



AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DESIGN FOR SIX SIGMA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

DANIEL BORBA MARCHETTO - daniel.marchetto@usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

IRIS BENTO DA SILVA - ibs@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

Resumo: *O CONSTANTE AUMENTO DAS EXIGÊNCIAS DOS CONSUMIDORES EM RELAÇÃO À QUALIDADE, VARIEDADE E CUSTO DE PRODUTOS, TEM LEVADO AS EMPRESAS A BUSCAREM MEIOS DE MELHORAR A EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO E, CONSEQUENTEMENTE, MAIOR COMPETITIVIDADE MERCADOLÓGICA. QUANDO O FOCO É PROJETAR OU REPROJETAR PRODUTOS, PROCESSOS OU SERVIÇOS, PARTINDO-SE DESDE A FASE DE INÍCIO, O DESIGN FOR SIX SIGMA (DFSS) TORNA-SE UM IMPORTANTE ALIADO PARA AS EMPRESAS ALCANÇAREM OS OBJETIVOS DE OTIMIZAÇÃO DESEJADA. O USO DO DFSS ESTÁ EM CRESCIMENTO, MAS AINDA NÃO SE APRESENTA TOTALMENTE CONSOLIDADO COMO OUTRAS METODOLOGIAS DE QUALIDADE. NESTE CONTEXTO, O PRESENTE TRABALHO APRESENTA UMA REVISÃO SISTEMÁTICA BASEADA EM ARTIGOS QUE TRATAM DO USO DO DFSS, DISPONÍVEIS NOS ANAIS DO SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP), POSSIBILITANDO A IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS ÁREAS DE ATUAÇÃO, DAS TENDÊNCIAS E DAS DIFICULDADES DE IMPLANTAÇÃO DESTA METODOLOGIA.*

Palavras-chaves: *SEIS SIGMA; DESIGN FOR SIX SIGMA; REVISÃO SISTEMÁTICA.*

Área: 2 - GESTÃO DA QUALIDADE

Sub-Área: 2.1 - CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

ASSESSMENT OF METHODOLOGY DESIGN FOR SIX SIGMA: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract: *THE INCESSANT INCREASE OF THE CONSUMER DEMANDS REGARDING THE QUALITY, VARIETY AND COST OF THE PRODUCTS, MORE AND MORE COMPANIES ARE SEEKING WAYS TO IMPROVE THE PRODUCTION EFFICIENCY AND CONSEQUENTLY, GREATER MARKET COMPETITIVENESS. WHEN THEE FOCUS IS THE DESIGN OR REDESIGN OF THE PRODUCTS, PROCESSES OR SERVICES, STARTING FROM THE BEGINNING PHASE, THE DESIGN FOR SIX SIGMA (DFSS) BECOMES AN IMPORTANT ALLY FOR COMPANIES TO ACHIEVE THE DESIRED OPTIMIZATION OBJECTIVES. THE DFSS USE IS RISING, BUT STILL IS NOT FULLY CONSOLIDATED AS OTHER QUALITY METHODOLOGIES. IN THIS CONTEXT, THIS PAPER PRESENTS A SYSTEMATIC REVIEW BASED ON ARTICLES THAT DEAL WITH THE USE OF DFSS AVAILABLE IN THE PROCEEDINGS OF PRODUCTION ENGINEERING SYMPOSIUM (SIMPEP), ENABLING THE IDENTIFICATION OF MAIN PERFORMANCE AREAS, TRENDS AND IMPLEMENTATION DIFFICULTIES OF THIS METHODOLOGY.*

Keyword: *SIX SIGMA; DESIGN FOR SIX SIGMA; SYSTEMATIC REVIEW.*

1. Introdução

O desejo apresentado pelas empresas em conquistarem parcelas cada vez maiores dos mercados consumidores, acirrando a concorrência entre as mesmas, aliado com a instabilidade do mercado global que dita o ritmo da produção, e também o surgimento do consumidor moderno, cada vez mais exigente em relação à qualidade, custo e tempo, tornaram muito mais difícil a tarefa de gerenciar uma empresa. Os produtos modernos tornaram-se muito mais complexos e sofisticados, fazendo com que empresas tradicionais na maioria das vezes não conseguissem atingir as exigências de mercado. Visando superar essas dificuldades, surge, nos anos 1980, o Seis Sigma (SS), que busca a melhoria de produtos e processos, aumentando a qualidade e diminuindo os custos. Posteriormente, surge o *Design for Six Sigma* (DFSS), que possui objetivos semelhantes, mas atuando em novos produtos e processos, ou seja, a eficiência destes é gerada na fase de projeto e não mais obtida através de melhorias após a inserção do produto final no mercado, como ocorre no SS.

O presente trabalho apresenta uma Revisão Sistemática (RS) realizada com artigos que tratam do *Design for Six Sigma*, disponíveis para consulta em Anais anteriores do Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP). Para que possam ser identificados elementos comuns na abordagem deste tema, as principais tendências, caminhos de implantação, entre outros aspectos.

A próxima seção realiza uma revisão de literatura referente ao SS e ao DFSS, tratando do surgimento, conceitos estatísticos, ferramentas e modelos mais comuns de implantação. Posteriormente, define-se a metodologia utilizada na elaboração do trabalho, explicando os principais conceitos referentes a Revisão Sistemática. Então, possuindo a fundamentação teórica e conhecendo a metodologia utilizada, é possível desenvolver a RS dos artigos desejados, buscando apontar os elementos comuns e também as inovações de cada um. Finalmente, já com todos os dados necessários obtidos, torna-se possível a elaboração da conclusão do trabalho, discorrendo sobre os conhecimentos adquiridos, as tendências observadas em pesquisas sobre este tema até o momento e possíveis caminhos para futuros trabalhos.

2. Revisão de Literatura

2.1 O Seis Sigma

O Seis Sigma foi desenvolvido por engenheiros da Motorola, influenciados pelos conceitos de Deming sobre a variabilidade de processos, que resolveram melhorar o

desempenho dos processos industriais, diminuindo, assim, a ocorrência de defeitos, podendo, então, enfrentar empresas concorrentes que fabricavam produtos de melhor qualidade a menores preços. Com a utilização do SS, a Motorola venceu o *Malcom Baldrige National Quality Award*, o que fez despertar o interesse de diversas empresas por esta metodologia (ECKES, 2001).

Para Rasis (2002), Seis Sigma trata-se de uma busca incessante e rigorosa da redução da variabilidade de todos os processos críticos para alcançar melhorias inovadoras que impactam os índices de uma organização e garantem o aumento da satisfação do cliente, do compromisso e da lealdade.

O SS está relacionado com um padrão de distribuição estatística que descreve a maioria dos fenômenos naturais, trata-se da distribuição Normal ou Gaussiana (Figura 1). Este tipo de distribuição possui dois parâmetros, a média (μ) e o desvio padrão (σ). O desvio padrão representa a regularidade dos valores obtidos na distribuição Normal, por isso o nome Seis Sigma está diretamente relacionado a este parâmetro, pois esta metodologia visa reduzir a variabilidade e consequentemente, o número de defeitos, atingindo a taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (3,4 DPMO ou ppm). O conceito de defeito é definido como qualquer situação que cause insatisfação do cliente, enquanto que uma oportunidade é qualquer operação que introduz uma chance de erro.

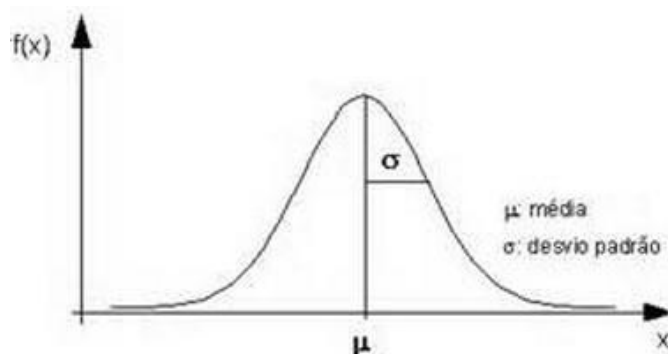


FIGURA 1 - Distribuição Normal ou Gaussiana (<http://www.ufpa.br/dicas/biome/bionor.htm>).

Para se obter a probabilidade de um valor específico estar dentro de uma faixa de valores na distribuição, realiza-se a integração da função que descreve a curva Gaussiana, considerando como limites de integração o limite inferior de especificação (LIE) e o limite superior de especificação (LSE) (MORETTIN, 1999).

Para ilustrar o uso destas noções de estatística em uma empresa, considera-se o seguinte exemplo, no qual uma empresa apresenta uma produção de eixos com média de 25 mm de diâmetro e um desvio padrão de 0,22 mm. Considerando que estas peças devem

possuir diâmetros entre 24,5 mm (LIE) e 25,2 mm (LSE), com o auxílio da tabela de probabilidades, pode-se concluir que a probabilidade de uma peça produzida não atingir a especificação desejada é de 19,3 % , o que não atingiria nem o nível 3 sigma (que possui uma taxa de erro de 6,7%). A maioria das empresas atua em níveis 3 ou 4 sigma de qualidade, que são padrões bem inferiores ao Seis Sigma, este apresenta taxa de erro de 0,00034% (3,4 ppm).

Uma estrutura hierárquica característica é observada nos setores da empresa em que são conduzidos programas Seis Sigma, trata-se da Equipe dos *Belts*, esta é composta tradicionalmente por *Champions*, *Master Black Belts*, *Black Belts* e *Green Belts*. Como já foi dito anteriormente, o SS busca a melhoria de produtos e processos já existentes, para isto, utiliza um modelo de implantação bem estruturado, denominado DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improvement, Control*), composto por cinco etapas - Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

. Em cada etapa deste modelo, utilizam-se algumas ferramentas estatísticas específicas, que facilitam a implantação, são elas:

- O Controle Estatístico do Processo (CEP) permite comparar resultados de um processo, com um padrão, identificando e eliminando as causas não naturais de variação e consequentemente mantendo o processo em controle estatístico;
- A Voz do Consumidor (VoC) é utilizada para obter as necessidades e exigências dos clientes, determinando, assim, quais aspectos serão relevantes durante o projeto;
- O QFD transforma os dados obtidos através da VoC em características de qualidade, que serão classificadas e avaliadas de maneira a conciliar os interesses do consumidor e da empresa e então as mais relevantes serão levadas em consideração ao longo do processo de melhoria;
- A Análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA) tem a função de combater qualquer chance de ocorrência de falha em um produto ou processo, isso ocorre primeiramente através da identificação das possíveis falhas, que são classificadas quanto à frequência de ocorrência, efeito, criticidade e outras, para que então as mais relevantes sejam solucionadas;
- Diagramas de Pareto além de identificarem as causas dos problemas na produção também ordenam na frequência de ocorrência em ordem crescente;
- O DOE (*Design of Experiments*) utiliza funções de transferência nas quais variáveis de projeto (variáveis de entrada) são alteradas, analisando o impacto gerado no produto final (variável de saída).

2.2 O Design for Six Sigma

Pesquisas apontam que embora o projeto (*design*) possua apenas 5% do custo total do produto, esta etapa é responsável por um total de 75% ou mais dos custos de manufatura, além de 80% da qualidade final. Além disso, alguns afirmam que mais de 40% de todos os problemas de qualidade poderiam ser identificados na fase de projeto (ZHU *et al*, 2008).

Fica claro, assim, que a fase de projeto tem a maior influência na qualidade do produto. Portanto, no final da década de 90, na General Eletric (GE), surge uma extensão do Seis Sigma, dedicada ao projeto de novos produtos e processos, visando melhorar a qualidade final, trata-se do *Design For Six Sigma*. Segundo Creveling (2003), o DFSS é uma abordagem proativa para se obter desempenho 6 sigma no projeto de um novo produto, serviço ou processo. É uma metodologia sistemática para obter níveis 6 sigma e exceder as expectativas dos clientes através do uso de engenharia, estatísticas e treinamento específico.

O DFSS possui diversos tipos de sistemas de planejamento parecidos ao DMAIC do Seis Sigma, vale destacar dois dos mais utilizados, são eles: o DMADV e o IDDOV. O primeiro deles apresenta cinco etapas, a primeira (*Define*) trata da definição dos objetivos e escopo do projeto, analisando o mercado atual, além de utilizar a VoC para identificar as exigências dos clientes. A segunda (*Measure*) utiliza os dados obtidos através da VoC e os transforma em características críticas de qualidade (CTQ), vale destacar que esta etapa é realizada muitas vezes simultaneamente à anterior. A terceira (*Analyze*) propõem soluções primárias e então prioriza as que forem melhor avaliadas pela equipe, para isto, utiliza-se principalmente o QFD. A quarta (*Design*) implementa as soluções melhor avaliadas, utilizando a criatividade da equipe para garantir a competitividade do produto. A última etapa (*Verify*) consiste na verificação do projeto, ou seja, condução de testes que analisem se o objetivo inicial foi alcançado e se as necessidades dos clientes foram atendidas.

O IDDOV também possui cinco etapas, a primeira (*Identify*) é a mais importante na elaboração do projeto DFSS, pois trata de identificar as oportunidades do mercado e então traçar um plano de projeto que irá apresentar os objetivos e as funções e responsabilidades de cada membro da equipe. A segunda (*Define*) obtém as necessidades e exigências dos clientes através da VoC e então as traduz em CTQs através do uso de ferramentas como o QFD. A terceira (*Design* ou *Develop*) desenvolve o melhor ajuste para atender as CTQs e também identifica e propõem soluções a quaisquer tipos de problemas identificados através de ferramentas como FMEA. A quarta (*Optimize*) busca a otimização do projeto, garantindo o máximo desenvolvimento que possa conciliar as necessidades dos clientes com a viabilidade

de produção apresentada pela empresa. A última (*Verify*) é semelhante a última etapa do DMADV, realizando verificações, testes em protótipos em ambientes simulados, caso não sejam atingidas as expectativas, o projeto retorna para etapas anteriores.

O DFSS tem apresentado uma tendência diferente das demais metodologias de qualidade, trata-se do *Design Robusto* (RD), que consiste em produzir da maneira correta, sem defeitos e com alta qualidade da primeira vez, ou seja, fazer o produto de acordo com as exigências do consumidor com a realização mínima de testes e retrabalhos. Segundo Hoehn (1995), a essência de um projeto robusto, consiste no desenvolvimento de um produto que ao longo do processo produtivo não apresente sensibilidade às variações de peças, materiais, fabricação, ambiente e qualquer outro tipo de mudança na produção. Para isto, utilizam-se ferramentas como DOE, simulações, análise de parâmetros e Controle Estatístico do Processo.

3. Metodologia

Visando abranger a diversidade de conceitos relacionados ao DFSS, o presente trabalho busca analisar evidências científicas que conduzam ao melhor método de implantação de tal metodologia. Para isso escolheu-se a Revisão Sistemática como método de pesquisa.

Segundo Cordeiro *et al.* (2007), a RS surgiu no Canadá através da chamada Medicina Baseada em Evidência (MBE), que visava o uso consciencioso, explícito e judicioso das melhores evidências na tomada de decisões relativas à práticas com pacientes individuais, unindo evidências produzidas em pesquisas com experiência clínica.

A Revisão Sistemática é um meio de avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis e relevantes para uma questão de pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse (KITCHENHAM, 2004).

4. Revisão Sistemática

A Revisão Sistemática foi realizada através do estudo de artigos disponíveis para consulta *on-line* referentes às edições anteriores, a partir do ano de 1998, do Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP). Uma primeira coleta de material foi realizada, visando identificar a presença de artigos relacionados à metodologia Seis Sigma (oitenta e sete artigos) nos simpósios (busca pela palavra Seis Sigma no resumo do artigo), e posteriormente a busca foi conduzida para o *Design for Six Sigma* (seis artigos ou aproximadamente 7 % do total de

artigos SS no SIMPEP), os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 1, que apresenta a distribuição de artigos referentes a estes temas por ano:

TABELA 1 - Artigos referentes à Seis Sigma e *Design for Six Sigma* por ano.

Ano	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
SS	0	0	0	0	1	0	4	3	5	7	6	12	10	5	14	10	10
DFSS	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2

Até o ano de 2003, o *site* não apresenta um mecanismo de busca que permita procurar em todas as sessões do simpósio, então a busca foi realizada somente na sessão de Gestão de Qualidade, exceto no ano de 2003 que não havia esta sessão, então a busca foi realizada em Gestão da Produção e Gestão Econômica. Observou-se também que há diversos artigos que tratam de ferramentas estatísticas que são utilizadas no SS, mas a seleção foi realizada somente com os artigos que tratam especificamente desta metodologia.

Pode-se observar que nos últimos anos o Seis Sigma vem sendo bastante abordado, porém o DFSS não apresenta o mesmo destaque, sendo encontrados apenas 6 (seis) artigos que abordem o tema. Há outros artigos que mencionam o DFSS, mas simplesmente como uma revisão de literatura referente ao Seis Sigma.

Dos 6 (seis) artigos encontrados, uma primeira análise foi realizada, referente às ferramentas citadas pelos autores, verificando se foram citadas as destacadas no presente artigo e quantas outras além destas, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2:

TABELA 2 - Relação de ferramentas presentes em cada artigo.

Artigo/Ferramenta	CEP	VoC	QFD	FMEA	Pareto	DOE	RD	Outras
1		x	x	x			x	3
2		x	x	x		x	x	5
3	x			x		x	x	9
4		x	x	x			x	0
5								0
6		x	x		x	x		1

Os artigos numerados de 1 a 6 são apresentados a seguir e eles podem ser encontrados nas referências bibliográficas:

1 – Programas de qualidade Seis Sigma: Características distintivas dos modelos DMAIC e DFSS (RECHULSKI e CARVALHO, 2004);

2 – Fundamentos do *Design for Six Sigma* (PRATA et al., 2004);

- 3 – Análise da aplicabilidade e importância das ferramentas estatísticas do *Design for Six Sigma* no processo de desenvolvimento de produtos alimentícios RODRIGUES e SANTOS, 2012);
- 4 – *Lean Six Sigma* e Near Net Shape na indústria automobilística SILVA, 2013);
- 5 – Aspectos organizacionais em equipes de projeto: Comparação entre equipes Seis Sigma e *Design Thinking* (LOPES et al., 2014);
- 6 – Um exemplo didático de *Design for Six Sigma* explorando o pêndulo de Newton (ABANS et al., 2014).

Os artigos avaliados possibilitaram obter diversas informações em relação ao *Design for Six Sigma*, os principais conhecimentos adquiridos são apresentados a seguir:

Artigo 1: O artigo 1 apresenta em sua revisão literária um comparativo entre as metodologias DMAIC e DFSS, além de estabelecer outra comparação, agora entre o DFSS e o modelo de desenvolvimento tradicional de um produto. As autoras constatarem uma grande semelhança entre o DMAIC e o DFSS, tanto na gestão de qualidade como na equipe de trabalho (*Belts*), pelo fato de ambas utilizarem as mesmas ferramentas estatísticas e apresentarem a mesma estrutura hierárquica. Quanto à outra comparação apresentada, as autoras verificam que o DFSS apresenta maior preocupação com o estudo das tolerâncias a serem respeitadas, em relação ao desenvolvimento tradicional de produtos. As autoras apresentam também em seu trabalho um estudo de múltiplos casos em empresas de grande porte que utilizam programas Seis Sigma há um bom tempo.

Foram estudadas três empresas pelas autoras, uma pertencente ao setor de plásticos para engenharia (Empresa A), outra ao setor financeiro (Empresa B) e a última ao setor de eletrodomésticos linha branca (Empresa C). Verifica-se como principais dificuldades de implantação da metodologia, a inexperiência dos funcionários em relação a conceitos estatísticos, a dificuldade em definir bons projetos, a resistência a mudanças e a falta de motivação por parte dos funcionários. Para solucionar estes problemas, treinamentos intensivos de Seis Sigma foram conduzidos com os funcionários, em alguns casos até por outras empresas, além de incentivos para mantê-los motivados, como por exemplo, competições (Empresa A) e premiações por participação (Empresa B)

Porém, não houve muitas evidências de DFSS no estudo de caso apresentado. A Empresa A alegou que não utiliza tal metodologia, pois o desenvolvimento dos produtos é realizado no exterior, enquanto na Empresa B, não há nenhum destaque em relação ao DFSS. A única que apresenta uso desta metodologia é a Empresa C.

Artigo 2: O artigo 2 consiste em uma revisão de literatura do DFSS, apresentando as principais ferramentas, as etapas do modelo de implantação, além de descrever as vantagens e desvantagens da adoção desta metodologia. Os autores apresentam uma explicação detalhada de cada etapa do modelo DMADV, que permite entender quais os objetivos a serem atingidos em cada uma delas, os cuidados a serem tomados, além das ferramentas a serem utilizadas. Pelo fato do artigo apresentar diversas outras ferramentas do Seis Sigma que não foram citadas na revisão de literatura apresentada anteriormente, vale destaca-las a seguir para que possam ser consultadas futuramente:

Define: Na primeira etapa utiliza-se a VoC, Análise de Valor (AV) e QFD;

Measure: Na segunda etapa utiliza-se SIPOC (S-suppliers, I-inputs, P-process, O-outputs e C-customers), Teoria da resolução de problemas (I-TRIZ) e Matriz de priorização;

Analyze: Na terceira etapa utiliza-se FMEA e DOE;

Design: Na quarta etapa utiliza-se o *Design Robusto* e *Tolerance Design* (TD)

Verify: Na última etapa pode se utilizar: QFD e ER.

O artigo cita dois exemplos de estudos de caso do DFSS, o primeiro realizado na Força Aérea dos EUA, que reduziu 50% do tempo de introdução do produto no mercado e o segundo, a empresa automotiva Toyota, que lança um produto em apenas 18 meses e sem realizar mudanças em engenharia. Os autores apontam como principais desafios da implantação do DFSS: A falta de conhecimento dos funcionários, a falta de disciplina, a implementação irregular e a desmotivação pela falta de resultados imediatos.

Artigo: 3: O artigo 3 apresenta uma *survey* realizada com empresas do setor alimentício. Neste setor, o DFSS pode-se tornar um ótimo aliado, pois novos produtos são inseridos no mercado constantemente, além de que a qualidade destes, não é apenas uma vantagem competitiva, mas sim um requisito. Os autores realizaram a *survey* através de questionários enviados a diversas empresas do setor. Até o momento da publicação do artigo, obtiveram 32 respostas, das quais 24 foram utilizadas nas estatísticas. Observou-se que embora algumas empresas utilizem programas e normas de qualidade, tais como, Boas Práticas de Fabricação (23 empresas implantadas e 1 em implantação), TQM (2 empresas em implantação), ISO 22000:2005, ISO 9001:2000 e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) (3 empresas implantadas e 2 em implantação), apenas uma empresa apresenta programa Seis Sigma, e que ainda está em implantação.

O estudo também apresentou dados referentes ao uso de ferramentas estatísticas nas empresas avaliadas, observando que a maioria delas utiliza com alta frequência as ferramentas

mais básicas como CEP, estatísticas descritivas e outras, enquanto que para as ferramentas mais complexas (ANOVA, DMADV, DOE, entre outras), a frequência de uso diminuiu bastante. Também foi questionado sobre o grau de conhecimento de estatística da equipe de desenvolvimento dos produtos e grande parte apresentou pouco conhecimento. Os autores realizaram outras análises ao longo do artigo, como os propósitos do uso da estatística e motivos para o desenvolvimento de novos produtos.

Artigo 4: O artigo 4 apresenta um estudo de caso aplicado ao projeto de uma autopeça a ser produzida por uma multinacional, aliando o DFSS ao *Lean Project Design* (LPD), que é uma metodologia para novos projetos enxutos. A empresa estudada comprava o forjado de um fornecedor e posteriormente realizava usinagens para obter a peça final.

O autor sugeriu o uso da tecnologia *Near Net Shape*, que produz um produto forjado enxuto, quase na forma final, aumentando a robustez do projeto, além de contar com o auxílio de Manufatura Integrada por Computador (CIM). Com isso, foram necessárias duas operações adicionais para o fornecedor do forjado, o que aumentou o seu custo, porém, foram reduzidas duas operações de usinagem “gargalos” para a empresa. A diminuição do custo da usinagem superou o aumento do preço do forjado, o que garante a eficiência desta técnica. Além disso, outros ganhos foram obtidos, tais como: redução do *lead-time* total, diminuição de mão de obra direta e uso de máquinas, redução da área de trabalho, redução de investimento em máquinas da usinagem, entre outros.

Artigo 5: O artigo 5 compara as características de grupos enriquecidos e semiautônomos em equipes de projetos Seis Sigma (DFSS) e de *Design Thinking*. O *Design Thinking* é uma metodologia de inovação teoricamente menos sistêmica, na qual as etapas de projeto podem ser moldadas de acordo com o problema em questão, as normas empresariais podem ser abstraídas e desafiadas, além do fato de não haver níveis hierárquicos, nem treinamento específico, podendo, assim, contar com a colaboração de qualquer funcionário.

Os autores compararam ambas as metodologias aplicadas a uma empresa do setor financeiro. Em muitos aspectos, o que foi observado na empresa estava de acordo com a teoria, exceto pelo fato do *Design Thinking* não apresentar na prática a liberdade e a autonomia na geração de ideias descrita na teoria e também no DFSS, a equipe não precisa seguir exatamente as etapas e regras de desenvolvimento do projeto, apresentando certa liberdade que muitas vezes não é destacada na literatura.

Mas o fato que mais merece destaque é a nítida separação entre as áreas de Inovação e de Melhoria Contínua no caso estudado pelos autores. Para aumentar a competitividade da

empresa seria importante que estas barreiras para integração das metodologias fossem eliminadas. As áreas não precisam estar juntas, mas precisam interagir (estar integradas) entre si, através de possíveis mesclas entre as equipes ou inserção de ferramentas do *Design Thinking* no DFSS e vice-versa, assim como foi apresentado pelos autores.

Artigo 6: O artigo 6 apresenta um exemplo prático de aplicação do DFSS, mais especificamente do modelo IDDOV no desenvolvimento de um pêndulo de Newton. A equipe utilizou a VoC por meio de questionários enviados a físicos de diferentes universidades do país, identificando as CTQs do projeto. Posteriormente, quatro matrizes QFD foram apresentadas, a primeira referente às CTQs obtidas, a segunda também baseada nas CTQs, mas aplicada a cada um dos componentes do pêndulo, a terceira relacionando os componentes aos processos utilizados durante a fabricação e a última referente ao controle dos processos. Os autores concluíram que os fatores mais importantes de cada matriz QFD eram respectivamente o custo, a esfera do pêndulo, a fixação da corda na esfera e a inspeção visual.

Com isso, a equipe pode focalizar a otimização do projeto nos fatores que fossem realmente críticos. Além do bom exemplo de aplicação do QFD, este artigo também apresenta o início do estudo da durabilidade do produto, baseado em um ensaio DOE relativo ao desgaste do verniz devido ao atrito com a bancada.

5. Discussões

A revisão de literatura permitiu uma breve introdução sobre os conceitos do Seis Sigma, para então conhecer em mais detalhes o DFSS. Os princípios desta última metodologia foram identificados, os principais sistemas de planejamento (DMADV, IDDOV) foram explicados, assim como as principais ferramentas de aplicação. Com o conhecimento teórico estruturado, a Revisão Sistemática foi possível.

Durante a RS, foi possível concluir que o DFSS pode ser aplicado em diversos setores, como alimentos (artigo 3), finanças (artigos 1 e 5), eletrodomésticos (artigo 1), automobilístico (artigo 4) e outros. Foi possível também, verificar que há outras metodologias que também podem se unir ao DFSS, como o *Lean Manufacturing* (artigo 4), focado na eliminação de desperdícios e rapidez na produção e o *Design Thinking* (artigo 5), que tem como objetivo o desenvolvimento de projetos inovadores.

Constata-se que a falta de conhecimento técnico em relação aos conceitos e ferramentas estatísticas dos funcionários das empresas é o principal limitante na aplicação do DFSS, como foi apresentado nas empresas do artigo 2 e do artigo 3, o que torna necessário

um treinamento específico e eficiente. Além da necessidade de mantê-los motivados e dispostos a mudanças.

6. Conclusão

Empresas utilizam conceitos e técnicas estatísticas com enorme frequência e o uso do DFSS tem crescido atualmente, porém ainda não é tão utilizado quanto outras metodologias de qualidade, o que justifica a pouca quantidade de trabalhos disponíveis referentes a este tema. Para pesquisas futuras, um estudo de caso poderia ser conduzido em empresas do mesmo setor, sendo uma que já possui o DFSS totalmente implantado e outra na qual ainda está em fase de desenvolvimento.

Referências

- ABANS, M. O.; PEREIRA, A. P.; VIEIRA, L. F.; CARVALHO, M. E. F.; PIRES, R. M. Um exemplo didático de Design for Six Sigma explorando o Pêndulo de Newton, XXI SIMPEP, Bauru, 2014.
- CORDEIRO, A. M.; OLIVEIRA, G. M.; RENTERIA, J. M., GUIMARÃES, C. A. GERS- Rio. Revisão sistemática: Uma revisão narrativa. *Rev Col Bras Cir.* [periódico na Internet], v. 34, n. 6, 2007. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/rcbc>
- CREVELING, C.M.; SLUTSKY, J. L.; ANTIS Jr, D. “*Design for Six Sigma in Technology & Product Development*”, Prentice Hall PTR, ISBN-10: 0-13-009223-1, 2003.
- ECKES, G. *A Revolução Seis Sigma: O método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros*. Tradução de Reynaldo Cavalheiro Marcondes, Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- HOEHN, W. K. Robust designs through design to six sigma manufacturability. Publicado em: Engineering Management Conference, 1995. Global Engineering Management: Emerging Trends in the Asia Pacific., Proceedings of 1995 IEEE Annual International, p. 241-246, 1995.
- KITCHENHAM, B. *Procedures for Performing Systematic Reviews*, Joint Technical Report, 2004.
- LOPES, K. M.; ZANCUL, E. S.; MARX, R. Aspectos organizacionais em equipes de projeto: Comparação entre equipes de Seis Sigma e de Design Thinking, XXI SIMPEP, Bauru, 2014.
- MORETTIN, L. G. *Estatística Básica – Volume 1 – Probabilidade*. São Paulo: Makron Books, 1999.
- PRATA, R. F.; FERNANDES, T. F.; SILVA, C. E. S.; TURRIONI, J. B. Fundamentos do Design for Six Sigma, XI SIMPEP, Bauru, 2004.
- RASIS, D. GITLOW, H. S.; POPOVICH, E. Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green Belt Case Study I, *Quality Engineering*, v.15, n.1, p. 127-145, 2002.
- RECHULSKI, D. K.; CARVALHO, M. M. Programas de qualidade Seis Sigma: Características distintivas dos modelos DMAIC e DFSS, XI SIMPEP, Bauru, 2004
- RODRIGUES, R. C.; SANTOS, A. B. Análise da aplicabilidade e importância das ferramentas estatísticas do Design for Six Sigma no processo de desenvolvimento de produtos alimentícios, XIX SIMPEP, Bauru, 2012.
- SILVA, I. B. Lean Six Sigma e Near Net Shape na indústria automobilística, XX SIMPEP, Bauru, 2013.

ZHU, Y.; YOU, J.; ALARD, J. Design Quality: The Crucial Factor for Product Quality Improvement in International Production Networks. Publicado em Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM '08. 4th International Conference, IEE, p. 1-7, 2008.