XXIV SIMPEP
SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
08, 09 e 10 Novembro 2017
CONTRIBUIÇÕES DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

A CONTRIBUIÇÃO DOS PROJETOS LEAN SEIS SIGMA PARA AS ESTRATÉGIAS DE MANUFATURA

JULIANO ENDRIGO SORDAN - julianosordan@yahoo.com.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR - SÃO CARLOS

PEDRO CARLOS OPRIME - pedro@dep.ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR - SÃO CARLOS

Área: *2 - GESTÃO DA QUALIDADE*
Sub-Área: *2.5 - QUALIDADE EM SERVIÇOS*

Resumo: *ESTE ARTIGO EXAMINA A CONTRIBUIÇÃO DOS PROJETOS LEAN SEIS SIGMA - LSS PARA AS ESTRATÉGIAS DE MANUFATURA. O ESTUDO FOI NORTEADO POR MEIO DE UMA ANÁLISE DAS PRIORIDADES ESTRATÉGICAS TRABALHADAS EM UMA AMOSTRA DE 27 PROJETOS LSS, SENDO 17 PROJJETOS SELECIONADOS EM PERIÓDICOS INTERNACIONAIS E 10 PROJETOS SELECIONADOS DE UMA BASE EMPÍRICA. A ANÁLISE DOS RESULTADOS PERMITIU O AGRUPAMENTO DESSES PROJETOS EM 6 CATEGORIAS: PROCESSO LIVRE DE ERROS, PRODUTIVIDADE, REDUÇÃO DE ESTOQUES, REDUÇÃO DE LEAD TIME, REDUÇÃO DE CUSTOS E DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS. ALÉM DISSO, O TRABALHO REVELOU QUE TODOS OS PROJETOS UTILIZARAM UMA ABORDAGEM HÍBRIDA, INTEGRANDO DIVERSAS FERRAMENTAS DE NATUREZA ESTATÍSTICA, COM FERRAMENTAS SIMPLES, RELACIONADAS ÀS ATIVIDADES DE PEQUENOS GRUPOS, DE ACORDO COM A METODOLOGIA DMAIC. CONTUDO, O TRABALHO CONCLUI QUE, TANTO OS RESULTADOS, COMO A ÊNFASE NA UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS, DIFEREM DE ACORDO COM O FOCO DADO AO PROJETO.*

Palavras-chaves: *LEAN SEIS SIGMA; DMAIC; ESTRATÉGIA DE MANUFATURA; EXCELÊNCIA OPERACIONAL.*

THE LEAN SEIS SIGMA PROJECTS' CONTRIBUTIONS TO MANUFACTURING STRATEGIES

Abstract: *THE PURPOSE OF THIS PAPER IS TO EXPLORE THE LEAN SIX SIGMA PROJECTS' CONTRIBUTIONS TO MANUFACTURING STRATEGIES. THE STUDY WAS CARRIED OUT BY THE ANALYSIS OF A SAMPLE OF 27 LEAN SIX SIGMA PROJECTS, COMPOSED BY 17 SELECTED PROJECTS EXTRACTED FROM INTERNATIONAL ARTICLES AND 10 SELECT PROJECTS FROM A EMPIRICAL BASIS. THE RESULTS ALLOWED THE GROUPING OF THESE PROJECTS INTO 6 CATEGORIES: REDUCING ERROR, PRODUCTIVITY, INVENTORY REDUCTION, LEAD TIME REDUCTION, COST REDUCTION AND AVAILABILITY OF EQUIPMENTS. THE FINDINGS SUGGEST THAT ALL THE PROJECTS USED A HYBRID APPROACH, COMBINING THE USE OF STATISTICAL TOOLS WITH SIMPLE TOOLS RELATED TO SMALL GROUP ACTIVITIES, FOLLOWING THE DMAIC METHOD. HOWEVER, THE PAPER CONCLUDES THAT BOTH THE RESULTS AND THE EMPHASIS ON THE TOOLS DIFFER ACCORDING TO THE FOCUS GIVEN TO THE PROJECT.*

Keyword: *LEAN SIX SIGMA; DMAIC; MANUFACTURING STRATEGIES; OPERATIONAL EXCELLENCE.*

1. Introdução

No atual mercado global, o desenvolvimento de estratégias de manufatura capazes de criar vantagens competitivas em termos de qualidade, custo e velocidade, têm despertado o interesse tanto da comunidade empresarial como acadêmica. Muitas abordagens ou paradigmas de gestão têm sido considerados na formulação de estratégias empresariais permitindo a entrega de produtos livres de erros, entregas rápidas, atendimento aos prazos e baixo custo, entre elas, destaca-se o Lean Seis Sigma - LSS (SNEE, 2010; FRANCHETTI e BARNALA, 2013).

Apesar dos benefícios decorrentes do LSS serem expressivos, alguns autores destacam dificuldades e desafios inerentes a implementação dessas metodologias. Para Pepper e Spedding (2010), ambientes de manufatura com grande variedade de produtos podem resultar em diferentes trabalhos dificultando a padronização das atividades. A iniciativa Seis Sigma por sua vez, exige comprometimento e apoio da alta administração. Antony (2006) explica que o comprometimento dos líderes na GE foi fundamental para a implementação bem-sucedida do Seis Sigma na organização. Além disso, a falta de padronização nos programas de treinamento (formação de "*belts*") pode ameaçar a credibilidade do programa, do mesmo modo como ocorreu com os Programas de Qualidade Total - TQM (ANTONY, 2004).

O presente artigo tem como proposta apresentar uma análise sobre a contribuição dos projetos LSS para as estratégias de manufatura, de modo a investigar a convergência entre a literatura e a prática empresarial. O estudo foi norteado por meio das seguintes perguntas: *Quais temas de projetos LSS são mais utilizados para apoiar as estratégias de manufatura? Quais ferramentas são mais utilizadas nesses projetos? Podem essas ferramentas, assim como os resultados decorrentes de projetos, variar de acordo com a prioridade estratégica dada aos projetos LSS?*

A estrutura deste artigo é dividida em cinco seções. A presente seção contextualiza a importância dos projetos LSS como apoio às estratégias de manufatura. Em seguida, o artigo apresenta um breve referencial teórico. Na terceira seção são apresentados os métodos para alcançar o propósito do estudo. A análise dos resultados da pesquisa é apresentada na quarta seção. Finalmente, na última seção são apresentadas as conclusões sobre o trabalho.

2. Referencial teórico

2.1 Lean Seis Sigma

Seis Sigma é uma abordagem disciplinada, orientada para projetos e baseada em métodos estatísticos para reduzir a variabilidade, remover defeitos e eliminar desperdícios de produtos, processos e serviços (MONTEGOMERY e WOODALL, 2008). Os projetos desenvolvidos na Motorola na década de 1980 proporcionaram uma economia mensurada em US$ 14 bilhões e reconhecimento empresarial por meio do prêmio americano de qualidade Malcolm Baldrige. Na década seguinte, diversas empresas implementaram com êxito a metodologia Seis Sigma incluindo General Eletric, Allied Signal, Black & Decker, Bombardier, DuPont, Dow Chemical, Johnson & Johnson, Kodak, Sony, Toshiba, entre outras (PANDE *et al*., 2000; TAGHIZADEGAN, 2006).

Montegomery e Woodall (2008) explicam que o termo "Seis Sigma" é utilizado para descrever a capacidade de um processo em gerar apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), assumindo uma distribuição normal e média deslocada de 1,5σ dos limites de especificação. Em termos matemáticos, um processo pode ser compreendido como uma *função de transferência*, $Y = f(x^1, x^2, ...x^n)$, onde as causas-raízes ou entradas (x's) são convertidas em saídas (*Y*) do processo (PYSDEK e KELLER, 2011).

De acordo com Mehrjerdi (2011) os projetos Seis Sigma podem ser conduzidos por meio de dois enfoques sistemáticos. Para produtos e processos existentes, os projetos devem seguir a metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve* e *Control*), enquanto que, para atividades de desenvolvimento de produtos e processos (*Design for Six Sigma*), recomenda-se a metodologia DMADV (*Define, Measure, Analyse, Design* e *Verify*). Para cada fase DMAIC, ferramentas específicas devem ser utilizadas para medir, analisar dados, encontrar causas de problemas e determinar as melhores condições para o propósito do projeto (BASS e LAWTON, 2009). A tabela 1 apresenta uma proposta de execução de atividades para um projeto Seis Sigma, assim como as principais ferramentas associadas a cada fase DMAIC.

Fases DMAIC	Atividades	Principais Ferramentas
Definição	Definir clientes e requisitos (CTQs); desenvolver uma declaração do problema e objetivos;	*Project Charter*, Fluxograma, SIPOC, Análise de *Stakeholders* e CTQs.
Medição	Definir defeitos e oportunidades; desenvolver mapas de processo e planos para coleta e análise de dados; coletar dados e validar o sistema de medição; estabelecer a função Y = f (x); determinar a capabilidade e nível sigma atual.	Mapa de processo, Definição operacional, Análise do Sistema de Medição, Gráficos Básicos, *Benchmarking*, estudo de capabilidade e nível Sigma.
Análise	Definir padrões de desempenho; identificar atividades que agregam valor; identificar fontes de variação e desperdícios; determinar as causas; determinar as entradas pouco vitais (x's) da função Y = f (x).	Histograma, Gráfico de Pareto, Gráfico de tendência, Análise de Regressão, Diagrama de causa e efeito, 5 Porquês, Análise Estatística e Teste de Hipótese.
Melhoria	Gerar novas ideias; avaliar modos de falhas e seus Efeitos; conduzir planejamento de experimentos; validar melhorias potenciais por meio de estudos pilotos.	*Brainstorming*, 5W2H, Planejamento de Experimentos - DOE, Matriz *Pugh*, QFD, FMEA, estudo da nova capabilidade e nível Sigma.
Controle	Definir um plano de controle, implementar padrões e procedimentos, implementar CEP, avaliar os benefícios e ganhos com o projeto, encerrar o projeto e compartilhar resultados	Planos de controle, dispositivos à prova de erros (*poka-yoke*), padronização, gráficos de controle (variáveis e atributos).

QUADRO 1: Metodologia DMAIC, atividades e principais ferramentas. Fonte: Adaptado de Mehrjerdi, 2011.

No entendimento de Snee (2014) os projetos Seis Sigma apresentam 4 especificidades: (i) **foco em resultados**, com impacto financeiro consistente e retorno médio superior a US$ 175.000,00/ano/projeto; (ii) **integração do elemento humano com o processo de melhoria**, já que algumas iniciativas reforçam o trabalho em equipe e cultura de mudança, enquanto outras enfatizam o processo de melhoria por meio da aplicação de ferramentas estatísticas; (iii) **metodologia específica**, representada pela metodologia DMAIC que enfatiza a implementação de projetos dentro de um prazo determinado (geralmente entre três a seis meses); e (iv) **infraestrutura técnica**, que envolve um grupo de profissionais tecnicamente capacitados que desempenham papéis para liderar, desenvolver e implementar os projetos, tais como *Champions*, *Master Black Belts* (MBB), *Black Belts* (BB) e *Green Belts* (GB).

O termo "*Lean Production*" ganhou popularidade com a publicação do livro *A Máquina que mudou o mundo*, de 1990, baseado em um amplo estudo sobre as tendências na indústria automobilística, com destaque para o eficiente Sistema Toyota de Produção - STP (WOMACK *et al.*, 1990). Os princípios básicos para a implementação do STP foram posteriormente apresentados por Womack e Jones com o propósito de reduzir desperdícios na produção por meio do pensamento enxuto que abrange as seguintes atividades: **especificação do valor** sob o ponto de vista do cliente, **identificação do fluxo de valor** para cada família de produto, promoção do **fluxo contínuo**, **produção puxada** a partir das necessidades do cliente e contínua **busca pela perfeição** (WOMACK e JONES, 1996).

A proposta de integração entre os conceitos Lean e Seis Sigma foi inicialmente apresentada no livro *"Lean Six Sigma: Combining Six Sigma with Lean Speed"* (GEORGE, 2002). Enquanto o foco do Lean reside na redução dos desperdícios em todos os processos e no aumento da velocidade, a estratégia Seis Sigma concentra as ações para o desenvolvimento de projetos, eliminação de defeitos, redução da variabilidade inerente ao processo e redução de custos (ANDERSON *et al*, 2014). Projetos que envolvem ferramentas de melhoria Lean por meio da metodologia DMAIC são reconhecidos como Projetos Lean Six Sigma (SNEE, 2010).

2.2 Estratégia de manufatura

O conceito de estratégia de manufatura foi inicialmente apresentado por Wickham Skinner em um artigo intitulado *Manufacturing: the missing link in corporate strategy* (SKINNER, 1969), que destacava a importância da produção para a formulação das estratégias empresariais. Com base na estratégia corporativa, que inclui a identificação dos pontos fortes e fracos em relação à concorrência e também as prioridades estabelecidas pelos clientes, os gerentes de produção estabelecem prioridades estratégicas para apoiar as decisões de produção (KRAJEWSKI *et al.*, 2009).

Diversos autores têm apresentado prioridades estratégicas ou decisões de operações, capazes de resultar em vantagens competitivas na manufatura (KRAJEWSKI *et al.*, 2009; SLACK, 2002; HEIZER e RENDER, 2001). Ao considerar a estratégia em termos de restrições relacionadas às práticas LSS (investimentos, prazo de execução e escopo) é possível identificar prioridades estratégicas para o desenvolvimento de projetos LSS, de modo a contribuir efetivamente com a competitividade na manufatura. A literatura destaca 13 prioridades estratégicas na manufatura, capazes de proporcionar vantagens competitivas em termos de qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo. São elas: (i) processo livre de erros; (ii) capacidade produtiva; (iii) produtividade; (iv) projeto de arranjo físico; (v) política de recursos humanos; (vi) gestão da cadeia de suprimentos; (vii) redução de estoques; (viii) planejamento e controle da produção; (ix) redução de *lead time*; (x) confiabilidade; (xi) flexibilidade; (xii) custo operacional; e (xiii) disponibilidade.

3. Método de pesquisa

O referencial teórico foi selecionado por meio de artigos recentes (2011 e 2016), publicados em periódicos internacionais de grande relevância na área de excelência operacional. A busca foi realizada nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*, utilizando como *string* de busca: *"Lean Six Sigma" AND "DMAIC" AND "Estrategy Lean Six Sigma" AND "Project Lean Six Sigma"*. A busca identificou 621 artigos, com maior número de publicações nos periódicos *Lean Six Sigma Journal* (81), *International Journal of Quality & Reliability Management* (51) e *The TQM Journal* (48). Após a leitura e análise dos resumos da bibliografia pesquisada, foram selecionados 26 artigos que relatam a implementação de projetos LSS em operações de manufatura por meio da metodologia DMAIC. Contudo, a leitura desses 26 artigos revelou que 9 trabalhos não se adequavam à proposta, por não apresentar informações relevantes para a pesquisa, tais como o método de implementação do projeto e descrição das ferramentas utilizadas em cada fase DMAIC. Assim, foram utilizados 17 artigos para a análise proposta denominada "base teórica".

Além da base teórica, o estudo incluiu uma pesquisa documental em empresas de vários seguimentos industriais, com cultura LSS consolidada. A coleta de dados foi auxiliada por profissionais com certificação *green belt* e *black belt* que disponibilizaram relatórios de 72 projetos executados nas organizações em que atuam. Após a leitura e análise desses trabalhos, foram selecionados 10 projetos com aplicação LSS em manufatura que continham informações sobre o retorno financeiro (*saving*) gerado pelo projeto, prazos de execução e ferramentas utilizadas. Esses projetos foram classificados na "base empírica".

4. Análise dos projetos LSS

Em relação aos objetivos estabelecidos para os projetos analisados nas bases teórica e empírica, percebe-se que o temas mais explorados foram a melhoria da qualidade interna (37%), com foco na redução de defeitos e falhas nos processos e aumento da produtividade (30%). Os demais trabalhos tiveram como propósito a redução do *lead time* (18%) e redução dos custos operacionais (15%). O Quadro 2 apresenta os 17 trabalhos selecionados no referencial teórico e descreve a natureza dos projetos LSS, destacando os objetivos dos projetos, os países de origem e os seguimentos industriais, assim como os principais resultados com os projetos implementados.

Código / Autor(es) e ano de publicação		Objetivo do Projeto	País	Seguimento Industrial	Principais Resultados
A	PRASHAR (2014)	Redução em 95% das falhas no processo de montagem de válvula	Índia	Implementos Agrícolas	Redução da variabilidade do processo (de 2.3σ para 4.8σ)
B	REYES et al (2014)	Redução em 20% do *lead time* na montagem de aeronaves	Reino Unido	Aeroespacial	Redução de Lead time (valor não informado)
C	SRINIVASAN et al (2014) a	Redução de defeitos no processo de pintura de amortecedores	Índia	Automotivo	Redução da variabilidade do processo (de 3.3σ para 4.5σ)
D	SRINIVASAN et al (2014) b	Melhoria da eficiência do trocador de calor casco e tubo em 10%	Índia	Siderurgia	Aumento da eficiência do equipamento (0,61 para 0,66)
E	FRANCHETTI; BARNALA (2013)	Redução de defeitos e desperdícios no processo de reciclagem de materiais	Estados Unidos	Reciclagem de materiais	Aumento da produtividade no processamento de materiais (de 7 a 12%)
F	GIJO et al (2014)	Melhoria do rendimento final do processo (*First Pass Yield*) em 12%	Índia	Automotivo	Melhoria do FPY no processo de montagem de bombas injetoras (de 85% para 99%)
G	JIRASUKPRASERT et al (2014)	Redução de defeitos na fabricação de luvas de borracha	Tailândia	Alimentos e produtos hospitalares	Redução da variabilidade do processo (de 2.4σ para 2.9σ)
H	GIJO; BHAT; JNANESH (2014)	Redução de rejeições e retrabalho no processo de fundição de feixe de molas	Índia	Automotivo	Redução do índice de rejeição no processo (de 48.33% para 0.79%)
I	HASSAN (2013)	Redução de desperdícios no Processo de fabricação de arame de solda	Estados Unidos	Metal Mecânico	Redução do índice de desperdício de matéria-prima (de 4.25% para 2.25%)
J	PANAT et al (2014)	Redução em 50% do tempo ocioso no desenvolvimento de produto	Estados Unidos	Tecnologia e Computação	Redução do tempo das atividades que não agregam valor (NAV) em 60%
K	CHIARINI (2015)	Otimização do indicador OEE no processo de injeção de polímeros.	Itália	Plásticos e Borrachas	Redução de setup e melhoria do indicador OEE (de 40% para 61%)
L	SOUZA (2013)	Melhoria do serviço ao cliente e redução de estoque de produto acabado	Brasil	Lixas e Adesivos	Redução de Lead Time (11.7%) e aumento do giro de estoque (84%)
M	PUGNA; NEGREA; MICLEA (2016)	Redução de defeitos no processo de montagem de cabos	Romênia	Automotivo	Redução de defeitos no processo (de 1.4σ para 3.7σ)
N	LEON et al (2012)	Redução de defeitos de solda no processo de fabricação de motores	México	Automotivo	Zero defeito e redução de Lead Time (10%)
O	YI et al (2012)	Redução de perdas no processo de fabricação de componentes eletrônicos	Malásia	Automotivo	Redução de perdas de componentes eletrônicos (18%)
P	ANDERSON et al. (2014)	Redução do Lead time na linha de semicondutores	Suécia	Equipamentos de Telecomunicação	Redução de Lead time (40%) e redução de estoque WIP
Q	RAGHAVAN; YOON; SRIHARI (2014)	Eliminação de desperdícios e criação de fluxo contínuo na linha de montagem	Estados Unidos	Componentes eletrônicos	Redução de Lead Time (40%) e redução de desperdícios na produção (entre 10 a 30%)

QUADRO 2: Caracterização dos projetos LSS (base teórica).

O Quadro 3 apresenta os 10 trabalhos selecionados na pesquisa documental e descreve a natureza dos projetos LSS na base empírica, destacando os objetivos dos projetos, ano de implementação, áreas de execução, seguimentos industriais e principais resultados com os projetos implementados.

Código / ano de Implementação		Objetivo do Projeto	Área	Seguimento Industrial	Principais Resultados
E1	2002	Redução de variabilidade do tempo de entrega de produtos acabados	Logística	Automotivo	Garantia do tempo de entrega (100%) e redução do custo operacional (10%)
E2	2005	Redução de custos operacionais do processo de fundição de peças	Produção	Automotivo	Redução dos custos da não qualidade (28%)
E3	2003	Redução do tempo de Setup e aumento da capacidade produtiva	Produção	Automotivo	Redução do custo unitário de produção (57%)
E4	2013	Redução dos custos operacionais na mineração	Logística	Mineração	Redução dos custos com pneus (20%) e aumento da disponibilidade de equipamentos.
E5	2006	Redução da quantidade de adesivo na lona do freio	Produção	Automotivo	Redução dos custos com matéria-prima e retrabalho (45%)
E6	2014	Melhoria da produtividade no processo de fabricação de carenagens	Produção	Equipamentos elétricos	Redução do lead time (50%) e eliminação de atividades que não agregam valor - NAV (40%).
E7	2004	Melhoria da capabilidade do processo de usinagem	Produção	Plásticos e Borracha	Centralização do processo e redução de defeitos (50.000 ppm)
E8	2008	Aumento da disponibilidade de linha e redução de quebras	Produção	Celulose	Aumento do volume de produção em 3.700 ton/ano.
E9	2012	Reduzir o índice de rejeição na linha de biscoitos	Produção	Alimentos	Redução de rejeição de produtos (55%) e aumento da produtividade (4%)
E10	2002	Redução do tempo de setup na linha de laminação	Produção	Automotivo	Redução do tempo de setup (29%) e lead time (71%)

QUADRO 3: Caracterização dos projetos LSS (base teórica).

A análise dos projetos revelou que 63% das iniciativas LSS utilizaram o *software* Minitab como suporte na utilização de ferramentas estatísticas. Contudo, ao identificar as 10 ferramentas mais utilizadas nos projetos percebe-se que a maioria (80%) são ferramentas simples, que não exigem alta complexidade de implementação e uso de pacotes estatísticos. As 10 ferramentas mais utilizadas foram: diagrama de causa e efeito (9%); gráfico de Pareto (7%); Controle Estatístico de Processo (6%); *Project Charter* (6%); matriz SIPOC (6%); estudos de capabilidade e nível sigma (5%); padronização (5%); *brainstorming* (4%); fluxograma (4%); e Árvore CTQ (4%).

Conforme abordado no referencial teórico deste trabalho, as iniciativas LSS têm gerado um retorno médio superior a US$ 175.000,00/ano/projeto (SNEE, 2014). Dentre os 27 projetos analisados, foi possível obter o *saving anual* de 19 deles (70%), sendo que o retorno financeiro médio desses projetos (US$ 202.033,53) se mostrou coerente com a literatura. Contudo, conforme observado na figura 1, ao analisar as duas bases de dados separadamente, verifica-se que a mediana aponta para um valor abaixo da média geral, sendo US$ 65.000,00 na base 1 (teórica) e US$ 64.175,00 na base 2 (empírica). Além disso, constata-se a presença de *outliers* representados pelos projetos "P" da base teórica, com um *saving* apurado de US$ 1.119.069,00 e também pelos projetos "E4" e "E8" da base empírica, com respectivas economias de US$ 537.211,00 e US$ 918.935,00.

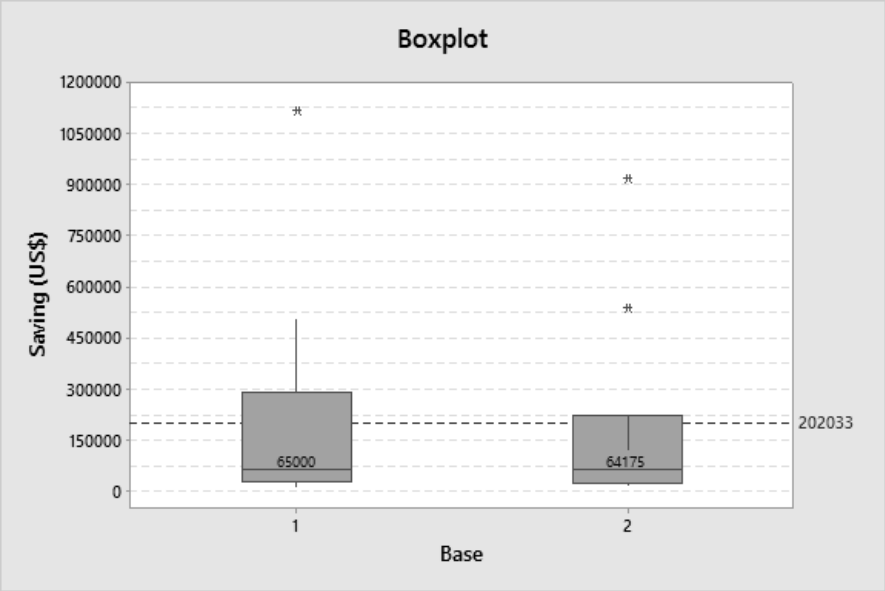

FIGURA 1 – Gráfico Boxplot (*saving* dos projetos LSS)

Além do aspecto financeiro, também é importante observar que não há aparente correlação entre o *saving* reportado com a quantidade de ferramentas empregadas ou com o tempo de execução dos projetos. O gráfico de bolhas ilustrado na figura 2 mostra que os projetos com maior impacto financeiro não são, necessariamente, aqueles que empregaram maior número de ferramentas ou demandaram maiores prazos de execução. Diante do exposto, percebe-se os fatores prazo e complexidade de ferramentas não representa uma condição necessária para assegurar ganhos ou redução de custos no âmbito dos projetos LSS.

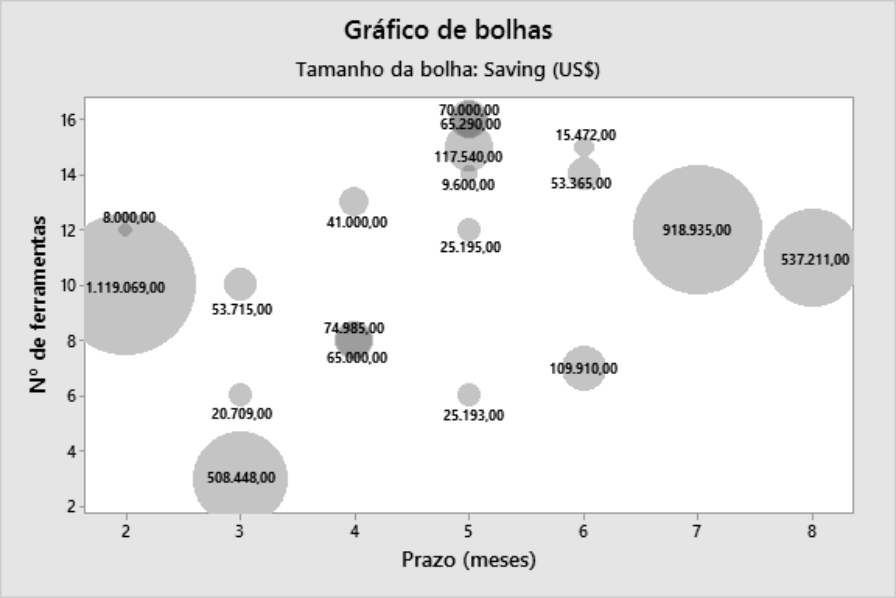

FIGURA 2 – Gráfico de bolhas (*saving* versus número de ferramentas)

Ao identificar os objetivos dos projetos, foi possível agrupa-los de acordo com a ênfase dada a cada projeto. Com base nas 13 prioridades estratégicas apresentadas na seção 2.2, criou-se 6 categorias para os projetos LSS. O Quadro 4 agrupa os 27 projetos analisados de acordo com essas prioridades e destaca de forma ordenada as cinco ferramentas mais utilizadas em cada agrupamento.

Prioridade Estratégica	**Projetos**	**Abordagem**		**As 5 Ferramentas mais utilizadas**
		Lean	**Seis Sigma**	
Processo livre de erros	A, C, F, G, M, N, E7, E9	29%	71%	Diagrama de causa e efeito, CEP, estudo de capabilidade, gráfico de Pareto e teste de hipótese
Produtividade	E, E3, E6	45%	55%	Análise AV/NAV, gráfico de Pareto, *layout* celular, padronização e 5S
Redução de estoques	L, P	77%	23%	Produção puxada (*kanban*), controles visuais, VSM, *brainstorming* e padronização
Redução de *Lead Time*	B, J, Q, E1, E10	64%	36%	Diagrama de causa e efeito, gráfico de Pareto, VSM, Análise AV/NAV e gráfico de tendência
Redução de custos	H, I, O, E2, E4, E5	48%	52%	Diagrama de causa e efeito, padronização, gráfico de Pareto, CEP e DOE.
Disponibilidade de equipamentos	D, K, E8	71%	29%	Diagrama de causa e efeito, gráfico de Pareto, padronização, OEE e SMED

QUADRO 4 – Agrupamento dos projetos LSS por prioridade estratégica

A coluna "abordagem" apresentada no quadro acima descreve a ênfase dada às ferramentas utilizadas nos projetos em termos percentuais. As ferramentas simples, relacionadas às atividades de pequenos grupos e voltadas à eliminação de desperdícios foram categorizadas como *"Lean"*, enquanto as ferramentas de natureza estatística, implementadas por meio de *softwares* foram categorizadas como "Seis Sigma". Sob esse enfoque, os projetos que tiveram como prioridade estratégica a redução de estoques e *lead time*, bem como o aumento da disponibilidade de equipamentos, concentraram seus esforços na aplicação de ferramentas *lean*, enquanto que os projetos com foco na redução de defeitos, fizeram maior uso de ferramentas estatísticas, principalmente nas fases de medição, análise e melhoria. Os projetos com foco no aumento da produtividade e redução de custos não apresentaram diferenças significativas na abordagem dada à aplicação das ferramentas LSS.

5. Considerações finais

A presente pesquisa teve como objetivo apresentar uma análise sobre a contribuição dos projetos LSS para as estratégias de manufatura. A análise de 27 projetos selecionados revelou que os temas de projetos LSS mais utilizados para apoiar as estratégias de manufatura foram: processo livre de erros, redução de *lead time*, redução de custo, produtividade, redução de estoques e disponibilidade de equipamentos. Todos os projetos LSS utilizaram uma abordagem híbrida, integrando diversas ferramentas *Lean* e Seis Sigma na metodologia DMAIC. O agrupamento desses projetos por prioridade estratégica revelou que, tanto os resultados, como a abordagem utilizada na implementação das ferramentas, diferem de acordo com o foco dado ao projeto.

Os resultados desta pesquisa estão alinhados com o trabalho de Leon (2012), visto que os projetos LSS beneficiaram as organizações sob três perspectivas: operacional, financeira e estratégica. Na perspectiva operacional, os projetos aprimoraram os processos ao buscar a redução de defeitos, o aumento de produtividade e redução de *lead time* e custo. A perspectiva financeira foi evidenciada por meio dos *savings* decorrentes das ações desenvolvidas. Por fim, os projetos LSS contribuíram diretamente com as estratégias de manufatura ao proporcionar vantagem competitiva com relação à satisfação dos clientes, melhoria do ambiente de trabalho e otimização das prioridades estratégias da organização.

A principal limitação deste trabalho se refere a falta de informações sobre o prazo de implementação dos projetos LSS e *saving* gerado em cada projeto, uma vez que dos 27 artigos investigados, apenas 19 revelaram essas informações. Contudo, esses dados permitiram uma

análise comparativa entre a literatura e a prática. As limitações e resultados desta pesquisa apontam algumas sugestões para futuros estudos envolvendo o tema Lean Seis Sigma, tais como: (a) realização de pesquisa *survey* para investigar a importância das prioridades estratégicas em projetos LSS; (b) a contribuição de projetos LSS para a estratégia de serviços; e (c) análise das ferramentas LSS na implementação de projetos voltados ao processo de desenvolvimento de produtos (DFSS).

Referências

ANDERSSON, R. et al. Lean six sigma strategy in telecom manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*. v. 114, n. 6, p. 904-921, 2014.

ANTONY, J. Some pros and cons of six sigma: na academic perspective. *The TQM Magazine*, v. 16, n. 4, p. 303-6, 2004.

ANTONY, J. Six Sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, v. 12, n. 4, p. 303-6, 2006.

BASS, I; LAWTON, B. *Lean Six Sigma*: Using SigmaXL and Minitab. McGraw-Hill, 2009.

CHIARINI, A. Improvement of OEE performance using a lean six sigma approach: an italian manufacturing case study. *International Journal of Productivity and Quality Management*. v. 16, n. 4, 2015.

FRANCHETTI, M.; BARNALA, P. Lean six sigma at a material recovery facility: a case study. *International Journal of Lean Six Sigma*. v. 4, n.3, p. 251-264, 2013.

GEORGE, M. L**.** *Lean Six Sigma*: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed. New York: McGraw-Hill, 2002.

GIJO, E. V.; ANTONY, J.; KUMAR, M.; McADAM, R.; HERNANDEZ, J. An application of six sigma methodology for improving the first pass yield of a grinding process. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 25, n. 1, p. 125-135, 2014.

GIJO, E. V.; BHAT, S.; JNANESH, N. A. Application of six sigma methodology in a small-scale foundry industry. *International Journal of Lean Six Sigma*. v. 5, n. 2, p. 193-211, 2014.

HASSAN, M. Applying lean six sigma for waste reduction in a manufacturing environment. *American Journal of Industrial Engineering*, v. 1, n. 2, p. 28-35, 2013.

HEIZER, J.; RENDER, B. *Administração de Operações*: Bens e Serviços. Rio de Janeiro, LTC Editora, 2001.

JIRASUKPRASERT, P. *et al*. A six sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. *International Journal of Lean Six Sigma*. vol. 5, n. 1, p 2-21, 2014.

KRAJEWSKI. L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA. M. *Administração de produção e operações*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LEON, H. C. M. *et al*. Integrating Six Sigma tools using team-learning processes. *International Journal of Lean Six Sigma*. v. 3, n. 2, p. 133-156, 2012.

MEHRJERDI, Y. Z. Six-sigma: methodology, tools and its future. *Assembly Automation*. v. 31, n. 1, p. 79-88, 2011.

MONTGOMERY, D. C.; WOODALL, W. H. An overview of six sigma. *International Statistical Review*. V. 76, n. 3, p. 329-346, 2008.

PANAT, R.; DIMITROVA, V.; SELVAMUNIANDY, T. S.; ISHIKO, K.; SUN, D. The application of lean six sigma to the configuration control in Intel's manufacturing R&D environment. *International Journal of Lean Six Sigma*. v. 5, n.4, p. 444-459, 2014.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. *Estratégia Seis Sigma*. Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PEPPER, M. P. J.; SPEDDING, T. A. *The evolution of lean six sigma*. *International Journal of Quality & Reliability Management*. v. 27, n. 2, 2010.

PRASHAR, A. Process improvement in farm equipment sector (FES): a case on Six Sigma adoption. *International Journal of Lean Six Sigma*. v. 5, n. 1, p. 62-88, 2014.

PYSDEK, T.; KELLER, P. A. *Seis Sigma guia do profissional*: um guia completo para green belts, black belts e gerentes em todos os níveis. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

PUGNA, A.; NEGREA, R.; MICLEA, S. Using six sigma methodology to improve the assembly process in an automotive company. *13th International Symposium in Management – SIM*, 2016.

RAGHAVAN, V. A.; YOON, S.; SRIHARI, K. Lean transformation in a high mix low volume electronics assembly environment. *Interational Journal of Lean Six Sigma*. v. 5, n. 4, p. 342-360, 2014.

REYES, J. A. G. et al. A DMAIRC approach to lead time reduction in an aerospace engine assembly process. *Journal of Manufacturing Technology Management*. v. 25, n. 1, p. 27-48, 2014.

SKINNER, W. (1969). Manufacturing: missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review*. v.47, n.3, p. 136-145, 1969.

SRINIVASAN, K.; MUTHU, S.; PRASAD, N.K.; SATHEESH, G. Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases. *12th Global Congress on Manufacturing and Management - GCMM*, 2014a.

SRINIVASAN, K.; MUTHU, S.; DEVADASAN, S. R.; SUGUMARAN, C. Enhancing effectiveness of shell and tube heat exchanger through Six Sigma DMAIC phases. *12th Global Congress on Manufacturing and Management – GCMM*, 2014b.

SLACK, N. *Vantagem competitiva em manufatura*: atingindo competitividade nas operações industriais. São Paulo: Atlas, 2002.

SNEE, R. D. Lean six sigma: getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 1, n.1, p. 9-29, 2010.

SNEE, R. D. Six sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. v. 1, n.1 p. 4-20, 2014.

SOUSA, R. P. et al. Implementarion of a six sigma Project in a 3M division of Brazil. *International Journal of Quality & Reliability Management*.v. 30, n. 2, p. 129-141, 2013.

TAGHIZADEGAN, S. *Essentials of lean Six Sigma*. Elsevier Inc., First edition, 2006.

WOMACK, J.P.; JONES, D. T. *Lean Thinking*. New York: Simon & Schuster, 1996.

WOMACK, J.P.; JONES, D. T.; ROSS, D. *The Machine that Changed the World*. New York: Macmillan, 1990.

YI, T. P. et al. Reducing electronic componente losses in lean electronics assembly with six sigma approach. *International Journal of Lean Six Sigma*. v. 3, n. 3, p. 206-230, 2012.