

AValiação DO POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO ENXUTO EM ATIVIDADE DE COLHEITA MECANIZADA, TRANSBORDO E TRANSPORTE DE CANA DE AÇÚCAR.

ARGÉLIO LIMA PANIAGO¹, MARCOS MILAN²

¹Doutorando em Ciências, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba -SP, paniago@usp.br

²Professor Titular, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Área de Mecânica e Máquinas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO - Os ganhos de produtividade na agricultura têm sido significativamente importantes e a situação agrícola brasileira é avaliada como positiva em relação a evolução técnica. No entanto, de acordo com dados da FAO (2011), os desperdícios que ocorrem nos vários processos agrícolas atingem em média em 30%. O método *lean thinking* (mentalidade enxuta) que tem como objetivo a eliminação ou redução de desperdícios é largamente utilizado na indústria. A aplicação desse método na agricultura pode favorecer na redução do desperdício, mas é necessário avaliar se há restrições e o seu potencial. Assim, este trabalho objetivou avaliar o potencial da implementação da mentalidade enxuta na redução dos desperdícios de um processo de colheita mecanizada, transbordo e transporte de cana de açúcar. Empregou-se a ferramenta do mapeamento do fluxo de valor do processo e os resultados foram analisados por meio de um sistema computacional de simulação de eventos discretos. Apresentados em forma de indicadores de desempenho, tiveram melhoria ao nível de significância de 5%. Concluiu-se que o modelo pode ser utilizado para avaliação em uma situação real.

PALAVRAS CHAVE: Gestão na Agricultura; Sustentabilidade; Mentalidade Enxuta.

EVALUATION OF POTENTIAL IMPLEMENTATION OF LEAN MANAGEMENT MODEL IN ACTIVITIES OF MECHANIZED HARVESTING, TRANSHIPMENT AND SUGAR CANE TRANSPORT

ABSTRACT - Productivity gains in agriculture have been significantly important and Brazilian agricultural situation is evaluated as positive in relation to technical developments. However, according to FAO (2011), waste occurring in many agricultural processes achieve on average by 30%. The lean thinking method (Lean Thinking) that aims the elimination or reduction of waste is widely used in the industry. The application of this method in agriculture may favor reducing wastage, but it is necessary to assess whether there are restrictions and their potential. This work aimed to evaluate the potential of the implementation of lean thinking in reducing waste of a process of mechanized harvesting, transshipment and transport of sugar cane. It was used the procedure of value stream mapping tool and the results were analyzed by means of a computer system discrete event simulation. Presented in the form of performance indicators had improved to the level of significance of 5%. It was concluded that the model can be used for evaluation in a real situation.

KEYWORDS: Management in Agriculture; Sustainability; Lean Thinking.

INTRODUÇÃO

A mentalidade enxuta, também conhecida por produção enxuta, é uma metodologia iniciada na Toyota no Japão (OHNO, 1997) popularizada na indústria ocidental no começo dos anos 1990 (WOMACK *et al.*, 1990). Nos anos seguintes muitas das práticas desta metodologia passaram a ser utilizadas em outras áreas, inclusive serviços, saúde (RADNOR & BURGESS, 2013) e terceiro setor (PACIAROTTI *et al.*, 2011), com resultados tão positivos como na indústria.

Identifica-se nas práticas de gestão parte importante dos conhecimentos que uma empresa deve aplicar para obter bons resultados. Assim como em outros setores, na agricultura estas práticas, além das técnicas de processo em si, formam o pilar para a competitividade sustentável no negócio (KAPLAN & NORTON, 1997). Uma forma de se conquistar bons e continuamente melhores resultados seria por meio da implementação de modelos de gestão que já tenham tido sucesso em outros setores, como a mentalidade enxuta.

A mentalidade enxuta, não tem como objetivo a melhoria de eficiência dos processos por meio de melhoria nos tempos produtivos. O objetivo se dá na redução ou eliminação dos desperdícios, sendo que quando se faz a menção a desperdícios não se está referindo somente a matéria prima e tempos operacionais (WOMACK & JONES, 2007). O desperdício, é caracterizado como tudo que se faz que não agrega valor ao produto ou serviço. Dados referentes aos desperdícios na agricultura indicam valores da ordem de 30% (FAO, 2011), o que torna uma importante oportunidade de aperfeiçoamento.

Este trabalho tem o objetivo de descrever uma avaliação do potencial de implementação do método, conceituado no modelo de gestão denominado mentalidade enxuta, para reduzir ou eliminar os desperdícios no processo de colheita mecanizada, transbordo e transporte de cana de açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

A sequência do estudo, apresentada na figura 1, descreve as etapas em que são executadas as atividades para avaliação da aplicação da metodologia. A numeração existente se refere à área tracejada que contorna os blocos de atividades, tem por objetivo facilitar a conexão com o texto explicativo relacionado ao fluxograma.

A sequência de atividades se inicia com uma visualização geral do processo a ser estudado para se desenhar um fluxograma deste processo e permitir um melhor entendimento de como são executadas as respectivas etapas da operação sob análise (1); A seguir, a partir de dados já publicados, constrói-se um cenário onde se realiza o MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) no estado presente seguindo o modelo desenvolvido por Rother e Shook (2007). Os indicadores ou métricas, definidos, que caracterizarão o processo serão: produção diária total (Pr), tempo de entrega dos carregamentos (T_{Entrg}), *Work In Process* - WIP (estoque em processo), eficiência de processo (em termos de produção) representada pela equação 1 e *Takt Time* ou tempo de ritmo a ser seguido para atendimento às necessidades do cliente representado na equação 2. Neste caso como se trata de um produto movimentado a granel, esta demanda será definida como quantidades de uma determinada carga em massa, não havendo, portanto, uma unidade dimensional para mensurá-la (2).

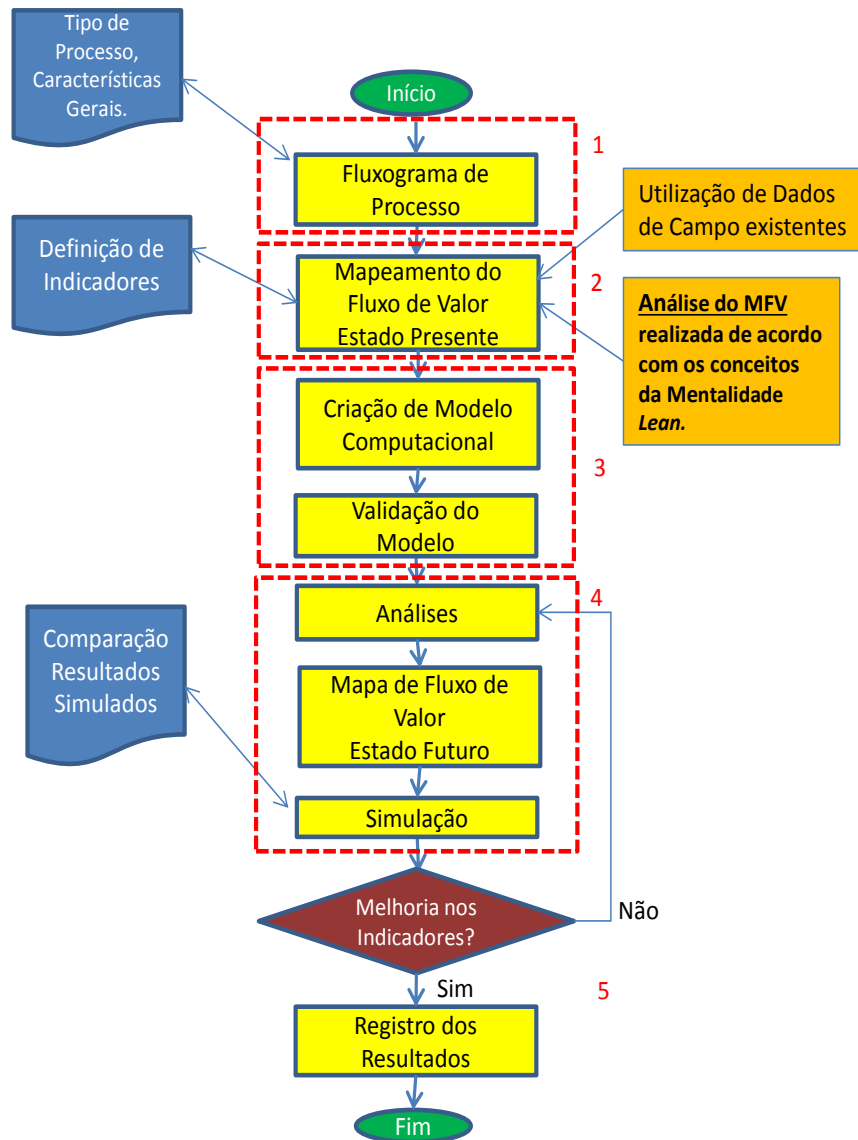


FIGURA 1 – Fluxograma representativo da seqüência do estudo de avaliação.

$$Efc_C = \frac{Cg_{Entr}}{Cg_{Poss}} \times 100(\%) \quad (1)$$

Em que:

Efc_C = Eficiência de Processo em relação à Produção (%).

Cg_{Entr} = Quantidade de carga de cana de açúcar entregue na Usina (t).

Cg_{Poss} = Quantidade de carga de cana de açúcar possível de ser carregada gerada pelo sistema computacional na entrada do processo (t).

A partir deste cenário, um modelo correspondente é desenvolvido em um sistema computacional específico para simulação de eventos discretos, com validação a ser efetuada comparando-se as médias de produção diária realizadas por processo real semelhante e os resultados simulados, através do teste “t” de Student ao nível de significância de 5% (KELTON et al, 1998) (3); Por meio do MFV no estado presente é possível identificar as oportunidades

de melhoria do processo, para proposição de ações factíveis que possam reduzir os desperdícios ou atividades que não agregam valor ao processo, utilizando-se para isso um guia baseado na detecção das sete fontes de desperdícios do Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1997). Os parâmetros em resposta às ações são estimados com base em situações semelhantes, descritas na bibliografia. Estas ações configurarão novos padrões para a realização de um cenário denominado MFV no estado futuro. Este cenário melhorado é então simulado em sistema computacional a fim de se verificar os benefícios das alterações. Para isso é realizada a comparação das médias dos indicadores de processo obtidos antes e após às ações de melhoria, por meio do teste “t” de *Student* ao nível de 5% de significância (4).

$$T_{tkl} = \frac{TTD}{DD} [min] \quad (2)$$

Em que:

T_{tkl} = Tempo *Takt*, tempo de ritmo de entrega de produtos para uma determinada unidade de demanda da Usina (min).

TTD = Tempo Total disponível, tempo em minutos por jornada diária de trabalho (min).

DD = Demanda da Usina, por jornada de trabalho, de acordo com a quantidade de linhas de colhedoras existentes.

Caso não haja melhorias nos indicadores definidos para acompanhamento do processo, as análises devem ser refeitas, fazer outras propostas factíveis de melhorias e realizar uma nova simulação, até que se obtenham alterações favoráveis dos indicadores. Todas as etapas de análise e respectivos resultados serão então registrados para se elaborar um relatório final das atividades (5).

O cenário considerado é uma frente de colheita mecanizada e transporte de cana de açúcar, representado pela figura 2, onde se utilizam os processos de colheita, realizada por uma colhedora mecânica auto propelida; transbordo (Transferência), realizado por uma carreta rebocada por trator, chamado de Transbordo, que acompanha a colhedora durante a colheita e transfere a carga, após completada a sua capacidade, a um caminhão de transporte, o qual é responsável para levar a cana de açúcar colhida até à Usina, realizado por um caminhão biarticulado, denominado “treminhão”.

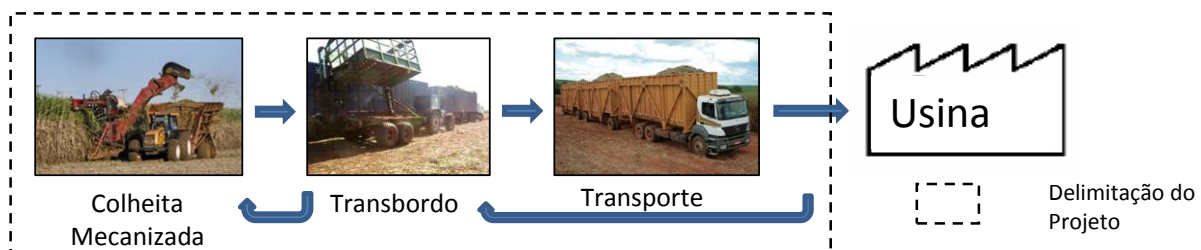


FIGURA 2- Representação figurativa do Processo no qual será realizada a avaliação da possibilidade de implantação do modelo de gestão denominado “mentalidade enxuta”.

O cenário possui duas colhedoras, sendo que cada uma destas colhedoras foi considerada início de uma linha de colheita, denominadas linha 1 e linha 2, quatro transbordos, dois para cada linha e quatro “treminhões”. As referências de utilização, tempos, distâncias percorridas foram baseadas em estudo realizado por Silva (2006) na Usina Santa Adélia (Região de Jaboticabal - Estado de São Paulo), e em dados do estudo relacionado a velocidade de colhedoras mecanizadas de cana de açúcar de Crepaldi *et al.* (2013).

Na modelagem do processo dentro do sistema computacional para simulação de eventos discretos, foi feita a definição do que seriam as entidades, termo utilizado para aquilo que é transferido dentro do processo, o que, no caso, seriam cargas de 20 toneladas de cana de açúcar picada. Estas cargas de 20 toneladas seriam colhidas à uma determinada velocidade,

dependendo da produtividade de campo no local, em $t\ ha^{-1}$, da velocidade da colhedora, do espaçamento entre fileiras de cana de açúcar e o número de fileiras colhidas por passada. As cargas colhidas e conduzidas pelo transbordo são transferidas, à medida que são preenchidos o volume de capacidade, ao “treminhão” de transporte e estes últimos estariam liberados para levar as cargas à Usina quando tem sua capacidade completada. Para cada uma destas etapas são necessárias as inclusões de velocidades de processamento, probabilidade de eventuais falhas ou impedimentos que possam ocorrer, com a respectiva função distribuição de densidade de probabilidade mais adequada para cada caso.

O direcionamento foi feito para que houvesse fluxos equivalentes ao real, com o mesmo comportamento. Foi considerada para isso uma produtividade agrícola da cultura atingível no Estado de São Paulo. Para modelagem, tanto a produtividade como a velocidade da colhedora teriam distribuição de densidade de probabilidade normal, com médias $100\ t\ ha^{-1}$ e desvio padrão $1,55\ t\ ha^{-1}$, $4,5\ km\ h^{-1}$ com desvio padrão $0,5\ km\ h^{-1}$ respectivamente.

Trabalham com cada colhedora dois transbordos e para que haja a alternância de uso entre eles foi incluído um ponto de decisão no fluxo dentro do sistema, em que se contam as cargas em que cada um transfere e, por comparação, o que tem menor número de utilizações é definido para operar.

Para modelar o fato de que o “treminhão” tenha que ter sua carga completada antes de partir para a usina, um recurso que o sistema fornece foi utilizado, um elemento que realiza a acumulação das entidades, cargas, em lotes especificados. No caso, o lote seria de 2,5 cargas de cana de açúcar ou 50 toneladas, capacidade média de um “treminhão”. Da mesma maneira como ocorre com a relação de transbordos e colhedora, inicialmente, há quatro treminhões para a frente de colheita com duas linhas de colhedoras, suas operações foram, também, alocadas como submodelos e por meio de um ponto de decisão o “treminhão” com menor número de utilizações é selecionado para realizar o transporte.

Como métricas ou indicadores, ou seja, como forma de avaliar o desempenho do processo e, por conseguinte do cenário modelado, foram definidos a própria produção diária representada pela equação 3, as eficiências de processo em termos de produção, WIP (Estoque em processo) contabilizado pelo próprio sistema e o tempo para entrega das cargas representado pela equação 4.

$$P_D = N_{50} \times 50 [t] \quad (3)$$

Em que:

P_D = Produção Diária da Frente de Colheita (t)

N_{50} = N° de cargas de 50 toneladas. Contagem realizada pelo sistema.

$$T_{Entrg} = \frac{T_{Procs}}{N_{20}} [min] \quad (4)$$

Em que:

T_{Entrg} = Tempo médio em minutos de entrega de carga de 20 toneladas na Usina.

T_{Procss} = Contagem de tempo de processamento em minutos.

N_{20} = Quantidade de carga em lotes de 20 toneladas entregue na Usina.

Uma necessidade diária de 800 t por colhedora foi considerada, com parâmetros apresentados na Tabela 1. O tempo takt foi calculado para o cenário a fim de ser utilizado nas análises referentes à mentalidade enxuta.

Tabela 1- Parâmetros de trabalho considerados no cenário inicial da Colhedora.

Descrição	Unidade	Média	Distribuição
Velocidade	km h ⁻¹	4.0	NORMAL (4.0, 0.5)
Produtividade de Campo	t ha ⁻¹	71	NORMAL (71,5)
Espaçamento	m	1.5	
Nº de Fileiras	Nº	1	
Jornada Diária	h	20	
Tempo Takt (T _{Tkt})*	min	30.0	
Tempo médio teórico para colher 20 t	min	28.2	NORMAL (28.6, 2.9)
Necessidade Diária da Usina por Colhedora	t	800	
Número de Colhedoras na Frente	Nº	2	

*** Por carga de 20 t, para cada linha de Colhedora.**

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação do modelo para simulação se fez com a comparação das médias de quinze dias com colheita mecanizada do estudo de Silva (2006), ajustadas para a condição de duas colhedoras, e as, também, quinze replicações realizadas na simulação. Foi utilizado o teste “*t*” de Student ao nível de 5% de significância e 28 graus de liberdade. As variâncias das amostras foram comparadas, com um nível de significância de 5% e 14 graus de liberdade, com a finalidade de se definir a comparação de média mais adequada. Por meio do teste “*F*” de Snedecor, obteve-se o valor de “*F*” calculado igual a 1,513, menor que o valor de “*F*” crítico igual a 2,484, assim não pode se afirmar que haja diferença entre as variâncias das duas amostras a este nível de significância. Pelo teste “*t*” verificou-se que não pode se afirmar que haja diferença entre as médias das amostras ao nível de 5% de significância, pois o módulo do valor “*t*” calculado foi 1,751, menor, portanto, que o módulo do valor crítico de 2,048.

Comparando-se o *takt time*, 30 minutos, para cada linha de colhedora, com o tempo de ciclo desta máquina, 28,2 minutos, verifica-se que são valores próximos, mas devido ao *up time* (disponibilidade dos equipamentos) baixo, não se possibilita o atendimento adequado, de acordo com a demanda, a este ritmo de trabalho. Na simulação, o tempo médio de entrega por carga foi de 21,5 minutos, quando deveria ser de 15 minutos para duas linhas de colhedora, em conformidade ao *takt time*. Portanto tem-se que prover alguma ação para melhoria do *up time* das máquinas e redução dos tempos de *change over* (manobras).

Como o objetivo é a eliminação ou redução dos seus desperdícios e perdas, as melhorias definidas foram direcionadas a esta finalidade, porém, nesta avaliação, as oportunidades foram restritas aos dados utilizados para montagem do cenário.

As definições dos resultados esperados, a partir das melhorias hipotéticas a serem implementadas foram fundamentadas em estudos progressos em que, por meio da utilização do MFV e dos conceitos da mentalidade enxuta, se obtiveram melhorias em oportunidades semelhantes àquelas encontradas neste teste piloto. A redução de tempo de espera por nova programação de produção foi relacionada com experiência análoga em estudo de Chowdary e

George (2012) onde se obteve a melhoria de 64% nos tempos de atividades que não agregavam valor ou esperas. O resultado de aumento de intervalos entre manutenções corretivas foi adotado por relação com o trabalho de Fernandes (2003), sobre os efeitos oriundos da utilização da manutenção preventiva em máquinas, com melhoria de 30% no tempo entre falhas. O tempo médio menor esperado para manobras de cabeceira da colhedora e transbordo foi estabelecido com uma redução baseada no pressuposto de que o novo valor adotado na simulação é atingível na prática e de que o relevo com respectivas linhas de colheita permita esta redução. As oportunidades relacionadas com as perdas atribuídas ao operador na condução da colhedora e no tempo despendido para troca das facas foram consideradas passíveis de melhoria, por meio do desenvolvimento de instruções de trabalho adequadas, que se tornarão base para o treinamento dos operadores, sendo que, em situações semelhantes, no estudo de Singh et al. (2010), foi obtida uma redução de 42%. A melhoria nos tempos de espera para as operações de pesagem, sondagem e outras que ocorrem com os treminhões, foram designadas pela inferência de que não é possível uma redução muito grande nestes tempos, assim, baseando-se no trabalho de Vinodh et al. (2010), a redução imputada foi de 6%.

A simulação do modelo com as modificações realizadas possibilitou a verificação da eficácia das ações. O Sistema computacional para simulação de eventos discretos possui um módulo no qual é executada a comparação de cenários em função de indicadores ou métricas específicas, além de definir se existem diferenças entre as médias ao nível de 5% de significância segundo a função de distribuição de densidade de probabilidade “*t*” de Student.

Na tabela 2, observa-se que, exceto no *Work in Process* (Estoque em Processo) – *WIP*, houve melhora nos indicadores. A eficiência de processo foi melhorada, consistindo evidência de que as ações executadas retornaram benefício em condição de aproveitamento dos recursos disponíveis. O tempo de entrega das cargas foi reduzido de 21,47 minutos para 19,72 minutos, ainda não é o número ideal, pois para duas linhas de colhedoras o *takt time* seria de 15 minutos, mas esta melhora já significa em um melhor atendimento às necessidades da Usina hipotética, como se verifica com a evolução da média da produção diária de 1367,7 toneladas para 1496,7 toneladas. Se constata, na simulação conduzida após alterações, que o tempo médio das atividades que não agregam valor foi reduzido em mais de quatro minutos por carga.

TABELA 2 - Comparação de Indicadores entre Estado Presente e Estado Futuro.

Indicador	Unidade	Estado Presente		Estado Futuro		Diferença **
		Média	Semi-intervalo de Confiança	Média	Semi-intervalo de Confiança	
Eficiência de Processo	%	39,95	1,98	43,29	1,51	Sim
Tempo de Entrega por Carga	min	21,47	1,09	19,72	0,47	Sim
Produção Diária	t	1366,7	101,84	1496,7	104,91	Sim
WIP	Nº *	12,66	0,78	12,85	0,47	Não
Tempo de Atividades que Não Agregam Valor	min	52,20	1,01	47,93	0,98	Sim

*Nº de cargas com 20 toneladas

** 5% de significância

CONCLUSÕES

A aplicação do modelo de gestão mentalidade enxuta em um cenário de colheita mecanizada, transbordo e transporte de cana de açúcar forneceu resultados onde observa-se que decorreram melhorias, apresentadas por meio dos indicadores de desempenho definidos para a avaliação. O cenário pressuposto proporcionou duas situações em que se pôde efetuar as comparações necessárias para se distinguir as alterações dos valores desses indicadores. Houve um aumento da eficiência de processo, redução do tempo de entrega, aumento da produção e redução do tempo de atividades que não agregam valor.

Considera-se, portanto, que o modelo pode ser avaliado em cenário com levantamento de dados e acompanhamento presencial do processo. Utilizando-se do MFV e os conceitos mentalidade enxuta para proporcionar oportunidades de redução ou eliminação dos desperdícios em um cenário real.

REFERÊNCIAS

- CHOWDARY, B. V. & GEORGE, D., 2012. *Improvement of Manufacturing Operations at a Pharmaceutical Company: A lean Manufacturing Approach*. Journal of Manufacturing Technology, pp. 56-75.
- CREPALDI, L., SILVA, L., SILVEIRA, L. & STEINER, F., 2013. *Perdas Visíveis de Cana de Açúcar em Função da Velocidade de Deslocamento da Colhedora*. São Paulo, Canal 6.
- FERNANDES, M. A., 2003. *Como aumentar a disponibilidade das Máquinas e Reduzir Custos de Manutenção*. Máquinas e Metais, p. 316 a 319.
- KAPLAN R.S., NORTON, D.P. 1997. *A estratégia em ação balanced scorecard*. Rio de Janeiro Elsevier Campus 344 p.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P; SADOWSKY, D. A., 1998 *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill.
- OHNO, T., 1997 *O Sistema Toyota de Produção Além da Produção em Larga Escala*. Porto Alegre: Bookman.
- PACIAROTTI, C.; CIATTEO, V., GIACCHETTA, G., 2011 *Value stream mapping implementation in the third sector* Operations Management Research, Vol.4 (3) pp.99-110
- RADNOR Z., BURGESS N., 2013 *Evaluating Lean in healthcare* International Journal of Health Care Quality Assurance, Vol. 26 No. 3, pp. 220-235.
- ROTHER, M. & SHOOK, J., 2007. *Aprendendo a Enxergar Mapeando O Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício: Manual de Trabalho de uma Ferramenta Enxuta*. São Paulo: Lean Institute Brasil.
- SILVA, J. E. A. R. D., 2006. *Desenvolvimento de um Modelo de Simulação para Auxiliar o Gerenciamento de Sistemas de Corte, Carregamento e Transporte de Cana de Açúcar*, São Carlos: Dissertação de Mestrado Programa de Engenharia de Produção UFSCar.
- SINGH, B., GARG, S., SHARMA, S. & GREWAL, C., 2010. *Lean Implementation and its Benefits to Production Industry*. International Journal of Lean Six Vol. 1 No. 2, pp. 157-168.
- VINODH, S., ARVIND, K. & SOMANAATHAN, M., 2010. *Application of Value Stream Mapping in an Indian Camshaft Manufacturing Organisation*. Journal of Manufacturing Technology Management Vol. 21 No. 7, pp. 888-900.
- WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1990 *The Machine that Changed the World* Macmillan, New York, NY.
- WOMACK, J. & JONES, D., 2007. *Lean Thinking*. New York, NY: Simon and Schuster.