evidencia o maior tempo de processamento (gargalo) em relação ao *lead time* total da produção utilizado em todos os cenários nos sete dias de simulação. O resultado do *lead time* de produção abrange todo o período de processo dos produtos, e este tempo, quando reduzido, significa fazer mais com menos recur-

sos. O cenário que representa o sistema atual é composto por 4 Misturadores, 15 Silos Móveis e 4 Embaladoras.

A linha do tempo do mapa atual do fluxo de valor faz a relação do maior tempo de produção referente ao *lead time* total, apontando o gargalo do sistema com sendo o setor de Embalamento. Ele expõe o gargalo do sistema, a utilização e tempos de limpeza de cada setor. Os eventos *kaizen* foram marcados para construir e validar as melhorias no mapa futuro do MFV e são eles:

- Adição de critérios para a posição dos produtos no planejamento de produção do simulador. O modelo de simulação permite que o usuário escolha alguns critérios pré-programados para que o simulador escolha a posição em que os produtos entram em produção a fim de reduzir os tempos de limpeza entre as trocas de máquinas.
- Redução dos três possíveis tempos de limpeza das máquinas. Com a diminuição desse tempo, o espaço entre a produção de um produto e outro, diminui.
- Melhoria no *Overall Efficiency Equipment* (OEE) das máquinas de embalagem.

Como o simulador apontou as máquinas de embalagem como o gargalo do sistema, a empresa decidiu investir na melhoria do OEE dessas máquinas, pois elevaria a eficiência dos equipamentos, diminuindo o tempo de processamento, de processo no gargalo e também aquele necessário para processar todos os produtos.

A Figura 7 mostra o mapa do estado futuro.

A Figura 8 mostra os detalhes dos indicadores do mapa de valor do estado futuro.

Para testar as melhorias, quatro cenários foram construídos baseados nos eventos *kaizen*:

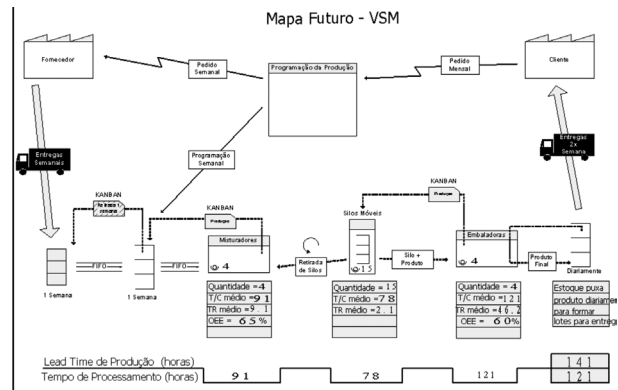


Figura 7: Mapa do estado futuro

Fonte: O autor.

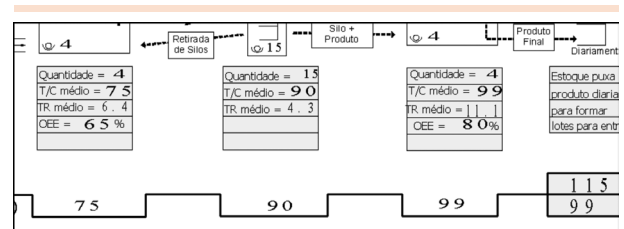


Figura 8: Detalhe dos indicadores do mapa de valor do estado futuro

Fonte: O autor.

- Futuro 1: a lógica do modelo deve ser ligada aos critérios de planejamento da programação para que o simulador encontre a melhor combinação de produtos que reduza a quantidade de limpezas necessária.
- Futuro 2: o tempo das limpezas (úmida e seca) é reduzido em 30%. Para essa redução dos tempos de limpeza, está prevista a aquisição de limpadores semiautomáticos.
- Futuro 3: o *Overall Efficiency Equipment* das máquinas gargalo do sistema (Embaladoras) recebe melhoria de 80%.
- Futuro 4: o cenário simulado com todos os eventos *kaizen* aplicados em conjunto no sistema.

Conforme Tabela 2, do cenário atual para o “Futuro 1”, há redução no *lead time* total da simulação com a seleção da melhor posição dos produtos e, como consequência, há significativa re-



dução na quantidade de limpeza entre trocas dos produtos nas máquinas. Para o cenário “Futuro 2”, a diminuição de 30% nos tempos de limpeza também impactou no *lead time* total da simulação, reduzindo o desperdício de tempo com a limpeza – que não agrega valor.

O cenário “Futuro 3” melhorou para 80% o OEE fazendo com que o *lead time* total da simulação fosse reduzido, tornando o processo mais eficiente. A redução no tempo de processamento do gargalo do sistema permitiu que os misturadores trabalhassem com menor tempo de *buffer*, alimentando com maior rapidez os silos móveis (motivo do aumento em sua utilização), isso reduziu o tempo total de *lead time* da produção.

A Tabela 2 traz uma comparação dos indicadores dos mapas futuros do fluxo de valor de todos os cenários que contemplam os eventos *kaizen* e a porcentagem de redução do *lead time* em relação ao cenário atual.

Todos os cenários tiveram uma melhora significativa em diversos pontos ou melhorias

pontuais em relação ao cenário atual. Os dados individuais e os mapas futuros mostraram como cada evento *kaizen* influencia no sistema e em seu comportamento.

A Figura 9 mostra um gráfico comparativo de acordo com os cenários futuros e o impacto que cada um teve na redução do *lead time* da simulação.

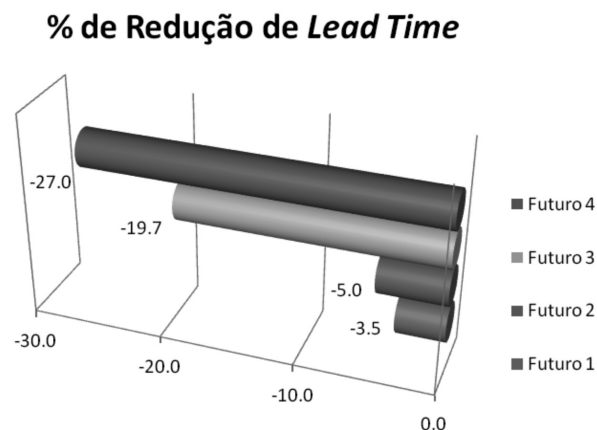


Figura 9: Gráfico da porcentagem de redução de cada cenário futuro em relação ao Atual  
Fonte: O autor.

Tabela 2: Tabela com indicadores dos mapas futuros de valor e a porcentagem de redução em cada cenário

Cenários	Setores	Lead time de produção (h)	Tempo de processamento (h)	Lead time total da simulação(h)	% de Redução
Atual	Misturadores	113	14	146	0
	Silos	128	10		
	Embalamento	140	123		
Futuro 1	Misturadores	98	14	141	-3.5
	Silos	122	9		
	Embalamento	138	122		
Futuro 2	Misturadores	110	14	139	-5.0
	Silos	124	10		
	Embalamento	135	123		
Futuro 3	Misturadores	96	14	122	-19.7
	Silos	108	10		
	Embalamento	116	101		
Futuro 4	Misturadores	80	14	115	-27.0
	Silos	100	10		
	Embalamento	111	100		

Fonte: O autor.



Com todas as melhorias ativas, o sistema ficou mais eficiente com a menor diferença entre o *lead time* total da simulação e o maior tempo de processamento (gargalo). O tempo de *lead time* total da simulação foi reduzido em 27%, validando os eventos *kaizen* para o mapa futuro.

## 6 Conclusões

Além de demonstrar completa compatibilidade no uso do aplicativo Arena, os mapas do fluxo de valor juntos aumentaram o poder de visualização, ocorrendo uma melhora significativa no poder de tomada de decisão. Por meio da simulação computacional, as máquinas-gargalo foram identificadas; e diversos desperdícios reduzidos com a manipulação de alguns cenários.

A simulação permitiu validar os cenários com diversas variáveis e agiu neste projeto como um complemento, validação de investimentos e seguindo as bases do *lean*: evitar o Muda – desperdício. Como todo o processo possui alguma restrição ou gargalo, a simulação visa a evitar os desperdícios na implantação de modificações e investimentos e, no caso deste processo, o modelo de simulação computacional atuou para testar e validar os eventos *kaizen* construindo cenários futuros do MFV.

A vantagem em usar a simulação em conjunto com os mapas MFV é conhecer como o cenário atual vai responder às mudanças e validar os eventos *kaizen*, e ter a possibilidade de prever se a mudança será benéfica e quantificá-la e, com isso, construir um cenário futuro ideal plausível e aplicável.

Em todas as situações, houve melhorias significativas na visualização dos resultados, e o quarto estado futuro demonstrou o comportamento do sistema com todos os eventos *kaizen*. A aplicação em conjunto do simulador com os mapas de fluxo de valor possibilita ao gestor escolher qual

mudança será aplicada em primeiro plano, bem como quando e quais as melhores combinações. Tudo isso com extrema rapidez e assertividade dos resultados e reduzindo riscos.

## Referências

- CHIAVENATO, I. Administração nos novos tempos. 2. ed, Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- CHOO, C. W. A Organização do conhecimento. São Paulo: Senac. São Paulo, 2003.
- FIORONI, M. M. Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições. 2008. Tese (Doutorado)–Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- FREITAS FILHO, P. J. Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- GAMBI, L. N. Recomendações para a implantação de conceitos e técnicas de produção enxuta em empresas, fabricantes de produtos sob encomenda, do aglomerado industrial de Sertãozinho. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- HARRISON, E. F. Inter-disciplinary models of decision making. *Management Decision*. v. 31, n. 8, p. 27-33, 1993.
- ELTON, W. D.; SADOWSKY, R. P.; SADOWSKY, D. A. *Simulation with Arena*. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill, 1998.
- LEAN SUMMIT. Lean Institute Brasil, 2004, São Paulo. Disponível em: <<http://www.lean.org.br/leanmail/54/preparacao-do-lean-summit-2004.aspx>> e <<http://www.lean.org.br/leanmail/53/pos-lean-summit-2004.aspx>>. Acesso em: 19 set. 2012.
- MARTINS, J. P. *Lógica de programação*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Tradução de Cristina Schumacher. Revisão técnica de Paulo C. D. Motta. Porto Alegre: Bookman, 1997, 149 p.
- PARAGON – Empresa Brasileira de consultoria em tomada de decisão com a utilização da tecnologia de Simulação Computacional. Disponível em: <[http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?apresentacao\\_content\\_ct\\_1677\\_2065\\_.aspx](http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?apresentacao_content_ct_1677_2065_.aspx)>. Acesso em: 03 jan. 2012.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKY, R. P. Introduction to simulation using SIMAN. 2nd ed. Nova York: McGraw-Hill, 1995.

PINTO, E. B. Despacho de caminhões em mineração usando lógica nebulosa, visando ao atendimento simultâneo de políticas excludentes. 2007. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

ROTHER, M.; SHOOK, J. Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate MUDA. Massachusetts: The Lean Enterprise Institute Brookline, version 1.2, 1999.

SILVA, A. K. Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos. 2006. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos)–Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVA, E. B. et al. Avaliação de regras de sequenciamento da produção em ambientes Job shop e Flow shop por meio de simulação computacional. *Exacta*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 70-81, 2012.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking – banish waste and create wealth in your corporation. New York: Simon & Schuster, 1996.

Recebido em 1º out. 2012 / aprovado em 30 out. 2012

**Para referenciar este texto**

OLIVEIRA, R. B. M.; CORRÊA, V. A.; NUNES, L. E. N. P. Uso da simulação computacional com o mapeamento do fluxo de valor para auxiliar na tomada de decisão. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 47-57, 2013.

