

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROPOSTA PARA O MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR E MANUFATURA DIGITAL DO PROCESSO DE MICROFRESAMENTO

João Gabriel Franchi Briotto, joao.briotto@aluno.ufabc.edu.br

Henrique Lopes de Castro, henrique.castro@ufabc.edu.br

Erik Gustavo Del Conte, erik.conte@ufabc.edu.br

Leonardo Ribeiro Rodrigues, ribeiro.rodrigues@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC, Av. dos Estados, 5001 – Bangu – Santo André

Resumo: Os processos de fabricação na escala micro permitem a criação de microsistemas com aplicações importantes nas áreas biomédica, aeroespacial, robótica entre outras. A redução do tempo dos processos e, por consequência, diminuição do lead time se mostra cada vez mais um desafio para os processos de microusinagem. Assim, é proposto o mapeamento micro e macro do processo de microfresamento e sua respectiva simulação por eventos discretos para a busca de melhorias que otimizem os tempos da produção. Utilizou-se os dados obtidos através de testes realizados no processo de fabricação para a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor. Foram elaborados e analisados mapas de fluxo de valor atual e os respectivos modelos de simulação foram implementados. A integração do mapeamento do fluxo de valor com a manufatura digital proporcionou a identificação de melhorias no processo de fabricação e mostrou-se como uma importante ferramenta de análise e tomada de decisões para aprimorar o processo.

Palavras-chave: Microfresamento, Mapeamento do Fluxo de valor, Simulação de eventos discretos.

1. INTRODUÇÃO

O cenário econômico atual obriga as organizações produzir produtos ou ofertar serviços com melhor qualidade, confiabilidade, menor prazo de entrega e custos reduzidos. A sustentabilidade é outro fator importante para o sucesso da organização, uma vez que a redução do consumo de recursos pode ser um fator crítico para garantir a viabilidade da operação. Assim, os gestores devem aprimorar de forma contínua os processos e as ferramentas de gestão do processo.

Uma das formas de reduzir os desperdícios é por meio da ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), definida por Liker (2005), como: “um mapa que capta o fluxo de material e de informações, o qual ajuda a identificar as perdas no sistema”.

O MFV é uma ferramenta de que permite a representação simultânea do fluxo de informação e materiais. Esta técnica busca identificar e eliminar desperdícios em uma fábrica ou linha de produção (ROTHER E SHOOK, 2008). Assim, o principal objetivo desta ferramenta é a redução do *lead time*. (LUSTOSA, 2008).

Para alcançar esse objetivo o MFV analisa as atividades de fluxo de informações, prazos de entrega, mão de obra, estoque e fluxo de material. A interação e os impactos que essas atividades geram são difíceis de definir sem a análise holística de todo o ciclo de desenvolvimento do produto.

A elaboração do MFV tem início no desenho do Mapeamento de Fluxo de Valor Atual (MFVA), este é o estado que reflete a realidade do processo. Com base no MFVA é elaborado o Mapeamento de Fluxo de Valor Futuro (MFVF), que apresenta a proposta para o novo fluxo de produção com a finalidade de eliminar ou reduzir os desperdícios através da aplicação das ferramentas *lean* (NASH, 2008).

Para a análise de um MFV é necessário estruturar o processo de forma estática, o que muitas vezes limita a aplicação do MFV. A simulação computacional pode ser utilizada como uma alternativa a essa limitação, assim o impacto na produção do mapa futuro pode ser simulado e assim auxiliar na tomada de decisões. (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2007).

No processo de microfresamento, as etapas para parametrização e *set up* do processo consomem muito tempo. Atividades de montagem da ferramenta, monitoramento do processo e medição demandam tempos elevados. Assim a aplicação da técnica de mapeamento de fluxo de valor pode identificar oportunidades de redução de tempo ou mesmo eliminação de atividades no processo.

1.1 Microfresamento

O processo de Microfresamento é o processo de microusinagem caracterizado pela utilização de ferramentas com diâmetro menor que 1 mm. Apresenta-se como uma alternativa viável para indústria eletroeletrônica, como por exemplo, para a produção de *microchips*, e na biotecnologia para a fabricação de dispositivos microfluídicos. O microfresamento vem sendo objeto de estudos comparativos, onde são analisados os resultados obtidos a partir de técnicas consideradas como suas concorrentes, por exemplo, estereolitografia (Guckenberger, de Groot, Wan, Beebe, & Young, 2015).

Assim como outros processos que também estão em escala micrométrica, é de extrema importância a compreensão de que certos materiais apresentam melhores resultados em relação à outros quando submetidos à esse processo. Segundo estudos encontrados na literatura (Guckenberger et al., 2015) o processo de microfresamento é eficiente quando utilizado nos seguintes materiais:

- Termoplásticos;
- Termofixos (curados);
- Metais;
- Cera.

Os seguintes materiais não são recomendados (Guckenberger et al., 2015) :

- - Elastômeros;
- - Vidros/Cerâmicas.

1.2 Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)

O Mapeamento do Fluxo de Valor é um método articulado por John Shook junto à Mike Rother no livro “Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para agregar valor e eliminar o desperdício”.

Como citado acima no título do livro, o método consiste na observação e elaboração de um mapa que possa englobar todo o processo de interesse – desde a chegada de matéria prima pelo fornecedor até o envio do produto final para o cliente. Para tal, esse primeiro mapa é chamado de “*desenho de estado atual*” e chama-se de “*desenho de estado futuro*” aquele que apresenta as alterações traçadas como metas para possíveis melhorias no processo analisado.

A vantagem na utilização de mapas é a possibilidade de ilustrar o processo, e desta forma tornar mais fácil a compreensão do mesmo (VALLE et al., 2013). A Figura 1 ilustra a representação padrão dos símbolos para construção do mapa:

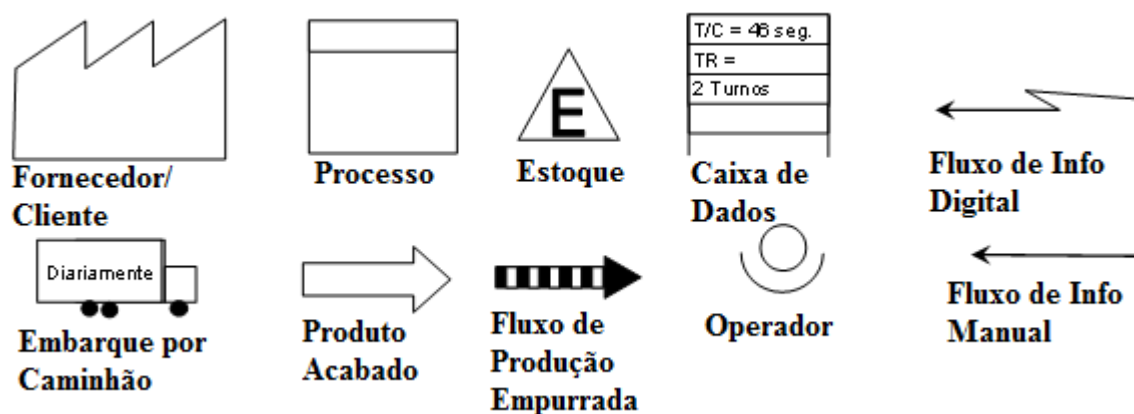


Figura 1. Símbolos para Elaboração do MFV. Modificado de (FREITAS, 2006)

O “*desenho de estado atual*” é o primeiro a ser criado e, portanto, é de extrema importância que nesta etapa da análise, todo o processo possa ser levado em consideração, pois assim é possível observar quais atividades agregam ou não valor ao processo (Lian & Landeghem, 2002).

O “*desenho de estado futuro*” é a evolução do atual, ele visa a eliminação de todos os processos que não agregam valor à produção e pode sugerir implementações que possam gerar melhorias. É importante citar que esse desenho não visa gerar alterações onde há valor para o processo, como por exemplo, a necessidade de adquirir uma nova máquina que produza mais rapidamente. Este mapa deve ser constantemente atualizado, sendo assim quando todos os processos forem implantados corretamente, o desenho passa a ser o “*atual*” e o MFV deve ser realizado novamente (VALLE, REES, CONTE, Schutzer, & FACÓ, 2013).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral aplicar o mapeamento de fluxo de valor e a simulação da manufatura para as atividades relacionadas com a máquina ferramenta e com a máquina de medir por coordenadas.

Os objetivos específicos são:

- Elaborar o mapa de estado atual.
- Elaborar simulações das atividades que acontecem em cada uma das máquinas na a célula de fabricação estudada.

3. DESENVOLVIMENTO

O trabalho foi desenvolvido em duas máquinas, sendo a primeira delas o centro de usinagem MMC-CM Geração II, CNC Service. Em seguida, o protótipo a ser estudado é transportado para uma máquina de medição por coordenadas, fabricada pela Hexagon Metrology, modelo Brown & Sharpe 4.5.4 SF. Ambos os aparelhos se encontram disponíveis no Laboratório Interdisciplinar de Manufatura da Universidade Federal do ABC, no campus de São Bernardo do Campo, conforme observado na Fig. 1.



Figura 2. medição por coordenadas (ao meio) e centro de usinagem CNC (direita).

Mapeamento de Fluxo do processo de microfresamento obtido:

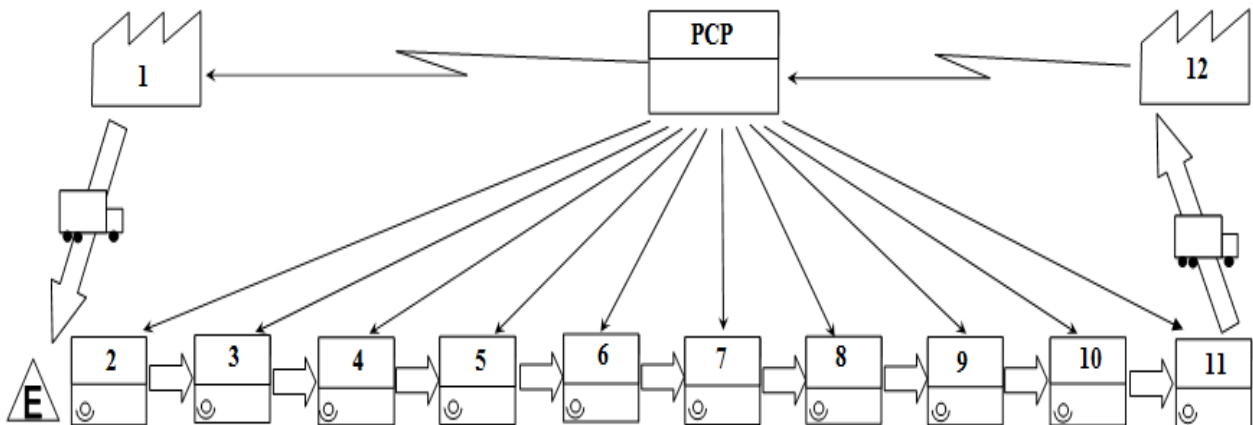
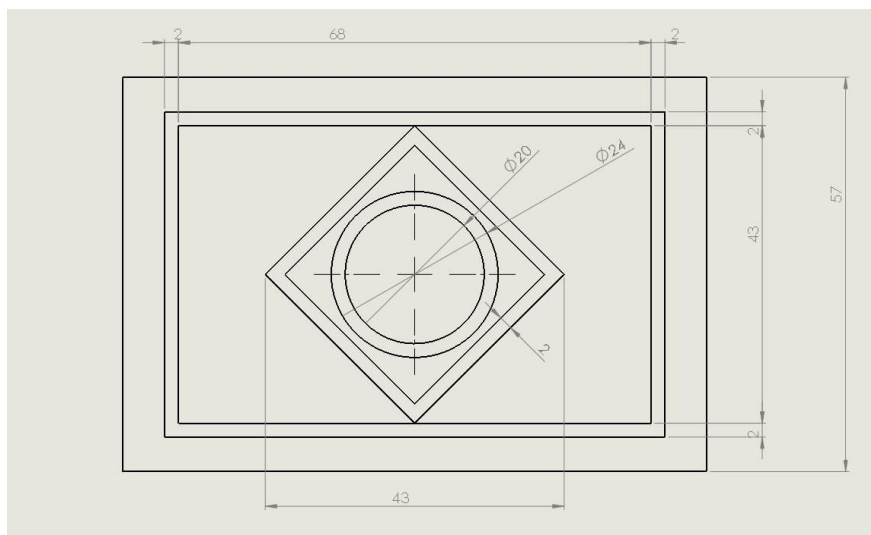


Figura 3. Mapeamento do Fluxo de Valor de um Processo de Microfresamento.

Tabela1. Legenda das atividades correspondentes ao mapeamento de fluxo atual apresentado na Fig. 3.

Atividade	Número Correspondente	Tempos Fresamento Convencional	Tempos estimados para o microfresamento
Fornecedor	1	-	-
Inspeção do Material e Ferramentas	2	1 minuto e 30 segundos	2 horas
Prender a peça de trabalho	3	44 segundos	15 minutos
Fixar Ferramenta	4	46 segundos	10 minutos
Preparação da Máquina	5	49 segundos	20 minutos
Referenciar Máquina	6	26 segundos	2 minutos
Setup da Ferramenta	7	2 minutos e 24 segundos	20 minutos
Setup do programa CNC	8	40 segundos	5 minutos
Realização do Fresamento	9	1 minuto e 30 segundos	2 horas
Inspeção de Qualidade	10	8 minutos e 15 segundos	8 horas
Expedição	11	-	-
Cliente	12	-	-
Tempo Total		17 minutos e 4 segundos	13 horas e 12 minutos

**Figura 4. Especificações técnicas da usinagem realizada em TopSolid.**

O mapeamento de fluxo do estado atual apresentado na Fig. 3 foi realizado através de uma gravação das atividades de todo o processo. O tempo de valor agregado do processo é de 17 minutos e 4 segundos, enquanto o tempo de transporte – que não agrega valor ao processo – é de aproximadamente 10 segundos devido ao deslocamento entre as máquinas de usinagem e medição por coordenadas.

Para o desenvolvimento deste mapeamento, utilizou-se como referência a usinagem da peça ilustrada na Figura 4. A Ferramenta de corte utilizada na foi uma fresa de 2 mm de diâmetro.

O processo “Inspeção do Material e Ferramentas” diferencia-se quando no microfresamento pois recomenda-se uma análise da microestrutura do material. Como se trata de um processo onde qualquer falha pode ser fatal para o produto final, todas as etapas intermediárias (etapas 3 à 8 na Tab. 1) necessitam de maior atenção para a realização das mesmas e, em alguns casos, até mesmo de suportes como câmeras ou lasers para obter-se a maior exatidão. A usinagem a inspeção de qualidade mostra-se como o processo mais demorado (8 horas, ver etapa 12 da Tab. 1)

Como afirmado na literatura (Lian & Landeghem, 2002), a simulação por computador apresenta-se como uma boa alternativa para a implementação de mudanças sem necessariamente a realização de grandes investimentos.

Com a utilização do programa Tecnomatix Plant Simulation e do mapeamento do fluxo de valor foi possível a criação da simulação das atividades para cada máquina estudada (Figuras 6 e 7).

O processo simulado na Fig. 6 foi realizado com auxílio das informações obtidas na biblioteca de informações do software possibilitando a simulação das ações observadas sobre o trabalho realizado pelo operador da máquina CNC. O número de operadores necessários para a realização do processo é de apenas 1, visto que a simulação envolve as atividades discretas realizadas na máquina CNC e que de fato há apenas 1 deslocamento (“Caminho Percorrido”) realizado pelo operador devido à necessidade de buscar a peça em matéria bruta e levar para a usinagem. As 7 posições de operador ligadas à cada uma das operações serve como indicação que a mesma deve ser realizada pelo mesmo

operador, caso contrário ao que é representado pela entidade “MaqFunciona” onde o operador pode apenas acompanhar o processo por observação, visto que o processo da usinagem na máquina CNC é automático.

De maneira similar ao caso anterior, a Fig. 7 demonstra as atividades discretas (um total de 9) realizadas na máquina de medir por coordenadas. Pode-se observar que o processo é interligado com o final da Fig. 6 pois o fim do ciclo na máquina de CNC faz com que o operador tenha que se deslocar pelo “pisso” para levar a peça a ser verificada. Apenas 1 operador realiza as operações de ligar máquina até a parte de programação da mesma para que, no final, a mesma realize automaticamente as medidas.

Propostas de melhorias para redução do *lead time*

1. Dispositivo localizador da posição da peça na mesa da máquina
 - a. Com a instalação de um dispositivo que permita encaixar as peças de trabalho de modo a sempre obter o mesmo local de referência dos eixos X e Y da máquina. Desta maneira, prevê-se uma diminuição de cerca de 50% do tempo relacionado ao set up da ferramenta.
2. Plano de set up
 - a. Em vista principalmente dos processos iniciais, propõe-se a elaboração de um método de trabalho detalhado visando que o técnico diminua o número de movimentos desnecessários. Por se tratar de uma proposta que engloba todo o processo, imagina-se que o mesmo possa resultar na diminuição de 10% do *lead time*.
3. Dispositivo localizador da posição da peça na máquina de medir por coordenadas
 - a. Em processo análogo ao citado no item 1, a máquina de medir por coordenadas ainda apresenta um método de fixação que não é adequado às necessidades atuais. Um sistema parecido com o apresentado para a mesa da máquina resultaria em uma diminuição de ao menos 10% no tempo de “inspeção de qualidade”.

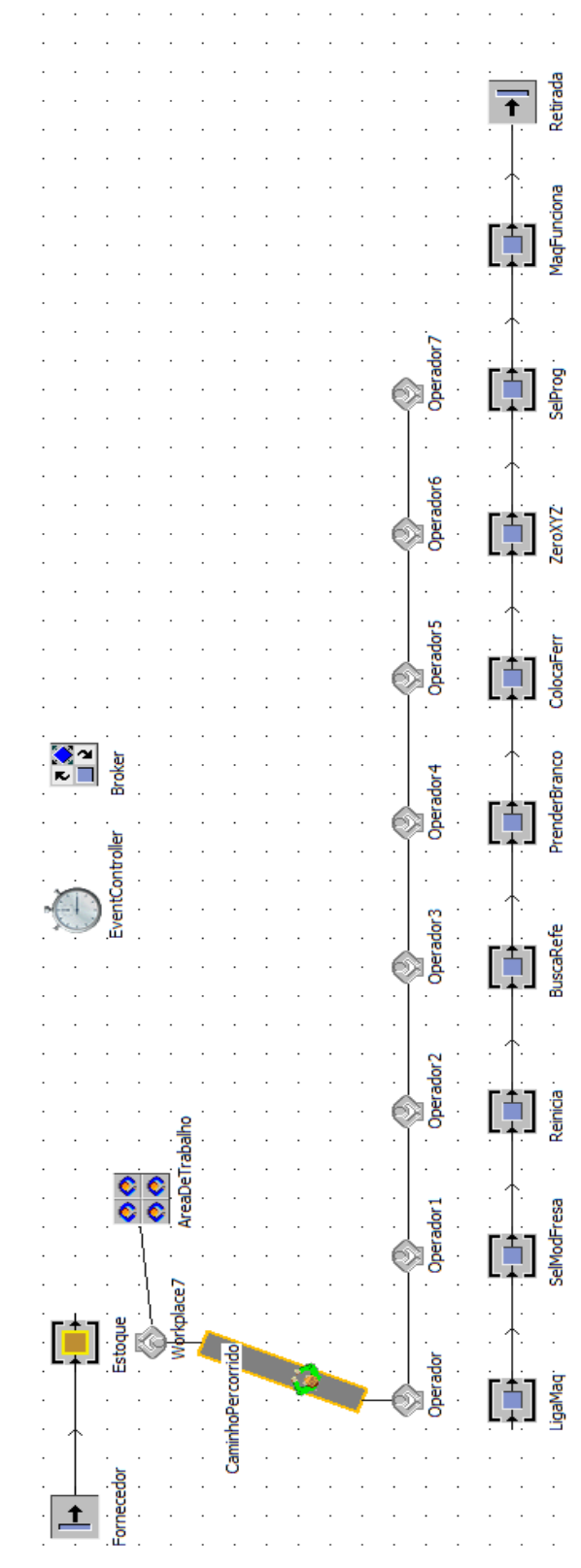


Figura 6. Simulação 2D em escala micro das atividades discretas realizadas na máquina CNC.

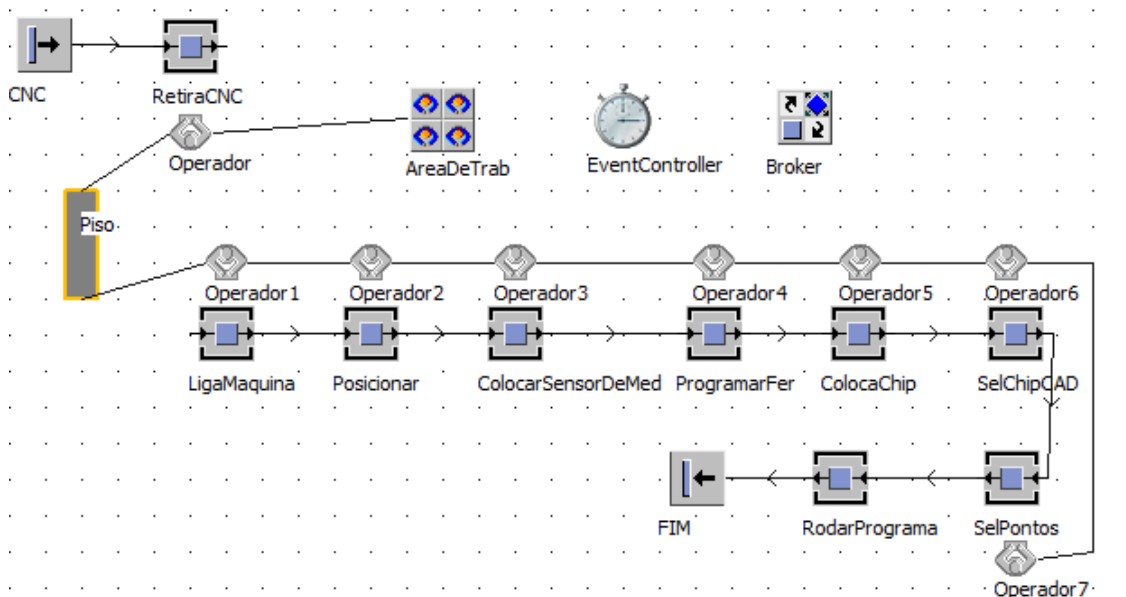


Figura 7. Simulação das atividades discretas realizadas na máquina de medir por coordenadas.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a aplicação do mapeamento de fluxo de valor e da simulação da manufatura para as atividades relacionadas com a máquina ferramenta e com a máquina de medir por coordenadas.

O mapeamento do fluxo de valor permitiu o levantamento das microatividades relacionadas as operações de set up do processo. Com a integração do mapa de fluxo de valor com a simulação computacional é possível realizar o diagnóstico do impacto das micro atividades no lead time do processo. Melhorias para redução dos tempos das atividades de set up foram propostas.

Para trabalhos futuros é sugerido a análise da implementação de outras ferramentas da produção enxuta e o respectivo aumento de produtividade.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao Dr. Guilherme Canuto da Silva. Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica (edital 01/2015 da UFABC).

6. REFERÊNCIAS

- ABDULMALEK F.A e RAJGOPAL J. Analyzing the benefits of Lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 2007.v 107, Pages 223–236.
- Freitas, Eder Benevides de, “Mapa de Fluxo de Valor – Value Stream Map”, <<http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com.br/2009/07/mapa-de-fluxo-de-valor-stream-map-value.html>>, 2009.
- Guckenberger, D. J., de Groot, T., Wan, A. M.-D., Beebe, D., & Young, E. (2015). Micromilling: A method for ultra-rapid prototyping of plastic microfluidic devices. *Lab Chip*, 15(11), 2364–2378. <http://doi.org/10.1039/C5LC00234F>
- LIKER, J.K. O Modelo Toyota: 14 principios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- Lian, Y.-H., & Landeghem, H. Van. (2002). an Application of Simulation and Value Stream Mapping in Lean Manufacturing. *Proceedings 14th European Simulation Symposium*, (c), 300–307. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.6.1026&rep=rep1&type=pdf>
- LUSTOSA, L.; MESQUITA, M.A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. Planejamento e controle da Produção. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.
- NASH, M. A.; POLING, S. R. Mapping the Total Value Stream, CRC Press, New York, 2008.

- ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- VALLE, F., REES, A., CONTE, E. G. del.; Schutzer, K., & FACÓ, J. F. B. (2013). Changeover reduction : a case study in an automotive company Process improvement through lean manufacturing , VSM and SMED, (JUNE 2013).

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

Value Stream mapping and digital manufacture of a micromilling process

João Gabriel Franchi Briotto, joao.briotto@aluno.ufabc.edu.br

Henrique Lopes de Castro, henrique.castro@ufabc.edu.br

Erik Gustavo Del Conte, erik.conte@ufabc.edu.br

Leonardo Ribeiro Rodrigues, ribeiro.rodrigues@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC, Av. dos Estados, 5001 – Bangu – Santo André

Abstract. *The manufacture process in a micro scale allow the creation of microsystems with important applications in the biomedical, aerospace, robotic fields, among others. The time reduction of the processes and consequently the reduction of the lead time becomes even more challenging for the micromachining processes. Then, it is proposed the micro and macro mapping of each process related to the micromilling and its respective simulations for discrete events in order to find improvements that optimize the manufacturing time. Data were collected from the tests realized on the micromilling process for the application of the value stream mapping. A value stream map was developed and analyzed, and its respective simulation models were implemented. The combination of the Value Stream Mapping with digital manufacturing allowed us to find improvement areas in the manufacturing process and proved itself to be an important tool for the analytics and decision making which ultimately improved the entire process.*

Keywords: *Micromilling, Value Stream Mapping, Discrete Activities Simulation.*