Proposta de integração dos princípios *Lean*, *Six Sigma* e Simulação a Eventos Discretos baseada no *roadmap* DMAIC: uma aplicação em uma indústria do setor tecnológico

Carlos Henrique dos Santos
chenrique.santos@unifei.edu.br

Beatriz Soares Ferreira
beatriz29sf@gmail.com

José Antonio de Queiroz
ja.queiroz@unifei.edu.br

Afonso Teberga Campos
afonso.teberga@gmail.com

Alexandre Fonseca Torres
alexandrefonsecatorres@gmail.com

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, UNIFEI, Itajubá - MG

RESUMO

A integração entre os princípios *Lean* e *Six Sigma* objetiva o alcance de processos enxutos e eficientes e, aliada à Simulação a eventos discretos (SED), objetiva-se a melhoria contínua de processos e sistemas. Neste contexto, o presente trabalho apresenta a elaboração e aplicação de uma metodologia *Lean Six Sigma*, com auxílio da Simulação computacional, objetivando o aumento da produtividade em uma indústria do setor tecnológico. Além de uma melhor organização do ambiente de trabalho, eliminação/redução de desperdícios e redistribuição de tarefas, obteve-se um aumento da produtividade superior a 50%, aliado à uma melhora significativa do nível *sigma* do processo.

Palavras-chave: *Lean; Six Sigma*; Simulação a Eventos Discretos.
Tópicos: SIM - Simulação

ABSTRACT

The integration of the principles Lean and Six Sigma aims to achieve efficient processes and, with Discrete Events Simulation (DES), this integration aimed the continuous improvement of processes and systems. In this context, this work presents a development and application of a Lean Six Sigma methodology, with the aid of Computational Simulation, aiming increasing productivity in a technological industry. In addition to a better organization of the work environment, elimination/ reduction of waste and redistribution of tasks, it was obtained a productivity increase of more than 50% with a significant improvement in the sigma level of the process.

Keywords: Lean; Six Sigma; Discrete Events Simulation.
Topics paper: SIM – Simulation

https://proceedings.science/p/85469?lang=pt-br

1. Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido em uma indústria situada no Sul de Minas Gerais, a qual atua na produção de *scanners*. Mais precisamente, o objeto de estudo deste trabalho foi uma das quatro linhas de montagem da empresa, chamada de linha 4, sendo esta uma linha com boas possibilidades de melhorias, uma vez que foi recentemente implementada.

A planta possui um sistema de produção para estoque baseando-se em uma previsão de demanda. Além disso, a linha 4 passa por períodos de não atendimento à demanda devido à presença de postos de trabalho desbalanceados e operação gargalo, além de um processo de abastecimento ineficiente da linha. Portanto, com o objetivo de se adequar a produção à sua demanda, deve-se reformular o modelo de produção atual em busca de um modelo de produção puxada com um melhor balanceamento das atividades e melhor controle quanto ao abastecimento e ritmo de produção.

Dessa forma, é proposta a aplicação dos conceitos *Lean*, sobretudo por meio do *Value Stream Mapping* (VSM), o qual focará nos desperdícios associados à produção, de forma a eliminá-los ou reduzi-los. Esta aplicação utilizará também a metodologia *Six Sigma* como suporte para todo o planejamento e execução, a qual fornecerá suporte estatístico e ferramentas da qualidade através do *roadmap* DMAIC. Por fim, há a utilização da Simulação a Eventos Discretos (SED) como ferramenta de apoio à análise dos estados atual e futuro do fluxo de valor. Dessa forma, espera-se respostas mais assertivas no que diz respeito ao modelo analisado, uma vez que passa a se considerar variações no processo, tornando-o ainda mais próximo do cenário real.

2. Referencial teórico

Para Mousa (2013), a combinação entre as metodologias *Lean* e *Six Sigma* fornece uma estrutura capaz de garantir a melhoria estrutural, seja de um processo ou fluxo, através de uma completa e robusta análise de dados aliada a uma solução eficaz de problemas. Neste cenário, Celano, Costa e Fichera (2012) salientam que a simulação vem sendo utilizada em grande escala em projetos *Lean Six Sigma*, sobretudo no que tange a comparação de diversos cenários, testes de novos produtos e processos, teste de diferentes configurações de processos, dentre outras aplicações.

2.1. *Lean*

Para Womack, Jones e Ross (2004), o termo "*Lean"*, que traduzido para o português significa "Enxuto", se justifica por se tratar de uma metodologia a qual se baseia na utilização de menores quantidades de recursos, sejam humanos, materiais ou financeiros. Neste contexto, o *Lean* prega um sistema de produção enxuta, no qual se busca a minimização dos desperdícios e a melhoria do fluxo produtivo. Neste âmbito, não são tratados apenas desperdícios produtivos, mas todos os desperdícios envolvidos no fluxo de trabalho (PYZDEK, 2003).

Ohno (1997) revela que somente a partir da eliminação dos desperdícios é que se pode esperar um aumento real da eficiência produtiva. O primeiro passo é identificar estes tipos de desperdícios, os quais são classificados em 7 principais tipos: superprodução, estoques de matérias primas, de produtos em elaboração e de produtos acabados, pessoas, máquinas e processos esperando, transportes excessivos ou desnecessários de produtos, movimentações excessivas ou desnecessárias de pessoas, processamentos ineficientes ou desnecessários e produtos defeituosos. Ainda para o autor, para se eliminar estes desperdícios, deve-se produzir somente o necessário e no momento necessário.

2.1.1. A Técnica do *Value Stream Mapping* (VSM)

No contexto de identificação e eliminação dos desperdícios, destaca-se uma técnica amplamente utilizada, o *Value Stream Mapping* (VSM) ou, traduzido para o português, "Mapeamento do Fluxo de Valor". O VSM é uma ferramenta qualitativa que possibilita descrever o fluxo produtivo, desde a solicitação de demanda pelo cliente até a entrega do produto final, envolvendo os fluxos de material e informação e facilitando a identificação dos desperdícios e suas respectivas fontes (ROTHER & SHOOK, 2012). Os autores também sugerem algumas etapas para a implementação desta ferramenta:

I Seleção da família de produtos: deve-se escolher os produtos para os quais se desenhará todas as etapas de processamento, uma vez que mapear todos os produtos de uma unidade produtiva nem sempre é viável ou necessário;

II Desenho do Mapa do estado atual: trata-se da etapa de análise inicial do fluxo produtivo e, através de um conjunto de símbolos, pode-se mapear os fluxos de materiais, informações e recursos, além dos processos na linha produtiva, tendo como objetivo identificar os desperdícios e suas causas-raiz;

III Desenho do Mapa do estado futuro: o objetivo do mapa do estado futuro é justamente eliminar as

fontes de desperdícios, as quais foram destacadas no estado atual. A meta é implementar uma cadeia de produção onde os processos são articulados aos respectivos clientes por meio de fluxo contínuo ou sistema puxado;

IV Elaboração dos Planos de implementação: como nem sempre é possível a implementação do estado futuro de uma só vez, torna-se necessário um plano de implementação, o qual priorize as ações e estabeleça a definição das etapas de implementação.

2.2. *Six Sigma*

Para Girenes e Atmaca (2011), o *Six Sigma* traz consigo uma filosofia da qualidade por meio de ferramentas estatísticas que permitem o monitoramento e controle de processos, de forma a se reduzir a variabilidade e eliminar defeitos. Já Antony (2009 *apud* BHAT, GIJO e JNANESH*, 2016*), ressalta o *Six sigma* como sendo um conjunto de práticas que visam melhorar sistematicamente os processos ao eliminar defeitos, erros ou falhas, de forma a se alcançar um índice de defeitos ou falhas por milhão de oportunidades (DPMO) menor que 4.

Carvalho e Paladini (2012) ressaltam que o *Six Sigma* traz consigo o uso de vários elementos da qualidade, sendo que um dos mais incisivos e utilizados é a adoção estruturada do pensamento estatístico. Anderson, Eriksson e Torstensson (2006) salientam para a existência de duas metodologias que servem como "*Roadmaps*" para o *Six Sigma* e conduzem a implementação da metodologia. Uma delas é adequada para processos os quais já estão em execução, o DMAIC, e outra para processos que ainda estão em fase de planejamento, ou seja, processos novos, o DMADV.

2.2.1. *Roadmap* DMAIC

Pyzdek (2003) afirma que a estrutura DMAIC é a mais utilizada no que tange à aplicação da metodologia *Six Sigma* e descreve as atividades pertencentes a cada uma das cinco fases:

***Define*:** definição do projeto, identificação de clientes e definição do processo, do escopo e das datas potenciais;

***Measure*:** definição das métricas do processo, avaliação dos dados e definição do progresso e da eficácia do projeto;

***Analyze*:** análise do estado atual e avaliação das possíveis mudanças, dos recursos necessários e também das limitações quanto à implementação destas mudanças;

***Improve*:** avaliação das ações e da estrutura do processo e implementação das melhorias propostas;

***Control*:** avaliação dos riscos, qualidade e custos, avaliação de respostas durante o processo e garantia de permanência e efetividade das melhorias.

2.3. Simulação a Eventos Discretos (SED)

Para Banks (1998), a Simulação pode ser entendida como sendo um processo de imitação de processos reais em um certo período de tempo. Queiroz *et al.* (2012) apresentam a Simulação como uma alternativa afim de se evitar interferências em sistemas reais e, consequentemente, evitar custos e transtornos oriundos desta intervenção. Ainda para os autores, a partir da visualização e análise de sistemas reais através da construção de modelos de Simulação, torna-se possível o auxílio a tomada de decisões, uma vez que há a visualização completa de sistemas e processos e dos resultados de melhorias ou modificações antes mesmo da implementação destas.

Banks (1998) cita como vantagens da Simulação o baixo investimento e a possibilidade de se obter análises específicas, já que a Simulação permite uma análise de determinadas áreas ou partes de um sistema ao invés de se analisá-lo como um todo. Já Law e Kelton (2000) consideram como uma das principais vantagens associadas à Simulação a capacidade de proporcionar aos tomadores de decisões uma visão ampla do sistema real e certa previsão dos resultados antes mesmo da implementação de ações. Além disso, Chwif e Medina (2010) salientam que a Simulação proporciona um melhor entendimento do sistema quando submetido à experimentos, auxiliando na resposta de questões como "O que ocorre se".

Apesar das inúmeras vantagens oriundas da Simulação, Banks (1998) cita algumas desvantagens, dentre elas a necessidade de treinamento especial para a construção de modelos e o fato de que a simulação pode ser utilizada em casos onde não há a real necessidade. Já para Law e Kelton (2000) alguns modelos de Simulação podem ser relativamente caros e podem consumir um tempo elevado para o seu desenvolvimento.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho propõe a criação de um método o qual se baseia nos pilares do *Lean*, *Six Sigma* e Simulação a Eventos Discretos (SED). Objetiva-se a implementação dos conceitos do *Lean* por meio do *roadmap* DMAIC, do *Six sigma,* através da inserção das etapas do *Value Stream Mapping* nas cinco fases que compõem o DMAIC.

Neste contexto, a metodologia proposta foi estruturada a partir do método Pesquisa-ação. Segundo Mello *et al.* (2012), trata-se de um método que pode ser aplicado a partir da implantação de ações sobre problemas não triviais e que pode ser composto por ciclos. Ainda de acordo com os autores, cada ciclo é composto por cinco fases:

I- Planejamento: seleção da unidade de análise e definição do contexto e propósito da pesquisa;
II- Coleta de dados: definição de técnicas de coleta de dados;
III- Analise dos dados e planejamento de ações: avaliação dos dados, confrontando-os com o esperado, bem como formulação de planos de ação;
IV- Implementação de ações: execução dos planos de ação previamente definidos;
V- Avaliação dos resultados e confecção de relatório: avaliação dos resultados segundo os objetivos definidos e compilação dos mesmos.

Dessa forma, buscou-se representar cada uma das fases da Pesquisa-ação também segundo o DMAIC. Tal integração possibilita o desenvolvimento do trabalho segundo o método de pesquisa, porém, seguindo as cinco etapas do DMAIC, conforme propõe a metodologia criada. A figura 1 ilustra tal integração:

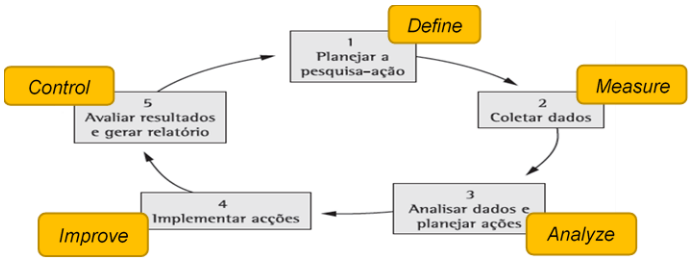


Figura 1: Estruturação do DMAIC a partir das cinco fases do método Pesquisa-ação.
Fonte: adaptado de Mello *et al*. (2012)

3.1. Princípios do *Lean* e SED integrados ao *Six Sigma* através do *roadmap* DMAIC

Define: é proposta a utilização da **Seleção da família de produtos**, uma das etapas do VSM, de forma a fornecer suporte no que diz respeito à definição do escopo a ser trabalhado. Dessa forma, busca-se a priorização adequada, baseando-se não somente na voz do cliente, como também nas características dos produtos e dos processos.

***Measure*:** para Tohidi (2012), há a possibilidade de se utilizar o VSM de forma a se entender melhor o processo em estudo e suas fontes de desperdício e variação. Dessa forma, propõe-se a utilização do **VSM do estado atual** que, através do mapeamento dos fluxos de materiais, informações e recursos, irá auxiliar na medição do processo através de uma visão macro e detalhada do mesmo. Neste contexto, é proposta a utilização da **SED** de forma a se validar o mapa do estado atual e compreender melhor o processo no que se refere aos pontos de desperdícios presentes neste estado.

***Analyze*:** uma vez que nesta fase que se constitui a identificação das causas-raiz, as quais impedem um processo atual de operar segundo metas almejadas, propõe-se a utilização do **VSM do estado futuro.** O objetivo é avaliar o processo após a eliminação destas fontes de desperdícios, as quais foram destacadas no estado atual. A **SED** pode ser aplicada neste estágio justamente para representar o mapa do estado futuro e testar a validade das causas-raiz encontradas.

***Improve*:** nesta fase há a implementação das soluções potenciais para as causas-raiz previamente encontradas e, muitas vezes, há a necessidade de haver priorização destas ações de implementação. Desta forma, é proposta a utilização de **Planos de Implementação,** quarta etapa do VSM, como uma sub-etapa para a fase *Improve.*

Control: objetivando-se complementar a fase de controle na busca pela melhoria contínua, ao invés de tão somente se controlar as melhorias e o processo, propõe-se a utilização da filosofia **5S**, bem como de **Auditorias de processo**.

A figura 2 representa a integração proposta entre a SED, *Lean* e *Six Sigma* através do DMAIC:

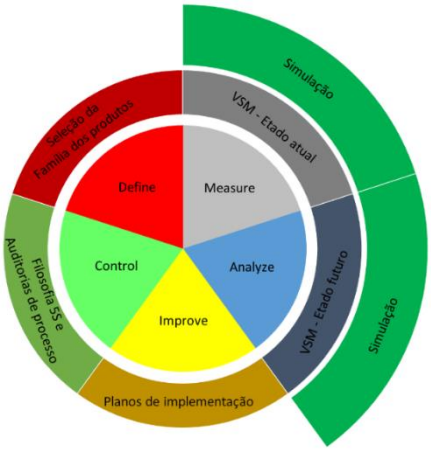


Figura 2: Integração dos princípios *Lean* com o *Six Sigma* através do DMAIC.
Fonte: elaborado pelos próprios autores

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente trabalho foi desenvolvido em uma unidade produtiva responsável pela produção de *Scanners* utilizados para leitura de códigos de barras. As atividades desempenhadas e os resultados da aplicação serão apresentados a seguir através do *roadmap* DMAIC.

4.1. *Define*

A primeira fase do DMAIC é composta pela Seleção da Família de Produtos, confecção da Carta de Projeto e confecção do SIPOC. Seguindo o enfoque do método Pesquisa-ação, tal fase representa todo o planejamento do trabalho.

4.1.1. Seleção da família de produtos

Dentre as linhas produtivas destaca-se a linha 4, a qual apresentava períodos de não atendimento à demanda, operação gargalo e um processo de abastecimento ineficiente. Além disso, trata-se de uma linha nova e com grandes possibilidades de mudança, cuja produção possui grande potencial de retorno financeiro. O fluxo produtivo é ilustrado na figura 3:

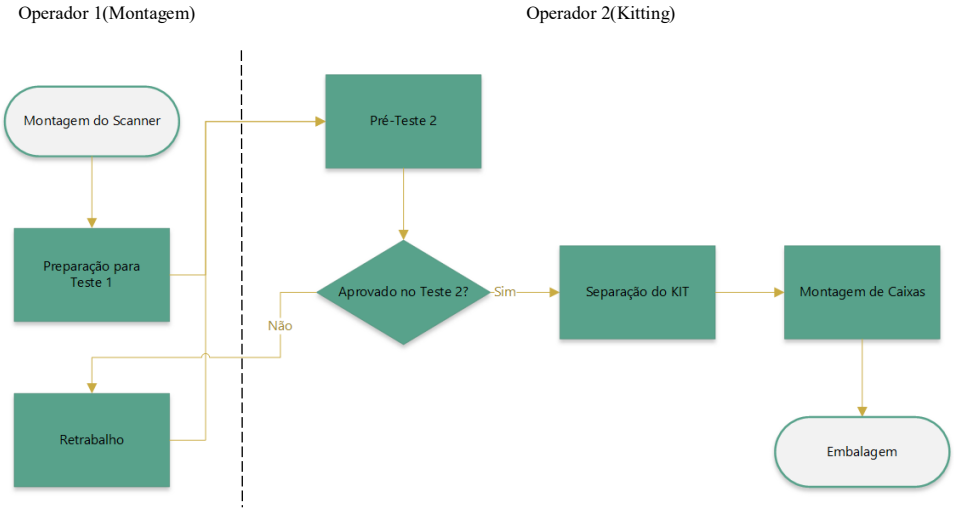


Figura 3: Fluxograma Multifuncional simplificado - Linha 4.
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

4.1.2. Carta de Projeto

A carta de projeto inclui todos os detalhes e informações do trabalho de forma que haja o alinhamento entre os objetivos dos líderes do projeto com os objetivos de todos os demais envolvidos. Dessa forma, algumas informações presentes na carta de projeto foram:

-Declaração do problema: linha 4 apresentando períodos de não atendimento à demanda, operação gargalo e processo de abastecimento ineficiente;
-Objetivo do projeto: aumentar a produtividade da linha em cerca de 40%;
-Impactos potenciais: aumento da produtividade, eliminação/redução de desperdícios, melhor distribuição e balanceamento de atividades, dentre outros.
- Riscos associados: não alcance dos objetivos devido a fatores não considerados no projeto;

4.1.3. SIPOC

Com o objetivo de traçar os limites de atuação do projeto, uma vez já definido o escopo, que neste caso trata-se da linha 4, dividiu-se o processo de produção em dois macroprocessos: Montagem e *Kitting*, de forma que o SIPOC também será divido para melhor compreensão e análise. A figura 4 ilustra o SIPOC do projeto:

SIPOC - Linha 4					
	Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Clientes
Montagem	Empresa e gestores	Operador 1 Bancada de trabalho Ordem de trabalho	Montagem do Scanner	Scanners montados	Operação de Kitting
	Movimentador de materiais	Componentes do Scanner			
Kitting	Empresa e gestores	Operador 2 Bancada de trabalho Ordem de trabalho	Kitting	Scanners embalados com seus componentes	Operação de expedição e Estoque de produtos acabados
	Operador 1	Scanners montados			

Figura 4: SIPOC – Linha 4.
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

4.2. *Measure*

A segunda fase do DMAIC corresponde à fase de medição e foi composta pela confecção do VSM do estado atual, análise do sistema de medição e análise de capabilidade do processo. Do ponto de vista da Pesquisa-ação, trata-se da segunda etapa do método, correspondente à coleta dos dados.

4.2.1. VSM do estado atual

Para a confecção do mapa atual foi necessária a coleta de alguns dados referentes aos tempos de ciclo dos processos e, para tal, recorreu-se à ferramenta de Cronoanálise com auxílio do recurso de vídeo. Devido ao fato de haver pausas programadas no decorrer do dia de trabalho, o dia produtivo foi dividido em 4 períodos para a coleta dos dados conforme ilustra a tabela 1:

Tabela 1: Períodos produtivos – Linha 4
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

Período	Intervalo de horário
A	08:15 - 10:30
B	10:45 - 12:30
C	14:00 - 15:30
D	15:45 - 17:50

Desta forma, foram coletados 20 tempos em cada período (A, B, C e D) totalizando uma amostra de 80 tempos de ciclo para cada atividade. Tal fato possibilitou a obtenção do tempo de ciclo médio para cada atividade e, consequentemente, para cada processo (Operador 1: Montagem e Operador 2: *Kitting*). A figura 5 apresenta o VSM do estado atual da linha 4, bem como suas informações principais no que tange ao processo produtivo como tempo de ciclo de cada processo (Montagem e *Kitting*), tempo de agregação de valor da linha, *Lead time* do processo, dentre outras.

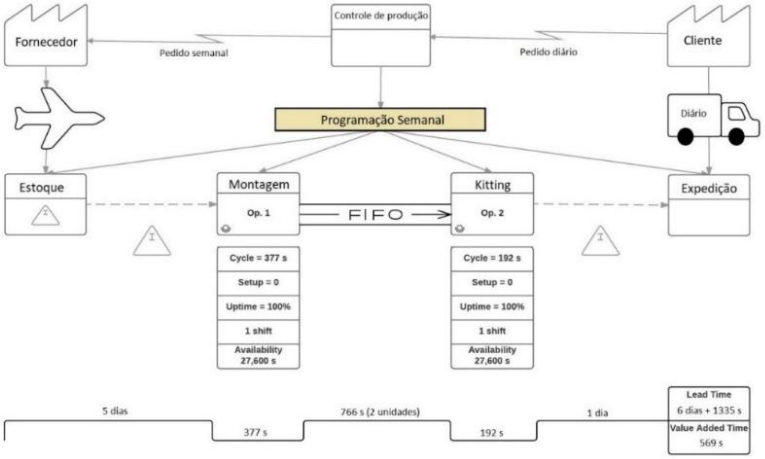


Figura 5: VSM do estado atual – Linha 4.
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

Dessa forma, através do *Software* ProModel foi possível a construção do estado atual da linha 4, conforme ilustra a figura 6:

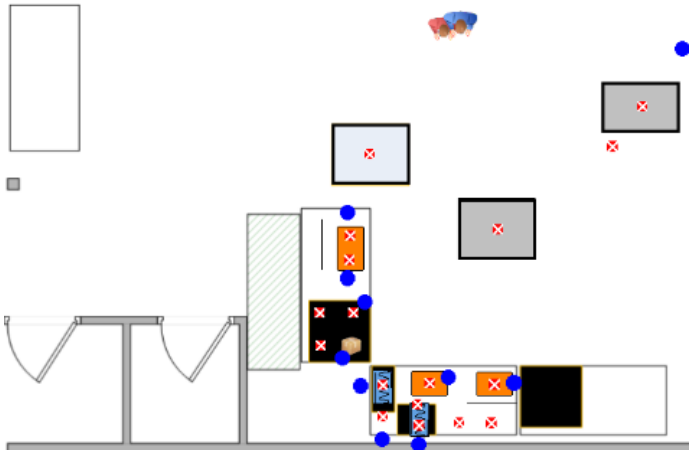


Figura 6: Modelo de simulação construído através do software Promodel – Linha 4 (Estado atual).
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

A partir do mapa do estado atual foi possível destacar as fontes de desperdícios:
a) A linha 4 trabalha com um tempo de agregação de valor de apenas 569 segundos frente a pouco mais de seis dias de *Lead Time* total. Tal fato revela certa ineficiência do processo;
b) O tempo de ciclo total do processo é igual ao tempo de ciclo do processo gargalo, que neste caso é o de Montagem (377 segundos, resultando em uma produtividade calculada de cerca de 72 peças ao dia). Porém, de acordo com informações dos gestores da linha, a produção diária no período de testes foi de 75 peças, fato que indica a presença de porosidades nas tomadas de tempo de ciclo;
c) O operador 1 (Montagem) opera continuamente já que se apresenta como operação gargalo, enquanto o operador 2 (*Kitting*) fica parte do tempo ocioso devido à espera de peças vindas da montagem;
d) Há excesso de matéria-prima nas bancadas, paradas não programadas por parte dos operadores para a reposição de matéria prima nas bancadas, além de movimentação e transportes desnecessários em meio à linha produtiva.

4.2.2. Análise do sistema de medição

Para a análise do sistema de medição, que neste caso trata-se da Cronoanálise auxiliada por vídeo, foi realizado um estudo de R&R. Concluiu-se, portanto, que o sistema de medição utilizado fornece uma confiabilidade satisfatória, já que a variação fornecida entre as medições de um mesmo medidor e entre os medidores é de apenas 2,15%, com um grau de confiança de 95%.

4.2.3. Análise da capabilidade do processo

O processo gargalo (Montagem) foi o parâmetro usado como base, uma vez que ele é que determina o tempo de ciclo total. O primeiro passo foi observar se o processo em questão se encontra sob controle através de uma carta de controle do tipo Individual e o resultado se mostrou estável. Apesar de haver pontos fora do limite de controle, estes dizem respeito a causas especiais e não representam a realidade do processo. Em busca de um aumento da produtividade de cerca de 40%, o objetivo é uma produtividade de cerca de 100 peças por dia dia ao fim do projeto. Dessa forma, considerando a mesma capacidade diária de 27300 segundos, o tempo de ciclo alvo deste estudo seria de 273 segundos para o processo gargalo e, para a análise, o limite superior considerado no estudo de capabilidade foi o tempo de ciclo atual de 377 segundos. A figura 7 ilustra o estudo de capabilidade efetuado:

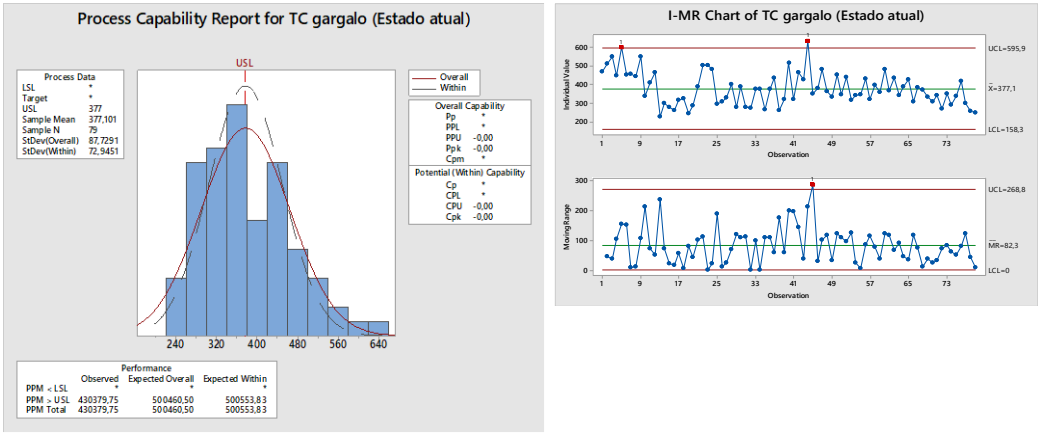


Figura 7: Carta de controle e estudo de capabilidade – Montagem (Processo gargalo).
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

O número de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) foi de 500460 peças, fato este que demonstrou baixa capabilidade do processo em se enquadrar dentro dos limites. Neste caso os “defeitos” são entendidos como tempos de ciclo que estão fora do limite definido e, sempre que o tempo de ciclo for maior que este *Takt time*, haverá um não atendimento da demanda.

4.3. *Analyze*

Nesta fase, partiu-se para a busca de causas para as ocorrências de desperdício através da identificação destes pontos de causa e construção do VSM do estado futuro já com a eliminação destas causas. Tal fase corresponde à terceira etapa da Pesquisa-ação, a análise e planejamento de ações.

4.3.1. Identificação das causas de desperdício no processo

As fontes de desperdício descritas na fase *Measure* foram analisadas em função de suas causas raízes, através de métodos qualitativos como *Brainstorming* e observação do processo, este chamado de método *GEMBA*.

a) Ineficiência do processo devido ao baixo tempo de agregação de valor: observou-se que tal ineficiência pode ser explicada devido existência de estoques intermediários e estoque inicial de grande volume.

b) Porosidades nas tomadas de tempo de ciclo: constatou-se que a linha operava abaixo de sua capacidade de forma que, ao saber que a meta diária atual seria alcançada, havia uma certa diminuição do ritmo dos operadores para que não se excedesse a produção.

c) Ociosidade do operador 2 e operador 1 como gargalo: o operador 2 ficava boa parte do tempo ocioso já que sua carga de trabalho representa cerca de 50% da carga de trabalho do operador 1. Este cenário reflete um uso ineficiente da força de trabalho e interfere no tempo de ciclo total da linha.

d) Excesso de matéria-prima nas bancadas e reposições constantes: além de gerar movimentações desnecessárias, tal fato resultava também em tempos de não agregação de valor. Esta ineficiência pode ser associada ao sistema de abastecimento da linha já que o operador reabastece a matéria-prima da operação sempre que julga necessário, sem um correto planejamento.

Para se validar tais causas, partiu-se para a formulação de possíveis soluções a serem testadas. Tais soluções foram representadas no mapa futuro e implementadas na fase *Improve*.

4.3.2. VSM do estado futuro

São formuladas a seguir propostas de soluções para as causas encontradas, de forma a representá-las no mapa futuro:

a) Estoques intermediários e estoque inicial de grande volume: foi proposta a utilização de *Kanbans* de forma a possibilitar o uso de estoques diários para determinados componentes, levando-se em conta os custos envolvidos e o volume ocupado pelos mesmos nas bancadas.

b) Operadores que trabalham abaixo da capacidade produtiva: optou-se pela implementação de um quadro de programação da produção conhecido como *Heijunka*, disponibilizando ao operador a informação sobre a quantidade produzida ao final de cada período e, consequentemente, possibilitando melhor controle seu ritmo de trabalho.

c) Desbalanceamento das cargas de trabalho: foi analisada a possibilidade de se transferir tarefas do Operador 1 para o Operador 2. Dessa forma, a atividade denominada "Montagem da proteção dianteira" foi transferida para o Operador 2 para uma melhor distribuição de cargas de trabalho.

d) Sistema de abastecimento da linha ineficiente: além da implementação de *Kanbans,* conforme citado anteriormente, outra solução seria a mudança de *layout* de forma a se permitir que o abastecimento da linha fosse feito por trás dela, sem que se atravesse o fluxo produtivo para realizá-lo.

Logo, a partir das soluções propostas acima, pode-se confeccionar o mapa do estado futuro da linha 4, conforme ilustra a figura 8:

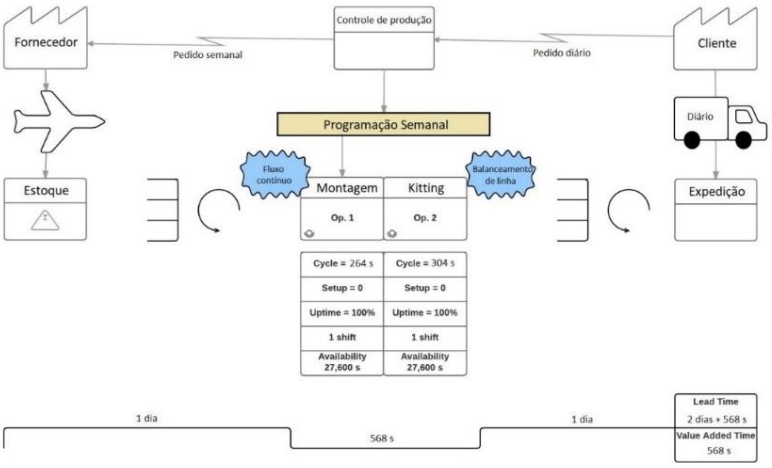


Figura 8: VSM do estado futuro – Linha 4.
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

Através do mapa futuro, pode-se notar melhorias no que se refere a um melhor balanceamento das atividades e *Lead Time* total mais curto, refletindo um processo mais eficiente.

4.3.3. Análise quanto a novas fontes de desperdício

Pode-se observar no mapa futuro que ainda havia certo desbalanceamento das atividades, apesar desta tender para o equilíbrio se comparada ao estado atual. Através da observação da produção pelo método de *Gemba*, além do conhecimento das atividades por parte dos gestores, concluiu-se que também havia certa porosidade embutida no cálculo de tempo de ciclo do operador 2. Dessa forma, através de uma nova análise dos tempos, concluiu-se que o tempo de ciclo da operação era cerca de 30% menor.

Através do auxílio da Simulação Computacional já para o estado futuro, pôde-se realizar testes para as melhorias propostas e, dessa forma, validar o modelo futuro no que se refere à redução do tempo de ciclo total. O tempo de ciclo estimado para o processo gargalo era cerca de 264 segundos e, por meio dos dados coletados na simulação, objetivou-se avaliar o alcance deste objetivo por parte do processo.

No modelo simulado se considerou réplicas descontando-se os *outliers* (pontos os quais são oriundos de causas especiais e que não são considerados na análise) e, através de um teste de hipóteses do tipo *1-Sample t* comparando os tempos de ciclo obtidos pelo modelo e o valor teórico de 264 segundos, obteve-se um *P-value* maior que 5%. Logo, pode-se validar as causas raízes encontradas, uma vez que a eliminação destas representou na queda do tempo de ciclo, convergindo para a meta proposta pelo mapa futuro.

4.4. *Improve*

Nesta fase houve a implementação das melhorias objetivando sanar as causas raízes anteriormente validadas. Dessa forma, estruturou-se as melhorias de forma a garantir que houvesse a priorização adequada quanto à implementação e garantir a estrutura para que esta implementação fosse feita de maneira consistente e eficiente. Tal fase representa a quarta etapa da Pesquisa-ação que corresponde à implementação de ações.

4.4.1. Definição de soluções e melhorias

Visto a influência exercida pelas soluções propostas na fase de análise, partiu-se para a definição e estruturação das mesmas no que diz respeito ao processo. Portanto, foram descritas mais detalhadamente as melhorias propostas e estas foram implementadas através de eventos *Kaizen*s.

4.4.1.1 Implementação de sistema *Kanban*

A princípio avaliou-se quais componentes deveriam ser controlados através do sistema *Kanban* e quais poderiam continuar na bancada conforme o estado atual. Dessa forma, utilizou-se da elaboração de uma curva ABC a partir dos custos de cada componente, além de se considerar o volume ocupado pelos mesmos na bancada de trabalho.

Para a implementação do *Kanban* foram utilizados *Containers* de forma que os equipamentos que utilizarão o sistema *Kanban* serão disponibilizados através destes. A figura 9 ilustra estes *containers* e também o modelo de cartão *Kanban* que sistematiza este processo de abastecimento da linha:



Figura 9: Containers e modelo de cartão *Kanban*.
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

4.4.1.2 Balanceamento da linha

Conforme avaliado na fase de análise, foi proposta a redistribuição de tarefas de forma a se obter uma melhora quanto ao tempo de ciclo do processo e também quanto à ociosidade na linha, frente à existência de processo gargalo. A figura 10 ilustra a mudança proposta e também os resultados obtidos na simulação:

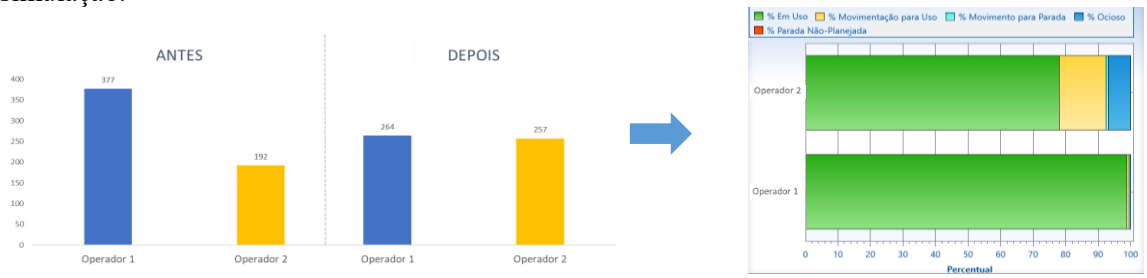


Figura 10: Redistribuição de tarefas e resultado obtido na simulação.
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

4.4.1.3 Mudança de *Layout*

A mudança de *layout* favoreceu uma melhor condição para que o abastecimento da linha fosse realizado de forma mais eficiente. Dessa forma, optou-se pelo afastamento das bancadas da parede para que o abastecimento possa ser realizado por trás da linha, sem comprometer ou atrapalhar o fluxo produtivo. Além disso, uma vez transferida uma atividade de montagem para o operador 2, optou-se por fazer com que este estivesse mais próximo da operação de montagem. A figura 11 ilustra a mudança proposta:

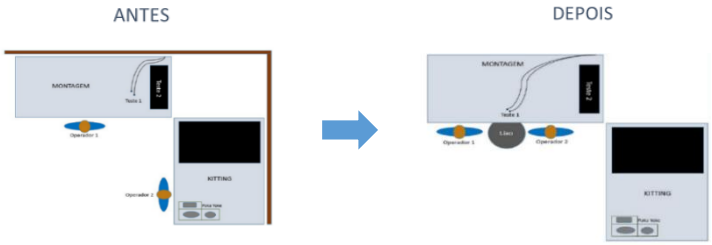


Figura 11: Mudança de layout da linha 4.
Fonte: Elaborada pelos próprios autores

4.4.1.4 Implementação do quadro *Heijunka*

A implementação do quadro *Heijunka* favoreceu um melhor controle por parte dos operadores, uma vez que tornou possível um nivelamento da produção, bem como gestão visual ao informar a quantidade produzida pelos operadores.

4.4.2. Plano de implementação das melhorias

Partiu-se para a confecção do plano de implementação e, conforme sugerem Rother e Shook (2012), pôde-se dividir o mapa do estado futuro em "*Loops*" ou segmentos de forma a organizar a implementação das melhorias em função destes *loops*. Elaborou-se um plano de implementação baseando-se nestes *loops* e a figura 12 ilustra esta etapa:

PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO - Aumento de produtividade Linha 4

Objetivo geral do projeto	Loop	Objetivo do Fluxo de valor	Metas	Responsáveis	SEMANAS 1	2	3	4
Aumento da produtividade em cerca de 40% e eliminação de desperdícios	Puxador-Expedição	* Fluxo contínuo Montagem-Kitting *Balanceamento das atividades (Transferência de atividades da Montagem para Kiting) *Eliminação de porosidades nas operações *Mudança de Layout	*Estoque zero *Tempo de ciclo do processo de montagem menor ou igual a 264 segundos *Nivelamento da produção através da utilização de quadro Heijunka *Adequação da bancada após redistribuição de tarefas					
	Fornecedor-Estoque	* Utilização de supermercado de produtos puxado pelo Loop puxador-Expedição com utilização de Kanbans	* 1 dia de estoque e programação puxada					

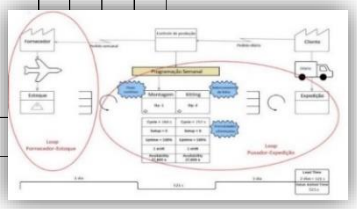


Figura 12: Mapa do estado futuro dividido em Loops e Plano de implementação das melhorias.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Através de experimentos realizados no modelo de Simulação do estado futuro, pôde-se inferir sobre os resultados obtidos em comparação com o estado atual. Realizou-se novamente a análise de capabilidade levando em conta a distribuição de tempos do estado futuro, esta que seguiu uma distribuição do tipo *2- Parameter exponential.* Confrontou-se os resultados futuros com a análise inicial e concluiu-se, através da figura 13, que o processo obteve uma melhora significativa no que se refere a redução do tempo de ciclo.

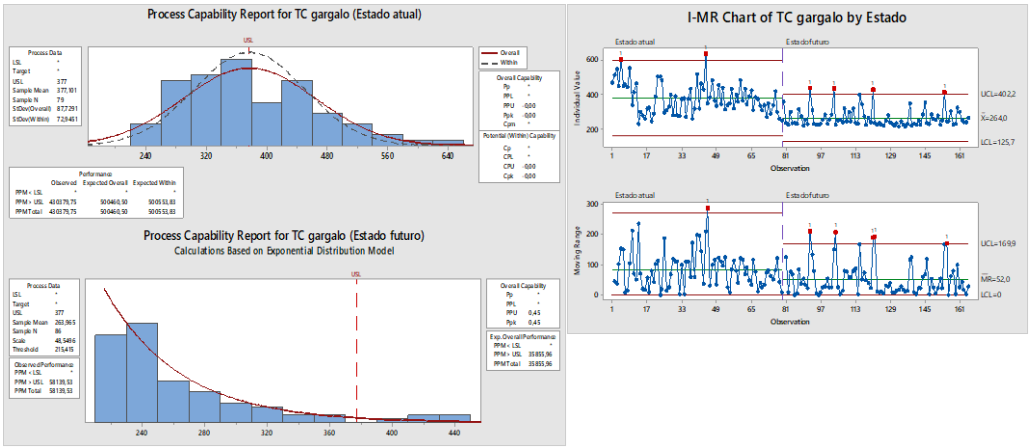


Figura 13: Comparação entre os estados atual e futuro: análise de capabilidade e carta de controle.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Através da comparação entre o estado atual e futuro, pode-se notar que no primeiro caso houve um DPMO de cerca de 500460, originando um nível *sigma* de 1,5. Já no estado futuro nota-se uma redução do DPMO para 35856, resultando em um aumento do nível *sigma* para 3,3 e comprovando a eficácia das melhorias propostas.

4.5. *Control*

A etapa final do DMAIC é responsável por criar mecanismos e sistemas os quais fornecerão a garantia de que as melhorias obtidas irão se sustentar. Pode-se representar tal etapa por meio da última fase da Pesquisa-ação, correspondente à avaliação dos dados e compilação dos resultados.

4.5.1. Controle e monitoramento

De forma a se monitorar o tempo de ciclo do processo e facilitar a tomada de decisões perante a possíveis anormalidades no processo, opta-se pela coleta periódica de tempos e a confecção de cartas de controle do tipo Individual. Foi desenvolvido também um documento chamado "Relatório A3" no qual foi registrado todo trabalho executado na linha e que ficou disponível para consulta, possibilitando a replicação destes trabalhos.

4.5.2. Busca pela melhoria contínua

Optou-se pela execução de auditorias 5S periódicas de forma a fornecer um ambiente de trabalho de excelência e com condições de trabalho adequadas, além de propiciar uma base para novas melhorias. Além disso, estabeleceu-se um plano de execução de auditorias de processo, estas que diferem das auditorias 5S uma vez que focam na execução do processo e nas atividades produtivas ao invés de tão somente no ambiente de trabalho.

5. CONCLUSÕES

A integração entre os princípios do *Lean* e do *Six Sigma*, com o apoio da Simulação a Eventos Discretos, apresenta-se como uma metodologia completa no que tange à sua aplicação em projetos aplicados na manufatura. Através do trabalho realizado, obteve-se um aumento da produtividade da linha 4 acima do planejado no início do projeto, fato este que ressalta a importância e efetividade da metodologia proposta. Além da redução do DPMO, melhora da capabilidade do processo e aumento do nível *sigma* de 1,5 para 3,3, obteve-se ao final do trabalho um aumento de cerca de 57% na produtividade, que saiu de 75 unidades ao dia para uma capacidade de cerca de 118 unidades ao dia. Além disso, obteve-se uma melhor organização do ambiente de trabalho, por meio da redução de desperdícios e melhor organização dos postos de trabalho, com uma nova distribuição de tarefas. Por fim, obteve-se uma nova base para futuras melhorias, ressaltando que novas oportunidades de melhoria devem ser buscadas constantemente em busca da melhoria contínua.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, a CAPES, ao CNPq e à empresa objeto de estudo pelo apoio e suporte ao longo da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, R.; ERIKSSON, H.; TORSTENSSON, H. Similarities and differences between TQM, Six Sigma and Lean. **The TQM Magazine**, v. 18, n. 3, p. 282-296, 2006.

BANKS, J. **Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

BHAT, S.; GIJO, E.V.; JNANESH, N.A. Productivity and performance improvement in the medical records department of a hospital: An application of Lean Six Sigma. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 65, p. 98-125, 2016.

CARVALHO, M.M.; PALADINI, E.D. **Gestão da Qualidade. 2. ed.**, São Paulo: Editora Campus, 2012.

CELANO, G.; COSTA, A.; FICHERA, S. Linking Six Sigma to Simulation: a new roadmap to improve the quality of patient care. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v. 25, p. 254-273, 2012.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.

GIRENES, S.S., ATMACA, E., Lean Six Sigma Methodology and Application. **Springer Scientific & Business Media**, B. V., Ankara, 2011.

https://proceedings.science/p/85469?lang=pt-br

HOERL, R. One perspective on the future of Six-Sigma. **Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 1, n. 1, p.112–119, 2004.
ISLAM, S. Credit card account opening excellence using Six Sigma Methodology. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, p. 294-323, 2016.
LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 2000.
MARTENS, L.; GOODE, G.; WOLD, J.F.H.; BECK, L.; MARTIN, G.; PRINGS, C.; STOLT, P. Structured Syncope Care Pathways based on Lean Six Sigma Methodology Optimises: Resource use with shorter time to diagnosis and increased diagnostic yield. **Plos One**, v. 9, 2014.
MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F. ; CAMPOS, D. F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, v. 22, p. 1-13, 2012.
MOUSA, A. Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma Overview. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 4, p. 1137-1153, 2013.
OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.
PYZDEK, T. **The Six Sigma Handbook**, 2. Ed., McGraw-Hill Companies, 2003.
QUEIROZ, J.A.; MIRANDA, R.C.; TORRES, A.F.; PINHO, A.F. Proposta de uma metodologia para utilização da Simulação no planejamento e implantação dos sistemas de produção enxuta. **ANAIS DO XLIV SBPO**, Rio de Janeiro, 2012.
ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2012.
SARKAR, S.A.; MUKHOPADHYAY, A.R.; GHOSH, S.K. Improvement of claim processing cycle time through Lean Six Sigma Methodology. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 4, p. 171-183, 2013.
SOUTHARD, P.; CHERU, C.; KUMAR, S. RFID in Healthcare: A Six Sigma DMAIC and Simulation Case Study. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v. 25, p. 291-321, 2012.
TOHIDI, H. Six Sigma methodology and its relationship with Lean Manufacturing System. **Advances in Environmental Biology**. 6. ed., p. 895-906, 2012.
WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. O Surgimento da Produção Enxuta. **In: A Máquina que mudou o mundo**, Ed. Campus Ltda, p. 37-59, 2004.