Unisanta Science and Technology, **2017, 6, July**
Published Online 2017 Vol.6 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Análise da eficiência de uma Célula Robotizada para Estamparia a partir da comparação entre Dados simulados em ambiente real e virtual - Um Estudo de caso aplicado a uma empresa automobilística brasileira

William A Celestino Lopes e Maurício Fontoura Blos

UNISANTA – Universidade Santa Cecília – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100
E-mail*:* wilnatelha@gmail.com
Received may, 2016

Resumo: Este artigo tem por objetivo comparar dados produtivos envolvidos no desenvolvimento de uma célula robotizada aplicada à área de estamparia automotiva**,** confrontando cenários simulados entre o ambiente virtual e o real para obter o máximo da eficiência do processo. O estudo do modelo virtual no ambiente 2D analisa as variáveis nos principais estágios levando em consideração o posicionamento, a movimentação e a montagem, com o auxílio do software *Plant Simulation* limitando os estudos aos movimentos envolvidos no processo de estampagem. Simular condições mínimas e máximas das atividades permite a adição dos resultados iniciais para a formação dos primeiros ciclos de produção. Para avaliar a célula de robótica, o indicador utilizado para medir a eficiência foi o OEE *Overall Equipment Effectiveness*. Este índice é uma métrica percentual do processo mensurando os dados coletados nos ambientes virtuais e reais por meio do produto entre disponibilidade, performance e qualidade. O resultado coletado na simulação do software permitiu obter o melhor cenário, analisando as variáveis e comparando-as ao padrão mundial de produtividade. Os resultados emitidos permitiram extrair o máximo de cada elemento e estudar o seu comportamento quando integrados, atendendo a eficiência ideal adotada em vários sistemas produtivos contidos nos indicadores de OEE. Prever possíveis não conformidades ainda durante a fase de projeto garante ao modelo versatilidade diante de cenários cada vez mais competitivos..

Palavras chave: célula robotizada. Simulação virtual. Eficiência produtiva

Analysis of the efficiency of a robotic cell for stamping from simulated data in environment real and virtual - A case study applied to a Brazilian automobile company

Abstract: This paper aims to compare productive data involved in the development of a robotic cell applied to the automotive stamping area by configuring simulated scenarios between the virtual and the real environment to obtain maximum process efficiency. The study of the virtual model in the 2D environment analyzes the variables in the main stages taking into account the positioning, the movement, the assembly, with the aid of the Plant Simulation software. Simulating minimum and maximum conditions of activities allows the addition of the initial results for the formation of the first production cycles. To evaluate the robotic cell, the indicator used to measure efficiency was OEE Overall Equipment Effectiveness. This index is a percentage metric of the process measuring the data collected in virtual and real environments through the product between availability, performance and quality. The results obtained in the software simulation allowed to obtain the best scenario, analyzing the variables and comparing them to the world standard of productivity. The results allowed to extract the maximum of each element and to study its behavior when integrated taking into account the ideal efficiency adopted in several productive systems contained in the OEE indicators. Predicting possible nonconformities even during the design phase ensures the model's versatility in the face of ever more competitive scenarios.

Keywords: Robotized cell. Virtual simulation. Productive efficiency.

1. Introdução

Diante do momento instável da economia nacional, o Brasil precisa a cada dia reinventar novas maneiras de se manter no mercado automotivo. Pertencente a um grupo emergente, não é uma tarefa fácil competir com

Copyright © 2017 ISESC.

países de primeiro mundo que se destacam não apenas pela economia desenvolvida, mas pelo uso da tecnologia e o *know-how* na fabricação de veículos automotores.

Atualmente as montadoras automotivas contam com um futuro incerto e grande redução de investimentos em diversas áreas, cenário este que pode ser encontrado também em segmentos complementares como de seus fornecedores, colaboradores e clientes [1].

A capacidade de se adequar a um púbico que busca cada vez mais veículos com qualidade, inovação e tecnologia faz da criatividade e a simulação de processos ferramentas importantes para manter-se no mercado e conquistar novos clientes. A simulação de virtual por meios de *softwares* para se adequar a novos desafios evoluiu ao longo dos anos contribuindo com publicações técnicas conforme a figura 1. Para ajustar a produção atual com as mudanças impostas pelo novo cenário, os recursos tecnológicos permitem adequar sistemas antes lineares em sistemas flexíveis de manufatura partindo de um ambiente virtual [2].

Algumas variáveis envolvendo a produção de veículos como custo de execução do projeto e o tempo contemplando desde a concepção até a entrega do carro ao cliente final impacta fortemente nos investimentos atuais e futuros em uma montadora, havendo a necessidade de adequação das vendas e do planejamento de operações, conforme Figura 2.

A partir da definição da estrutura para a elaboração de novos processos automotivos, a simulação virtual permite analisar aspectos positivos e negativos relacionados a flexibilidade de sistemas para atender demandas personalizadas, reconfigurações de processos para atender tempo de execução e custos dos sistemas de fabricação complexos [3].

A necessidade de lançamento de novos modelos de automóveis necessita manipulação de áreas de manufatura dentro de um tempo cada vez menor e de forma enxuta. Metodologias como *Lean Manufacturing* e Manufatura Digital torna-se um ponto chave nesse cenário ao se relacionar com todos *stakeholders* [4].

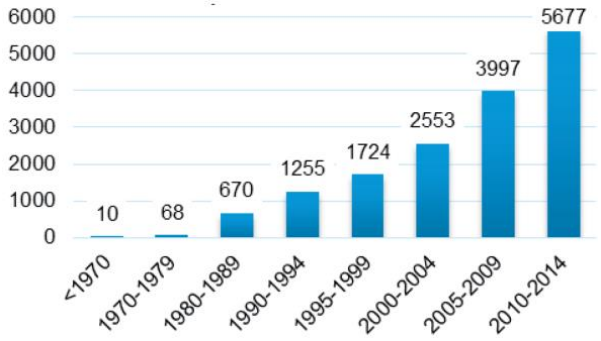

Figura 1. Número de publicações relacionadas a simulação de novas tecnologias
Fonte: Mourtzis, D.; Doukas, M.; Bernidaki, D.



Figura 2. Variáveis envolvendo a produção de veículos.
Fonte: Mourtzis, D.; Doukas, M.; Bernidaki, D

Copyright © 2017 ISESC

O objetivo geral deste trabalho é analisar uma das etapas do desenvolvimento de uma célula de manufatura robotizada aplicado a estamparia, avaliando a eficiência do fluxo produtivo por meio de comparações entre cenários simulados virtualmente e realizado fisicamente para obter o máximo da eficiência do processo.

Os erros antes evidenciados apenas durante ou após a execução do projeto físico, são hoje possíveis de serem identificados ao longo do desenvolvimento virtual reduzindo assim prejuízos futuros [5].

Um dos estudos que se aproxima da proposta deste projeto é o *Digital Manufacturing Cell Design for Performance Increase* que analisa o posicionamento das variáveis de uma célula robotizada, enfatizando a importância da simulação 3D antes da construção do ambiente real [6]. A proposta além de analisar o posicionamento pretende estudar o dimensionamento e fluxo envolvidos na célula robotizada.

2. Materiais e Métodos

A evolução das etapas envolvendo definição do processo, utilização de máquinas, posicionamento e movimentação são os principais estágios na elaboração de uma célula robotizada por meio do software de CAD *Plant Simulation* [7].

Antever possíveis problemas estruturais durante a construção é possível com a identificação e simulação dos objetos utilizados na tarefa.

O modelo virtual inicia com a base no desenho no ambiente 2D junto com os objetos de montagem. Este relacionamento com as dimensões do espaço físico permite as primeiras análises de forma concreta.

O documento criado a partir do software *Plant Simulation* para uma compreensão inicial posiciona os elementos da célula que estão dispostos para exemplificar o sequenciamento e fluxo da linha, observado na figura 3.

Muitas vezes o início de uma atividade automatizada envolvendo homem e máquina parte de situações já existentes e que tentam reaproveitar uma estrutura que sofre adaptação com objetivo de reduzir tempo e custo.

Simular condições mínimas e máximas nas atividades compactadas permite a adição dos resultados iniciais para a formação dos primeiros ciclos de produção [8].

Situações que envolvem montagens complexas por meio da automação podem evidenciar falhas como falta de componentes, barreiras físicas como colunas e limitações envolvendo fluxo de movimentação de cargas e vibrações. Virtualmente é possível agregar novas operações e simular diferentes tempos de execução para coletar dados mensuráveis [9].

Após a definição do posicionamento, dimensões e o fluxo de produção a célula deixa de ser observada como variáveis em 2D e começa a ser modelada em 3D com base em bibliotecas existentes de softwares aplicados em manufatura digital, conforme figura 4.

A partir da simulação real os dados foram aplicados no modelo desenvolvido no *software Plant Simulation* para

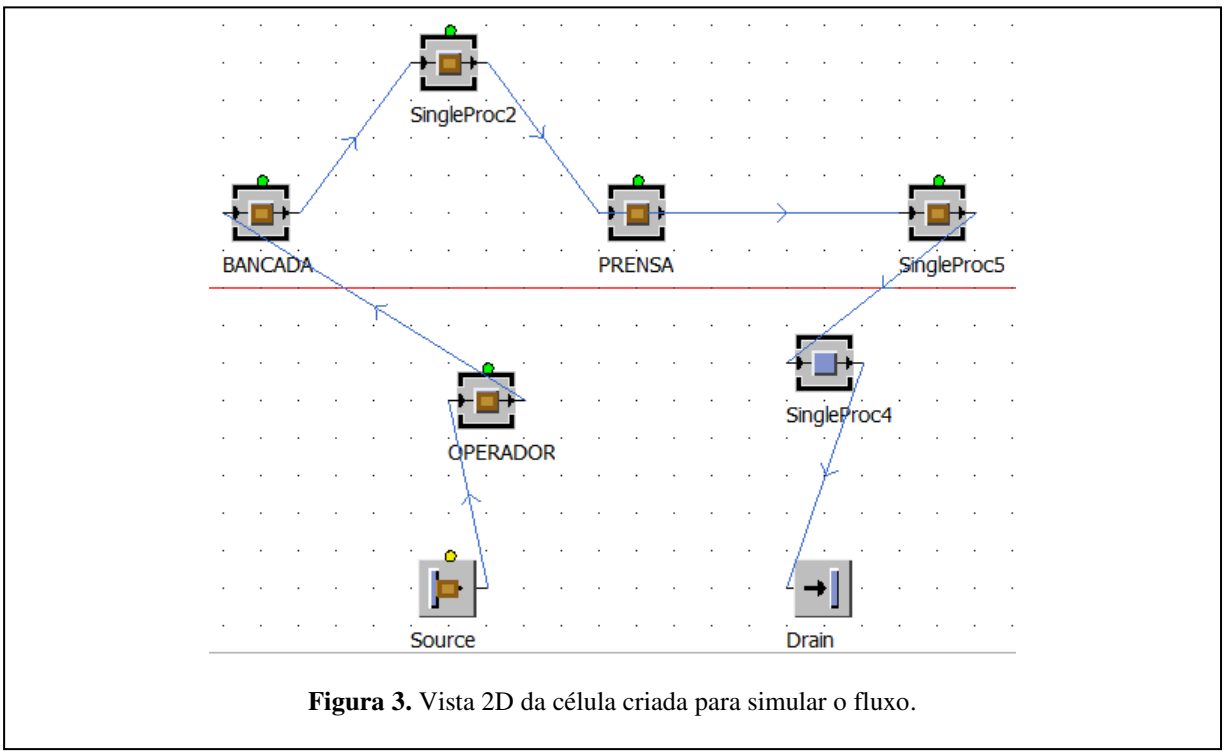

Figura 3. Vista 2D da célula criada para simular o fluxo.

Copyright © 2017 ISESC

coletar a melhor situação encontrada envolvendo os cálculos das variáveis Disponibilidade, Performance e Qualidade.

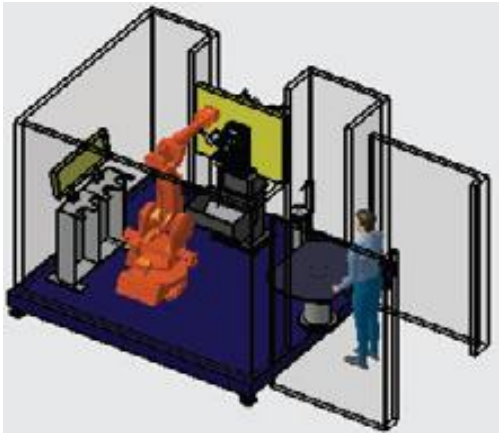

Figura 4. Vista 3D da célula robotizada para estamparia
Fonte: Caggiano; Teti, 2012

Com a simulação teórica baseada na produção piloto e de linhas anteriores, algumas atividades puderam ser mensuradas obtendo como melhor resultado de movimentação, o que pode ser compreendido pelos dados da tabela1.

Posicionamento	Atividade	Tempo - (seg.)
1	Operador 1 abastece o suporte 1 com fardo de chapas com a linha desligada.	20
2	Robô 1 realiza movimento para pega de uma chapa cortada.	4
3	Robô 1 movimenta a chapa do suporte até o posicionamento dentro do estampo.	8
4	Robô 1 retorna ao ponto inicial para a retirada da próxima chapa.	8
5	Após 2 seg. da movimentação de retorno do Robô 1 a Prensa 1 executa o processo de repuxo de forma concomitante.	3 desc. + 3 sub. = 6
6	Robô 2 retira a peça estampada de dentro da prensa.	3
7	Robô 2 coloca a peça estampada no suporte 2.	3
8	Operador 1 retira peça estampada no suporte 2 e sai da célula.	15

Tabela 1. Relação entre atividades e tempos.

Existem diversas ferramentas para medir se um processo é eficiente ou não em uma indústria, neste caso, para avaliar a célula de robótica o indicador utilizado para medir a eficiência foi o OEE *Overall Equipment Effectiveness*. Este índice é uma métrica percentual que representa como estão as melhores práticas da empresa e leva em consideração 3 importantes variáveis de produtividade: a disponibilidade dos equipamentos para produção, a qualidade do que é produzido e a performance[10]. Para a mensuração dos dados o cálculo é realizado pela seguinte fórmula:

OEE = Disponibilidade x *Performance* x Qualidade *(1)*

Para realizar a comparação dos dados outra ferramenta utilizada dentro do OEE é o *World Class* conhecido como índice de referência das indústrias no mundo ou eficácia global [10]. Com a utilização desta ferramenta foi estimado que as plantas com melhor eficiência no mundo apresentam o índice de 85% de OEE e que em média, os restantes das indústrias apresentam um índice de apenas 60%[11].

3. Resultados

Após os estudos práticos, o melhor cenário envolvendo disponibilidade, performance e qualidade foi encontrado quando as atividades da célula robotizada foram submetidas a simulações e análises no software *Plant Simulation*.

Na variável disponibilidade a célula foi programada para trabalhar 2 turnos de 8 horas com uma parada planejada de 30 minutos para que os operadores possam fazer a troca de turno e atualizarem sobre o processo. Durante o expediente foram destinadas paradas de 10 minutos a cada 4 horas para conferência e regulagem de parâmetros.

Tempo Programado = (2 x 8 x 60) – 30 = 930 minutos *(2)*

Tempo disponível para produção = 930 – (4 x 10)
= 930 – 40 = 890 minutos *(3)*

Disponibilidade = 890 / 930 = 0,957 = 95,7% *(4)*

Conforme estudos mundiais em empresas que seguem padrões *World Class*, o indicador padrão mundial de disponibilidade é em torno de 90%.

A variável performance representa a porcentagem da velocidade de produção com relação a velocidade nominal, ou seja, velocidade de produção atual em relação a velocidade com que o equipamento produziu e foi projetado para tal. A célula foi projetada com um ciclo de 24 segundos por peça totalizando 2,5 peças/min. Acompanhando a situação projetada da operação, no final do dia, verificou-se que a quantidade de peças produzidas foi de 2114 peças.

Tempo Programado = (2 x 8 x 60) – 30 = 930 minutos *(5)*

Tempo Operacional = 930 – 40 = 890 minutos *(6)*

Copyright © 2017 ISESC

Tempo que deveria ser
gasto para produzir as 2114 peças = 2114peças / 2,5peças/min.
= 845,6min *(7)*

Performance = 845,6 / 890 = 0,95 = 95% *(8)*

Conforme estudos mundiais em empresas que seguem padrões *World Class*, um nível padrão mundial do indicador de performance é em torno de 95%.

Com histórico de baixar perdas de peças refugadas a qualidade é a última variável analisada levando em consideração a quantidade de peças produzidas, o padrão de referência como o ideal e histórico de projetos anteriores.

Qualidade = (Quantidade de peças produzidas – 1% Quantidade de peças produzidas) / Quantidade de peças produzidas *(9)*

Qualidade = (2114 – 21) / 2114 = 0,99 = 99% *(10)*

Novamente, comparando com estudos mundiais em empresas que seguem padrões *World Class*, o indicador padrão mundial de qualidade é em torno de 99%.

A partir dos dados coletados na simulação do *software* o OOE foi obtido da seguinte forma:

OEE = Disponibilidade X Performance X Qualidade *(11)*

OEE = 0,90 X 0,95 X 0,99
= 0,90
= 0,85% (Padrão *World Class*) *(12)*

OEE = 0,957 X 0,95 X 0,99
= 0,90
= 90% (Melhor cenário simulado) *(13)*

Com a simulação do software obtendo o melhor cenário, o modelo apresenta as principais variáveis sendo comparadas ao padrão mundial de produtividade, o que pode ser observado na figura 5.

4. Conclusões

Após a aplicação dos dados coletados no *software Plant Simulation* os resultados emitidos puderam atender a eficiência ideal adotada em vários sistemas produtivos contidos nos indicadores de OEE. A utilização de software para a simulação de diversos cenários produtivos permite extrair ao máximo de cada variável e estudar o seu comportamento quando integradas. Nem sempre cada variável reage de forma linear e proporcional quando sincronizadas. O estudo realizado neste trabalho analisou uma única célula e sua abrangência pode ser ampliada num trabalho futuro aplicando a mesma metodologia de analise numa linha com maior número de prensas e robôs. Antever possíveis problemas independente do número de células e apresentar solução ainda no campo do projeto, diminui muito os custos destinados a futuros reparos de processos.

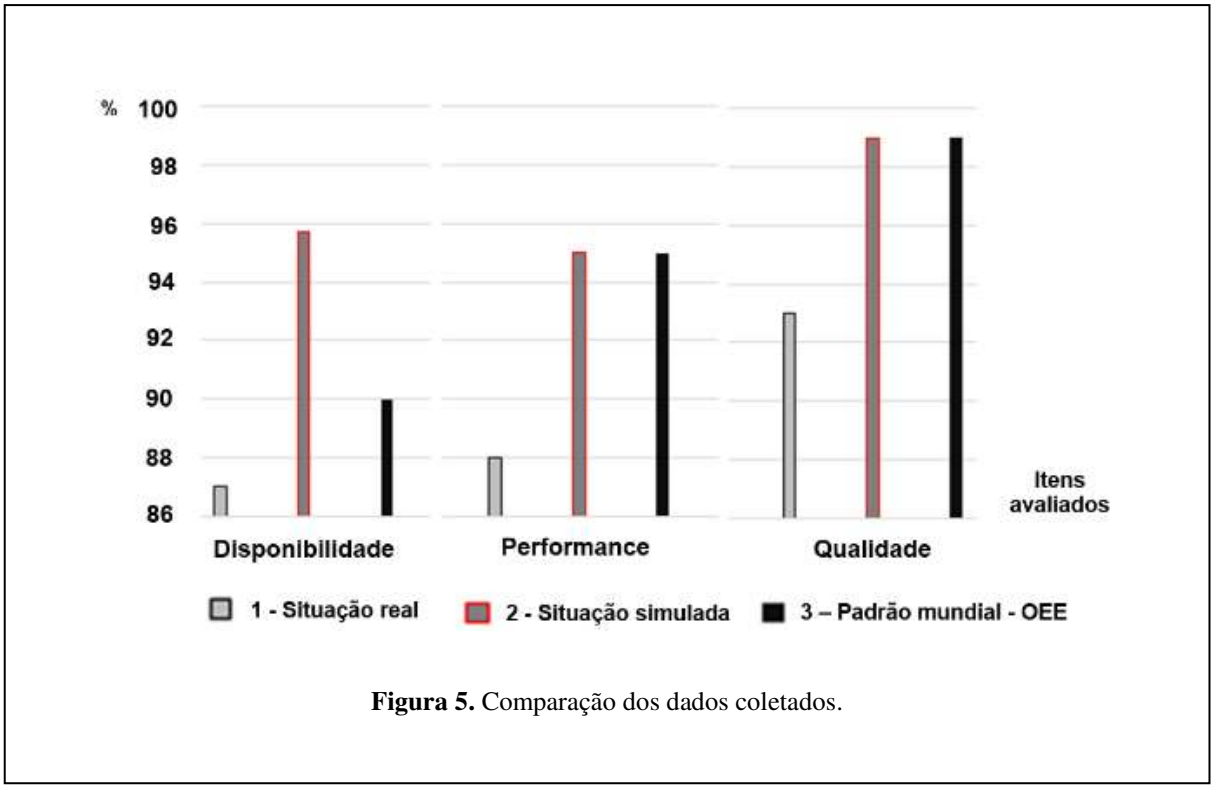

Figura 5. Comparação dos dados coletados.

Copyright © 2017 ISESC

Atualmente ainda existem situações de estampagem muitas vezes de forma manuais. Com a simulação do processo de forma virtual as melhorias seriam aplicadas também nos campos ergonômicos e em redução do número de operações do processo, o que gera uma diminuição do tempo para a obtenção do produto.

No ambiente automobilístico onde o processo de estampagem exige prazos cada vez mais curtos, versatilidade atrelada a eficiência, estas simulações permitem que diversas empresas trabalhem em um nível de competividade elevado, ficando muitas vezes à frente de seus principais concorrentes.

Referências

[1] Mourtzis, D.; Doukas, M.; Bernidaki, D. **Simulation in Manufacturing: Review and Challenges.** CIRP 25 Sponsored DET 2014 Conference. 213 – 229. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114010634>. Acesso em: 07 abr. 2017.

[2] Scholz-reiter, B; Freitag, M. **Autonomous Processes in Assembly Systems**. In: CIRP Global Web Conference: Interdisciplinary Research in Production Engineering, 2007. 56p, Bremen, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785060700159X>. Acesso em: 25 fev. 2017.

[3] Caggiano A.; Caiazzo F.; Teti R. **Digital factory approach for flexible and efficient manufacturing systems in the aerospace industry.** CIRP 37 Understanding the life cycle implications of manufacturing, 2015. 122 – 127. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115008562>. Acesso em: 28 mai 2017.

[4] Stef. I. D., Draghicia G., Draghicib A. **Product design process model in the Digital Factory context.** International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies, 2013. 451 – 462. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017313002041>. Acesso em: 22 jun 2017.

[5] CÁCERES, Mauro Sérgio Juarez. **Proposta de Metodologia para Implementação de Sistemas de Manufatura Digital baseada no gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto com ênfase no Ensino tecnológico.** 2010. 132f. Dissertação. (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

[6] CAGGIANO, A.; TETI, R. **Digital Manufacturing Cell Design for Performance Increase**. In:1st CIRP Global Web Conference: Interdisciplinary Research in Production Engineering - Naples, Italy. 2012.

[7] SIEMENS. **Plant Simulation**. 2013. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2017.

[8] Menck N., Weidig C., Aurich J. C. **Virtual Reality as a Collaboration Tool for Factory Planning based on Scenario Technique**. 46 CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2013. 133 – 138. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113002308?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jun 2017.

[9] G. Reinhart, J. Werner. **Flexible Automation for the Assembly in Motion.** CIRP Annals - Manufacturing Technology,Volume 56, 2007, 25-28. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785060700008X>. Acesso em: 22 jun 2017.

[10] Gremlin P. **Integrating Value Stream Mapping and DMAIC Methodology - A Case Study at TitanX.** Industrial and Management Engineering. Lulea University of Technology. 2016 - 79f. Disponível em: < http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1057375/FULLTEXT02.pdf>. Acesso em: 30 jun 2017.

[11] Busso, C. M., Miyake, D. I. **Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica.** Produção, v. 23, n. 2, p. 205-225, abr./jun. 2013. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000200001>. Acesso em: 15 mar. 2017.

Copyright © 2017 ISESC