

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**INTEGRAÇÃO ENTRE ARQUITETURA MODULAR E SEIS SIGMA NO
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: PROPOSTA NA
INDÚSTRIA DE ELETRODOMÉSTICOS**

MOISÉS HABIGZANG

Porto Alegre, 2011.

MOISÉS HABIGZANG

**INTEGRAÇÃO ENTRE ARQUITETURA MODULAR E SEIS SIGMA NO
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: PROPOSTA NA
INDÚSTRIA DE ELETRODOMÉSTICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração Qualidade e Desenvolvimento de Produtos.

Orientadora: Istefani Carísio de Paula, Dr^a.

Porto Alegre, 2011

MOISÉS HABIGZANG

Integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma no processo de desenvolvimento de produtos: proposta na indústria de eletrodomésticos

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^a. Istefani Carísio de Paula, Dra.

Orientadora PPGEP / UFRGS

Prof^a. Carla Schwengber ten Caten

Coordenadora PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

Professor(a): **Márcia E. S. Echeveste** (Prof. Depto de Estatística - PPGEP- UFRGS)

Professor(a): **Liane Werner** (Prof. Depto de Estatística - PPGEP-UFRGS)

Professor(a): **Carlos Alberto Costa** (Prof. do Depto de Engenharia Mecânica- UCS)

*Agradeço por ter acreditado que este caminho
poderia ser trilhado e de que os desafios aqui
transpostos transformaram-se na prova de
minha dedicação.*

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu irmão, minha cunhada e aos meus amigos que compreenderam minha ausência durante este período de dedicação.

Habigzang, Moisés. **Proposta de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma no processo de desenvolvimento de produtos. 2011**, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

A sustentação econômica de empresas de eletrodomésticos está relacionada com a capacidade de desenvolver produtos inovadores, com qualidade elevada e custo competitivo em relação à concorrência. Adicionam-se a estes requisitos, a agilidade na entrega para os clientes, dispostos a despendar mais recursos para possuir um produto inovador. O estudo e aprimoramento do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) têm sido explorado a fim de garantir agilidade e cumprimento das premissas definidas no escopo de cada projeto. Neste trabalho apresenta-se uma proposta de integração entre os métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma, objetivando melhores resultados financeiros e de qualidade, através da aplicação conjunta. A partir de uma revisão da literatura e estudos dos processos de Arquitetura Modular, Seis Sigma e PDP de uma empresa de eletrodomésticos, o autor propõe uma integração entre os métodos, aplicados à um modelo de PDP conhecido, de Ulrich e Eppinger (2000), e também propõe indicadores para medir os resultados obtidos com esta integração. Para ajustes da proposta, ela é aplicada no desenvolvimento de um aparelho de ar condicionado, através de um estudo de caso na empresa de eletrodomésticos. Os resultados indicaram que a proposta de integração é viável, sendo que as etapas da Arquitetura Modular devem coincidir com as fases de planejamento e desenvolvimento do conceito do produto e, o Seis Sigma é uma ferramenta que contribui para a otimização do produto após a conceitualização. A decisão de investimento no projeto Seis Sigma durante o desenvolvimento do produto deve ser justificada através de uma ferramenta de estudo dos riscos e impacto de falha, como o FMEA, por exemplo. O resultado indicou que o uso isolado da Arquitetura Modular pode não gerar ganhos tão significativos se comparada à aplicação desta em integração com o Seis Sigma, o qual possibilita otimização nos módulos. Ganhos de qualidade, referentes à integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma, possibilitaram a comunalização de peças, aliadas a melhoria de qualidade, garantindo melhores resultados sem aumentar o risco de epidemias de falhas. Por fim, a proposta de integração sofreu alguns ajustes e sugere-se a aplicação em projetos futuros, com o intuito de aumentar o horizonte de aplicação, e por conseqüência, tornar os indicadores mais robustos.

Palavras-Chave: Indústria de eletrodomésticos; Arquitetura Modular, Seis Sigma, PDP

Habigzang, Moisés. **Integration of Modularity and Six Sigma into product development processes: a proposal in the eletrodomestics' industry**. 2010, Tesis (Master in Engineering) – Rio Grande do Sul Federal University, Brazil.

ABSTRACT

Support economic development companies of household appliances is related to the ability to develop innovative products with high quality and competitive cost-competitive. Add to these requirements, fast delivery to customers willing to spend more resources to have an innovative product. The study and improvement of Product Development Process (PDP) have been extensively exploited in order to ensure compliance and agility of the premises defined in the scope of each project. This paper presents a proposal to integrate the methods of Six Sigma and Modular Architecture, aimed at improved financial results and quality through the joint application. From a literature review and study the processes of Modular Architecture, Six Sigma and PDP of an appliance company, the author proposes an integration between the methods applied to a known PDP model, Ulrich and Eppinger (2000), and also proposes indicators to measure the results obtained with this integration. For the proposed adjustments, it is applied in the development of an air conditioner, through a case study in the company of home appliances. The results indicated that the proposed integration is viable and that the stages of Modular Architecture should coincide with the phases of planning and development of the product concept, and Six Sigma is a tool that contributes to the optimization of the product after the conceptualization of same. The decision to invest in Six Sigma project during product development must be justified by a tool to study the risks and impact of failure, such as FMEA, for example. The result indicated that the isolated use of Modular Architecture can not generate significant gains as compared to the application of this integration with Six Sigma, which allows the optimization modules. Quality gains, related to the integration between Arquiterua Modular and Six Sigma, allowed communalisation of parts, coupled with improvements in quality, ensuring better results without increasing the risk of epidemics of failures. Finally, the proposed integration suffered some adjustments and it is suggested to use in future projects, in order to increase the horizon of application, and consequently, become more robust indicators.

Keywords: Eletrodomestic industry, modularity, Six Sigma, PDP

LISTA DE FIGURAS

Lista de figuras: INTRODUÇÃO

Figura 1. Estrutura de pesquisa para o presente estudo.....	30
Figura 2. Fluxograma do processo de pesquisa	22

Lista de figuras: Artigo 1

Figura 1. Estrutura tradicional do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)	39
Figura 2. Customização na indústria automotiva.....	42
Figura 3. Impacto do custo frente a diferentes níveis de modularização e padronização	35
Figura 4. Estrutura de matrizes que orientam a formação de módulos (método MFD).....	36
Figura 5. Comparação entre Seis Sigma, Programa de Seis Sigma da Empresa e DFSS	46
Figura 6. Proposta de integração dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma	48
Figura 7. Proposta de integração dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma com detalhamentos.....	63
Figura 8. Proposta de indicadores para mensurar resultados de modularização e Seis Sigma.	64

Lista de figuras: Artigo 2

Figura 1. Proposta preliminar de integração dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma	68
Figura 2. Estrutura de matrizes que orientam a identificação e formação de módulos.....	81
Figura 3. Proposta de indicadores para mensurar resultados de modularização e Seis Sigma.	83
Figura 4. Desdobramento dos requisitos dos clientes em propriedades do produto	80
Figura 5. Método MFD - Aplicação da matriz de desdobramento da matriz da qualidade demandada	81
Figura 6. Desdobramento da matriz DPM – Definição das propriedades (<i>Bottom Up</i>).....	92
Figura 7. Desdobramento da matriz MIM – Matriz de indicação dos módulos	94
Figura 8. Dendograma da análise de cluster- método hierárquico Ward para sugestão de módulos.....	86
Figura 9. Mapa de raciocínio fase inicial Seis Sigma	89
Figura 10. Matriz de interface dos módulos	910
Figura 11. Delinemaneto experimental	101

Figura 12. Plano de amostragem do nível de ruído do ar condicionado e melhores resultados em destaque.....	102
Figura 13. Proposta revisada de indicadores de Arquitetura Modular e Seis Sigma.	101
Figura 14. Revisão da proposta de integração dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma	103

Lista de figuras: Considerações Finais

Figura 1: detalhamento do método de integração proposto.....	114
--	-----

LISTA DE QUADROS

Lista de quadros: Artigo 1

Quadro 1. Fluxo de informações da Fase 1 – Planejamento.....	58
Quadro 2. Fluxo de informações da Fase 2 – Desenvolvimento do Conceito.....	58
Quadro 3. Fluxo de informações da fase 3 – Desenvolvimento do Design.....	59
Quadro 4. Fluxo de informações da Fase 4 – Detalhamento do Design.....	60
Quadro 5. Fluxo de informações da fase 5 – Testes e refinamentos.....	61
Quadro 6. Fluxo de informações da fase 6 – Produção e lançamentos.....	61

Lista de quadros: Artigo 2

Quadro 1. Fluxo de informações da Fase 1 – Planejamento – Aplicação.....	88
Quadro 2. Fluxo de informações da Fase 2 – Desenvolvimento do Conceito – Aplicação.....	91
Quadro 3. Fluxo de informações da fase 3 – Desenvolvimento do Design – Aplicação.....	93
Quadro 4. Fluxo de informações da Fase 4 – Detalhamento do Design – Aplicação.....	99
Quadro 5. Fluxo de informações da fase 5 – Testes e refinamentos – Aplicação.....	104
Quadro 6. Fluxo de informações da fase 6 – Produção e lançamentos – Aplicação.....	104

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA E OBJETIVOS	15
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS	16
1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO	17
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	21
1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	23
2 ARTIGO 1...	34
PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE ARQUITETURA MODULAR E PROGRAMA SEIS SIGMA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ELETRODOMÉSTICOS	
3 ARTIGO 2	71
PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE ARQUITETURA MODULAR E SEIS SIGMA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ELETRODOMÉSTICOS: UM ESTUDO DE CASO	
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
5 REFERÊNCIAS	125

1 INTRODUÇÃO

No contexto global de competitividade no qual as empresas multinacionais desenvolvedoras de produtos estão inseridas, a internacionalização do desenvolvimento de produtos já é uma realidade. Equipes multifuncionais distribuídas geograficamente interagem através da internet para desenvolvimento de produtos passíveis de comercialização em diferentes mercados. Para que tal interação ocorra de forma fluente e ágil, condizente com a crescente evolução da demanda dos consumidores e competitividade dos concorrentes, métodos de gestão do desenvolvimento de produtos têm sido desenvolvidos e utilizados para maximizar as premissas impostas pela empresa fabricante.

Slack et. al (2002), defendem que o adequado desenvolvimento de produto é uma das principais funções que uma empresa baseada em manufatura deve exercer, para que se obtenha sucesso. Desta forma, empresas de grande porte, voltadas para o desenvolvimento de produtos, investem quantias significativas de seus orçamentos, para o aprimoramento de métodos e ferramentas, bem como treinamento de seus colaboradores, em busca de melhores resultados na área de desenvolvimento. Métodos de PDP, gerenciados por empresas portanto, não sendo alterados pela inserção de ferramentas e práticas ao longo do amadurecimento da organização, mas não necessariamente a partir de um planejamento prévio que garanta a integração entre estas mesmas práticas.

Entre as ferramentas e métodos utilizados, o Seis Sigma, costuma ser citado em histórias de sucesso em grandes organizações. Este método, que teve origem na Motorola, inicialmente como um programa de qualidade a partir de uma evolução dos estudos de Deming (HENDERSON; EVANS, 2000), está presente em grandes empresas da atualidade, e um dos principais motivos, é devido aos ganhos financeiros que este pode proporcionar. Empresas de renome mundial, como: General Electric (GE), Boeing, DuPont, Toshiba, Seagate, Allied Signal, Kodak, Honeywell, Texas Instruments, Sony, utilizam programas Seis Sigma para aprimorar a qualidade em seus produtos (YOUNG et. al., 2004).

Quando incorporado à cultura da corporação, o Seis Sigma tem grande potencial de gerar resultados lucrativos. A General Electric, adotou o programa e conseguiu considerável crescimento na margem do lucro operacional, conquistando a posição de uma das corporações mais bem sucedidas dos Estados Unidos, registrando depois de três anos de programa, uma

economia de mais de US\$ 1,5 bilhões (BAÑUELAS; ANTONY, 2002). Os mesmos autores salientam que o reconhecimento da gerência é de suma importância para que o programa atinja um grau de maturidade suficiente, tornando-se parte da cultura desta.

Com a constante evolução de ferramentas, práticas e métodos de desenvolvimento de produtos, a modularização em produtos apresenta forte potencial para redução de custos, alcançada através da redução de componentes e melhor aproveitamento dos processos (ULRICH; TUNG, 1991; CLARK, 1997; GÖPFERT, 1998; BALDWIN; SALVADOR et al., 2002; SIMPSON, 2006;).

A modularização pode auxiliar na implantação de programas de customização em massa (CM), que por sua vez, visa entregar produtos que possam ser configurados rapidamente e a baixos custos, a partir de ajustes ou combinações de componentes padronizados. Desta forma, permite obter economias de escala e escopo, fundamentais para o objetivo da estratégia de customização em massa (PINE, 1993; KOTHA, 1995; HART, 1995). Alguns autores defendem que o sucesso da customização em massa está relacionado à habilidade da empresa em transformar os desejos e necessidades dos clientes em produtos e serviços (PINE, 1993; KOTHA, 1996; DA SILVEIRA et al., 2001). A modularização, ou arquitetura modular, auxilia as empresas a reduzir a complexidade de seus estoques, processos e também de seus projetos, uma vez que esta busca comunalizar itens, objetivando menor complexidade.

Contextualizando o potencial de ambos, Seis Sigma e modularização de produtos, vislumbra-se que estes podem ser aplicados durante um processo de desenvolvimento de produto, como ferramentas auxiliares no desenvolvimento. Estes, por auxiliarem na redução de custos e melhoria de qualidade, podem ser usados para fortalecer as entregas de um projeto, considerando as premissas atuais do mercado, tais como: índices elevados de qualidade, inovação, design, funções atrativas e custo coerente com o mercado. Ocorre que tais métodos costumam ser incorporados à rotina de desenvolvimento de produtos em situações e momentos distintos; e são, igualmente, operacionalizados por equipes distintas que, não necessariamente reconhecem a importância de uso concomitante das mesmas. A desintegração entre os dois métodos impede que sejam obtidos benefícios do uso concomitante destas práticas, como por exemplo, a otimização de sistemas e subsistemas que fazem parte de uma família de produtos. A otimização proporcionada pelo uso do Seis Sigma,

por exemplo, pode reduzir a chance de uma epidemia de falhas em sistemas, subsistemas e componentes que pertençam a módulos comuns a uma família de produtos.

Portanto, um estudo que incorpore estes dois métodos, frente às fases do PDP, apresenta um ganho acadêmico e prático, uma vez que não se encontram na literatura vigente exemplos de aplicação dos dois métodos conjuntamente. Estudos referentes à Arquitetura Modular são mais comumente encontrados na indústria automobilística, de celulares e de computadores (ALFORD et. al., 2000). Mas a exploração do assunto em empresas de desenvolvimento de eletrodomésticos é escassa e, portanto, visualiza-se um horizonte de estudos ainda a ser explorado.

A indústria de eletrodomésticos é, predominantemente, composta por empresas multinacionais e possui produtos largamente estudados, desenvolvidos ao longo de várias décadas de pesquisa e aprimoramento. Sob esta perspectiva, usualmente os produtos lançados por esta indústria, possuem tecnologia madura, agregando normalmente inovações do tipo incremental, raramente apresentam inovações disruptivas. Por esta razão, premissas tais como qualidade, segurança e robustez não podem ser desconsideradas durante o desenvolvimento de um eletrodoméstico. Estas diretrizes impactam diretamente sobre o processo de desenvolvimento e, a partir do amadurecimento da empresa nos processos de gestão do PDP, estas tendem a buscar ferramentas e práticas que melhor traduzam as diretrizes no projeto de cada produto.

1.1 TEMA E OBJETIVOS

O tema dessa dissertação é o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). A delimitação do tema trata da integração dos métodos Arquitetura Modular e Seis Sigma no PDP, como estratégia competitiva para o desenvolvimento de produtos de forma mais ágil e robusta em uma empresa fabricante de eletrodomésticos.

O objetivo geral do trabalho é elaborar uma proposta de integração entre os métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma, adaptados pela empresa mencionada, incorporados a um modelo de PDP proposto por Ulrich e Eppinger (2000). De cunho conclusivo, com o intuito de complementar o estudo, uma aplicação prática da proposta mencionada durante o

desenvolvimento de um projeto, será realizada para compreender as dificuldades de implantação, bem como expor resultados obtidos e possíveis melhorias pertinentes a estudos futuros.

Para que seja possível alcançar o objetivo geral deste trabalho, listam-se os seguintes objetivos específicos referentes, respectivamente, aos objetivos de cada um dos artigos.

Artigo 1:

- a) Realizar levantamento de informações sobre Arquitetura Modular e Seis Sigma em empresa fabricante de eletrodomésticos a partir de fontes internas;
- b) Buscar informações sobre o PDP da empresa em fontes internas;
- c) Analisar os processos de Arquitetura Modular, Seis Sigma e PDP da empresa;

Artigo 2:

- a) Planejar a aplicação da proposta de integração ao desenvolvimento de um produto na empresa de eletrodomésticos;
- b) Aplicar a proposta de integração, compilar os dados obtidos e analisar resultados;
- c) Revisar o método proposto e sugerir estudos futuros.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS

Os temas Arquitetura Modular e Seis Sigma remetem a produtos e processos, onde o desenvolvimento e o gerenciamento destes interligam-se por um motivo em comum, a entrega de um produto de acordo com escopo estabelecido. O conceito de gerenciamento do processo de desenvolvimento de produtos, aparente na literatura e no meio acadêmico retoma a questão do aprimoramento de técnicas e métodos para entregas mais assertivas, em reduzidos espaços de tempo, com baixos investimentos e obtenção de lucros consideráveis. Esta visão de desenvolvimento de produto surge das necessidades, cada vez mais constantes, por produtos inovadores, competitivos e com altos padrões de qualidade. A indústria de eletrodomésticos não destoa deste cenário, no qual lançar um produto com características únicas no mercado, posiciona a empresa como inovadora frente às demais, gerando vantagem competitiva e muitas vezes, possibilitando o posicionamento mais agressivo e uma margem de lucro

superior. Desta forma, os métodos comentados, Arquitetura Modular e Seis Sigma, podem auxiliar a reduzir complexidade a dos processos e produtos, bem como assegurar índices elevados de qualidade, auxiliando na entrega de produtos robustos, com menor risco de falhas, durante as fases de um projeto de produto..

Diante do exposto, é condizente com o interesse industrial, o estudo e aprimoramento de tais técnicas, na busca de melhores resultados, alinhados com a constante evolução do mercado desenvolvedor de produtos. O emprego dos métodos Arquitetura Modular e Seis Sigma de forma isolada é freqüente encontrada na literatura (JIAO; TSENG, 2001; HANSEN; SUN, 2010; BORJESSON, 2010. Estima-se que a união dos dois métodos poderá gerar resultados mais consistentes do que aqueles obtidos com os métodos empregados de forma isolada.

Em outras palavras, o benefício dos métodos se aplicados isoladamente, podem não ser tão atrativos quanto se aplicados em conjunto, uma vez que a aplicação conjunta pode potencializar os resultados. Por exemplo, o Seis Sigma pode auxiliar na melhoria de qualidade de uma peça que será compartilhada entre os diversos produtos integrantes da família de produtos, com o intuito de ganhos de escala. Neste caso, ganhos serão gerados pela comunalização e adicionalmente a estes, o Seis Sigma pode gerar ganhos incrementais relativos a melhoria de qualidade da peça. Esta visão, não é comumente compartilhada por especialistas nas empresas, e este trabalho busca avaliar esta perspectiva, integrando em maior nível, as equipes desenvolvedoras de Arquitetura Modular e Seis Sigma.

Outra dificuldade verificada dentro das empresas é a falta de integração entre as áreas funcionais envolvidas no processo de desenvolvimento do produto. Com relação à justificativa acadêmica, a presente proposta de pesquisa é considerada relevante, pois não se encontram estudos na literatura vigente, que esbocem iniciativas de união dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma, inseridos a um modelo padrão de PDP.

1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Quanto ao objetivo geral esta pesquisa se caracteriza como exploratória, que segundo Diehl e Tatim (2004) e Gil (2008) tem como meta proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. “De todas as pesquisas

são as que apresentam menor rigidez no planejamento. Habitualmente envolvem levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudo de caso” (GIL, 2008, p. 27). O aspecto explorado nesta pesquisa é da integração da arquitetura modular e seis sigma nas etapas de desenvolvimento de produtos.

Quanto ao procedimento técnico, trata-se de um estudo de caso. Para Gil (2008, p. 58) “o estudo de caso pode ser usado tanto em pesquisa exploratória quanto descritiva ou explicativa”. “O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento (...) (GIL, 2008, p. 57-58). Neste trabalho o propósito do estudo de caso foi o de dar suporte à construção e experimentação de uma proposta de integração entre arquitetura modular e seis sigma. A construção da proposta ocorreu a partir de um levantamento de informações primárias e secundárias e a experimentação da proposta foi realizada durante desenvolvimento de um produto de empresa de eletrodomésticos de grande porte. A aplicação visou “(...) explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos” (GIL, 2008, p. 58) e após a aplicação, a proposta de integração sofreu ajustes.

O protocolo seguido pelo pesquisador para realização do estudo de caso foi composto de cinco etapas: (i) levantamento de informações na literatura sobre arquitetura modular, métodos de desenvolvimento de arquitetura modular e Seis Sigma; (ii) levantamento de informações de fontes internas na empresa e observação dos processos e práticas; (iii) análise dos processos da empresa e elaboração de proposta de integração (iv) experimentação da proposta de integração entre Seis Sigma e Arquitetura Modular no PDP, (v) revisão final da proposta.

Levantamento de informações na literatura

Esta etapa, foi desenvolvida buscando referências relativas a arquitetura modular e métodos existentes de desenvolvimento de arquitetura modular, em bases de dados disponíveis, sendo as mais relevantes: Cambridge Journals Online, Oxford Journals, Science Direct, Springer Link, Scielo. Para a pesquisa relativa ao tema Seis Sigma e suas aplicações, as bases de pesquisa foram as mesmas. As bases foram consultadas visando uma trazer clareza sobre os enfoques de aplicação de cada tema.

Levantamento de informações sobre Arquitetura Modular e Seis Sigma na empresa

Realizou-se um levantamento de informações sobre o Programa de Seis Sigma desenvolvido pela empresa e sobre as atividades de arquitetura modular utilizadas pela equipe de desenvolvimento de produtos, através entrevistas não estruturadas e através da participação em treinamentos e atividades relevantes. O pesquisador registrou por escrito as informações obtidas por observação e através de questionamento aos componentes das equipes, incluindo engenharias, setor de qualidade, desenvolvimento de projetos, entre outros. As perguntas centrais do roteiro usadas na entrevista foram: (i) “Qual a sua relação com o método de Arquitetura Modular da empresa? (ii) Qual a sua relação com o método de Seis Sigma da empresa? (iii) Referente ao desenvolvimento de produtos, você identifica a oportunidade de aplicar os métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma no desenvolvimento de um novo produto? Porque?

Neste levantamento o pesquisador visou identificar como e em quais etapas são realizadas as atividades de definição da arquitetura modular e Seis Sigma, durante o desenvolvimento de produtos da empresa. Não foi considerado escopo deste levantamento, a análise das aplicações em processos fabris ou mesmo a aplicação em rotinas de escritório, onde a metodologia Seis Sigma também é aplicada na empresa.

Levantamento e compilação de informações de fontes secundárias

Também foram utilizadas fontes de dados secundárias provenientes de relatórios e documentos de treinamentos, workshops, mapas dos fluxos dos processos atuais e bancos de dados existentes na empresa. Este material interno é utilizado para treinamento e suporte às atividades de desenvolvimento de arquitetura modular e Seis Sigma. Tais informações são formatadas em planilhas, gráficos, matrizes (QFD) ou mesmo arquivadas em softwares administrativos, informações que foram filtradas e reagrupadas para a compreensão do conteúdo e resguardo de informações sigilosas.

Análise dos processos da empresa e elaboração da proposta de integração

A partir dos resultados obtidos nos levantamentos, o pesquisador realizou uma análise sobre a viabilidade do emprego simultâneo da arquitetura modular e seis sigma, com o intuito de compreender se realmente estes poderiam ser aplicados em conjunto e qual seria a ordem

lógica de integração às fases do PDP. Foi utilizado o modelo de PDP de Ulrich e Eppinger (2000), nesta etapa. Através da análise do PDP, buscou-se identificar as etapas do processo que melhor se ajustariam à união das atividades de desenvolvimento de arquitetura modular e do Seis Sigma. As informações levantadas junto aos colaboradores de projeto da empresa, foram uteis ao pesquisador para o enquadramento seqüencial das atividades do desenvolvimento de arquitetura Modular do método de Erixon et al. (1996) adaptado ao processo de PDP. Por fim, o pesquisador sugeriu a incorporação das etapas de um projeto Seis Sigma de forma a complementar às atividades do método de Erixon et al. (1996), cumprindo com o objetivo de aplicação conjunta dos métodos.

O proposta resultante da análise dos processos da empresa pelo pesquisador foi submetida à avaliação dos líderes de plataformas, gestores de projetos e especialistas na área de arquitetura Modular e Seis Sigma. Os avaliadores verificaram o potencial de aplicação da proposta aos projetos de diferente natureza, e produtos distintos, aumentando assim o universo de análise.

Experimentação da proposta de integração entre Seis Sigma e Arquitetura Modular no PDP

A proposta de integração entre arquitetura modular e seis sigma, às fases do modelo de PDP de Ulrich e Eppinger (2000) construída segundo a etapa descrita anteriormente, foi aplicada durante o desenvolvimento de produto eletrodoméstico em empresa de grande porte. A intenção da aplicação foi avaliar a proposta com o intuito de testar sua aplicação na rotina de desenvolvimento de produto da empresa fabricante de eletrodomésticos. O pesquisador acompanhou a aplicação da proposta para identificação de aspectos de melhoria na mesma.

Revisão final da proposta

Nesta etapa final, após compilação dos resultados obtidos na aplicação da proposta em um projeto de produto, algumas revisões foram propostas e a proposta pôde ser revisitada com o intuito de realizar ajustes e indicações de estudos futuros.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em formato de artigos científicos compondo no total por 4 capítulos. No Capítulo 1, apresenta-se a contextualização do tema abordado, a apresentação dos objetivos gerais e específicos e, as justificativas desta pesquisa. Também são descritos neste capítulo a abordagem do método de pesquisa e sua estruturação, a construção da dissertação e suas limitações. Os capítulos 2 e 3 apresentam os artigos 1, 2 respectivamente. A figura 2 auxilia o leitor a compreender de que forma o pesquisador distribuiu as etapas do método entre os dois artigos gerados.

Os resultados relativos ao desenvolvimento da proposta de integração foram compilados

Com o intuito de ilustrar o processo descrito, a Figura 1 resume a estrutura do trabalho relacionando os objetivos específicos com o método de pesquisa.

	OBJETIVO	PROBLEMA	LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÃO	MÉTODO DE PESQUISA
ARTIGO 1	Estudar os métodos de modularidade e seis sigma adotados pela empresa e propor uma integração destes.	É possível aplicar os métodos modularidade e seis sigma de forma conjunta e medir os resultados?	(i) Investigar método Seis Sigma e Modularidade na empresa (ii) Buscar publicações sobre seis sigma e modularidade	levantamento de informações da literatura e da empresa, do estudo de caso.
ARTIGO 2	Aplicar a proposta de integração entre modularidade e seis sigma no desenvolvimento de um produto, visando realizar ajustes na proposta.	É possível mensurar e avaliar os resultados obtidos na implantação do método proposto?	(i) Buscar publicações sobre Seis Sigma e modularidade.	Realização de estudo de caso

Figura 1. Estrutura de pesquisa para o presente estudo
Fonte: próprio autor

Artigo 1 – **Proposta de integração entre arquitetura modular e programa Seis Sigma no processo de desenvolvimento de produtos eletrodomésticos.** Este artigo apresenta os resultados da análise da literatura, referente à Arquitetura Modular e Seis Sigma, comentada anteriormente e do levantamento de informações na empresa estudada. Para tal levantamento realizou-se a busca em bases de dados disponíveis, sendo as mais relevantes:

Cambridge Journals Online, Oxford Journals, Science Direct, Springer Link, Scielo. Foram realizadas buscas pelas palavras-chave Arquitetura Modular, Seis Sigma, desenvolvimento de produtos eletrodomésticos e PDP. Em uma primeira rodada de análise os artigos mais relevantes foram selecionados para uma leitura detalhada na segunda rodada. Os resultados foram compilados na revisão bibliográfica do artigo. Em paralelo ao levantamento de literatura, o autor buscou maior profundidade no conhecimento relativo ao programa de Seis Sigma aplicado na empresa, onde o estudo de caso seria realizado. Este conhecimento foi adquirido através da participação do autor principal no treinamento de Seis Sigma (*Black Belt*), durante quatro semanas. Da mesma forma, procedeu-se com o método de Arquitetura Modular, no qual o autor participou do curso interno da companhia, que fornece os conhecimentos necessários para os futuros administradores dos sistemas modulares. Desta forma, o referencial teórico deste trabalho, subdividido em dois tópicos principais, Arquitetura Modular e Seis Sigma, busca avaliar os métodos utilizados pela empresa e através deste conhecimento, propor uma integração destes à um modelo genérico de PDP.

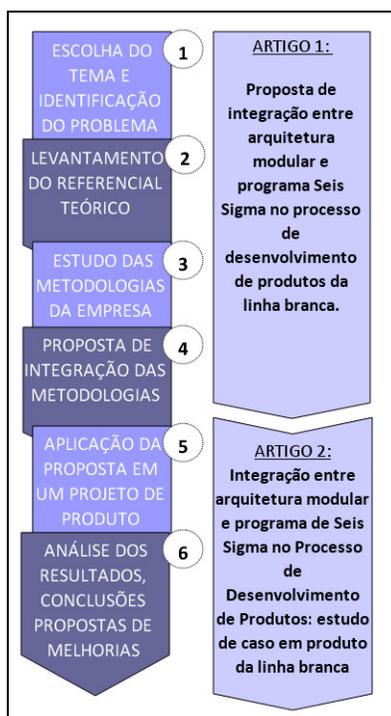


Figura 2. Fluxograma do processo de pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor

Para que o projeto fosse iniciado, após a definição do tema e identificação do problema (Fase 1, Figura 2), foi necessário realizar o levantamento bibliográfico (Fase 2, Figura 2), de

forma a contemplar as explicações teóricas dos dois artigos, compostas dos assuntos centrais que constituem o tema deste trabalho. Complementando a esta etapa, o autor acompanhou os treinamentos das duas metodologias internas: Arquitetura Modular e Seis Sigma visando aprofundar o conhecimento relativo ao estudo na empresa.

Após a conclusão das etapas 1 e 2 da figura 2, foi iniciada a fase (3), onde a análise dos métodos atuais, frente ao modelo de PDP de Ulrich e Eppinger (2000), foi realizada, com o intuito de idealizar uma proposta de integração dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma ao PDP. Como conclusão do primeiro artigo, e composição da Fase (4) (Figura 2) do estudo, a proposta de integração dos métodos foi estabelecida. Visando a conclusão desta etapa, sugestões de indicadores que mensurem os resultados obtidos, foram propostos.

Artigo 2 – Aplicação de proposta de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma no Processo de Desenvolvimento de Produtos eletrodomésticos: um estudo de caso, este foi desenvolvido com o intuito de cumprir com as fases (5) e (6) (Figura 2). Este artigo tem por objetivo aplicar e ajustar a proposta desenvolvida no artigo 1. No artigo 2 o referencial teórico foi revisitado em busca de complementos e aprofundamento nas questões desenvolvidas com a proposta de integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma, mas foi ocupado com a apresentação integral da proposta de integração desenvolvida no artigo 1. Após a etapa bibliográfica do estudo de caso, a proposta de integração dos métodos pôde ser aplicada para avaliar as respostas do processo, com o intuito de verificar oportunidades de melhoria. As etapas de implantação do estudo de caso contemplaram: (i) aplicação de questionário e reuniões para ajustes preliminares do método; (ii) acompanhamento da experimentação do método proposto a partir de um projeto de produto; (iii) compilação dos dados obtidos e conclusões; e (iv) ajuste da proposta sugerida.

Por fim, a última etapa do processo de pesquisa, a fase (6) (Figura 2), apresenta os resultados obtidos, propondo melhorias à proposta de integração e apresentando sugestões de estudos futuros que dêem continuidade ao assunto em questão.

1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido, com enfoque na indústria de manufatura, mais precisamente, de eletrodomésticos, onde a gestão do processo de desenvolvimento de produtos está bem amadurecido. Devido à natureza da atividade neste ramo de atuação, o

desenvolvimento de projetos de produto é um processo já bastante difundido e, faz parte da estrutura da empresa. Portanto, a aplicação desta proposta é válida para todas as variações de produtos, fabricados pela empresa. Além disso, visualiza-se que esta proposta de integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma pode ser aplicada a outras atividades industriais, desde que, incorporada ao processo de gestão do PDP adotado pela empresa.

Este estudo tem enfoque em manufatura, sendo que não contempla a aplicação em atividades administrativas e de desenvolvimento de serviços. Estudos pertinentes a projetos de Seis Sigma voltados para escritórios são encontrados em literaturas, porém este trabalho não prevê esta aplicação. Além disso, parte-se da premissa que, para utilizar o método integrado, a empresa deverá ter maturidade para utilização do método Seis Sigma e Arquitetura Modular e grande escala de produção, para poder se beneficiar dos resultados, frente aos investimentos necessários quando da utilização dos métodos Arquitetura Modular e Seis Sigma.

Considera-se também como limitação deste trabalho o seu caráter de aplicação a situação prática, típica de um mestrado profissionalizante. A intenção do autor não é aprofundar no desenvolvimento e melhoria de cada um dos métodos e ferramentas citados como: Seis Sigma, análise de cluster, matrizes de *Quality Function Deployment* (QFD) e planilhas de *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). A intenção do autor é localizar e integrar estes métodos ao longo do PDP, cabendo àqueles que irão utilizar a proposta de integração, aprofundar os conhecimentos e literatura especializada no que diz respeito ao uso individual de cada método citado no trabalho.

2 ARTIGO 1

PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE ARQUITETURA MODULAR E PROGRAMA SEIS SIGMA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ELETRODOMÉSTICOS

Moisés Habigzang (UFRGS)
moises_noia@yahoo.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar, Porto Alegre/ RS, 90035-190, Brazil.

Resumo

O cenário globalizado e competitivo, em que as empresas fabricantes de eletrodomésticos estão incluídas, impõe gradativamente maiores desafios no lançamento de novos produtos. Este ambiente remete a necessidade de projetos ágeis, escopos claramente definidos e níveis de qualidade elevados, exigindo um processo de gerenciamento de projetos estruturado, de tal forma a englobar ferramentas e métodos relevantes para cumprimento destas premissas. Nesta perspectiva, este trabalho visa, por meio de um levantamento da literatura nos temas Arquitetura Modular e Seis Sigma, esclarecer quais são os enfoques de aplicação destes e, por fim, sugerir um procedimento de integração destes métodos, através de uma proposta estruturada e aplicável à um PDP genérico. Para tal, realizou-se um levantamento de informações em uma empresa fabricante de eletrodomésticos que aplica estes métodos. Os resultados apresentam uma proposta de integração dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma em um PDP genérico além de indicadores quantitativos para mensurar sua eficiência.

Palavras-Chave: Indústria de eletrodomésticos; Arquitetura Modular, Seis Sigma, PDP

Abstract

The global and competitive scenario of eletrodomestic's manufacturers demands the continuous challenge of launching new and innovative products. This environment refers to the demand for agile projects, clearly defined scopes and high quality standards, requiring a structured product development process (PDP). Methods like modularity and Six Sigma usually fulfill the competitive assumptions inside organizations' PDP, nevertheless, these methods are seldom integrated within the organizations' PDP. In this perspective, this paper presents the integration of Modularity and Six Sigma into a generic PDP, viewing the development of robust products. A survey of the literature was performed to clarify the application of these approaches and, further, the authors suggested a procedure for joining these methods into the phases of PDP. Moreover, it was performed an investigation, in a manufacturer of eletrodomestic that apply these methods, to assess additional information. As a result it is presented a proposal of integration between the methods Modularity and Six Sigma in a generic PDP, as well as, quantitative indicators to measure the proposition's efficiency.

Keywords: Eletrodomestic industry, Modular Architecture, Six Sigma, PDP

1 INTRODUÇÃO

A globalização exige das empresas organização e competência para a manutenção de suas posições no mercado, o que se traduz na busca incessante de processos mais eficientes, produtos competitivos e estratégias de mercado dinâmicas e arrojadas. Para o mercado de linha branca, eletrodomésticos, este cenário não é divergente, apresentando características de altíssima competitividade e atuação similar à do setor automobilístico, de eletrônicos, de telefonia celular, entre outros. No primeiro semestre de 2009, a indústria de linha branca, totalizou em suas atividades, o correspondendo a 11,3 % das vendas de bens duráveis no Brasil, ante 8,8% no mesmo período de 2008 (IPEA, 2009). Este crescimento expressivo, frente à queda do PIB brasileiro em 2009, é justificado devido à interferência governamental

que ocorreu em meados de outubro de 2008, quando a taxa de IPI de bens duráveis (refrigeradores, fogões, máquinas de lavar) foi reduzida para incentivar o consumo. A concorrência de empresas atuantes no mercado interno, somadas à massiva concorrência de empresas localizadas em países populosos, com baixos custos de produção, exige uma postura iminente de oferta ao mercado de produtos competitivos. De acordo com Baxter (2000), empresas que entregam aos seus clientes, produtos com qualidade, inovação e custo acessível, fortalecem a sua permanência no mercado. Para empresas desta natureza, a lucratividade define a manutenção das atividades destas e, portanto o lucro é consequência direta da eficiência dos seus processos. Porter (1989) declara que a cadeia de valor, por sua vez, se constitui de atividades de valor e margem, e define que: “as atividades de valor são as atividades físicas e tecnologicamente distintas, através das quais uma empresa cria um produto valioso para seus compradores. A margem é a diferença entre o valor total e o custo coletivo da execução das atividades de valor” (PORTER, 1989, p. 34).

Meyer (1997), por sua vez, sugere que produtos inovadores geram maior competitividade e destaque no mercado. Partindo dessas premissas os profissionais de PDP das empresas procuram métodos de otimização do desenvolvimento de produtos e ferramentas capazes de garantir uma maior eficiência no processo de desenvolvimento. Akao (1994) sugere o uso do QFD (*Quality Function Deployment*) como uma ferramenta adequada para o planejamento das fases do design de produtos. Creveling et.al (2003) confirma e sugere outras ferramentas, dentre elas, FMEA's (*Failure Mode Effects Analysis*), DFMEA's (*Design Failure Mode Effects Analysis*), DFX (*Design for "X"*), VEA (*Value engineering analysis*), DOE (*Design of Experiments*), para melhor traduzir a voz do cliente em funcionalidades e atingir os resultados esperados. Creveling et. al (2003) menciona a importância do Seis Sigma como método/ferramenta que imprime qualidade desde a fase de projeto do produto.

A própria competitividade, propicia aos clientes uma postura mais exigente e, portanto a valorização de produtos mais ajustados às suas necessidades. Por esta razão, a inovação se torna um dos pilares do desenvolvimento de produtos, visando incorporar as demandas do público-alvo. Por consequência, os produtos acabam por ter seus ciclos de vida reduzidos, e frente a esta constante tendência de renovação, há uma necessidade natural de reduzir o *payback* destes produtos. Sob esta ótica, a constante renovação tecnológica, o *payback* de curto prazo e, índices de qualidade elevados permeiam a realidade atual das empresas de tecnologia, tornando-se premissas para o sucesso das mesmas. De acordo com Muffato et al. (1999), o uso de arquitetura modular auxilia na redução da complexidade de desenvolvimento

de novos produtos. Simchi-Levi e Kaminsky (2007), por outro lado, indicam que um projeto eficaz de produto desempenha um papel importante na cadeia de suprimentos pois, se não desenvolvidos corretamente, podem causar aumentos de custos nesta. Conceitos como a personalização em massa (também denominada de customização em massa) estão se tornando populares, como estratégia para tirar vantagem de um novo projeto de produto.

A customização em massa também é sugerida como uma estratégia capaz de agilizar a produção, propiciando maior diferenciação e entrega de produtos diferenciados. Entretanto, Da Silveira et al. (2001), mencionam que para o sucesso da customização em massa são necessários fatores como: considerar demanda de customização requerida pelo cliente; setor de marketing alinhado; cadeia de suprimentos preparada; disponibilidade de tecnologia; produtos customizáveis; conhecimento compartilhado, incluindo a identificação da voz do cliente e a transformação em requisitos dos produtos.

Para que ocorram as entregas dos novos produtos, seguindo as premissas comentadas, desenvolvedores de produtos, muitas vezes, buscam munir-se de métodos como Seis Sigma e Arquitetura Modular, que propiciam aos gestores de projetos de produto, maior eficiência em suas entregas. Uma das formas identificadas, para redução de custos em produtos é a modularização, gerando assim ganhos de escala, redução de estoques, maior controle de qualidade, menor número de fornecedores, adoção de *just-in-time*, redução de capital de giro, entre outros. De acordo com Baldwin e Clark (1997), um sistema modular é formado de unidades independentes que podem ser facilmente montadas e que se comportam de maneira a integrar, um único sistema. O Termo ‘Arquitetura Modular’ é usado para descrever partes (peças) comuns e independentes, usadas para a criação e variação de produtos (HUANG; KUSIAK, 1998).

Somando-se às vantagens financeiras, o desenvolvimento de produtos que compreendam arquitetura modular, ou seja, desenvolvidos de forma a propiciar a estruturação destes em módulos, intercambiáveis entre outros produtos, beneficia as atualizações técnicas, e conseqüentes novos lançamentos com *leadtimes* de desenvolvimento reduzidos (MEYER; LEHNERD, 1997). Contudo, aplicar Arquitetura Modular aos produtos, pode não ser suficiente, pois existe uma arquitetura ou cadeia produtiva para gerenciar o processo de melhoria global que inclui: a qualidade dos componentes, o desempenho do produto como um todo, aspectos ligados à garantia de entrega dos componentes do produto no prazo de fabricação, entre outros. Diante das dificuldades mencionadas, pode-se supor que o método

Six Sigma seja uma alternativa para os gestores otimizarem o processo de Arquitetura Modular, reduzindo índices de falhas em componentes, auxiliando na definição de especificações mais robustas, qualificando fornecedores.

Distintos autores, como: Young (2004), Hahn (2002), Creveling (2003), Arnheiter e Maleyeff (2005), indicam que o programa Seis Sigma tem como filosofia, a melhoria contínua dos processos, entregando assim melhores resultados às atividades. Estes resultados, por sua vez, podem ser traduzidos em melhor desempenho financeiro (HAHN, 2000; CREVELING, et. al 2003). Se por um lado a customização e a modularização aceleram a velocidade de projeto e de lançamento de produtos, a comunalização de componentes, sistemas e subsistemas nos módulos, gerada tipicamente pela modularização, pode expor a empresa ao risco de uma epidemia de falhas, caso um determinado componente tenha mal funcionamento e pertença a um módulo presente em uma família de produtos.

A luz desta afirmação, a hipótese defendida neste trabalho é que a associação dos métodos Arquitetura Modular e Seis Sigma pode ser sistematizada dentro do processo de desenvolvimento de produtos e, que tal associação pode contribuir com a prevenção de falhas nos produtos pois, a inserção simultânea do método Seis Sigma com as atividades de Arquitetura Modular na rotina de desenvolvimento de produtos, propicia que novos produtos sejam criados com índices de qualidade superior e com reduções de custo, por efeito da aplicação do método Seis Sigma. A integração destes dois métodos pode não ser simples, considerando-se a falta de literatura que considere a aplicação conjunta dos métodos e, somando-se a esta, a necessidade da empresa apresentar um grau mínimo de maturidade, seja em relação ao PDP, em relação o emprego do Seis Sigma e Arquitetura Modular para correta aplicação destes, ou em relação ao trabalho de equipes multidisciplinares.

Em vista do exposto, o objetivo principal deste artigo é propor um procedimento que integre, em um modelo de PDP proposto por Ulrich e Eppinger (2000) o método de Erixon et al. (1996) para arquitetura modular e o método Seis Sigma. Dentre os objetivos específicos podem ser citados: (i) realizar levantamento de informações sobre Arquitetura Modular e Seis Sigma em empresa fabricante de eletrodomésticos a partir de fontes primárias; (ii) buscar informações sobre o PDP da empresa; (iii) analisar os processos de gestão de Arquitetura Modular e seis sigma da empresa. Na seqüência do artigo, o leitor encontrará uma breve revisão bibliográfica sobre Arquitetura Modular e Seis Sigma, seguida do método de pesquisa adotado. Posteriormente, será apresentada uma análise dos métodos Seis Sigma e Arquitetura

Modular empregados na empresa estudada. Sugestões de aplicação dos métodos, inseridas em determinadas etapas do gerenciamento de projeto e indicadores futuros serão sugeridos no fechamento deste artigo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico foi estruturado objetivando extrair da literatura os temas Arquitetura Modular e Seis Sigma e sua relação com o desenvolvimento de produtos. O desenvolvimento de produtos, processo de gestão essencial das empresas de manufatura, está tradicionalmente estruturado de acordo com o modelo sugerido por Ulrich and Eppinger (2000), conforme Figura 1, salvo variações e peculiaridades de alguns setores que exigem atividades especiais ou típicas de determinados produtos.

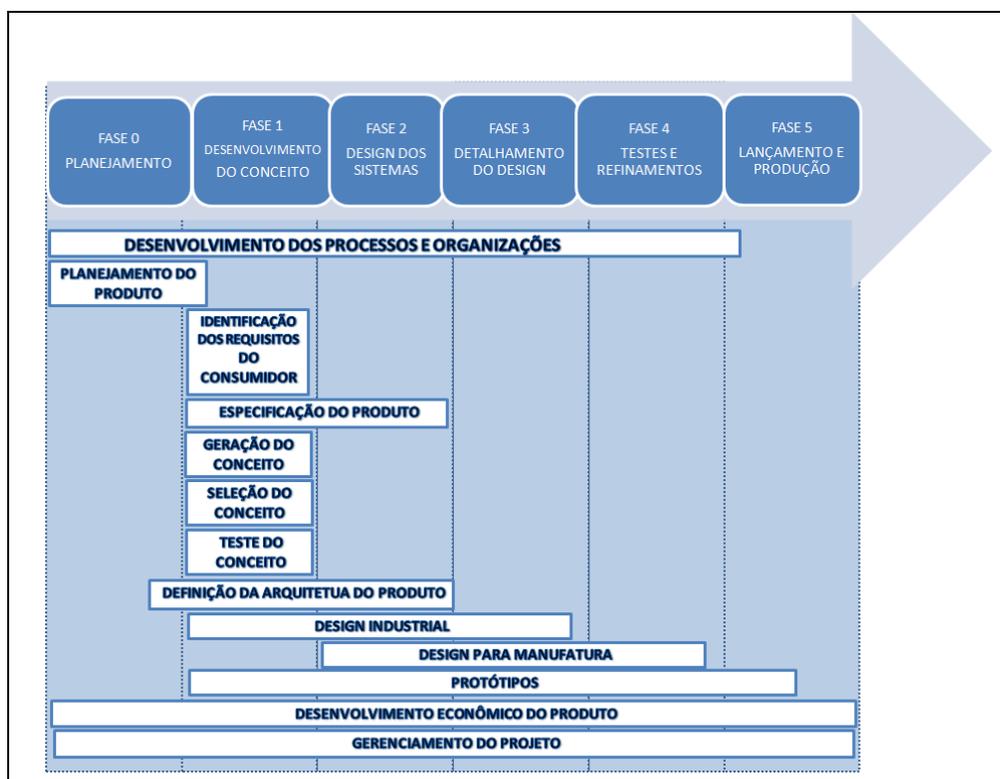


Figura 1. Estrutura tradicional do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)
Fonte: adaptado de Ulrich e Eppinger (2000)

Etapas semelhantes ao modelo da Figura 1 estão presentes nos modelos de outros autores (Pugh, 1978; Clark; Fujimoto, 1991; Wheelwright; Clark, 1992; Clausing, 1993;

Ulrich; Eppinger, 1995; Cooper, 1996; Pahl; Beitz, 2006; Rozenfeld et al., 2006). Ao observar o modelo proposto por Ulrich e Eppinger (2000), percebe-se que a fase inicial contempla planejar o produto que será desenvolvido e em seguida, desenvolver o conceito deste, gerando propostas que serão posteriormente refinadas na busca de um produto ajustado às necessidades dos clientes. Em consonância com esta fase inicial, todas as demais necessitam de uma clara definição e assertivo desenvolvimento para que as entregas posteriores alcancem o escopo determinado. Os marcos de aprovação das etapas objetivam imprimir maior qualidade ao processo, reduzir riscos, além de auxiliar a manter o foco do projeto nos requisitos identificados durante as fases iniciais (ROZENFELD et al., 2006). Duray (2000) sugere quatro macros etapas: design, fabricação, montagem e uso. O autor indica que quanto mais cedo o consumidor for envolvido com o processo, mais modularizável será o produto, sugerindo a fase de design como a entrada dos inputs do consumidor.

O termo Arquitetura Modular é usado para expressar um produto que possui partes comuns e independentes, durante a criação de uma variedade de produtos (ULRICH; TUNG, 1991; SIMPSON, 2006). Um produto com arquitetura modular ou sistema modular é concebido com unidades independentes que podem ser facilmente montadas, e que possuem uma função específica no contexto do sistema (BALDWIN; CLARK, 1997). De acordo com Göpfert (1998), modularização pode ser definida por um agrupamento de partes físicas, de acordo com suas funções, em unidades independentes chamadas módulos. O uso de módulos contribui para otimizar não apenas as atividades de montagem, mas também favorece a criação de produtos que possam ser configurados pelos próprios consumidores, de modo a atenderem a suas próprias necessidades (SALVADOR et al., 2002). Já Rozenfeld et al (2000), indica que modularidade é a qualidade ou característica de um sistema em separar partes independentes ou módulos que podem ser tratados como unidades lógicas.

Arquitetura de produto é o esquema que define e organiza os elementos funcionais do produto em partes físicas (módulos) e planeja o projeto de interação entre estas partes físicas (módulos) (Ulrich e Eppinger, 2000). Um produto com arquitetura modular existe quando cada função do produto tende a ser implementada por um módulo físico e as interações entre os módulos são poucas e bem definidas (Rozenfeld et al., 2006).

Pode-se considerar Arquitetura Modular, como um sinônimo para o uso de módulos e padronização de componentes comuns. A união entre os módulos é dada através de interfaces,

que são consideradas por alguns autores como a base para um processo bem sucedido de Arquitetura Modular. As características da interface limitam a interação e número de combinações modulares. De posse dos módulos, a empresa pode especificar seus produtos, através de combinações estratégicas de módulos, criando variantes que são interessantes para os mercados selecionados. De acordo com Simpson et al. (2001) e Simpson (2004), arquitetura modular é uma escala baseada em uma família de produtos e os módulos relacionados com esta família, quanto mais modular, maior a abrangência dos módulos.

O projeto de produto com arquitetura modular, por sua vez, tem por objetivo gerar um produto com um alto nível de variedade mantendo o foco nos ganhos de escala de produção. A utilização desta abordagem tem por característica a utilização de ferramentas que auxiliam a otimizar o *trade off* entre variedade de produtos e ganho de escala. Desta forma, visam atender simultaneamente as demandas mais específicas dos clientes ao mesmo tempo em que mantêm baixos, os custos de produção, resultando em maiores lucros para a empresa (ULRICH 1995; ULRICH; EPPINGER 2000).

2.1 Customização em Massa

À luz da crescente demanda de produtos customizados, fomentada por clientes mais exigentes e, devido à grande concorrência de fabricantes, a customização em massa (CM), tem por finalidade entregar produtos que possam ser configurados rapidamente e a baixos custos, a partir de ajustes ou combinações de componentes padronizados. Desta forma, permitindo obter economias de escala e escopo, fundamentais para o objetivo da estratégia de customização em massa (PINE, 1993; KOTHA, 1995; HART, 1995). A customização em massa resulta em bens ou serviços customizados e preços finais oferecidos dentro da expectativa dos clientes, sendo estes possíveis, entre outros fatores, graças à própria customização. Segundo Da Silveira et al., (2001, p.1) “a customização em massa é a habilidade de uma empresa fornecer aos clientes produtos e serviços customizados, em alto volume, a preços razoáveis, utilizando para isso uma altíssima flexibilidade nos processos”.

De acordo com Pine (1993), a customização em massa, nada mais é do que entregar uma gama de produtos ou serviços focados nos desejos dos clientes, a um valor factível. Customização em massa, conforme Tseng e Jiao (1996) está diretamente relacionada à entrega de produtos com qualidade e variedades, satisfazendo os desejos e necessidades do cliente, sem impactar na eficiência fabril. A estratégia de customização em massa, conforme sugere

Maccarthy e Brabazon (2003), se constitui de estratégias que tendem a nortear a tomada de decisão futura, sugerindo ações embasadas em recursos, buscando entregar o que os clientes desejam, com agilidade na entrega, mantendo padrões de eficiência e otimizando os ganhos de escala. A vantagem competitiva está justamente na entrega do que foi desejado pelo cliente, sem perdas com a complexidade fabril.

2.2 Estratégias de Customização

Mencionando a indústria automotiva, Alford et al. (2000) identificam três estratégias distintas para implantação da customização, sendo elas: customização essencial (*core customisation*); onde o consumidor é envolvido no processo de design do veículo, aplicado a baixos volumes e alto valor agregado. Customização facultativa (*optional customisation*); permite que o consumidor escolha seu veículo entre várias opções, ainda que ele não possa alterar as configurações pré-estabelecidas (*pacotes web*) e customização da aparência (*form customisation*), onde acessórios requisitados pelo consumidor são agregados no distribuidor, tais como: opcionais, garantias estendidas, financiamentos. Estas estratégias refletem a progressiva integração do cliente com as atividades da cadeia de valor, envolvendo projeto, montagem e distribuição. A aplicação destas estratégias à indústria da linha branca, de certa forma também se defronta com barreiras, tais como: restrições fabris, necessidade de ganhos de escala, preços baixos impostos pelo mercado. A Figura 2 representa as três estratégias comentadas.

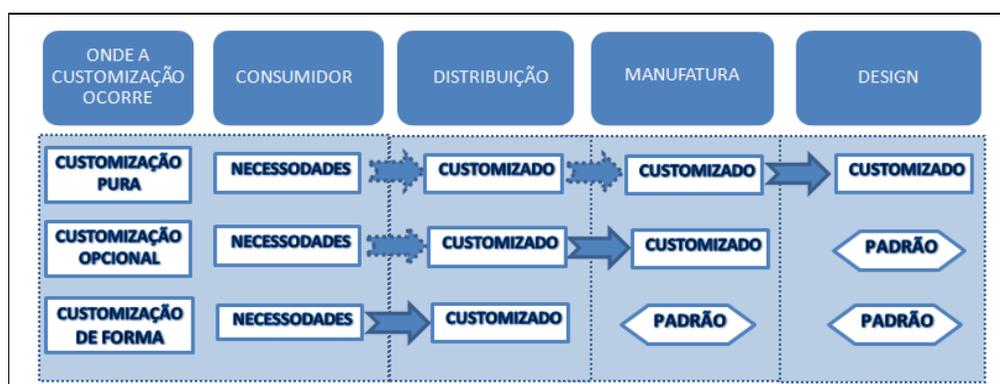


Figura 2. Customização na indústria automotiva

Fonte: adaptado de Alford et al. (2000)

Avaliando a Figura 4, a indústria de eletrodomésticos possui características de customização de forma, porém está começando a realizar projetos, com menores escalas de

produção, focados em customização opcional, realizando mudanças nos conceitos de fabricação e logística para tal.

De mesma valia, movimentos naturais do mercado, como necessidade de lançamentos periódicos, prazos reduzidos para desenvolvimento, qualidade e prazos de entrega, limitam ainda mais uma ampla estratégia de customização neste setor. Para que a estratégia, seja factível perante a realidade da empresa, sugere-se dirimir a amplitude da estratégia de customização em massa, criando assim diferentes graus de customização em suas atividades (AMARO et al., 1999).

Uma estratégia comentada entre autores é a postergação das atividades não customizáveis ou modulares (BURNS, 2003; YANG; BURNS, 2004). Esta estratégia visa produzir módulos-padrão, organizando-os em seqüência, preferencialmente no início das atividades de montagem, mantendo os módulos que incorporam os opcionais, não modularizáveis, para as operações finais de montagem do produto. A prática de selecionar componentes em plataformas, buscando a melhor padronização das operações de produção iniciais e então postergando as operações envolvidas com customização de produtos, é chamada de Postponement (VAN HOEK, 2001). A primeira operação para diferenciação do produto, após operações padronizadas, é chamada de ponto de diferenciação. Autores como Lee e Tang (1997) e Martin e Ishii (1997), sugerem a utilização de componentes comuns no início da fabricação, para postergar a operação de diferenciação na linha de fabricação, aumentando o índice de processos padronizados e ganhos de escala. De forma similar, Van Hoek (2001) comenta que a localização de diferentes pontos a partir dos quais será executada a customização está associada ao conceito de postergação.

A Arquitetura Modular pode ser utilizada para estruturar os produtos/processos, de forma a permitir a postergação de atividades de customização com foco em premissas como ganho de escala e inovação. Esta sugestão é dada por autores como Duray et al. (2000), e Pine (1993), que sugerem o uso de módulos, para viabilizar a customização em massa. Módulo é um grupo de componentes padronizados e intercambiáveis, que pode ser alocado por função do produto, e que pode ser trocado e re-alocado sem perder a funcionalidade, podendo ser produzido de forma independente (WILHELM, 1997; DURAY et al., 2000).

A postergação das atividades de diferenciação na produção é comentada como uma eficiente estratégia para a customização em massa, por Lee e Tang (1997). Uma vez que o produto é desenvolvido sob uma plataforma modular, torna-se mais fácil realizar alterações

tecnológicas freqüentes, com custos mais reduzidos (MEYER; LEHNARD, 1997). O uso de diferentes módulos permite a idealização de um grande número de combinações, resultando em uma maior diversidade de produtos. Porém com acréscimo de custo, uma vez que o número de módulos para uma família de produtos aumentaria. A maximização do uso de módulos comuns reduz o número de combinações possíveis, porém permite redução nos custos, devido aos ganhos de escala. De acordo com Meyer (1997), a chave do sucesso na criação de uma família de produtos, é a geração de uma plataforma bem definida, através da qual as variações dos produtos serão criadas. A Figura 3 apresenta a correlação entre padronização, modularização e o custo envolvido.

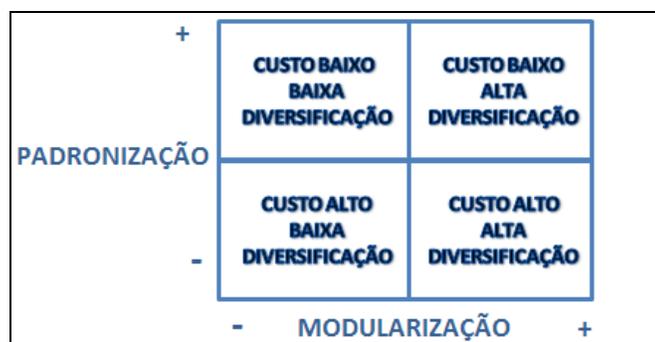


Figura 3. Impacto do custo frente a diferentes níveis de modularização e padronização
Fonte: Jose e Tollenare, 2005

Collier (1981) estabelece como índice para medir Arquitetura Modular em produtos, o grau de comunalização de peças, através da análise da estrutura de produto, em forma de *Bill-of-material* (BOM). Quanto mais peças comuns em diferentes produtos, maior a modularização entre estes. Também a criação de módulos intercambiáveis entre produtos, torna os índices de modularização mais elevados. Contudo, a modularização não deve ser visualizada somente sob o âmbito fabril, mas também sobre as atividades do desenvolvimento de fornecedores, engenharia de produto, marketing, entre outros. (MACCARTHY, 2003).

Entre os métodos utilizados para desenvolver a modularização, estão os baseados em matrizes seguindo a lógica do QFD, desdobramento da função qualidade, (ERIXON et al., 1996; ERIXON, 1998; SAND et al., 2002; NILSSON, 2010). Estes métodos têm por objetivo transformar requisitos do produto em módulos funcionais, utilizando como informação de entrada, os requisitos do cliente, e decompondo estes, através de três matrizes de decomposição e uma quarta matriz de análise.

Um método utilizado na área é o MFD (*Modular Function Deployment*), que por meio de uma primeira matriz QFD, os requisitos dos clientes são desdobrados em requisitos funcionais. Após esta etapa, os requisitos funcionais são desdobrados em soluções técnicas através de uma segunda etapa de cruzamentos, que ocorre na matriz chamada DPM (matriz de desenho das propriedades). Por fim, as soluções técnicas são transformadas em propostas de módulos, em uma terceira matriz, chamada de matriz MIM (matriz de identificação de módulos). A análise destes módulos é verificada em uma quarta matriz, chamada de matriz das interfaces, na qual são identificadas todas as interfaces existentes entre os módulos (ERIXON et al., YXKULL, 1996).

O método desenvolvido por Erixon et al. (1996) foi construído em 5 etapas: (i) definição dos requisitos do cliente, utilizando como ferramenta a matriz da qualidade demandada (QFD), (ii) seleção das soluções técnicas, através da matriz DPM, (iii) geração do módulos conceituais, utilizando a matriz MIM, (iv) determinação da interface entre módulos através da matriz de interfaces e (v) melhoria dos módulos. A Figura 4 exemplifica o fluxo descrito para a formulação dos módulos.

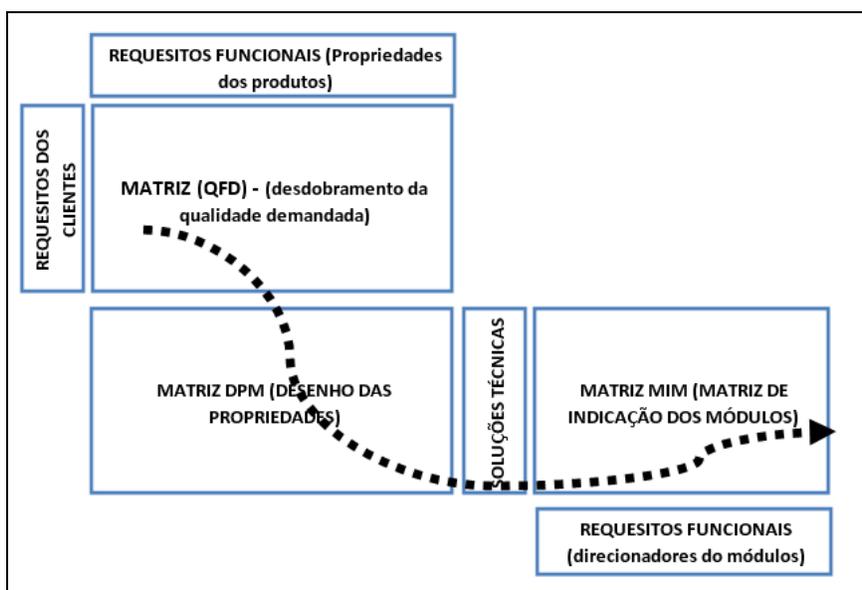


Figura 4. Estrutura de matrizes que orientam a formação de módulos (método MFD)

Fonte: adaptado de Erixon et al. (1996).

Normalmente, cada produto apresenta peculiaridades e necessidades diferentes, bem como pontos de interligação distintos com diferentes áreas da empresa, compartilhando recursos, gerando necessidades e soluções que se permeiam em diversas áreas. Para que estas

atividades distintas se comuniquem de forma eficiente, seguindo os passos pré-determinados do método de Arquitetura Modular escolhido, há necessidade de integração entre estas áreas, por meio de redes de informações. Alguns autores sugerem esta abordagem em suas obras (KOTHA, 1996a; DA SILVEIRA et al., 2001). A rede de informações deve claramente identificar e expor, desde a voz do cliente até a entrega do produto final, todas as informações necessárias para que o escopo determinado do produto seja entregue no final da cadeia produtiva. Para conclusão deste ciclo, existem práticas de Arquitetura Modular indicadas em literaturas (SALVADOR et al., 2002, JOSE; TOLLENARE, 2005), que buscam transformar as necessidades dos clientes, em produtos finais modulares, alinhados com a estratégia da empresa, sem perder foco nas premissas de customização, rentabilidade e eficiência fabril.

2.3 A importância da voz do cliente nos processos de customização

Meyer (1997) sugere primeiramente mapear todos os requisitos dos clientes dentro do segmento de mercado e identificar as oportunidades de entregas. Sob o mesmo foco, percebe-se na literatura que autores mencionam que o sucesso da customização em massa está relacionado à habilidade da empresa em transformar os desejos e necessidades dos clientes em produtos e serviços (KOTHA, 1996; PINE 1993; DA SILVEIRA et al., 2001). Esta premissa corrobora com a necessidade de reconhecer a importância da disseminação dos conhecimentos ao longo da cadeia de valor. O envolvimento do cliente nas etapas do desenvolvimento do produto é um princípio fundamental da customização em massa (DURAY et al., 2000; DA SILVEIRA et al., 2001). As informações desta etapa são as entradas da matriz de QFD da Figura 4.

Existem diversos níveis de envolvimento do cliente e esse é um assunto bastante discutido na literatura. Os autores tratam esses níveis de forma contínua, variando de um nível de customização pura para um de padronização pura, como nos trabalhos de Da Silveira et al. (2001), Gilmore e Pine (1997), Lampel e Mintzberg (1996). Quando se atinge um alto grau de customização, um preço extra pode ser praticado, porém, como salienta Pine (1993), à medida que a experiência nos processos aumenta, esse preço tende a ser cada vez menor. Sugere-se também mapear os requisitos de design e dos segmentos de mercado em variáveis controláveis definindo especificações e tolerâncias. Otto (2001) sugere um método para interpretar os requisitos de marketing e quantificar as funções dos produtos. Ele sugere três heurísticas, identificadas por Stone et al. (1998), para agrupar estas funções em um módulo

para gerenciar variedades. As heurísticas são divididas em três tipos: (i) Fluxo dominante – analisa o fluxo através da estrutura baseada em suas funções criando um fluxo para cada função e por conseguinte, um módulo; (ii) Fluxo de ramificações – analisa os fluxos que se ramificam ou convergem, de acordo com suas funções. Cada ramo pode tornar-se um módulo; (iii) Fluxo de conversão/transmissão - examina fluxos que são convertidos de um tipo para outro (conversão de energia ou material), em muitos casos a conversão/transmissão pode ser agrupada em um módulo.

Um método largamente utilizado, e desenvolvido por Akao (1994) é o QFD (*Quality Function Deployment*), para melhor compreensão e determinação de requisitos para o desenvolvimento de um produto.

Sob o ponto de vista da modularização, constata-se que se um elevado número de produtos, utilizar um item comum e este não for adequadamente especificado, uma falha deste, ampliará o impacto indesejável, proporcionalmente à grandeza da comunalização. Diante deste risco, programas Seis Sigma podem representar uma valiosa ferramenta de desenvolvimento e solução de problemas complexos, levando a um desenvolvimento mais robusto. Autores como Ulrich (1995) e Hart (1995), comentam que existe uma redução de riscos com a comunalização de peças, visualizando que desta forma existiria um menor número de peças para controlar. Porém os autores não avaliam que uma falha de projeto/definição de um componente, por este ser comum a vários produtos, pode causar uma epidemia de campo de proporções ampliadas. Por sua vez, o Seis Sigma, é um método voltado para redução dos problemas de qualidade dos produtos.

2.4 Programa Seis Sigma

Um programa Seis Sigma visa reduzir continuamente a variação nos processos, e desta maneira eliminar os defeitos ou falhas (LINDERMAN et al., 2003). Sua aplicação está vinculada ao uso de métodos estatísticos que buscam facilitar a interpretação das relações de causa e efeito que afetam diretamente processos críticos para o negócio.

Harry e Schroeder (2000) sinalizam que, desde o início da década de 1980, o Seis Sigma vem sendo apontado como um método eficaz no combate à variação de processos. O método Seis Sigma surgiu na Motorola como um programa de qualidade a partir de uma evolução dos estudos de Deming (HENDERSON; EVANS, 2000). Bertels e Patterson (2003) apontam a qualidade na seleção de projetos como principal fator diferencial entre os

programas Seis Sigma bem-sucedidos e os demais. Harry e Crawford (2004) visualizam o Seis Sigma como um método que agrega valor ao produto para o cliente. Frente à necessidade de redução dos custos, eliminação de desperdícios e redução da variabilidade nos processos, o pensamento e métodos estatísticos passaram a ser considerados como meios importantes para atingir estes objetivos, fazendo uso do alinhamento estratégico como catalisador.

O Seis Sigma é conhecido como um método voltado a maximização da lucratividade dos negócios de qualquer natureza (HAHN et al., 2000) e, no Brasil, o Seis Sigma iniciou sua história em 1997, quando o Grupo Brasmotor introduziu o programa em suas atividades e apurou em 1999 ganhos de R\$ 20 milhões (WERKEMA, 2002a). Desde então, o programa veio se consolidando como uma abordagem alinhada à implementação de estratégias que: (a) priorizem a melhoria contínua do nível de qualidade de produtos e/ou serviços; (b) incrementem a capacidade de inovação, mesmo diante da dificuldade de estabelecer vantagens competitivas; e (c) reduzam custos e desperdícios.

Considera-se também como um fator decisivo na implementação do Seis Sigma, a presença nas empresas de uma infra-estrutura organizacional adequada e que assegure a introdução, desenvolvimento e continuidade do programa. Tal estrutura dentro de uma corporação está baseada no treinamento de colaboradores para que estes se tornem especialistas no método, e através destes, ocorra a aplicação e disseminação do filosofia (BEHARA et al., 1995). Existem diferentes graduações de profissionais na área de Seis Sigma, de acordo com o grau de formação, hierarquicamente conhecidos como: *yellow belts*, *green belts*, *black belts* e *master black belts*. O empenho e determinação da empresa para incorporação do método Seis Sigma é de grande valia para o sucesso deste, pois além da formação de profissionais, toda a estrutura da empresa, deve reconhecer a sua importância. Sendo que, o reconhecimento da gerência é de suma importância para que o programa atinja um grau de maturidade suficiente, tornando-se parte da cultura desta. Uma vez incorporado as raízes, este tem o potencial de gerar grandes resultados, tais como os alcançados pela General Electric, que adotou o programa e conseguiu considerável crescimento na margem do lucro operacional, conquistando a posição de uma das corporações mais bem sucedidas dos Estados Unidos, registrando depois de três anos uma economia de mais de US\$ 1,5 bilhões (BAÑUELAS; ANTONY, 2002).

A condução e implantação das ações de um projeto devem ser suportadas por equipes multifuncionais, abrangendo vários níveis hierárquicos, contribuindo para o sucesso do

projeto. A coleta de dados coerente com as necessidades do projeto e a aplicação do raciocínio estatístico na avaliação dos resultados conduzem a uma melhor compreensão do problema e das relações entre as variáveis envolvidas.

Segundo Clausing (1993), seria possível identificar, também, valores ótimos para as especificações de produto e dos processos de fabricação principais. A otimização deveria ocorrer ao longo do processo de desenvolvimento, garantindo que o produto seja projetado de maneira ótima (com desempenho e processos de fabricação robustos). Assim, a otimização do processo é realizada junto com a otimização do produto: evitando problemas na fase de introdução do produto na fábrica. Este tema está sendo novamente abordado na literatura sob o rótulo do Seis Sigma. A base do método de Projeto Seis Sigma (*Design for Six Sigma – DFSS*) proposta por Creveling et al. (2003), um dos autores mais representativos no tema, é a integração da gestão de parâmetros críticos com as atividades do processo de desenvolvimento de produtos.

Pande et al. (2000), Bañuelas e Antony (2002), indicam a necessidade de se conhecer e saber aplicar o Seis Sigma a partir de método estruturado como o proposto pelo DMAIC (*Design, Measure, Analyze, Improve e Control*), e DFSS (CREVELING et. al, 2003) para um correto aproveitamento dos benefícios do método Seis Sigma. As primeiras três etapas do DMAIC têm o intuito de buscar a compreensão mais completa e profunda possível do problema apresentado. No DFSS a compreensão do problema se dá através da etapa definir do DMADV (definir, medir, analisar, desenhar e verificar). O programa Seis Sigma é estruturado a partir da seleção dos projetos passíveis de ganhos significativos, sejam eles de qualidade, produtividade, ou financeiros, entre outros. Uma vez definido o projeto, deve-se identificar um método de solução de problemas a aplicar, como por exemplo: DMAIC, DMADV ou DMEDI (com as etapas: definir, medir, explorar, desenvolver e implementar). Entre os mencionados anteriormente, talvez o mais popular seja o DMAIC (PANDE et al., 2000; BAÑUELAS, 2002; LYNCH et al., 2003; GUPTA, 2005). De acordo com Carvalho (2005), o método Seis Sigma, não leva em consideração apenas a utilização de ferramentas estatísticas para a solução de problemas, mas também a análise financeira considerando a viabilidade econômica do projeto.

3 MÉTODO DE TRABALHO

Segundo Diehl e Tatim (2004) quanto ao objetivo geral esta pesquisa é exploratória e tem com procedimento técnico o estudo de caso. Neste artigo estão sendo enfatizadas as etapas de levantamento de informações e construção de uma proposta de integração das atividades de arquitetura modular e seis sigma ao PDP, do estudo de caso que foi desenvolvido em uma empresa fabricante de eletrodomésticos.

Esta pesquisa visa propor a integração das atividades de arquitetura modular do método de Erixon et al. (1996) e atividades típicas de Arquitetura Modular e Seis Sigma, com enfoque no desenvolvimento de produtos de uma dada empresa. Não é escopo deste, ampliar esta pesquisa para métodos fabris de Arquitetura Modular ou mesmo a aplicação em rotinas de escritório, onde as atividades de Seis Sigma também são desenvolvidas. Generalizações da proposta desenvolvida dependerão das características das empresas que venham adotá-la.

A empresa foco do estudo trata-se de uma fabricante de produtos da linha branca, líder neste segmento, focada no desenvolvimento de seus próprios produtos, tendo como premissas básicas, a inovação e qualidade.

O método de trabalho neste artigo foi implementado a partir de quatro etapas: (i) levantamento de informações na literatura sobre arquitetura modular, métodos de desenvolvimento de arquitetura modular e Seis Sigma; (ii) levantamento de informações de fontes internas na empresa e observação dos processos e práticas; (iii) análise dos processos da empresa e elaboração de proposta de integração (iv) experimentação da proposta de integração entre Seis Sigma e Arquitetura Modular no PDP.

3.1 Levantamento de informações na literatura sobre arquitetura modular, métodos de desenvolvimento de arquitetura modular e Seis Sigma

Esta etapa foi desenvolvida buscando referências bibliográficas relativas à arquitetura modular e métodos de desenvolvimento existentes em bases de dados disponíveis, sendo as mais relevantes: Cambridge Journals Online, Oxford Journals, Science Direct, Springer Link, Scielo. Para a pesquisa relativa a Seis Sigma e suas aplicações, as bases de pesquisa basicamente foram as mesmas.

3.2 Levantamento de informações sobre Arquitetura Modular e Seis Sigma na empresa

Esta etapa foi baseada em levantamento de dados primários. Realizou-se um levantamento de informações sobre o Programa de Seis Sigma desenvolvido pela empresa e sobre as atividades de arquitetura modular utilizadas pela equipe de desenvolvimento de produtos, através de entrevistas não estruturadas e participação em treinamentos e atividades relevantes. O pesquisador registrou por escrito as informações obtidas por observação e através de questionamento aos componentes das equipes. As perguntas centrais da entrevista foram: (i) “Qual a sua relação com o método de Arquitetura Modular da empresa ? (ii) Qual a sua relação com as atividades de Seis Sigma da empresa? (iii) Referente ao desenvolvimento de produtos, você identifica a oportunidade de aplicar Arquitetura Modular e Seis Sigma no desenvolvimento de um novo produto? Por que?

3.3 Levantamento e compilação de informações de fontes secundárias

Também foram utilizadas fontes de dados secundárias provenientes de relatórios e documentos de treinamentos, workshops, mapas dos fluxos dos processos atuais e bancos de dados existentes na empresa. Este material interno é utilizado para treinamento e suporte às atividades de desenvolvimento de arquitetura modular e Seis Sigma. Tais informações são formatadas em planilhas, gráficos, matrizes (QFD) ou mesmo arquivadas em softwares administrativos, informações que foram filtradas e reagrupadas para a compreensão do conteúdo e resguardo de informações sigilosas.

3.4 Análise dos processos da empresa e elaboração da proposta de integração

A partir dos resultados obtidos nos levantamentos, o pesquisador realizou uma análise sobre a viabilidade do emprego simultâneo das atividades que levam à criação de uma arquitetura modular no produto e atividades típicas do Seis Sigma, com o intuito de compreender se realmente estes poderiam ser aplicados em conjunto e qual seria a ordem de execução. Através da análise do PDP da empresa e de Ulrich e Eppinger (2000), buscou-se identificar as etapas do processo que melhor se ajustariam à união das atividades de desenvolvimento de arquitetura modular e do Seis Sigma. As informações levantadas junto aos colaboradores de projeto, na fase anteriormente descrita, foram úteis ao pesquisador para o enquadramento seqüencial das atividades do desenvolvimento de arquitetura Modular do

método de Erixon et al. (1996) adaptado ao processo de PDP de Ulrich e Eppinger (2000). Por fim, o pesquisador sugeriu a incorporação das etapas de um projeto Seis Sigma de forma a complementar às atividades do método de Erixon et al. (1996), cumprindo com o objetivo de aplicação conjunta dos métodos. A proposta resultante da análise dos processos da empresa pelo pesquisador foi submetida à avaliação dos líderes de plataformas, gestores de projetos e especialistas na área de Arquitetura Modular e Seis Sigma. Os avaliadores verificaram o potencial de aplicação da proposta aos projetos de diferente natureza, e produtos distintos, aumentando assim o universo de análise.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos estão descritos a seguir, individualizados de acordo com as áreas de estudo deste artigo: (i) Arquitetura Modular; (ii) Seis Sigma e (iii) Proposta de Integração (iv) Análise do PDP atual da empresa.

4.1 Resultados de Arquitetura Modular

Inicialmente será apresentada a análise do método de Arquitetura Modular adotado pela empresa que é baseado no método de Erixon et al. (1996). Nesta fase inicial pode-se constatar que dois tipos de customização são aplicados, customização facultativa e customização da aparência, dependendo das características de produtos, seccionados devido a estratégia de posicionamento de mercado. Observa-se também que no contexto de gerenciamento de projeto desta empresa, a arquitetura modular pode ser aplicada durante determinadas etapas do desenvolvimento, evoluindo assim, paralelamente ao projeto do produto. Esta aplicação no decorrer do projeto beneficia-o uma vez que este evolui já sob uma lógica modular, evitando adaptações posteriores e, fundamentalmente, economizando recursos. Para tanto, sugere-se que a Arquitetura Modular seja aplicada durante as fases iniciais do projeto: planejamento, desenvolvimento dos conceitos e refinamento destes.

Segundo relatos de funcionários, a Arquitetura Modular aplicada já em uma fase avançada do projeto, pode tornar-se mais complexa, pois os parâmetros e design já estão definidos. Sob este ponto de vista, a empresa estudada, propõe uma ordem de execução de algumas ferramentas, definidas em seu próprio método de arquitetura modular, para auxiliar

no desenvolvimento de produtos, de forma a modularizá-lo com maior eficiência, considerando os requisitos impostos pelos clientes e as premissas determinadas pela empresa. O método é alicerçado sobre algumas premissas básicas da empresa, tais como: requisitos dos clientes, de segurança, reciclabilidade, inovação, eficiência operacional. Para tanto, o método foi desenvolvido considerando a realidade da empresa e, integrada em sua estrutura, as etapas iniciais de modularização de um produto, chamado de MFD (*Modular Function Deployment*).

De acordo com Erixon (1998), o MFD é um método e procedimento sistemático para o desenvolvimento de produtos modulares, constituído de cinco etapas principais: (i) compreender os requisitos dos clientes; (ii) identificar as soluções técnicas; (iii) definir as possíveis módulos; (iv) evoluir nos conceitos; (v) aprimorar cada módulo. O método da empresa orienta os usuários, a seguirem etapas seqüenciais, utilizando-se de ferramentas para conclusão destas. Ferramentas tais como: QFD, histogramas, dendogramas. O método tem por objetivo compreender as necessidades dos clientes, transformando-as em soluções técnicas que serão adotadas nos produtos.

Antes de aplicar o método proposto de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma, alguns conceitos devem estar claros para os integrantes da equipe, o termo “módulo” pode ser traduzido por um bloco construtivo funcional com interface especificada e padronizada, escolhida pela empresa por razões estratégicas; define-se por “Função do módulo” a definição de blocos de construção estratégica do produto; “interface” é a união entre blocos funcionais, definida pela comunicação entre eles, escolhida por razões estratégicas específicas da empresa; “Função da interface” consiste em comunicar a definir as fronteiras entre esses blocos de construção estratégica.

O MFD é a ferramenta adotada pela empresa, que objetiva unir informações relevantes, desde às necessidades do cliente até a definição final do produto modularizado, de acordo com a estratégia da empresa. O MFD permite identificar as necessidades dos clientes, ponderá-las e atribuí-las às funcionalidades do produto. Desta forma, priorizam-se as propriedades do produto, e paralelamente, facilita a determinação de módulos funcionais. Esta matriz cria o paralelo entre as cinco etapas principais, as quais a empresa aplica no método de Arquitetura Modular adaptado de Erixon et al. (1996).

Etapa 1: Identificar a voz do cliente - a proposta da empresa sugere que sejam aplicadas pesquisas específicas para compreender exatamente o que o cliente deseja, dentro de

um segmento de mercado e traduzir estes desejos em premissas do produto. A base para o sucesso de uma plataforma de produtos modulares está no entendimento das necessidades dos clientes.

Etapa 2: identificar as soluções técnicas – o método preconiza nesta etapa, a busca por soluções técnicas para cada requisito do cliente identificado na etapa anterior. Esta fase pode ser desenvolvida, através de dois procedimentos:

a) *top-down*: em casos de novos desenvolvimentos a companhia, estrategicamente, gerencia e desenvolve uma família de produtos baseada em uma plataforma de produtos e suas derivações;

b) *bottom-up*: em caso de modularização de produtos já existentes (*posterior approach*) a companhia redesenha e consolida um grupo de produtos distintos para padronizar componentes, gerando maior economia de escala.

Etapa 3: gerar conceitos - nesta fase, procura-se gerar conceitos que contenham as soluções técnicas estabelecidas na etapa anterior, gerando as primeiras propostas de módulos. A construção de protótipos é sugerida.

Etapa 4: evoluir nos conceitos – nesta etapa, almeja-se a evolução dos módulos, para estruturação final do produto.

Etapa 5: determinar e aprimorar cada módulo – nesta etapa final, o detalhamento final e documentação dos módulos em sistemas operacionais, conclui a atividade de Arquitetura Modular para o estudo em questão.

4.2 Resultados de Seis Sigma

Conforme já mencionado, também foram investigadas as atividades de Seis Sigma na empresa. O programa Seis Sigma da empresa é fundamentalmente baseado no método Seis Sigma implantado pela *Six sigma Associates*, empresa especializada nesta área, porém com algumas peculiaridades provenientes da evolução do mesmo na própria empresa, onde vem sendo aprimorado a mais de uma década. O programa de treinamento, criado pela empresa, iniciou suas atividades no Brasil, no ano de 1999. O programa, inicialmente foi assessorado pela empresa de consultoria *Six Sigma Associates*, formando na época seus primeiros funcionários *Black Belts*. Com o passar dos anos, a empresa desenvolveu sua própria equipe de *Master Black Belts*, e atualmente treina sua equipe de suporte ao programa, através de um

programa interno, tendo seus funcionários como instrutores. O programa criado pela empresa abrange as áreas de manufatura, tecnologia e base de fornecedores, utilizando-se da abordagem Seis Sigma para desenvolver melhores produtos e processos. Um aspecto importante para o sucesso do programa é o conjunto de resultados financeiros e sistemas de medição destes, visto que o apoio ao programa depende destes (MARTINS, 2005).

Analisando o processo de aplicação do programa Seis Sigma da empresa, visualiza-se que o mesmo utiliza uma estrutura de operacionalização diferenciada. As particularidades consistem na execução do ciclo do PDSA (*Plan, Do, Study, Act*), e principalmente na etapa *Study*, onde o intuito é compreender os fatores que influenciam o processo que está sendo avaliado, incentivando o investigador a buscar a causa raiz do problema a ser revolido. Em comum, ambas as vertentes estimulam o tratamento aprofundado da compreensão e definição dos *inputs* necessários para a satisfação do cliente final. Os métodos apresentam no seu desenvolvimento peculiaridades, onde a análise aprofundada da voz do cliente é ampliada nos três métodos, como premissa básica para o melhor desenvolvimento do projeto. A análise comparativa entre o programa da empresa, o método Seis Sigma tradicional e o DFSS de Creveling (2003) está representada na Figura 5.

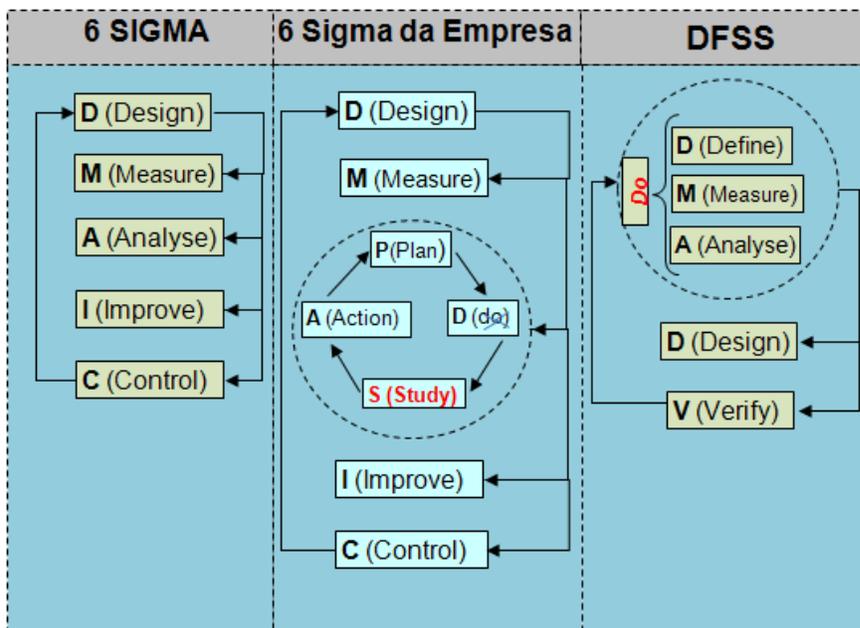


Figura 5. Comparação entre Seis Sigma, Programa de Seis Sigma da Empresa e DFSS
Fonte: próprio autor

O Desenvolvimento de projetos focado em melhoria da qualidade de produtos/processos existentes, não é uma aplicação exclusiva das atividades de Seis Sigma, pois o DFSS e o programa da empresa, apresentam estruturação para desenvolvimento destes. Porém percebe-se que o DFSS e o programa de Seis Sigma da empresa, apresentam maior amplitude em relação ao âmbito dos projetos, do que o programa de Seis Sigma convencional, englobando projetos de melhorias e também aplicação em novos projetos PDP.

De acordo com Creveling (2003), o DFSS não aborda exclusivamente ferramentas estatísticas para melhorar a capacidade do processo, mas sim aborda várias ferramentas, que agrupadas formam um método para o desenvolvimento de produtos aplicando as ferramentas conhecidas na metodologia 6 Sigma. Sob a visão de Creveling (2003), um programa efetivo de Seis Sigma, foca em ações que levem à economia de recursos, reduzindo problemas existentes, enquanto que o DFSS, foi desenhado para o projeto de produtos robustos, antecipando os problemas de qualidade e, conseqüentemente, oferecendo maior competitividade para a empresa que aplica o método. Ainda sob a visão de Creveling (2003), defeitos e tempo até falha não são as principais métricas do DFSS. O programa monitora continuamente, variáveis através de indicadores diretos de defeitos ou falhas, para medir e otimizar funções/atividades críticas que possam ser responsáveis por variações no processo ou produto.

Segundo o método Seis Sigma da empresa, o desenvolvimento de produtos também é fortemente enfatizado, através de ferramentas que ampliam a capacidade do processo/produto que se almeja aprimorar. Uma das ferramentas mais utilizadas para otimização é o DOE (*Design of Experiments*). Esta pode ser utilizada tanto em produtos existentes como em desenvolvimentos, contudo o ideal seria prevenir problemas, falhas, ao invés de tomar ações paliativas. Sob esta ótica, o programa de Seis Sigma, apresenta ferramentas, treinamentos e métodos robustos o suficiente para que, produtos possam nascer de acordo com a filosofia Seis Sigma e não serem corrigidos para tal. Porém na prática, observa-se que a maioria dos projetos atualmente gerenciados no programa Seis Sigma da empresa, são aplicados a produtos existentes, ou seja, buscando resolver problemas que já existem ao invés de tentar antecipá-los.

Outra característica importante de ser comentada, do método da empresa, é que o mesmo apresenta aos seus usuários, uma gama de ferramentas e como interpretá-las, incentivando assim o raciocínio crítico, o que é claramente visualizado na etapa PDSA, dentro

do ciclo de desenvolvimento do projeto de Seis Sigma, onde o estudo do problema é premissa básica para evolução do projeto.

4.3 Proposta de integração entre Seis Sigma e Arquitetura Modular no PDP.

Após a avaliação e determinação da seqüência de aplicação e interação dos métodos, a Figura 6 foi sugerida, para condensar as informações e análises, de forma gráfica, auxiliando na compreensão da proposta.

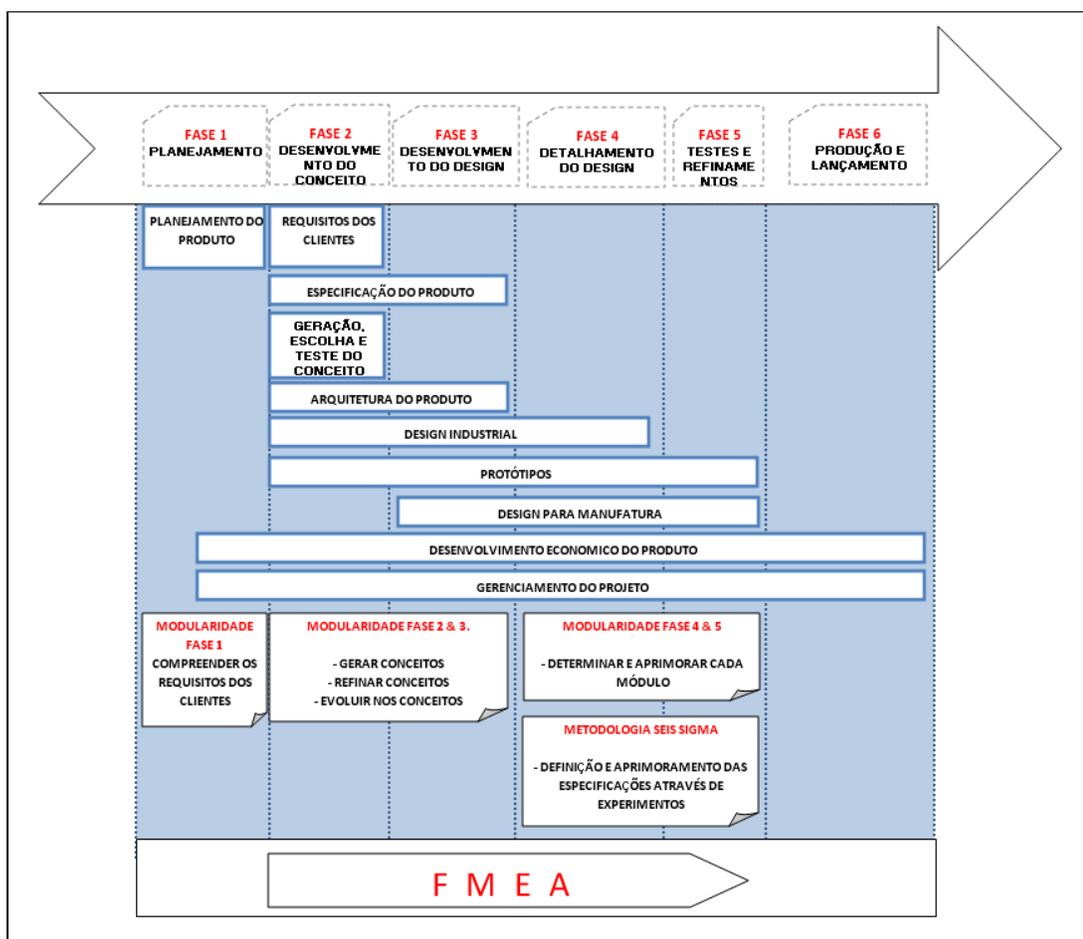


Figura 6. Proposta de integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma
Fonte: próprio autor.

De acordo com modelo proposto na Figura 6, as fases de desenvolvimento, seriam conduzidas conforme descrito a seguir:

Fase 1: (Planejamento): inicia-se com a pesquisa de mercado, buscando informações relevantes sobre os desejos do consumidor, que servirão de entrada para a matriz da Arquitetura Modular, definindo-se as premissas iniciais do projeto. Entre as principais entradas desta fase está a pesquisa de mercado para a identificação dos requisitos dos clientes. Estes requisitos servirão para o desdobramento em propriedades dos produtos por meio da matriz da qualidade na fase seguinte. Nesta primeira etapa, o FMEA ainda não é iniciado.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Pesquisa de mercado	Compreensão dos requisitos dos clientes	Listagem priorizada dos requisitos demandados pelos clientes

Quadro 1. Fluxo de informações da Fase 1 – Planejamento

Fase 2: (Desenvolvimento do Conceito): durante o desenvolvimento dos conceitos, entende-se que o método de Arquitetura Modular baseado no modelo de Erixon et al. (1996), por reunir informações provenientes da “voz do cliente” e traduzi-las em propriedades de produtos, torna-se peça fundamental para a tradução do “desejo” do consumidor em requisitos do produto, através de uma adaptação do método de Ishikawa. Nesta fase, sugere-se que o máximo de customização seja planejada, utilizando-se do conceito de *postponement* das etapas customizáveis no processo. Busca-se também comunalização de itens já existentes na companhia durante a elaboração dos conceitos. Pressupõe-se que nesta etapa, as informações ainda não são totalmente claras para a aplicação do Seis Sigma, uma vez que as informações coletadas a partir dos consumidores ainda não foram claramente expressadas em modelos conceituais passíveis de simulação ou experimentos. Existe sim, a possibilidade de aplicar algumas ferramentas do Seis Sigma, com o intuito de resolver problemas já existentes em produtos atuais, antecipando demandas do novo desenvolvimento, caso a equipe de projeto julgue necessário. Nesta primeira etapa, o FMEA pode ser iniciado, baseado em produtos existentes e nos FMEA’s de projetos anteriores. O quadro 2, resume o fluxo de informações.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Listagem priorizada dos requisitos demandados pelos clientes Histórico de FMEA’s realizados.	Desdobramento dos requisitos dos clientes em propriedades dos produtos Análise de FMEA’s e produtos existentes.	Propriedades dos produtos identificadas e ponderadas FMEA iniciado

Quadro 2. Fluxo de informações da Fase 2 – Desenvolvimento do Conceito

Fase 3: (Desenvolvimento do Design) – Nesta etapa, as propriedades dos produtos identificadas na etapa anterior, precisam ser desdobradas em soluções técnicas, devidamente pontuadas através de uma matriz chamada DPM (*Design Properties Matrix*). Para isto, o método da empresa sugere dois métodos: *top-down* ou *bottom-up*. Estes, decompõem os produtos atuais, em busca da identificação das soluções técnicas relacionadas às propriedades dos produtos. Caso não existam soluções simples, busca-se o auxílio de especialistas, *benchmarkings* e estudos dirigidos para conclusão desta atividade. Ambas proposições levam ao desmembramento da estrutura do produto, em busca dos componentes ou sistemas, que são responsáveis por gerar os benefícios para as demandas ou requisitos representados pelas propriedades dos produtos. Aconselha-se que neste momento, o FMEA iniciado na etapa anterior, seja discutido com a equipe de projeto e revisado, já baseado nos primeiros protótipos do produto que está sendo desenvolvido, em busca da antecipação dos principais riscos. Da mesma forma, como na fase anterior, o Seis Sigma pode ser usado para a solução de problemas históricos, caso a equipe julgue necessário, porém para o projeto em questão, os dados obtidos ainda não apresentam informações suficientes para a aplicação do método. O quadro 3, demonstra o fluxo de informações desta etapa.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Propriedades dos produtos identificadas e ponderadas FMEA iniciado	Desdobramento das propriedades dos produtos em soluções técnicas Revisão do FMEA com a equipe de projeto	Soluções técnicas identificadas e pontuadas Identificação dos principais riscos através do FMEA

Quadro 3. Fluxo de informações da fase 3 – Desenvolvimento do Design

Fase 4: (Detalhamento do design): nesta etapa, já com alguns conceitos definidos, protótipos funcionais em operação, pode-se iniciar a aplicação do método Seis Sigma, que visará criar os mapas de raciocínio, produto e processo, buscando o entendimento do projeto como um todo, podendo assim contabilizar, através da investigação, os principais fatores que influenciam nos sistemas (produto/processo). De posse dos mapas de conceito do produto e, das etapas iniciais de modularização (conceitual), pode-se iniciar a etapa de experimentação, onde o foco da metodologia de Seis Sigma da empresa é compreender as variáveis envolvidas, em busca de resultados mais precisos, econômicos, com redução de tempo e acréscimo de qualidade. Através dos experimentos de Seis Sigma, aplicam-se ferramentas investigativas como DOE (*Design of Experiments*), buscando uma análise mais criteriosa e seletiva, no intuito de atingir

resultados mais refinados, uma vez que as variáveis da equação: $y=f(x)$ já foram desvendadas. A seleção dos módulos para serem otimizados por meio do DOE acontece por meio da análise de modos e efeitos de falha (FMEA), executada durante o processo de desenvolvimento de produto. É importante aqui salientar que o Seis Sigma da empresa, indica o uso do método PDSA (planejar, executar, estudar, agir), como base para a evolução do raciocínio crítico em um projeto de experimentos, conduzindo o investigador a analisar ciclicamente os resultados até encontrar a solução almejada. Nesta etapa, após a identificação e pontuação das soluções técnicas, é constituída, chamada MIM (Matriz de Indicação de Módulos), cruzando as soluções técnicas com as premissas de desenvolvimento pré-determinadas pela empresa, chamadas *Module Drivers*.

Os resultados da matriz MIM são tratados através de uma ferramenta de agrupamento, a Análise de Cluster (HAIR et al., 2005), que gera um dendograma. A análise de cluster agrupa as soluções técnicas por de similaridade de componentes, através da pontuação gerada na matriz MIM. Utiliza-se o método hierárquico Ward na análise de Cluster para agrupar as soluções técnicas como um possível indicador de módulos. O método hierárquico Ward é empregado por se adequar a um conjunto de poucos dados. Maiores informações sobre a análise de cluster pode ser obtida em Hair et al. (2005). Os grupos de soluções técnicas ou clusters formados deverão ser analisados e validados posteriormente pela equipe de projeto e posteriormente pelo comitê técnico. É comum que, não ocorram convergências totalmente factíveis sob o ponto de vista de projeto na primeira tentativa de análise desta natureza, sendo necessário, retornar a etapa anterior e reavaliar pontuações indicadas, uma vez que estas são realizadas através da convergência da opinião de especialistas no assunto. Nesta etapa, também deverá estar concluído o plano de testes, oriundo do FMEA. Veja Quadro 4, exemplificando de forma resumida o fluxo de informações desta etapa.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Soluções técnicas identificadas e pontuadas Identificação dos principais riscos através do FMEA	Agrupamento das soluções técnicas da MIM em módulos, utilizando a análise de cluster Formação de Mapas para identificação da questão $y=f(x)$ Desenvolvimento do FMEA até etapa de identificação dos testes necessários.	Resultado do mapa de raciocínio $y=f(x)$ Propostas de módulos funcionais Plano de testes oriundo do FMEA

Quadro 4. Fluxo de informações da Fase 4 – Detalhamento do Design

Fase 5 (Testes e refinamentos): durante esta fase, sugere-se realizar os ajustes finais relativos ao processo investigativo do Seis Sigma, podendo utilizar DOE's de refinamento para esta etapa. Nesta fase, as interfaces dos módulos são identificadas e os módulos são revisados e documentados. Como ponto fundamental para aprovação do produto, nesta etapa o plano de testes gerado pelo FMEA deve estar concluído, mitigando assim os riscos identificados. O Quadro 5 expressa o fluxo de informação desta fase.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Resultado do mapa de raciocínio $y=f(x)$ Propostas de módulos funcionais Plano de testes oriundo do FMEA	Aplicação da metodologia Seis Sigma, com realização de experimentos para validação dos conceitos Desdobramento da matriz de identificação das interfaces Execução do plano de testes do FMEA	Definição dos parâmetros críticos e de seus níveis Definição das interfaces e documentação dos módulos Plano de testes do FMEA concluído

Quadro 5. Fluxo de informações da fase 5 – Testes e refinamentos

Fase 6: (Produção e Lançamento): nesta etapa final do projeto, onde se iniciam as atividades fabris, como linha piloto e fase inicial de produção, sugere-se que as aplicações de Arquitetura Modular e Seis Sigma estejam concluídas, restando apenas, a mensuração dos ganhos e tabulação de algum resultado e também aquisição de dados para futuras pesquisas/desenvolvimentos. O Quadro 6 indica o fluxo da etapa corrente.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Definição dos parâmetros críticos e de seus níveis Definição das interfaces e documentação dos módulos Plano de testes do FMEA concluído	Mensurar e avaliar os ganhos obtidos com o projeto.	Fechamento do projeto, indicação dos resultados.

Quadro 6. Fluxo de informações da fase 6 – Produção e lançamentos

4.4 Análise do PDP atual da empresa

Na empresa estudada, a Arquitetura Modular e o Seis Sigma são aplicados, existindo métricas independentes para ambos, porém não necessariamente é exigida a aplicação destes métodos

durante o desenvolvimento de um projeto. Observa-se que esta falta de união dos métodos e de indicadores correlacionados, causa lacunas no processo de desenvolvimento, uma vez que são executados e analisados de forma independente.

Contudo, é importante salientar que nem todas as oportunidades de produto identificadas são passíveis de aplicação do programa Seis Sigma, uma vez que os recursos são priorizados de acordo com a análise detalhada do FMEA realizada desde o início do projeto. Os FMEA's são aplicados a peças, sub-sistemas, sistemas e produto, de acordo com a evolução do projeto e, através de sua análise, é que se definem as atividades críticas e a ordem de priorização destas. O FMEA, como sugerido pela metodologia da empresa, deve ser a ferramenta de entrada para qualquer desenvolvimento, pois este aplica inicialmente mapas do produto, buscando relacionar da mesma forma como projetos de Seis Sigma (método da empresa), todas as entregas e possíveis modos de falha de um dado produto. Estes possíveis modos de falha serão transcritos para um formulário de FMEA, onde serão pontuados de acordo com seus níveis de severidade, prevenção e detecção. Esta ferramenta, portanto, auxilia na prevenção de falhas futuras, bem como fomenta o raciocínio crítico na busca de soluções de problemas ainda não conhecidos. Paralelo a evolução do projeto, o FMEA também evolui, gerando listas de ações que serão desenvolvidas durante o projeto do projeto. Os históricos de outros FMEA's de projetos similares podem ser usados, como fonte de pesquisa para auxílio em novos projetos. O FMEA, considerado um documento "vivo" pela empresa, deve ser revisitado e ajustado constantemente, durante o desenvolvimento do projeto, indicando fechamento de ações pendentes, bem como indicação de novas necessidades e riscos identificados durante o desenvolvimento. Na Figura 7, sugere-se a integração da Arquitetura Modular e Seis Sigma, baseado na Figura 6, sugerindo-se as etapas específicas de cada uma destas de acordo com o desenvolvimento do PDP e, utilizando o FMEA como ferramenta auxiliar na priorização de atividades críticas, relacionadas com possíveis modos de falha, potencializando assim as atividades de Seis Sigma. Para que ocorra um controle da evolução do projeto, garantindo alinhamento com o escopo inicial, reuniões de aprovação são necessárias, validando a conclusão de cada etapa do desenvolvimento e, por conseguinte, as etapas de Arquitetura Modular, Seis Sigma e FMEA. A união da modularização e Seis Sigma foi sugerida considerando as entregas exigidas pela empresa em cada etapa macro do processo de PDP, visualizando-se assim a oportunidade de aplicação destes para potencializar as entregas. Ao analisar Arquitetura Modular e Seis Sigma aplicada na empresa, constatou-se que a Arquitetura Modular, por considerar a voz do cliente e

transformá-la em entregas do produto, deve ser iniciada antes do Seis Sigma, que por sua vez busca garantir uma qualidade elevada em um produto/processo, já determinado, ou em fase de desenvolvimento.

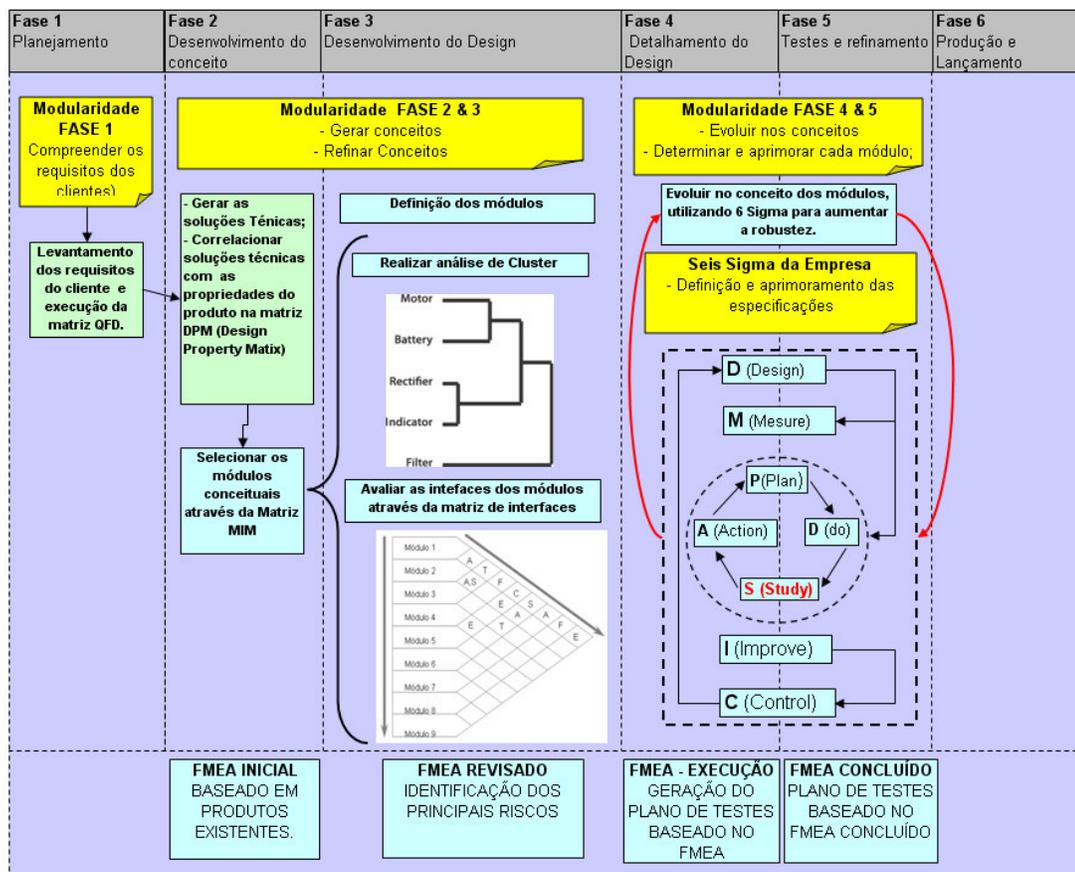


Figura 7. Proposta de integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma com detalhes
Fonte: próprio autor

Ao analisar Arquitetura Modular e Seis Sigma aplicada na empresa, constatou-se que a Arquitetura Modular, por considerar a voz do cliente e transformá-la em entregas do produto, deve ser iniciada antes das atividades de Seis Sigma, que por sua vez busca garantir uma qualidade elevada em um produto/processo, já determinado, ou em fase de desenvolvimento. Avaliando as etapas de Arquitetura Modular, percebe-se que ela é estruturada de forma semelhante a um processo ao PDP, buscando compreender a voz do cliente (*input* inicial) e, transformando este anseio em requisitos para o projeto de produto modularizado. Portanto, considera-se coerente o coincidir a conclusão das fases do método modular adaptado Erixon et al. (1996), com as fases de desenvolvimento no PDP. Como o objetivo do Seis Sigma é

garantir uma qualidade superior ao produto, a sua implantação fica restrita às fases 4 e 5 (Figura 7), nas quais o produto já possui um design preliminar, e aperfeiçoamentos ainda são necessários para atingir as premissas do escopo do projeto.

Ainda que, a seqüência proposta na Figura 7 seja seguida, visualiza-se a necessidade de indicadores que fortaleçam as entregas do método proposto, gerando maior credibilidade por parte dos gestores. Para tanto, sugere-se que os indicadores sejam expressos conforme Figura 8. Estes, ainda não existem na empresa desta forma, existem apenas indicadores distintos: (i) de controle de peças e módulos, para Arquitetura Modular (ii) indicadores financeiros para o projeto de um produto (iii) indicadores financeiros para Seis Sigma (iv) indicadores de qualidade para produtos (v) e *target* de qualidade para novos produtos.

Situação Atual			Sistema Proposto			RESULTADOS			
Modularidade		6 σ	Modularidade		6 σ	% Redução		Ganhos Diretos	
Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Nº Peças	% Falhas	Modularidade	6 σ
120	6	1,8	112	6	1,4	114	1,3	\$ 1,80	\$ 2,3

Falhas Históricas do Produto relacionadas aos módulos vigentes.

Aplicação de 6 sigma, visando redução de falhas.

Indica os resultados financeiros gerados através modularização (redução de custos em peças/processos), e através do 6 sigma (redução de falhas geradas).

Figura 8. Proposta de indicadores para mensurar resultados de modularização e Seis Sigma.

Fonte: próprio autor

A Figura 8 sugere uma maneira de formalizar os indicadores, relacionando os dados históricos de desempenho aos resultados obtidos de Arquitetura Modular e Seis Sigma, podendo assim, expressar os ganhos obtidos com o método proposto. Estes indicadores foram escolhidos, por apresentarem correlação direta com as demais métricas da companhia, pois a empresa costuma medir seus resultados referentes a projetos, relacionados a: (i) resultado financeiro em valores monetários, para análise do *pay back* dos projetos (ii) melhorias de qualidade (redução de falhas) em termos percentuais (iii) controle de número de peças, usando como base para avaliação de redução no projetos, os produtos atuais. É importante comentar que existem outros indicadores que a empresa acompanha durante um projeto, porém os indicadores possuem relevância relativa à Figura 8.

Da forma proposta, os indicadores permitem que os avaliadores verifiquem a eficiência da integração das atividades modularidade e Seis Sigma, visualizando os resultados

financeiros, de melhoria de qualidade e redução de peças, em um só agrupamento de indicadores, que é gerado através da aplicação conjunta de Arquitetura Modular e Seis Sigma, possibilitando assim acompanhar o desenvolvimento das métricas durante o projeto, permitindo validar a eficiência do método proposto de integração de Seis Sigma e Arquitetura Modular Erixon et al. (1996), no PDP apresentado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo realizado, observam-se aspectos relevantes no que tange à aplicação conjunta de Seis Sigma e Arquitetura Modular adaptado de Erixon et al. (1996), com o suporte do FMEA, tais como a necessidade de treinamento dos funcionários, disseminação do conhecimento e ênfase à importância da essência de cada uma destas, à alta gerência corporativa. O apoio dos gestores na aplicação é fundamental, assim como a avaliação dos resultados e disponibilização de recursos.

Da mesma forma, a cadeia de suprimentos precisa se preparar para as demandas geradas através da modularização, uma vez que fornecedores tendem a centralizar seus volumes em um número menor de componentes. A correta definição dos níveis de qualidade aceitáveis, gerados após o ciclo de aplicação das atividades de Seis Sigma, deverá impactar nas definições de inspeção durante toda a cadeia envolvida, logística e produtiva. Consta-se que, na forma atual, as informações geradas através da aplicação dos métodos, raramente se cruzam, perdendo assim, a capacidade de potencialização, caso estivessem unidas, em um único processo com controles/indicadores definidos. Sob esta ótica, muitas vezes uma ação identificada como oportuna, isoladamente não é considerada viável, porém quando agrupada com outras, tais como módulos justificáveis por uma melhoria significativa de qualidade, produtividade, ganhos de escala, torna-se mais atraente aos olhos da gerência. Contudo, os módulos criados entre as etapas de Desenvolvimento do Design e Testes e refinamentos, devem ser minuciosamente estudados e aprovados pelas áreas impactadas, pois muitas opções aparentemente viáveis contradizem com a realidade dos processos existentes. Portanto, é importante a participação de áreas fabris no desenvolvimento do projeto, principalmente com o objetivo de validar decisões de projeto, e levantamento de barreiras na construção e aplicação dos módulos. De relevância para o estudo, percebeu-se a dificuldade em executar as atividades que envolveram a participação da equipe industrial no projeto, devido à barreira

geográfica existente, uma vez que o centro de desenvolvimento não é sediado na mesma localidade da operação fabril. Visto esta barreira, indica-se a oportunidade de realizar estudos futuros, que investiguem as dificuldades e proponham soluções para facilitar a operacionalização de trabalhos conjuntos de PDP, incluindo os setores de engenharia de produto e industrial, mesmo à distância como constatado neste caso.

Sob um âmbito global, compreende-se que o processo de desenvolvimento de produtos atual da empresa poderia aglutinar as duas correntes de atividades, Arquitetura Modular e Seis Sigma, com o uso de indicadores comuns que garantiriam maior robustez ao processo, possibilitando a avaliação dos resultados gerados através do trabalho conjunto. Da forma proposta, a simplificação dos indicadores, bem como a visualização das atividades de forma resumida, auxilia na internalização dos conceitos pela equipe envolvida, bem como facilita o acesso e compreensão de todos. A proposta sugerida é passível de aplicação em qualquer projeto de desenvolvimento de produto gerenciado pela empresa (exceto produtos importados).

Sob a perspectiva acadêmica, a proposta apresenta uma integração das atividades de Arquitetura Modular e Seis Sigma, em uma empresa com sólidas bases de desenvolvimento de produtos, gerando um exemplo prático ainda não explorado da mesma forma em por outras publicações, constatando-se amplas fronteiras que ainda podem ser exploradas. Por fim, como sugestão para estudos futuros, indica-se o detalhamento de cada etapa das atividades envolvidas, inserindo-os no PDP da empresa, de forma visual. Outra possibilidade é a aplicação da proposta em um projeto da indústria, culminando na análise e validação da proposta.

6 REFERÊNCIAS

AKAO, S. M. Y.. *The Customer-Driven Approach to Quality Planning and Deployment*. Asian Productivity Organization, 1994.

ALFORD, D.; SACKETT, P.; NELDER, G. Mass customization: an automotive perspective. *International Journal of Production Economics*, v. 65, p. 99-110, 2000.

AMARO, G.; HENDRY, L.; KINGSMAN, B. Competitive advantage, customization and a new taxonomy for non make-to-stock companies. *International Journal of Operations and Production Management*, v.19, n.4, p.349-371, 1999.

ARNHEITER, E.; MALEYEFF, J., The integration of lean management and Six Sigma. *Total Quality Management*, Vol. 17, No.1, 5-18, 2005.

BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Managing in the age of modularity. *Harvard Business Review*, September– October, p.84–93, 1997.

- BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. *The TQM Magazine*, v. 14, n. 2, p. 92-99, 2002
- BAXTER, M. *Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos*. São Paulo, Edgard Blücher, 2000.
- BEHARA, R. S.; FONTENOT, G. F.; GRESHAM, A. Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 12, n. 3, p. 9-18, 1995.
- BERTELS, T.; PATTERSON, G. Selecting Six Sigma projects that matter. *Six Sigma Forum Magazine*, v.1, p. 13-17, Nov. 2003.
- BORJESSON, FREDRIK. A Systematic Qualitative Comparison of Five Approaches to Modularity. International Design Conference – Design 2010. Dubrovnik - Croatia, May. 2010.
- BURNS, N.D. Implications of postponement for the supply chain. *International Journal of Production Research*, v.41, n.9, p.2075-2790, 2003.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. *Gestão da qualidade: teoria e casos*. Rio de Janeiro: Campus, 2005. 304 p.
- CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.
- CLAUSING, D. *Total quality development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering*. New York, Asme Press, 1993.
- CREVELING, C.M., SLUTSKY, J.L. & ANTIS, D JR. *Design for Six Sigma*. New Jersey, Prentice Hall Books, 2003.
- COLLIER, DA. The measurement and operating benefits of component part commonality. *Decision Science*. V.2, n.1, p.85–96, 1981.
- COOPER, R.G.; KLEINSCHMIDT, E.J. Winning business in product development: the critical success factors. *Research-technology management*, v.39, n.4, p.18-29, July, 1996.
- DA SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass customization: literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, v.72, n. 1, 30 June, p.1-13, 2001.
- DIEHL, A. A.; TATIM, D. C. *Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas*. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.
- DURAY, R.; WARD, P. T.; MILLIGAN, G. W.; BERRY, W. L. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. *Journal of Operations Management*, v. 18, p. 605-625, 2000.
- ERIXON, G.; YXKULL, A.V. ARNSTRÖM, A. Modularity – the basis for product and factory reengineering. *Proceeding of CIRP Manufacturing Technology*, v.45, n.1, p.1-16, 1996.
- ERIXON, G. Modular Function Deployment - A Method for Product Modularization. Dept. of Manufacturing Systems, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1998.
- GÖPFERT, J. *Modulare Produktentwicklung - Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation*; Gabler Verlag/Deutscher Universitätsverlag; Wiesbaden, 1998
- GUPTA, P. Innovation: the key to a successful project. *Six Sigma Forum Magazine*, v. 4, n. 4. p. 13-17, 2005.

- HAHN, G. J. DOGONAKSOY, N.; HOERL, R. The evolution of six sigma. *Quality Engineering*, v. 2, n. 3, p. 317-326, 2000.
- HAHN, G. J. Deming and the proactive statistician. *The American Statistician*, vol. 56, n. 4, 290-298, Nov. 2002.
- HARRY, M. & SCHROEDER, R. *Six Sigma: a breakthrough strategy for profitability*. Nova York: Quality Progress, 2000.
- HARRY M.; CRAWFORD J.D. Six sigma for the little guy. *Mechanical Engineering*, v.126 n. 11, p. 8-10, 2004.
- HART, C.W.L. - Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. *International Journal of Service Industry Management*, Vol. 06, n.02, p.36-45, 1995.
- HENDERSON, K.; EVANS, J. Successful implementation of six sigma: benchmarking General Electric Company. *Benchmarking and International Journal*, vol.7, n.4, p.260-281, 2000.
- HUANG, C.-C.; KUSIAK, A. Modularity in design of products and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Part-A: Systems and Humans, 28(1), 66-77, 1998.
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Carta de Conjuntura – Setembro 2009*. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 25 Out 2010.
- JOSE, A.; TOLLENARE, M. (2005); “Modular and platform methods for product family design: literature analysis”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16, p.371-390, 2005.
- KOTHA, S. Mass customization, Implementing the Emerging Paradigm for Competitive Advantage, *Strategic Management Journal*, Vol. 16, Special Issue: Technological Transformation and New Competitive Landscape. (1995), pp. 21-42.
- KOTHA, S.. From mass production to mass customization: the case of the National Industry Bicycle Company of Japan. *European Management Journal*, v.14, n.5, p. 442-450, 1996.
- LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. Customizing Customization, *Sloan Management Review*, Cambridge, v. 38, n. 1, p. 21-30, Fall 1996.
- LEE, H. L. & TANG, C. S. Modeling the costs and benefits of delayed product differentiation. *Management Science*, v.43, n.1, p.40-53, 1997.
- LINDERMAN, K. Six Sigma: a goal-theoretic perspective, *Journal of Operations Management*, v. 3, n. 21, p. 193-203, 2003.
- LYNCH D. P.; BERTOLINE, S.; CLOUTIER, E. How to scope DMAIC projects. *Quality Progress*, v. 36, n. 1, p. 37-41, 2003.
- MARTINS, R. A.; MIRANDA, R. A. M. Factors Affecting the Support of Performance Measurement to Continuous Improvement Activities, *Proceedings. 6th Cinet Conference*, Brighton, CENTRIM/CINet, 2005.
- MARTIN, MARK V., ISHII, KOSUKE. Design for variety: development of complexity indices and design charts, *Department of Mechanical Engineering*, Stanford University, 1997.
- MACCARTHY, B.; BRABAZON, P. G.; BRAMHAM, J. Fundamental modes of operation for mass customization. *International Journal of Production Economics*, v. 85, p. 289-304, 2003.

- MEYER, M. H.; LEHNERD, A. P. *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*. Free Press, New York, NY, 1997.
- MUFFATTO, M. "Introducing a Platform Strategy in Product Development," *International Journal of Production Economics*, 60-61(pp. 145-153), 1999.
- NILSSON, P. *Conceptual product development in small corporations*. PhD Thesis, KTH, Stocholm, 2010.
- OTTO, K.; WOOD, K. *Product design*, New Jersey: Prentice-Hall Inc, 2001.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. *The six sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance*. New York: McGraw-Hill, 2000.
- PINE, B. J. *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, 1993.
- PINE, B J.; GILMORE J. H. How to Profit from Experience, *The Wall. Street Journal*, 4 August 1997.
- PORTER, M. E. *Vantagem Competitiva*. Ed. Campus, Rio Janeiro, 1989.
- PUGH, S. *Engineering Design: Teaching Ten Years On*, in *Creating Innovative Product Using Total Design*, 1978. Editor: Addison-Wesley, 1996.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering Design, a Systematic Approach*. Springer, 3rd edition, 2006.
- ROZENFELD, H., F A FORCELLINI, D C AMARAL, J C TOLEDO, S L SILVA, DH ALLIPRANDINI, R K SCALICE *Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo, Saraiva, 2006.
- SAND, J.C.; GU, P.; WATSON, G. Home: House of modular enhancement – a tool for modular product redesign. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, v.10, n.2, p.153-164, 2002.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P. *Cadeia de suprimentos: Projeto e Gestão*. Porto Alegre, Editora Bookman (2007).
- SIMPSON, T. W.; MARION. T.. Platform-based design and development in industry. ASME 2006, International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, *Proceedings*. Sep. 10-13, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2006.
- SALVADOR, F. F.; C, RUNGTUSANATHAM, M. Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions. Arizona State University, Department of Management. *Journal of Operations management* 549–575, 2002.
- STONE, R., *Towards a Theory of Modular Design*, Doctoral Thesis. The University of Texas at Austin, 1998.
- TSENG, M. M.; JIAO, J. Design for Mass Customization. *CIRP Annals...*, Vol. 45, n 1, pp. 153-156, 1996.
- ULRICH, K.; TUNG, K. Fundamentals of Product Variety, Issues in Design Manufacturing/Integration, *Proceedings...* DE-Vol. 39, ASME, pp.73-77, 1991.
- ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. *Product Design and Development*. U.S.A.: Mc Graw-Hill, Inc., 1995.

- ULRICH, S.; EPPINGER, D. *Product specifications teaching materials to accompany: Product Design and Development*. 2nd Edition, Irwin McGraw-Hill, 2000.
- VAN HOEK, R. I. The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. *Journal of Operations Management*, v. 19, p.161-184, 2001.
- YANG, B.; BURNS, N.D.; BACKHOUSE, C.J. Postponement: a review and an integrated framework. *International Journal of Operations & Production Management*, v.24, n.5, p.468-487, 2004.
- YOUNG, H.; KWAKA, F.; ANBARIB, T. *Benefits, obstacles, and future of six sigma approach*. The George Washington University, 2004.
- WERKEMA, M.C.C. *Criando a Cultura Seis Sigma*. Ed. Qualitymark, v. 1, Rio de Janeiro 2002.
- WHEELWRIGHT, S.C.; CLARK, K.B. *Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality*. New York: The Free Press - 364p., 1992.
- WILHELM, B. *Platform and Modular Concepts at Volkswagen – Their Effects on the Assembly Process*, in *Transforming Automobile Assembly* (K. Shimokawa, U. Jürgens and T. Fujimoto, Eds.) Springer – Verlag, Berlin Heidelberg, 1997.

3 ARTIGO 2

APLICAÇÃO DE PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE ARQUITETURA MODULAR E SEIS SIGMA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ELETRODOMÉSTICOS: UM ESTUDO DE CASO

Moisés Habigzang
E-mail: moises_noia@yahoo.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar, Porto Alegre/ RS, 90035-190, Brasil.

Resumo

O cenário global de desenvolvimento de produtos (DP) é constituído de inúmeros desafios, premissas complexas e vem sendo aprimorado para atender critérios de eficiência, baixo custo e agilidade dos consumidores. Os programas de gerenciamento do projeto de DP têm sido estruturados de tal forma a incluir ferramentas e práticas robustos e eficientes, tais como Arquitetura Modular e Seis Sigma, visando atingir os critérios mencionados. Neste trabalho o objetivo é aplicar uma proposta de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma no processo de desenvolvimento de produtos, com o intuito de ajustar os procedimentos da proposta à realidade do ambiente de projeto. Foi realizado um estudo de caso em empresa que fabrica eletrodomésticos durante o desenvolvimento de um equipamento de ar condicionado. Indicadores foram usados para avaliar a aplicabilidade proposta e validade dos resultados obtidos. A partir dos resultados, a proposta de integração original sofreu modificações. Dentre os resultados diretos da implementação incluem a integração das atividades e equipes, e conseqüentes vantagens da integração multifuncional e, dentre as melhorias observadas na proposta, podem ser destacadas a reformulação dos indicadores e reposicionamento de

algumas atividades de Arquitetura Modular ao sistema proposto. Por fim, foram indicadas oportunidades de estudos futuros.

Palavras-Chave: processo de desenvolvimento de produtos (PDP); Arquitetura Modular, Seis Sigma, Indústria de eletrodomésticos

Abstract

The Product Development Process (PDP) with global purposes is impacted by numerous challenges, complex premises and has been organized to meet the criteria of customers like efficiency, low cost and flexibility. The PDP in organizations have been structured in such a way to include tools, robust and efficient practices, such as modularity and Six Sigma, to achieve the above mentioned criteria. In this paper the objective is to test a proposal of integration between modularity and Six Sigma in PDP, in order to refine the proposal procedures. A case study was performed in an eletrodomestics company, during the development of an air conditioning equipment. Indicators were used to assess the applicability and validity of results. From the results, the original proposal of integration was changed. Among the direct results of the implementation are included the integration of activities and multidisciplinary teams, and the resulting benefits of functional integration. Among the improvements in the proposal it can be highlighted the relocation of some activities of the proposed modularity system. Finally, opportunities for future studies were indicated.

Keywords: product development process (PDP), modularity, Six Sigma, eletrodomestic industry

1 INTRODUÇÃO

Profissionais de grandes empresas, de porte internacional, interagem para desenvolver produtos de acordo com critérios específicos impostos pelos mercados local, regional e global e, também, pelo ramo de atuação. Frequentemente, os critérios agilidade, qualidade e competências nas entregas surgem na voz do cliente e atuam como norteadores do

processo de desenvolvimento de produtos. Métodos de desenvolvimento são necessárias para fomentar a incorporação de todos estes objetivos, em suas entregas/produtos. Empresas de renome mundial, como: General Electric, Boeing, DuPont, Toshiba, Seagate, Allied Signal, Kodak, Honeywell, Texas Instruments, Sony, têm utilizado programas Seis Sigma para aprimorar a qualidade em seus produtos (YOUNG et al., 2004).

O Seis Sigma teve origem na Motorola, inicialmente como um programa de qualidade, a partir de uma evolução dos estudos de Deming (HENDERSON; EVANS, 2000) e como qualquer programa deve ter o reconhecimento da gerência para que atinja um grau de maturidade suficiente, tornando-se parte da cultura da empresa. Talvez um dos maiores exemplos para esta afirmação, seja a trajetória de sucesso do programa Seis Sigma, na empresa General Electric (GE), durante a gestão do CEO Jack Welch, (HENDERSON; EVANS, 2000). Uma vez incorporado às raízes da empresa, o Seis Sigma tem o potencial de gerar grandes resultados, tais como os alcançados pela GE, que adotou o programa e conseguiu considerável crescimento na margem do lucro operacional, conquistando a posição de uma das corporações mais bem sucedidas dos Estados Unidos. Após três anos de programa a empresa registrou uma economia de mais de US\$ 1,5 bilhões (BAÑUELAS; ANTONY, 2002).

Entretanto, a qualidade não vem sendo observada na perspectiva de CEO's de grandes empresas puramente visando redução de custos ou por causa de uma filosofia de conduta, mas também por que a competitividade entre as empresas gerou esta necessidade, já que os clientes esperam este benefício nos produtos que adquirem. Desta forma, as empresas primam pela manutenção da imagem de suas marcas, aprimorando seus processos em busca de entregas mais robustas, garantindo maior satisfação e fidelidade de seus clientes. De acordo com Johnson & Swisher (2003), a aplicação do Seis Sigma em P&D tem por objetivo: reduzir custos, aumentar a velocidade do desenvolvimento e aprimorar os processos de pesquisa e desenvolvimento. Pode-se observar, no entanto, que a aplicação isolada do Seis Sigma pode não garantir o sucesso na entrega de um novo produto, uma vez que a incorporação dos anseios dos clientes no conceito do produto é de suma importância para o desenvolvimento do projeto de um produto vencedor.

Para captar os anseios dos usuários, Meyer e Lehnard (1997) sugerem que sejam mapeados todos os requisitos dos clientes dentro do segmento de mercado e que sejam identificadas as oportunidades de entregas, desde as fases iniciais do projeto do produto. Este

procedimento é norteador das demais fases de projeto, as quais exigem uma clara definição e assertivo desenvolvimento, para que entregas decorrentes das fases resultem, em sua totalidade, no escopo inicialmente determinado pelo cliente. Os marcos de aprovação das etapas têm por objetivo imprimir maior qualidade ao processo, reduzir riscos, além de auxiliar a manter o foco do projeto nos requisitos identificados durante as fases iniciais (ROZENFELD et al. 2006).

Com a constante evolução de métodos referenciais de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), além do Seis Sigma, outras práticas se destacam pelo efetivo potencial em auxiliar os gestores do PDP, na busca de mais assertividade relativa ao escopo de um projeto. Um assunto estudado por diversos autores é a modularização em produtos, pois esta busca a redução de componentes e melhor aproveitamento dos processos (ULRICH; TUNG, 1991; SIMPSON, 2006; BALDWIN; CLARK, 1997; GÖPFERT, 1998; SALVADOR et al., 2002).

A modularização pode auxiliar na implantação de programas de customização em massa (CM), que têm por objetivo entregar produtos que possam ser configurados rapidamente e a baixos custos, a partir de ajustes ou combinações de componentes padronizados. Desta forma, é possível obter economias de escala e escopo, fundamentais para o objetivo da estratégia de customização em massa (PINE, 1993; KOTHA, 1995; HART, 1995).

A aplicação da modularização em projeto de produtos é justificada por vários motivos, entre eles, redução de custo com a comunalização de itens, favorecimento nas negociações com fornecedores, redução de custos em estoques, melhor controle e inspeção de recebimento, redução do tempo de desenvolvimento de novos projetos. Este último tem grande valia para as empresas que buscam posições inovadoras no mercado, uma vez a agilidade e produtos com características inovadoras são premissas para despontamento no quesito inovação

Algumas técnicas da modularização, como o *postponement*, ou seja, a postergação das atividades de diferenciação na produção é comentada como uma eficiente estratégia para a customização em massa, por Lee e Tang (1997). Uma vez que o produto é desenvolvido sob uma plataforma modular, torna-se mais fácil realizar alterações tecnológicas freqüentes, com custos mais reduzidos (MEYER; LEHNARD, 1997).

O método de postergação auxilia na organização do sistema produtivo, auxiliando na customização dos produtos, permitindo assim que a diferenciação de produtos ocorra a custos mais baixos de produção. De forma análoga, o P&D pode desenvolver produtos, com previsão

de alterações futuras visando inovações e adição de características, sem impactar em grandes re-projetos, ou mesmo, na necessidade de projetos totalmente novos para entregar mais inovação nos produtos. A partir de uma postura inovadora alinhada com o desejo crescente dos consumidores por novidades, os gestores de projetos compreendem que o ciclo de vida dos produtos tende a reduzir. Frente a esta tendência de renovação, há uma necessidade natural de reduzir o *payback* destes produtos quando comparados a produtos similares comercializados no passado.

Sob esta ótica, a constante renovação tecnológica, o *payback* de curto prazo e, índices de qualidade elevados permeiam a realidade atual das empresas de tecnologia líderes de mercado, tornando-se premissas para o sucesso das mesmas. De acordo com Muffatto et al. (1999), o uso de plataformas modulares auxilia na redução da complexidade de desenvolvimento de novos produtos, devido a padronização gerada. A customização em massa também é sugerida como uma ferramenta capaz de agilizar a produção, propiciando maior diferenciação e entrega de produtos. Entretanto, Da Silveira et al. (2001) defendem que para o sucesso da customização em massa são necessários fatores, tais como: que a demanda de customização requerida pelo cliente exista; que o setor de marketing esteja alinhado com as necessidades dos clientes; que a cadeia de suprimentos esteja preparada; que as tecnologias necessárias estejam disponíveis; que os produtos sejam customizáveis e que o conhecimento seja compartilhado, incluindo a identificação da voz do cliente e a transformação dela em requisitos dos produtos.

Se por um lado a customização e a modularização aceleram a velocidade de projeto e de lançamento de produtos, a comunalização de componentes, sistemas e subsistemas nos módulos, que é típica da modularização, pode expor a empresa ao risco de uma epidemia de falhas, caso um determinado componente tenha mal funcionamento e pertença a um módulo presente em uma família de produtos.

Por esta razão, aplicar isoladamente a Arquitetura Modular ao projeto de produtos em busca da solução dos problemas mencionados pode não ser suficiente. Existe uma arquitetura ou cadeia produtiva para gerenciar o processo de melhoria global que deve ser considerada e inclui: a qualidade dos componentes, o desempenho do produto como um todo, aspectos ligados à garantia de entrega dos componentes do produto no prazo de fabricação, entre outros. Tais dificuldades podem ser tratadas através da aplicação conjunta do Seis Sigma e Arquitetura Modular. Pois, supõe-se que seja uma alternativa para os gestores otimizarem o

processo de Arquitetura Modular através do Seis Sigma, reduzindo índices de falhas em componentes, auxiliando na definição de especificações mais robustas, qualificando fornecedores, entre outros.

Autores como Creveling et. al (2003), indicam a aplicação do Seis Sigma, através de um método estruturado, como o *Design for Six sigma* (DFSS), outros autores sugerem a gestão do Seis Sigma através do DMAIC (BAÑUELAS; ANTONY, 2002; LYNCH et al., 2003). Também existem os que indiquem que através da Arquitetura Modular, podem-se obter maiores ganhos em projetos, embasados na estratégia de customização em massa (PINE, 1993; KOTHA, 1995; HART, 1995). No entanto estudos que indiquem práticas conjuntas de Arquitetura Modular e Seis Sigma não são frequentes.

Habigzang¹ (2010) apresenta uma proposta de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma a um PDP genérico, porém apenas em nível teórico, pois a proposta não foi aplicada pelo autor na forma de um caso prático. Ela se encontra em nível conceitual, aguardando uma aplicação prática para confirmação de sua aplicabilidade. Em vista do exposto, o objetivo principal deste trabalho é aplicar a proposta de integração de Habigzang (2010) a uma situação real, visando ajustar a proposta à realidade do ambiente de desenvolvimento de produto na empresa estudada. Dentre os objetivos específicos podem ser citados: (i) planejar a aplicação da proposta de integração ao desenvolvimento de um produto na empresa de eletrodomésticos; (ii) aplicar a proposta de integração, compilar os dados obtidos e analisar resultados; e (iii) propor alterações na proposta método e sugerir estudos futuros.

No desenvolvimento deste artigo, o leitor encontrará uma breve revisão bibliográfica sobre Arquitetura Modular e Seis Sigma, seguida do método de pesquisa adotado. Posteriormente, será apresentada a aplicação prática da proposta de integração de projeto modular e Seis Sigma em um projeto de ar condicionado, e os resultados obtidos desta aplicação. A análise crítica dos resultados, as sugestões de melhoria e aplicações futuras serão apresentadas no fechamento do artigo.

¹ Seguindo as diretrizes de dissertações em formato de artigos deste programa de pós graduação, realiza-se a citação do artigo 1 desta dissertação, que é a base para construção do artigo 2.

2 PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE ARQUITETURA MODULAR E SEIS SIGMA

O desenvolvimento de produtos, um dos processos de gestão das empresas de manufatura, está tradicionalmente estruturado conforme modelo sugerido por Ulrich & Eppinger (2000), salvo variações e peculiaridades de alguns setores que exigem fases e atividades especiais ou típicas de determinados produtos. Macro fases semelhantes ao modelo da Figura 1 estão presentes nos modelos de outros autores, sendo estas: (i) planejamento, (ii) desenvolvimento de conceito, (iii) desenvolvimento de design, (iv) detalhamento de design, (v) testes e refinamentos e (vi) produção e lançamento (CLARK; FUJIMOTO, 1991; WHEELWRIGHT; CLARK, 1992; CLAUSING, 1993; ULRICH; EPPINGER, 1995; PUGH, 1996; COOPER, 1996; PAHL; BEITZ, 2006; ROZENFELD et al., 2006).

Na Figura 1, apresenta a proposta preliminar de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma proposta por Habigzang (2010).

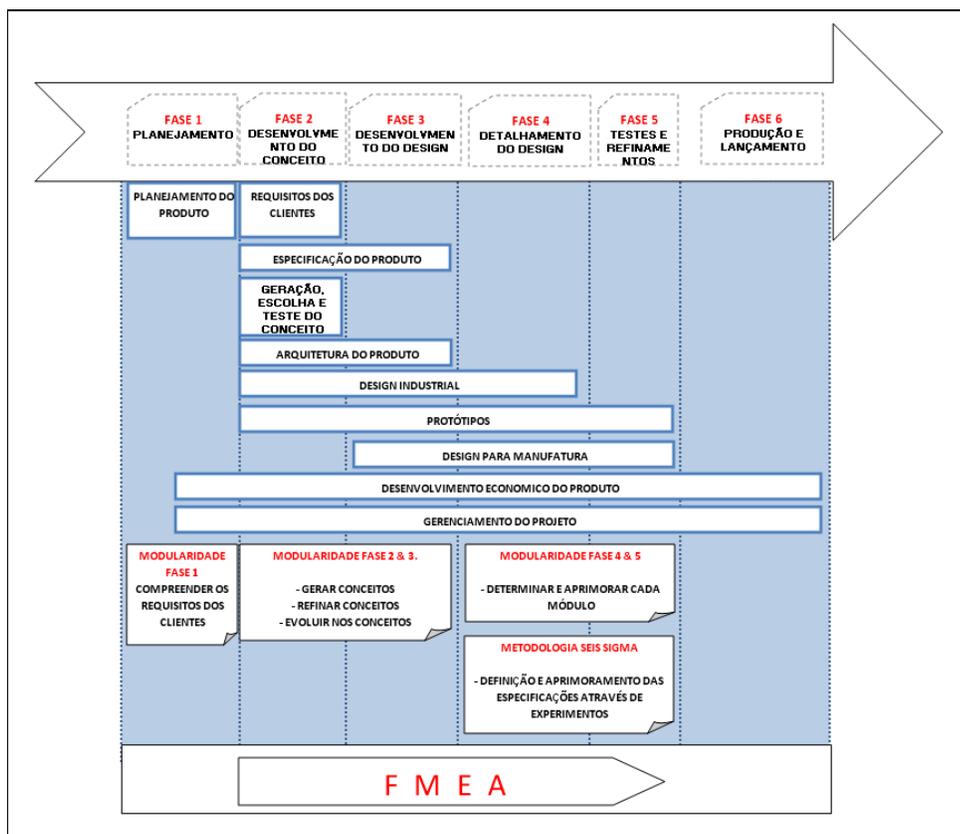


Figura 1. Proposta preliminar de integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma
Fonte: próprio autor

Devido a esta se encontrar ainda em fase de conceito, não tendo sido aplicada ao desenvolvimento de um produto. O autor, além de exemplificar um método tradicional de PDP, dividido em seis etapas, também apresentam desdobramentos de macro-atividades do gerenciamento de um projeto de produto. Habigzang (2010) inseriu nesta estrutura de PDP, atividades de Arquitetura Modular como transformação da voz do cliente em soluções técnicas para produtos e, atividades de Seis Sigma, como mapas de raciocínio e experimentação através de DOE, a partir da levantamentos e observação da realidade de uma empresa de grande porte, fabricante de eletrodomésticos.

A empresa usada como referência de estudo, para construção da proposta da Figura 1, possui setor próprio de PDP, com forte estrutura em gerenciamento de projetos. O método próprio para gerenciamento de projetos da empresa contempla uma estrutura de nível gerencial e de gestores de projetos, que compõem o cerne da administração do PDP. Embora existam práticas de modularização de produtos e forte cultura em programa Seis Sigma, estas são realizadas de forma independente e as equipes de projeto não têm cultura de uso integrado das práticas, o que pode levar a ineficiência e retrabalho no PDP. Habigzang (2010) reconheceu nesta realidade uma oportunidade para melhoria do processos de PDP da empresa e para proposição de um modelo genérico de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma que pudesse ser adotado por empresas de mesma natureza.

A partir de um levantamento bibliográfico sobre os temas modelos referenciais de PDP, Arquitetura Modular e Seis Sigma, Habigzang (2010) realizou uma análise sobre a exeqüibilidade do emprego simultâneo das atividades de Arquitetura Modular e Seis Sigma, com enfoque no grau de integrabilidade entre eles e na cronologia de execução. Através da análise de PDP, buscou-se identificar as situações de projeto que melhor se ajustariam à união da Arquitetura Modular e Seis Sigma. O autor realizou primeiramente a localização das atividades da Arquitetura Modular em um PDP genérico, e, a partir deste seqüenciamento, foram acomodadas as atividades do Seis Sigma. A intenção era encontrar a convergência e complementaridade dos objetivos de Arquitetura Modular: (i) formação de módulos (ii) redução de partes; (iii) ganhos de escala; e dos objetivos do Seis Sigma: (i) ganhos financeiros; (ii) melhoria de qualidade, através da aplicação paralela de Arquitetura Modular e Seis Sigma. De forma a complementar, a análise do processo em uma empresa de eletrodomésticos, indicou a necessidade de outros recursos, como o *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). O FMEA representa papel importante como indicador da necessidade de um dado projeto de produto exigir a realização um projeto Seis Sigma, conforme estipulado

em diretrizes da própria empresa. O fato é que um projeto Seis Sigma costuma representar custos e envolver recursos, sendo necessária uma avaliação de custo-benefício para definir quando é, efetivamente, interessante realizar este investimento. Outras formas, além do risco percebido na aplicação do FMEA poderiam ser utilizadas para indicar a necessidade do projeto Seis Sigma, como: expertise da equipe, grau de inovação do produto, estudos de *benchmarking*, solução de problemas de qualidade existentes, entre outros.

A análise do PDP da empresa mencionada foi realizada durante as reuniões semanais de projetos, contando com o aval dos times multifuncionais, seja através da análise de formulários de avaliação ou de fóruns de discussão. Nestas reuniões, participaram líderes de plataformas, gerentes de projetos e especialistas na área de Arquitetura Modular e Seis Sigma. A proposta de integração foi avaliada frente projetos de diferentes naturezas como novos produtos, readequações em produtos existentes, considerando-se produtos distintos como condicionadores de ar, microondas, refrigeradores, e outros, aumentando assim o universo de análise e aplicação. A proposta inicial deste estudo está expressa na Figura 1 e, a partir desta, realiza-se a descrição detalhada dos métodos mencionados.

2.1 Fase 1 do PDP (planejamento): Arquitetura Modular Fase 1 – Identificando a voz do cliente

A proposta inicial de Habigzang (2010), mencionada na Figura 1, sugere que as etapas iniciais de Arquitetura Modular devem ocorrer paralelamente às fases iniciais do PDP, uma vez que ambas as atividades tratam da compreensão da “voz do cliente”, para embasar o escopo inicial de um projeto. De acordo com Meyer e Lehnard (1997), deve-se inicialmente mapear todos os requisitos dos clientes dentro do segmento de mercado e identificar as oportunidades de entregas. Da mesma forma, percebe-se na literatura que autores defendem que o sucesso da customização em massa está relacionado à habilidade da empresa em transformar os desejos e necessidades dos clientes em produtos e serviços (KOTHA, 1996; PINE 1993; DA SILVEIRA et al., 2001). Sob esta mesma perspectiva, o grupo de projeto acordou que as atividades de Arquitetura Modular devem ter início assim que a pesquisa de mercado estiver disponível, para que os requisitos dos clientes possam ser compreendidos.

2.2 Arquitetura Modular Fase 2 e 3 – Identificar as soluções técnicas & Gerar e refinar conceitos

As atividades de geração e refinamento de conceitos da Arquitetura Modular foram dispostas a integrar as etapas 2 (desenvolvimento do conceito) e 3 (desenvolvimento do *design*) do PDP, por questões de similaridade. Autores como Ulrich e Tung (1991) e Simpson (2006) comentam que o termo Arquitetura Modular é usado para expressar partes comuns e independentes, durante a criação de uma variedade de conceitos de produtos. Avaliando esta definição dos autores, pode-se observar que ambos sugerem, da mesma forma que o método da empresa, a modularização durante as fases de criação e definição da arquitetura dos produtos, condizentes com a proposta das fases 2 e 3 sugeridas. Algumas definições tornam mais claras esta analogia, Baldwin e Clark (1997), comentam que um produto com arquitetura modular ou sistema modular é concebido com unidades independentes que podem ser facilmente montadas, e que possuem uma função específica no contexto do sistema. Para tal modularização, torna-se mais evidente que as atividades de Arquitetura Modular necessitam embasar as decisões iniciais do projeto, e vice-versa, definindo um escopo abrangente e condizente com as diretrizes da empresa. Por fim, após a geração e refinamento dos conceitos, o projeto estará pronto para avançar em direção à fase subsequente.

2.3 Arquitetura Modular Fases 4 & 5 – Evoluir nos conceitos & Determinar e aprimorar cada módulo

Nestas etapas de desenvolvimento de Arquitetura Modular durante o desenvolvimento de produto, concomitantes com as fases 4 (detalhamento do design) e 5 (testes e refinamentos) do PDP, Habigzang (2010) sugere que sejam refinados os módulos, considerando-se obstáculos naturais tais como: capacidade dos processos envolvidos em executar as propostas, dificuldades impostas pelas cadeias produtivas e logísticas, premissas e restrições dos sistemas, etc. De acordo com Ulrich (1995), Ulrich e Eppinger (2000), o projeto de produto com arquitetura modular visa gerar um produto com um alto nível de variedade mantendo o foco nos ganhos de escala de produção. A utilização desta abordagem tem por característica a utilização de ferramentas que auxiliem a otimizar o razão entre variedade de produtos e ganho de escala. Esta definição dos autores remete à necessidade de refinamento dos módulos, através de uma análise detalhada, buscando avaliar se estes realmente são exequíveis e se irão gerar a satisfação esperada pelos clientes. As etapas de Arquitetura Modular, provenientes do

método praticado pela empresa, apresentam características semelhantes às apresentadas em estudos de outros autores. Borjesson (2010) comenta sobre o uso combinado de três matrizes, formando o método de DPM (*Desing Property Matrix*). Este formato é sugerido pelo autor para demonstrar as inter-dependências entre os requisitos dos clientes e as soluções técnicas, conforme Figura 2.

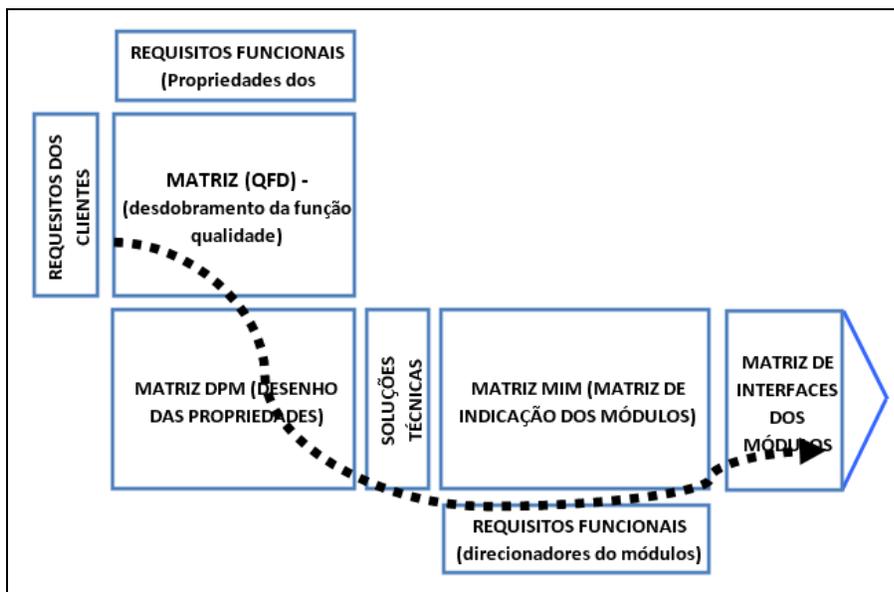


Figura 2. Estrutura de matrizes que orientam a identificação e formação de módulos

Fonte: adaptado de Erixon et al. (1996).

Na Figura 2, os requisitos dos clientes extraídos da pesquisa de mercado, tais como desejar uma aparelho silencioso, são inseridos na matriz descrita, e para esta premissa do cliente, são identificados, através de análises dos produtos atuais, propriedades dos produtos que entreguem este desejo do consumidor, como por exemplo: sistema de ventilação silencioso. Contudo, ainda é necessário, transformar as propriedades do produto, em soluções técnicas, que entreguem o resultado esperado. Por exemplo: sistema de ventilação com baixo ruído, requer um motor silencioso e um sistema de ventiladores que gerem pouco ruído ao insuflar o ar. Com esta etapa concluída, visualiza-se a possibilidade de aprimorar conceitos ainda incompletos, através de um projeto Seis Sigma. A próxima fase da proposta de Habigzang (2010) vai esclarecer este posicionamento.

2.4 Atividades Seis Sigma da empresa aplicada nas Fases 4 e 5 do PDP

Paralelamente à aplicação das etapas 4 e 5 de Arquitetura Modular, o modelo proposto sugere o início das atividades de Seis Sigma, com o intuito de fortalecer o projeto com propostas mais robustas e índices melhores de qualidade. A decisão de se desenvolver um projeto Seis Sigma tem por base resolver a resolução de problemas persistentes, geralmente constatados durante o desenvolvimento do projeto ou mesmo para melhorar índices ainda insatisfatórios, bem como para mitigar riscos identificados durante a aplicação do FMEA ao projeto.

Bertels e Patterson (2003) apontam a qualidade na escolha de projetos como principal fator diferencial entre os programas Seis Sigma bem-sucedidos e os demais. As afirmações de Bertels e Patterson condizem com a necessidade de um projeto com o escopo corretamente definido para o sucesso do Seis Sigma. A proposta de aplicar o Seis Sigma nas fases finais de desenvolvimento, proposto por Habigzang (2010), onde o escopo e viabilidade do projeto já estão claramente definidas também concorda com os autores citados.

O Seis Sigma é conhecido como um método voltado à maximização da lucratividade dos negócios de qualquer natureza (HAHN et al., 2000). Este método foi estudado por inúmeros autores, que sugerem maneiras distintas de aplicação. Kumar et. al. (2006) sugerem a integração do Seis Sigma com o conceito de produção enxuta, Chang (2002) indica um processo que parte do planejamento estratégico e o retroalimenta com os resultados dos projetos Seis Sigma. Já Creveling et al. (2003), sugere que a base do Seis Sigma, de acordo com o *Design for Six Sigma – DFSS* seja a integração da gestão de parâmetros críticos com as atividades do processo de desenvolvimento de produtos. Na empresa estudada, o PDSA (*Plan, Do, Study, Action*), é apresentado como método para incentivar o raciocínio crítico dos investigadores e conduzir estes, a uma solução do problema. O projeto Seis Sigma prevê o uso de um conjunto de ferramentas que auxiliam na execução de tarefas, sendo que o mais aplicado é o DOE (*Design of Experiments*), onde normalmente na empresa, são realizados estudos de fatores em dois níveis, e técnicas: (i) análise prática - comparação com resultados históricos; (ii) análise gráfica - aplicação de métodos gráficos como, paretos, gráfico de variabilidade, análise de cartas de controle, etc; (iii) quantitativa - expressa através de resultados numéricos avaliados em softwares estatísticos como JUMP® e MiniTab®.

Para a aplicação das atividades de Arquitetura Modular e Seis Sigma em um projeto de DP, torna-se necessário a aproximação das equipes que gerenciam estes processos, formando uma equipe multifuncional, alinhada com as premissas do projeto.

Nesta etapa, Habigzang (2010) ressalta que um aspecto importante para o sucesso do programa é o conjunto de resultados financeiros e sistemas de medição destes, visto que o apoio ao programa depende dos ganhos gerados, corroborando Martins (2000). Sob este mesmo ponto de vista, a proposta de integração dos métodos de Arquitetura Modular adaptado de Erixon et al. (1996) e Seis Sigma, deveria também propor uma forma de medir os resultados, para que, durante a aplicação de um projeto, e no término deste, resultados de ambas as práticas, possam ser mensurados e avaliados, auxiliando assim na evolução e validação das mesmas. Como comentado, o projeto Seis Sigma incorpora indicadores financeiros para validação do sucesso de um projeto, além de ganhos indiretos, como melhoria na qualidade, produtividade, tempo de desenvolvimento.

Autores como Bititci et al. (1997) e Neely (1999) defendem que a medição de desempenho exerce um importante papel no suporte aos programas de melhoria. Desta forma, uma proposta de integração foi sugerida, onde indicadores relacionados com as peças existentes em um produto, módulos criados e percentuais de falhas antes e depois do projeto, embasem a validação dos resultados obtidos. A Figura 3 apresenta estas características da proposta de integração dos indicadores de Habigzang (2010).

Assim objetivos-alvo, (*targets*), podem ser propostos, bem como identificar pontos de melhorias e traçar paralelos com outros projetos ou dados históricos. Sendo estas métricas determinadas no início do projeto, e medidas ao final deste, para validação da aplicação.

Situação Atual			Sistema Proposto			RESULTADOS			
Modularidade		6 σ	Modularidade		6 σ	% Redução		Ganhos Diretos	
Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Nº Peças	% Falhas	Modularidade	6 σ
120	6	1,8	112	6	1,4	114	1,3	\$ 1,80	\$ 2,3

Falhas Históricas do Produto relacionadas aos módulos vigentes.

Aplicação de 6 sigma, visando redução de falhas.

Indica os resultados financeiros gerados através modularização (redução de custos em peças/processos), e através do 6 sigma (redução de falhas geradas).

Figura 3. Proposta de indicadores para mensurar resultados de modularização e Seis Sigma
Fonte: próprio autor

Uma vez apresentada a proposta de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma ao PDP, com a interveniência de FMEA, passa-se à aplicação da mesma em situação real de

desenvolvimento de produto, visando testar e ajustar a proposta, porém antes será apresentado o método de trabalho.

3 MÉTODO DE TRABALHO

Este estudo visa desenvolver e avaliar os resultados da aplicação de proposta de integração entre as atividades de desenvolvimento de Arquitetura Modular e Seis Sigma, no processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Através desta aplicação, almeja-se consolidar a proposta de integração durante o PDP convencional, bem como avaliar ganhos e oportunidades de melhorias.

A empresa foco do estudo trata-se de uma fabricante de eletrodomésticos, líder mundial neste segmento, com forte atuação no mercado nacional. Esta prioriza o desenvolvimento de seus próprios produtos, com foco em inovação e qualidade. Recentemente recebeu o prêmio de empresa mais inovadora do Brasil (Revista Época Negócios – set/2010), e seu programa Seis Sigma foi eleito o melhor programa Lean - Seis Sigma da América Latina (IQPC, 2010). O programa Seis Sigma da empresa é considerado maduro, pois este foi o programa pioneiro no Brasil, iniciando suas atividades a partir de 1997, através do Grupo Brasmotor. No ano de 1999, resultados expressivos foram alcançados, da ordem de R\$ 20 milhões foram obtidos pela empresa através do programa Seis Sigma.

Em relação ao método de pesquisa adotado neste trabalho, segundo Diehl e Tatim (2004) trata-se de um estudo de caso. O presente artigo apresenta as etapas de planejamento da implementação e implementação propriamente dita, distribuídas em quatro etapas: (i) aplicação de questionário e reuniões para ajustes preliminares do método; (ii) experimentação do método proposto a partir de um projeto de produto; (iii) compilação dos dados obtidos e conclusões; e (iv) ajuste da proposta sugerida.

3.1 Aplicação de questionário e reuniões para ajustes preliminares do método

Nesta etapa do estudo, foi realizada uma entrevista junto aos membros de equipes multifuncionais da empresa estudada, buscando abranger diversas áreas envolvidas com o PDP da empresa, tais como: engenharias, marketing, logística e suprimentos, manufatura,

qualidade, etc. A pesquisa foi desenvolvida com os seguintes objetivos: (i) identificar as características do público entrevistado; (ii) identificar o conhecimento do público em relação ao desenvolvimento de produtos; (iii) identificar o conhecimento do público em relação a Arquitetura Modular; (iv) identificar o conhecimento do público em relação ao Seis Sigma; (v) orientar os entrevistados em relação a proposta do autor e coletar opiniões destes sobre a mesma, com o intuito de submetê-la a diferentes perspectivas. O roteiro do Apêndice 1 foi utilizado no levantamento de informações.

3.2 Experimentação do método proposto a partir de um projeto de produto

Nesta fase do projeto, a proposta de integração foi aplicada em um desenvolvimento de produto como o intuito de testá-la em um ambiente real e visualizar aspectos mais relevantes da mesma. Através da aplicação, o pesquisador almeja testar e refinar a proposta de integração para aplicações futuras em um número maior de projetos.

O projeto escolhido para a aplicação do método foi um projeto classificado como *Mega* (maior complexidade, na terminologia da empresa). Em projetos desta magnitude, uma equipe responsável pelo projeto é necessariamente escalada para cumprir com todos os requisitos deste. Projetos desta natureza apresentam maior complexidade, porém, maiores possibilidades de aprendizado e maior horizonte de aplicação para a proposta sugerida por Habigzang (2010), embasando a escolha do projeto.

A estrutura organizacional para realização do projeto e aplicação foi composta pelo comitê técnico formado por: (i) engenheiro de sistema de refrigeração, (ii) especialista em elementos finitos, (iii) projetistas mecânicos, (iv) engenheiro líder de projeto, (v) engenheiro líder técnico, (vi) engenheiro eletricitista, (vii) especialista em normas de segurança elétrica. E comitê gerencial: (i) gerente geral da área de projetos, (ii) gerente de projetos, (iii) líderes da área de engenharia de projetos (iv) gerente de engenharia de produtos, (v) gerente de manufatura (vi) gerente de marketing, (vii) gerente de qualidade (viii) gerente de logística, (ix) gerente financeiro. Somente com a aprovação do comitê técnico, o projeto poderá ser apresentado ao comitê gerencial, onde gerentes das áreas envolvidas com o projeto decidem se o mesmo está apto a prosseguir no desenvolvimento, se deverá ser reformulado ou mesmo cancelado.

Os resultados do FMEA determinam que ações críticas devam ser estudadas com o uso do Seis Sigma, caso seja necessário. As ações críticas, avaliadas no comitê técnico deverão ser desenvolvidas pela equipe do projeto, com auxílio de especialistas de outras áreas, como no Seis Sigma, poderá ser reportado por um *Master Black Belt*. Uma vez definidas as ações críticas, foram definidos e realizados os projetos Seis Sigma. Os resultados do Seis Sigma, foram coletados da mesma forma como os de Arquitetura Modular, comparando-se as estruturas atuais de produtos frente à nova proposta do projeto. Os resultados do projeto Seis Sigma, bem como os demais resultados da Arquitetura Modular, são avaliados previamente em comitês técnicos, antes da aprovação do comitê gerencial. As reuniões técnicas ocorrem uma a duas semanas antes da reunião gerencial, a cada etapa de aprovação do projeto, sendo cinco aprovações, para contemplar as seis etapas do gerenciamento do projeto.

Os resultados conjuntos, da proposta, foram avaliados pela equipe multifuncional e levados ao comitê técnico para a validação que antecede ao comitê gerencial, responsável pela aprovação final.

3.3 Compilação dos dados obtidos e conclusões

Nesta etapa foram analisados os resultados da aplicação da proposta de integração de Habigzang (2010) incluindo, avaliação das métricas alcançadas de Arquitetura Modular e Seis Sigma em conjunto. Os resultados de redução de componentes foram utilizados para contabilização dos indicadores de Arquitetura Modular da empresa: redução e comunalização de peças. Por fim, os resultados obtidos foram apresentados no comitê de aprovação do projeto, onde gerentes e gestores aprovaram a continuidade do projeto, embasados nas premissas e indicadores apresentados.

3.4 Ajuste da proposta sugerida

De posse dos dados coletados, novos ajustes foram realizados na proposta inicial, facilitando assim as próximas aplicações, bem como vislumbrando uma melhoria incremental para o sistema proposto. A equipe do projeto escolhido expressou sua opinião sobre o método proposto durante as reuniões de projeto, indicando os ajustes necessários.

4 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, a primeira etapa da aplicação da proposta serviu para avaliar como esta poderia ser utilizada, frente à realidade do desenvolvimento de produtos na empresa. A equipe foi definida pelas gerências dos setores de manufatura, logística, industrial, design, engenharia de produtos, pós-vendas e qualidade, onde um ou mais representantes de cada setor foram incluídos no projeto devido à natureza de suas atividades e visão do processo envolvido para aplicação do método de integração proposto.

O questionário (apêndice 1 aplicado demonstrou que alguns membros de diferentes áreas, não possuíam o alinhamento quanto aos métodos que não eram de sua especialidade, muitas vezes desconhecendo até mesmo a necessidade de aplicação. Contudo, alguns entrevistados, detentores do conhecimento de as atividades, Arquitetura Modular e Seis Sigma, mostraram-se entusiasmados com a proposta, acreditando em sua viabilidade, desde que alguns ajustes fossem realizados, tais como: melhorias de indicadores, aplicações mais amplas do Seis Sigma, controle periódico dos indicadores e se possível, planejamento do Seis Sigma logo após fechamento do escopo do projeto. De uma maneira geral, os entrevistados acreditaram na viabilidade as proposta.

Paralelamente, a equipe de projeto definiu o escopo de um projeto de um produto que serviu de foco para experimentação da proposta de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma,. Posteriormente, serão apresentadas as etapas de desenvolvimento do projeto,, desta forma, as ações tomadas, ferramentas utilizadas e resultados obtidos serão exemplificados de forma cronológica, de acordo com as etapas da proposta de integração das atividades baseada no PDP.

4.1 O projeto

O projeto em questão, escolhido para a aplicação da proposta integrada, surgiu da necessidade de um produto condicionador de ar, com requisitos de melhor eficiência energética, melhor competitividade no mercado, custos de materiais (*BOM – Bill of Material*) reduzidos e qualidade superior aos produtos atuais. Por questões de sigilo, este estudo não irá citar a que classe específica de produtos este projeto pertence, mantendo alguns aspectos técnicos sob confidencialidade.

4.2 Fase 1 do PDP – Planejamento

Nesta etapa da proposta de integração, que ocorre ao longo das atividades iniciais do PDP, ou seja na fase de planejamento, confirmou-se a possibilidade de iniciar também as atividades de Arquitetura Modular, que visam neste momento, trazer clareza e compreensão sobre os requisitos dos clientes.

Para tanto, buscou-se informações na pesquisa dos consumidores alvo, realizada pelo marketing da empresa, com o intuito de compreender quais são os principais anseios/desejos em relação a este tipo de produto especificamente. Os requisitos dos clientes são ordenados por prioridade decrescente, de acordo com a pesquisa, que é realizada através de uma amostragem do público alvo, seguindo premissas de classes sociais, regiões, faixa etária, etc..., buscando aproximar ao máximo os resultados desta, ao real público consumidor. Utilizando para isto, perguntas específicas que buscam contabilizar quais são os requisitos mais relevantes no produto. O instrumento de coleta de dados não será apresentado neste trabalho, mas inclui uma ponderação de importância dos requisitos através de uma escala numérica, onde o cliente vota de 0 a 10, o que ele julga mais importante. O Quadro 7 expressa o fluxo de informações desta fase.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Pesquisa de mercado (público alvo).	Compreensão dos requisitos dos clientes	Listagem priorizada dos requisitos demandados pelos clientes

Quadro 1. Fluxo de informações da Fase 1 – Planejamento – Aplicação

4.3 Fases 2 e 3 do PDP – Desenvolvimento do Conceito e Desenvolvimento do Design

Nas fases de desenvolvimento do Conceito e Desenvolvimento do Design do PDP, os objetivos principais consistem na tradução dos requisitos dos clientes em soluções técnicas e, através destas, a sugestão de módulos para o produto estudado.

4.4 Fase 2 do PDP – Desenvolvimento do Conceito

Na etapa de Desenvolvimento do Conceito, o objetivo principal é traduzir a voz do cliente em propriedades dos produtos – o método preconiza nesta etapa, a busca por

propriedades do produto para cada requisito do cliente identificado na etapa anterior. A Figura 4 ilustra o desdobramento de uma demanda do cliente, relacionada com a premissa ‘reduzir ruído do ar condicionado’ em um diagrama de causa e efeito ou de Ishikawa, conforme método de Arquitetura Modular da empresa, baseado no método proposto por Erixon et al. (1996).

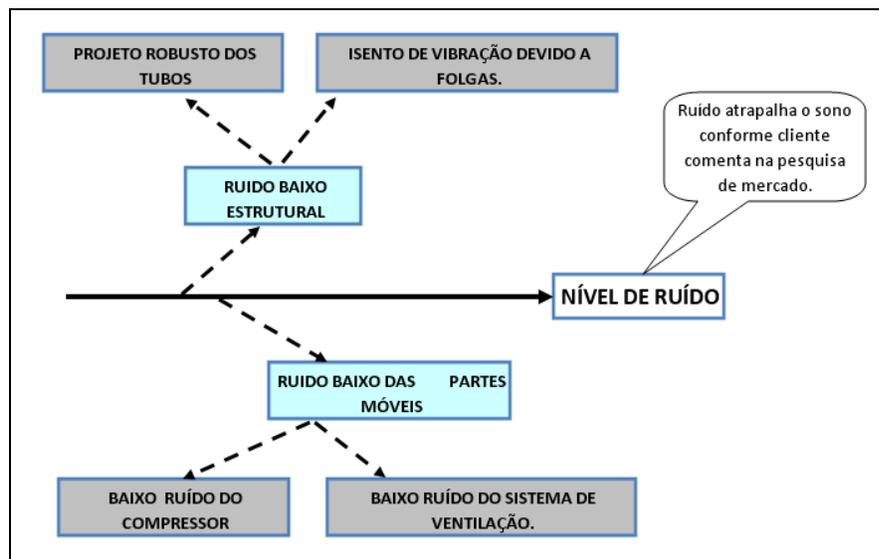


Figura 4. Desdobramento dos requisitos dos clientes em propriedades do produto
Fonte: próprio autor

O desdobramento evidenciado na Figura visa identificar as propriedades do produto relacionadas com a demanda do consumidor, as quais servirão como *input* para a da qualidade do QFD, onde os requisitos dos clientes são cruzados com as propriedades do produto, tais como baixo ruído do compressor e baixo ruído do sistema de ventilação, desdobradas conforme a Figura 4.

Neste caso o baixo nível de ruído demandado pelo cliente, é uma importante premissa e deve ser entregue através de propriedades específicas do produto, citadas no último nível do desdobramento.

A Figura 4 exemplifica, como diagrama de decomposição, pode auxiliar a equipe a desdobrar o requisito “nível de ruído”, buscando as suas causas naturais (origem estrutural ou partes móveis). Este procedimento deve ser repetido para todos os requisitos prioritários identificados pela pesquisa de mercado, com o intuito de traduzir todos os requisitos em propriedades dos produtos.

É importante comentar, que os requisitos dos clientes, devem ser expressos da forma como são percebidos pelos mesmos, como por exemplo, o cliente pode não ter solicitado um aparelho menos ruidoso e sim, comentado que o ruído atrapalha o sono (ver Figura 4). Durante esta etapa, os especialistas do time de desenvolvimento de produtos buscaram identificar quais demandas do consumidor (voz do cliente), estão relacionadas com as propriedades dos produtos. Para que o projeto considere os requisitos dos clientes e os considere na criação dos módulos, a empresa utiliza o método MFD (*Modular Function Deployment*), sugerido por Erixon (1998) e descrito em Habigzang (2010). Desta forma, os requisitos foram inseridos na primeira matriz que é a da qualidade do QFD. Nas linhas da matriz se encontram os requisitos (ou demandas do consumidor) e nas colunas se encontram as propriedades do produto, geradas através da decomposição descrita na Figura 5.

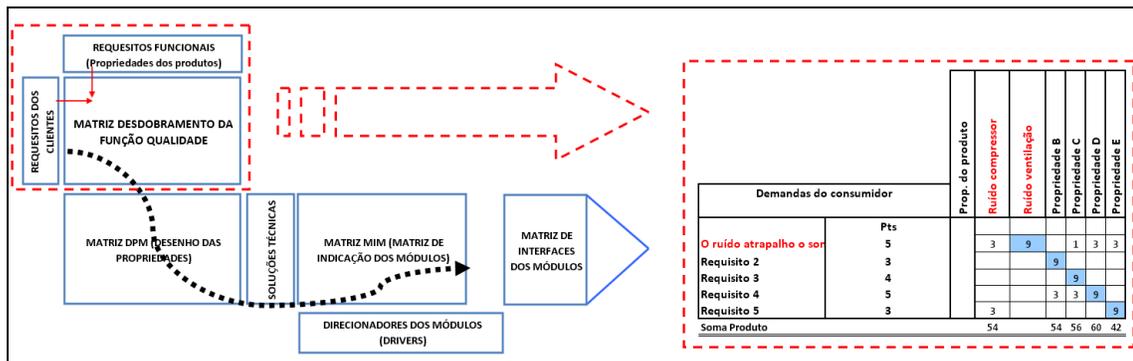


Figura 5. Método MFD - Aplicação da matriz de desdobramento da matriz da qualidade demandada

Fonte: próprio autor

Semelhante ao proposto por Ribeiro et. al. (2000), durante a análise da matriz da qualidade, a equipe da empresa analisa a relação entre cada requisito dos clientes e neste método, as propriedades dos produtos, indicando o grau de relevância entre o cruzamento, que pode utilizar uma escala: 1 (baixa relação), 3 (média relação), 9 (alta relação), de acordo com a pergunta: quão forte é a relação entre o requisito do cliente e as propriedades do produto identificadas?

O intuito principal desta correlação é identificar para cada requisito do consumidor, uma propriedade do produto com alta relevância (pontuação 9). Na Figura 5, esta observação fica evidente, uma vez que se percebe uma linha diagonal, formada através das propriedades do produto com pontuação 9.

A fórmula inserida na matriz para quantificar a importância de cada requisito funcional, é a seguinte: RC (requisitos dos clientes) x PP (propriedades dos produtos), ou também chamados de propriedades dos produtos). Desta forma, todos os RC são cruzados com os PP inseridos na matriz. Após esta operação, os valores gerados, são somados nas colunas, através de uma soma de produtos, gerando um total de pontuação para cada PP. É importante salientar que, para a formação da linha diagonal, é necessário que as propriedades do produto, que ficam na parte superior da matriz, sejam reordenadas para tal. A diagonal é uma forma simples e eficaz de avaliar se cada demanda do cliente está sendo atendida através de uma propriedade do produto com pontuação significativa (9). Nesta etapa do projeto, o FMEA foi desenvolvido baseado nos produtos já existentes e considerando-se também as novas diretrizes que o projeto já havia definido durante a elaboração do escopo do mesmo. O Quadro 2, expressa o resultado obtidos a partir do desdobramento dos requisitos dos clientes e evolução inicial do FMEA.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Listagem priorizada dos requisitos demandados pelos clientes Histórico de FMEA's realizados.	Desdobramento dos requisitos dos clientes em propriedades dos produtos Análise de FMEA's e produtos existentes.	Propriedades dos produtos identificadas e ponderadas FMEA iniciado

Quadro 2. Fluxo de informações da Fase 2 – Desenvolvimento do conceito - Aplicação

Neste estudo, foram identificadas dezenove propriedades do produto ar condicionado. O Nível de ruído, foi uma das propriedades e, uma vez que recebeu pontuação mais elevada, mostrando maior significância para os clientes, será usada como exemplo nas figuras, como exemplificado na Figura 5.

4.5 Fase 3 do PDP – Desenvolvimento do Design

Nesta fase, é necessário identificar quais as soluções técnicas disponíveis podem efetivamente trazer os benefícios ou propriedades que o consumidor espera para o produto, as quais foram identificadas no processo anterior. Para isto, a proposta de integração sugere dois métodos: *top-down* ou *bottom-up*. Estes métodos decompõem os produtos atuais, em busca da identificação das soluções técnicas relacionadas às propriedades dos produtos. Caso não existam soluções simples, busca-se o auxílio de especialistas, *benchmarkings* e estudos dirigidos para conclusão desta atividade. Ambas proposições, *top-down* ou *bottom-up*, levam

ao desmembramento da estrutura do produto, em busca dos componentes ou sistemas, que são responsáveis por gerar os benefícios para as demandas ou requisitos representados pelas propriedades dos produtos. Os componentes ou sistemas são nomeados de soluções técnicas. De posse das soluções técnicas, a equipe elabora a segunda matriz chamada DPM (*Modularity Properties Deployment*), conforme método sugerido por Erixon (1998) e descrita por Habigzang (2010), onde são cruzadas as propriedades dos produtos, com as soluções técnicas determinadas na etapa anterior. Desta forma, aplicando mesma escala de valores: 1 (baixa relação), 3 (média relação), 9 (alta relação), a equipe identifica a diagonal principal, apontada pelas pontuações de soluções técnicas fortemente relacionadas (9), sendo que para isto, a pergunta realizada é: quão forte é a relação entre dada propriedade do produto e as soluções técnicas encontradas? A Figura 6 exemplifica o desdobramento da matriz DPM (*Design Property Matrix*). Da mesma forma da matriz anterior, Figura 5 a maneira como a matriz quantifica a importância de cada solução técnica, é a seguinte: PP (propriedade do produto) x ST (soluções técnicas). Desta forma, todos as PP são cruzados com os ST inseridos na matriz. Após esta operação, os valores gerados, são somados nas colunas, gerando um total de pontuação para cada RF. Para identificar e ordenar por ordem de importância, o escore da matriz anterior (Figura 5) é multiplicado pela pontuação obtida na matriz da Figura 6.

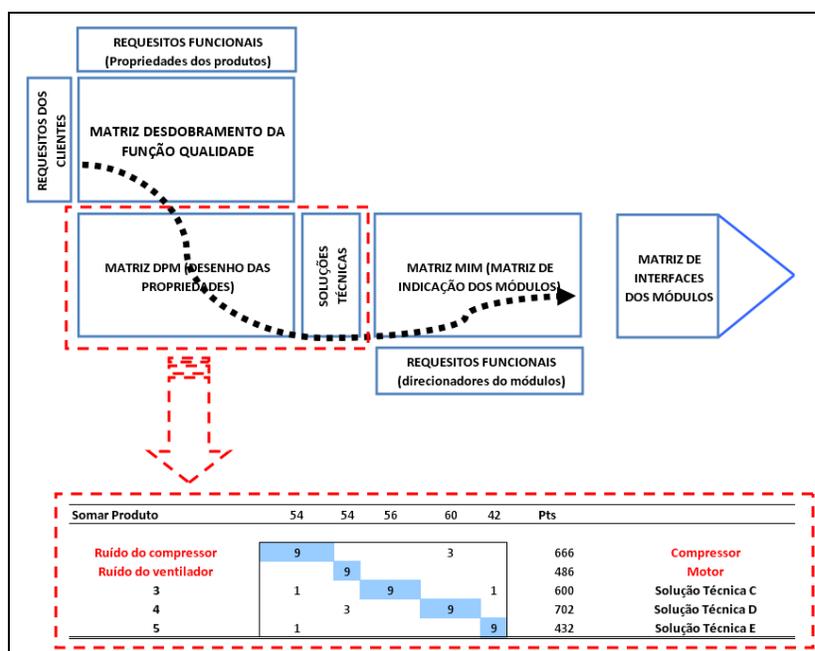


Figura 6. Desdobramento da matriz DPM – Definição das propriedades (*Bottom Up*)

Fonte: próprio autor

Na Figura 6, observa-se a pontuação total de cada solução técnica proposta. Através deste procedimento, identificaram-se as soluções técnicas que se relacionam com as propriedades dos produtos anteriormente descritas. Neste momento é importante comentar que poderão existir soluções técnicas que correspondam a requisitos de uma ou mais propriedades dos produtos. O Quadro 8, expressa o resultado obtido nesta etapa. Com o conceito iniciado, o FMEA evoluiu através de reuniões com a equipe técnica do projeto, onde os principais riscos foram identificados e mensurados através da aplicação do método. O Quadro 9 demonstra o fluxo de informações desta fase.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Propriedades dos produtos identificadas e ponderadas FMEA iniciado	Desdobramento das propriedades dos produtos em soluções técnicas Revisão do FMEA com a equipe de projeto	Soluções técnicas identificadas e pontuadas Identificação dos principais riscos através do FMEA

Quadro 3. Fluxo de informações da Fase 3 - Desenvolvimento do design – aplicação

Conforme mencionado anteriormente, 19 propriedades haviam sido identificadas para o ar condicionado. Após o desdobramento das propriedades em soluções técnicas, 18 soluções foram identificadas e pontuadas pela equipe de projeto. Na verdade, o número de soluções técnicas não necessariamente será igual ao número de propriedades, visto que uma solução pode responder funcionalmente por mais de uma propriedade do produto.

4.6 Fase 4 do PDP (Detalhamento do Design)

Nesta etapa de desenvolvimento das atividades, a Arquitetura Modular e o Seis Sigma começam a coexistirem, conforme sugestão de integração feita por Habigzang (2010). Portanto, o desenvolvimento a seguir será composto de duas etapas paralelas: (i) aplicação da modularidade à Fase 4 do PDP e (ii) aplicação do Seis Sigma à Fase 4 do PDP. O FMEA continua a sua aplicação conforme fluxo descrito na Figura 1.

4.7 Aplicação da Modularidade à Fase 4 do PDP

Nesta fase procede-se a geração dos conceitos que contenham as soluções técnicas estabelecidas na etapa anterior. A construção de protótipos é sugerida, uma vez que se torna difícil compreender todas as variáveis de um novo sistema, apenas por simulações

computacionais. Os primeiros módulos podem ser identificados na etapa final da Matriz de Indicação dos Módulos (MIM), conforme Habigzang, (2010), que é gerada com o intuito de cruzar as soluções técnicas obtidas anteriormente, com os *module drivers*, ou seja, com as premissas de desenvolvimento pré-estabelecidas pela empresa, tais como: reciclabilidade, lucratividade, inovação, design, entre outras. Estas premissas são definidas no momento da implantação do método de Arquitetura Modular de Erixon et al. (1996) na empresa, sendo válidas para todos os novos desenvolvimentos de produtos e, estão alinhadas com a estratégia de desenvolvimento e sustentabilidade da empresa. Desde o início de um projeto a equipe já está ciente da importância destas premissas para as atividades de Arquitetura Modular. Na Figura 7, pode-se observar a correlação entre soluções técnicas e as premissas (requisitos funcionais direcionadores de módulos).

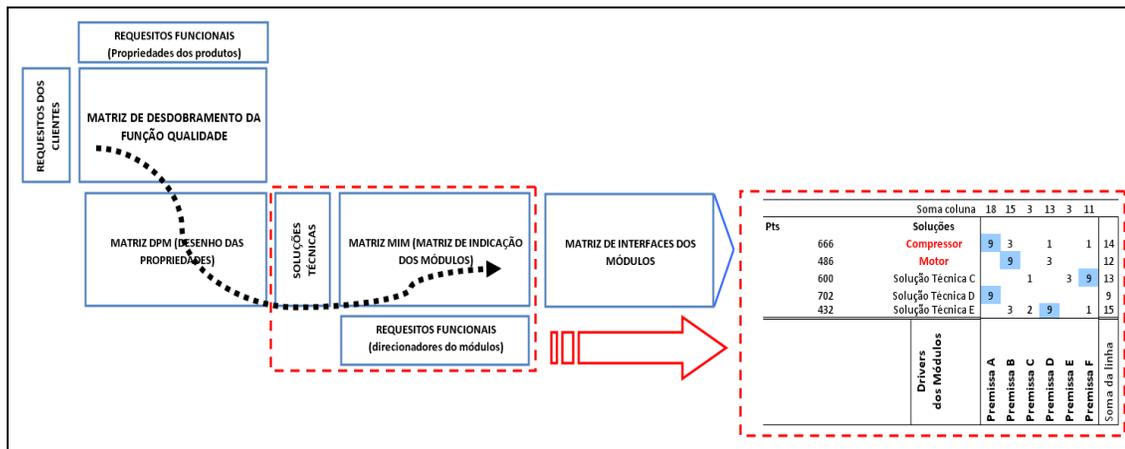


Figura 7. Desdobramento da matriz MIM – Matriz de indicação dos módulos

Fonte: próprio autor

Uma nova pontuação é estabelecida, utilizando a mesma escala apresentada anteriormente citada: 1 (baixa relação), 3 (média relação), 9 (alta relação), porém nesta etapa, apenas somam-se as avaliações com o intuito de confrontar a validade da proposta frente as premissas de desenvolvimento (*drivers* dos módulos). Da mesma forma da matriz anterior, a fórmula inserida na matriz para quantificar a importância de cada solução técnica, é a seguinte: ST (soluções técnicas) x DM (direcionadores dos módulos – *drivers*). Desta forma, todos os ST são cruzados com os DM inseridos na matriz. Após esta operação, os valores gerados, são somados nas colunas, gerando um total de pontuação para cada ST e também para cada DM, podendo assim concluir de forma rápida qual ST tem maior influência nos DM e também qual DM é mais aplicável ao presente projeto.

A matriz MIM, apresenta estrutura similar ao modelo de matriz da qualidade QFD proposto por Ribeiro et. al. (2000), e de acordo com os princípios de Akao (1990). Neste momento, para realizar a pontuação a seguinte pergunta é necessária: Quão forte é a relação da solução técnica encontrada, com as premissas de desenvolvimento (*drivers* dos módulos). Os resultados da matriz MIM, ou seja, as somas das colunas e linhas e as pontuações atribuídas, 1,3 e 9, para cada ST, presentes na Figura 7, são tratados através de uma técnica de agrupamento, a Análise de Cluster, que gera um dendograma. A análise de cluster agrupa as soluções técnicas por similaridade de componentes, de acordo com a pontuação gerada na matriz MIM. Utiliza-se o método hierárquico Ward na análise de Cluster para agrupar as soluções técnicas como um possível indicador de módulos, conforme descrito em (HAIR et al., 2005). O método hierárquico Ward é empregado por se adequar a um conjunto de poucos dados. Maiores informações sobre a análise de cluster pode ser obtida em Hair et al. (2005). A equipe de projeto empregou o software JUMP (v. 8.0) para realizar a análise de cluster mencionada. Os grupos de soluções técnicas ou clusters formados deverão ser analisados e validados posteriormente pela equipe de projeto e posteriormente pelo comitê técnico. É comum que, não ocorram convergências totalmente factíveis sob o ponto de vista de projeto na primeira tentativa de análise desta natureza, sendo necessário, retornar a etapa anterior e reavaliar pontuações indicadas, uma vez que estas são realizadas através da convergência da opinião de especialistas no assunto. Na Figura 8, observam-se os resultados gerados pela análise de cluster, para as dezoito soluções técnicas pontuadas na etapa de geração da matriz MIM (matriz de indicação de módulos).

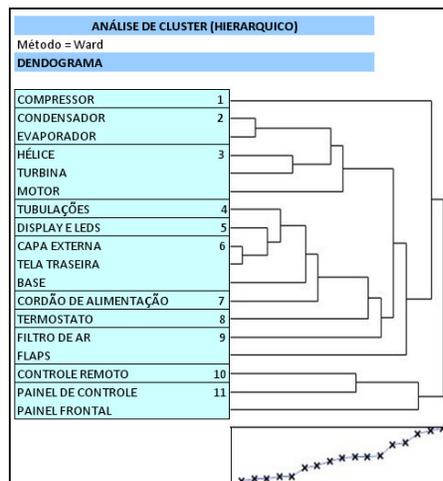


Figura 8. Dendograma da análise de cluster- método hierárquico Ward para sugestão de módulos

Fonte: próprio autor

Os módulos obtidos ainda devem passar por uma análise crítica antes da indicação dos módulos definitivos, embasada na experiência dos avaliadores envolvidos (especialistas no produto em desenvolvimento). Como um módulo normalmente é formado por mais de um componente, o nome do módulo é atribuído pela equipe à medida que analisam os clusters do dendograma, relacionando-se a função que o módulo exercerá ou nomenclatura técnica usualmente utilizada, como por exemplo: ‘módulo de trocadores de calor’, composto pelo evaporador e condensador. Através da conclusão desta etapa, onze módulos foram determinados no produto em estudo: i) módulo de compressão; (ii) módulo de condensação e evaporação; (iii) tubulações; (iv) sistema de ventilação (hélice, turbina e motor); (v) display, *LEDS* e comunicadores; (vi) estrutura (capa externa, tela traseira e base inferior e superior); (vii) fornecimento de energia (cordão de alimentação e cabos); (viii) controle de temperatura (termostato e controladores); (ix) controle do ar (*flaps* e filtros); (x) comando (controle remoto); (xi) painel frontal e painel de controle. De posse das propostas de módulos, pode-se avançar para a fase seguinte, onde os módulos serão refinados. O módulo VI, será tratado no estudo seguindo, através da aplicação do Seis Sigma, para aprimoramento do atenuador de ruído conforme será comentado.

4.8 Aplicação do Seis Sigma à Fase 4 do PDP

Quando necessário, as especificações de valores tais como: tolerâncias dimensionais, *targets* de eficiência, consumo, e outros, serão fornecidas através dos resultados obtidos após aplicação da metodologia Seis Sigma, complementando as especificações dos componentes pertencentes aos módulos. Quando todas as especificações acima comentadas são concluídas, um documento padrão de descrição do módulo é realizado, com participação da equipe do projeto, e neste documento é criado um número de identificação no sistema de gerenciamento da informações da engenharia, e disponibilizado na intranet da empresa, para consultas e rastreabilidade. O documento não será apresentado neste trabalho por questões de sigilo.

A partir da determinação dos onze módulos mencionados na Figura 8, as visualizações de oportunidades tornam-se mais evidentes, para toda a equipe envolvida no projeto. Em paralelo à determinação da estrutura modular, a equipe de projeto aplicou ferramentas conhecidas como DFA (*Design for Assembly*), DFM (*Design for Manufacturability*) e DFV (*Design for Value*), para maiores informações sobre estes métodos, consulte (GEOFF BOOTHROYD, 1980; BOOTHROYD et. al, 1994; BRALLA, 1996; PAHL e BEITZ 1996).

Estas foram aplicadas com o intuito de identificar novas oportunidades que atendessem às premissas do projeto, comentadas anteriormente, mais especificamente: (i) redução dos custos, (ii) aumento de eficiência (iii) e melhorias de qualidade. Após a conclusão destas atividades, novas oportunidades, tanto de redução de custos como de design do produto, foram identificadas e as mais factíveis, avaliadas com maior cautela, frente à teoria de Arquitetura Modular. De acordo com a Arquitetura Modular desenvolvida na empresa, módulos com baixa pontuação, teoricamente não são considerados importantes pelo cliente final e podem sofrer alterações sem que o produto perca valor frente à visão do cliente. Sob esta ótica, constatou-se que o Módulo Seis (capa externa, tela e base) conforme Figura 8, continha menor pontuação e, portanto, poderia ser explorado com maior liberdade, sem dirimir a imagem do produto. Outras oportunidades foram avaliadas e desenvolvidas em paralelo. A oportunidade de maior relevância, frente à premissa de *payback*, foi atribuída ao módulo seis. Este módulo contém peças que poderão ser alteradas visando à redução de custos, sem a preocupação de desgostar o cliente, já que teve menor pontuação na avaliação modular.

Outro aspecto relevante em relação ao desenvolvimento do módulo seis, foi a constatação de que se implantado, apresentaria grande potencial de comunalização de peças, uma vez que este poderia ser intercambiável entre as linhas atuais de produto. Existem produtos com mesmas características construtivas, permitindo a comunalização. Desta forma, uma proposta de re-projeto do Módulo Seis foi desenvolvida tendo como principal premissa a redução de custo, sem afetar a qualidade e funcionalidade deste. Nesta etapa, identificou-se um desafio técnico a ser solucionado. Um dos riscos mais significativos, identificado pela equipe técnica do projeto durante o desenvolvimento do FMEA, foi o aumento significativo de ruído propagado ao ambiente interno (ambiente climatizado), devido à modificação estrutural. Este risco foi comprovado após os primeiros testes, realizados com os protótipos funcionais. O impacto no ruído foi considerado significativo e, portanto, deveria ser solucionado até a conclusão do desenvolvimento do produto. Este risco identificado no FMEA alimentou a entrada do mapa de raciocínio, com uma pergunta que serviu de base para a investigação, ou seja, $Y=f(X)$. A pergunta que deu origem ao início ao processo de investigação da equação foi: “Como o ruído pode ser atenuado?” Na Figura 9, um exemplo de um mapa de raciocínio para a fase inicial de investigação é exposto. De acordo com a metodologia Seis Sigma da empresa, o início das atividades consiste na construção de um mapa de raciocínio, com o intuito de aprofundar mais o problema a ser estudado, bem como levantar possíveis caminhos para a solução do problema, embasados em experiência anterior e

opinião de especialistas na área estudada. . Na Figura 9 apresenta-se o fluxo teórico da metodologia Seis Sigma aplicada na empresa, contemplando desde o questionamento inicial, onde é expressa a questão ainda insolúvel, até o momento da definição do primeiro plano de amostragem. Este plano é realizado, para compreender as variações do processo no qual será aplicado o estudo.

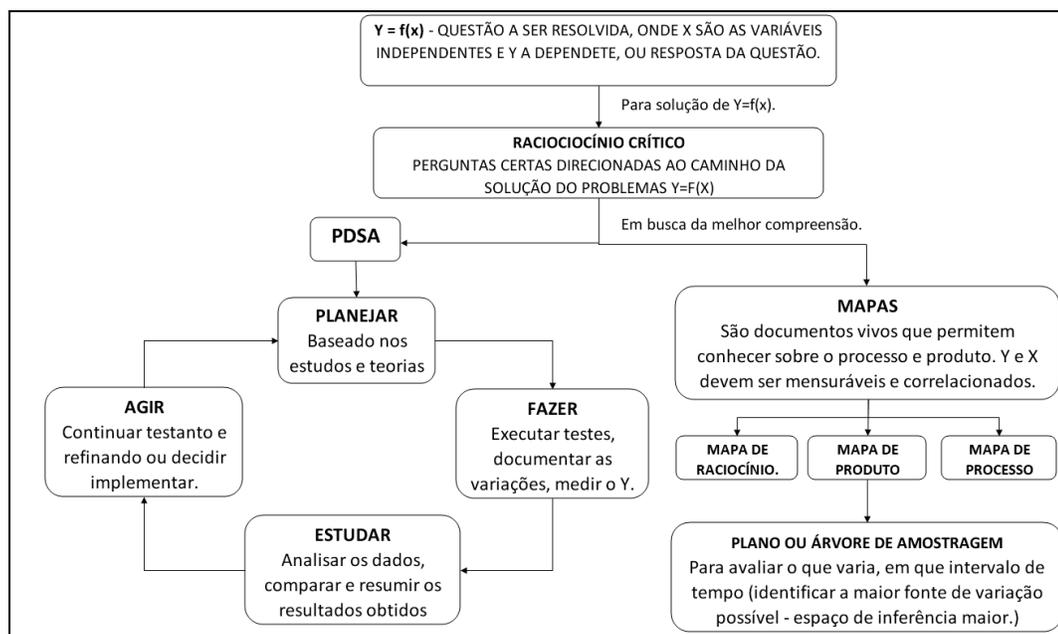


Figura 9. Mapa de raciocínio fase inicial Seis Sigma

Fonte: próprio autor

. O método é iniciado a partir de um mapa de raciocínio, que é normalmente iniciado pelo gestor técnico, e suportado por especialistas na área envolvida (neste caso especialistas em acústica) e por *Master Black Belts* (especialistas em Seis Sigma), ambos pertencentes ao comitê técnico. O mapa de raciocínio busca criar um caminho lógico, através de perguntas e respostas, em busca da solução do problema em questão. Já o mapa de produto e processo, buscam respectivamente, explicar como o produto e processo são desenvolvidos, em detalhes, indicando especificações, características, etc. Os mapas são documentos “vivos”, devendo ser revisados constantemente com o intuito de reportar de forma simples e direta o raciocínio, os caminhos e resultados que o pesquisador desenvolveu durante a tratativa do problema. Nos mapas, questões sobre o produto e o processo são identificadas para posteriormente, serem investigadas e solucionadas. Sendo assim, torna-se imprescindível a construção além do mapa de raciocínio, também de um mapa de produto e um de processo.

Nestes últimos, são identificadas às principais funções $Y=f(X)$, para cada etapa do processo e do produto respectivamente, identificando, fatores que deverão ser incluídos e estudados nos experimentos posteriores. Após a etapa anterior do FMEA, de mensuração dos riscos, nesta fase do projeto foi criado o plano de testes do projeto, através do desenvolvimento do FMEA, para tratar os principais riscos identificados. Este plano é criado e acordado através de reuniões com a equipe técnica. O Quadro 10, expressa o fluxo de informação da Fase 4, considerando a aplicação de Arquitetura Modular, Seis Sigma e FMEA.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Soluções técnicas identificadas e pontuadas Identificação dos principais riscos através do FMEA	Agrupamento das soluções técnicas da MIM em módulos, utilizando a análise de cluster Formação de Mapas para identificação da questão $y=f(x)$ Desenvolvimento do FMEA até etapa de identificação dos testes necessários.	Resultado do mapa de raciocínio $y=f(x)$ Propostas de módulos funcionais Plano de testes oriundo do FMEA

Quadro 4: Fluxo de informações da Fase 4 – Detalhamento do Design – Aplicação

4.9 Aplicação da Fase 5 do PDP: Testes e refinamentos

Na fase de testes e refinamento, a identificação das interfaces dos módulos e a aplicação da metodologia Seis Sigma para solução dos problemas são as premissas básicas para conclusão do desenvolvimento do produto, bem como, finalização da integração proposta. Da mesma forma como a etapa anterior, nesta etapa ocorre a aplicação dos métodos de Arquitetura Modular da empresa adaptado de Erixon et al. (1996) e Seis Sigma paralelamente, conforme sugestão de integração feita por Habigzang (2010). Portanto, o desenvolvimento a seguir será composto de duas etapas paralelas: (i) aplicação da modularidade à Fase 5 do PDP e (ii) aplicação do Seis Sigma à Fase 5 do PDP.

4.10 Aplicação da Modularidade à Fase 5 do PDP - definição das interfaces dos módulos

No que diz respeito à Arquitetura Modular, na fase de detalhamento do design do PDP, o objetivo principal é evoluir nos conceitos dos módulos, identificando as interfaces dos

mesmos e, por conseguinte, analisar se é possível realmente operacionalizar a modularização proposta. Para análise das interfaces de cada módulo, sugere-se aplicar o cruzamento entre os módulos determinados, através de uma matriz de cruzamento, como segue na Figura 10. Esta aplicação é fundamental para a evolução da etapa seguinte de Arquitetura Modular, que compreende a descrição e documentação de cada módulo.

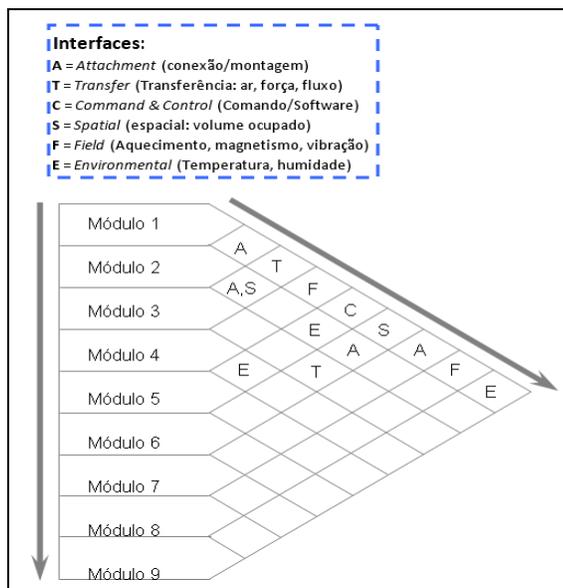


Figura 10. Matriz de interface dos módulos

Fonte: adaptado de Borjesson (2010)

A Figura 10 demonstra o cruzamento dos módulos para identificação das interfaces, sendo que o modelo de modularização usado na empresa sugere seis tipos de interfaces: montagem, transferências, comandos, espacial, campo e ambiente. Estas interfaces foram determinadas pela empresa, considerando-se a sua atividade principal que é manufatura de eletrodomésticos. Dependendo da natureza das atividades e, dos produtos de uma empresa, as interfaces dos módulos poderão ser diferenciadas. Mais detalhes podem ser vistos em Ulrich and Tung (1991) e Ulrich (1995), que apresentam uma classificação de Arquitetura Modular e também tratam em seus estudos, da diferenciação entre módulos e suas combinações. Nesta etapa da Arquitetura Modular, buscou-se aprimorar cada módulo, através da visualização, criação de desenhos técnicos, modelos 3D e especificações refinadas.

As especificações contidas nestes estudos deverão ser documentadas e terão inter-relação com resultados determinados nos experimentos de Seis Sigma, uma vez que informará parâmetros ideais de operação/especificação dos componentes, sistemas e processos.

4.11 Aplicação do Seis Sigma à Fase 4 do PDP - refinamento e validação do conceito, através da metodologia Seis Sigma

Paralelamente a etapa de Arquitetura Modular descrita, o Seis Sigma, após a construção dos mapas, indica a necessidade de estudar e compreender os fatores que podem ser relevantes ao processo e o produto que está sendo desenvolvido. Estes fatores foram previamente identificados nos mapas, onde estes são identificados como os “Y” das equações, $Y=f(x)$. Considerações secundárias, relativas a ruídos (variações) de processos, ambientes e produtos de cada etapa, integram os mapas e estudos da mesma forma como os fatores mencionados. Após análise dos mapas e levantamento de informações pertinentes, tornou-se comum à equipe a percepção de que para este projeto, a variável de resposta ‘Y’ a ser investigada era o ‘nível de ruído’ do tipo ‘menor-é-melhor’. Portanto, nesta etapa do estudo, foi definido um primeiro plano de medições, para melhor compreender o problema mencionado e validar se o conceito do produto (protótipo) realmente apresenta o problema identificado no mapa de raciocínio, risco de ruído elevado. Nesta primeira etapa da metodologia Seis Sigma realizou-se um planejamento amostral, apresentada na Figura 11, para realização de testes preliminares. No planejamento buscou-se comparar o produto atual, frente à proposta do novo produto, para verificar o efeito da presença de um sistema atenuador de ruído, com intuito de solucionar o problema de ruído. Diferentes velocidades e setups do aparelho foram medidas para aumentar o espaço de inferência (possibilidades de operação) do modelo testado.

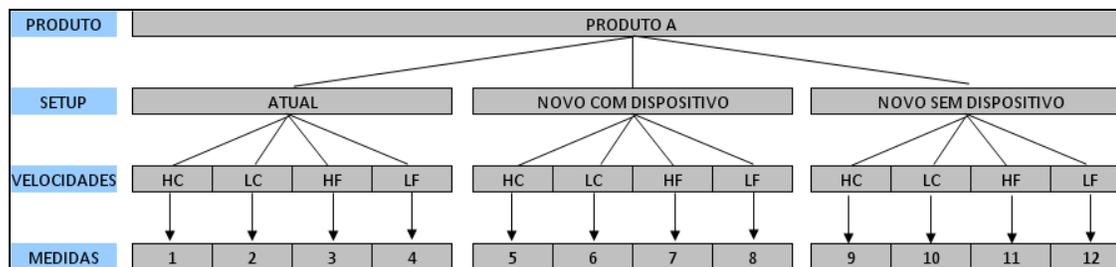


Figura 9. Delineamento experimental
Fonte: próprio autor

Após as medições preliminares de ruído, realizadas em câmara anecóica, conforme planejamento da Figura 11, o problema de ruído foi confirmado, constatando-se que parte das avaliações realizadas no mapa de raciocínio estavam corretas e que estas levavam à indicação de que o novo módulo (módulo seis), era inferior (pior) ao atual, no quesito ruído, e portanto, o dispositivo atenuador testado na Figura 11 deveria ser utilizado para compensar esta deficiência.

A partir desta informação registrada nos mapas, a segunda etapa do projeto Seis Sigma pôde ser executada, através da realização de um experimento, DOE (*Design of Experiments*), para validação da eficiência do dispositivo atenuador de ruído escolhido sob diferentes condições de desempenho. Para realização deste DOE, os mapas indicaram alguns fatores que poderiam ser estudados, e destes, cinco foram julgados pela equipe, com o apoio de especialistas, como mais relevantes, foram escolhidos para compor o experimento.

Os fatores escolhidos foram analisados em dois níveis, através de dezesseis rodadas de teste. Portanto este experimento é classificado como um experimento de dois níveis fracionado (2^{5-1}), em bloco, conforme ilustra a Figura 12. Os fatores escolhidos foram: (A) marca de compressor: nível (-) marca “a” e nível (+) marca “b”; (B) espessura do material nível (-) 0,45 mm e nível (+) 0,95 mm; (C) isolamento tipo A: nível (-) sem isolamento e nível (+), com isolamento; (D) isolamento tipo B: nível (-) sem isolamento e nível (+), com isolamento; (E) tensão de trabalho (- e +). Considerando o experimento (2^{5-1}), os quinze graus de liberdade analisados no experimento foram: A, B, C, D, E, A*B, A*C, A*D, A*E, B*C, B*D, B*E, C*D, C*E, D*E. Para aumentar o espaço de inferência, foram realizadas duas medições, em velocidade alta e baixa do aparelho, para cada combinação de fatores testada, sendo que para cada uma destas, três repetições foram realizadas, com intuito de obter uma média e garantir a validade das medições, comprovada posteriormente através de análise de variância Na Figura 12, o experimento é ilustrado. Estão em destaque os experimentos de resultado mais eficientes, ou seja, que apresentaram menor ruído (Y).

(análise histórica e observação de especialistas). Já, o fator D, tem coerência de seus resultados com as previsões realizadas nos mapas.

Por fim, frente a estas observações, concluiu-se que: (i) os fatores C e D deverão ser mais explorados em um próximo estudo; (ii) o fator A, deverá ser descartado uma vez que não apresenta significância em nenhum dado histórico; (iii) O fator B, por não apresentar significância também deverá ser excluído; (iv) e o fator E, poderá ser fixado, uma vez que a teoria já foi confirmada e o fator não pode ser controlado em campo (durante operação normal em ambiente doméstico).

Devido aos resultados alcançados no experimento atingirem a expectativa do projeto, o módulo 6 está apto a ser liberado para detalhamento das especificações e documentação do módulo. Durante este detalhamento, sugere-se um novo DOE, para refinamento dos fatores significativos almejando potencializar os resultados obtidos.

Nesta etapa do desenvolvimento, todos os testes identificados no FMEA com críticos, conforme fase anterior, foram concluídos garantindo assim a provação do produto, frente a mitigação dos riscos. O Quadro 5 demonstra o fluxo de informações do projeto nesta fase.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Resultado do mapa de raciocínio $y=f(x)$	Aplicação da metodologia Seis Sigma, com realização de experimentos para validação dos conceitos	Definição dos parâmetros críticos e de seus níveis
Propostas de módulos funcionais	Desdobramento da matriz de identificação das interfaces	Definição das interfaces e documentação dos módulos
Plano de testes oriundo do FMEA	Execução do plano de testes do FMEA	Plano de testes do FMEA concluído

Quadro 5. Fluxo de informações da fase 5 – Testes e refinamentos - Aplicação

Neste estudo, a entrada da metodologia Seis Sigma contou com o problema de nível de ruído do produto como variável de resposta a ser utilizada para validar o módulo 6 [$Y=f(X)$] e a saída da fase, após realização do experimento, foram as definições dos parâmetros críticos e seus níveis. Nesta etapa se encerrou a aplicação da proposta de integração entre Arquitetura Modular e Seis Sigma.

4.12 Fase 6: (Produção e Lançamento)

Nesta etapa final do projeto, onde se iniciam as atividades fabris, como linha piloto e fase inicial de produção, sugere-se que as aplicações de Arquitetura Modular e Seis Sigma estejam concluídas, restando apenas, a mensuração dos ganhos e tabulação de algum resultado ou mesmo aquisição de dados para futuras pesquisas/desenvolvimentos. Índices de qualidade devem ser acompanhados a partir deste momento, observando os dados de campo que o setor de pós vendas irá coletar e administrar. O Quadro 12 demonstra o fluxo de informações desta fase.

Entrada	Desenvolvimento	Saída da Fase
Definição dos parâmetros críticos e de seus níveis Definição das interfaces e documentação dos módulos Plano de testes do FMEA concluído	Mensurar e avaliar os ganhos obtidos com o projeto.	Fechamento do projeto, indicação dos resultados.

Quadro 6. Fluxo de informações da fase 6 – Produção e lançamentos – Aplicação

5 RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Após aplicação da proposta de integração foi possível realizar algumas análises dos resultados obtidos, tanto para Arquitetura Modular quanto Seis Sigma e, projetar ganhos de qualidade, que ainda não são possíveis de medir, pois são mensurados apenas depois dos produtos estarem em campo durante um período de tempo (mensurar falhas em campo). Contudo, sugestões de melhoria no processo foram propostas pela equipe visando melhor expressar os resultados e fortalecer os indicadores, sendo que estas serão descritas nos itens durante o desenvolvimento da presente seção deste artigo.

De relevância nos resultados obtidos, o redesenho do produto surgiu através de atividades de *brainstorming* e eventos como DFV, DFA, onde foi identificada a oportunidade de melhoria, desde que o redesenho do produto fosse realizado

5.1 Resultados referentes à pesquisa aplicada a funcionários da empresa

Em relação à pesquisa aplicada (Apêndice 1), alguns resultados podem ser destacados. Sendo que o público pesquisado foi de 42 pessoas no total.

As perguntas e respectivamente, as respostas mais relevantes seguem a seguir:

- 1) A quanto tempo você está na empresa? A maior concentração de entrevistados tinha de 3 a 5 anos de experiência na empresa
- 2) Em que área da empresa você atua? A maioria dos entrevistados, cerca de 50%, atua na engenharia de produtos, vinculada com gestão de projetos.
- 3) Indique qual área(s) de conhecimento você possui treinamento/atua? A distribuição das áreas de atuação foram bastante homogêneas, sendo que muitos atuam em mais de uma área de conhecimento simultaneamente. Cerca de 65%, conhecem e/ou atuam no programa de Seis Sigma e não no de Arquitetura Modular. E cerca de 90%, conhecem o sistema de PDP da empresa e participa ou participou de projetos de desenvolvimento de produtos.
- 4) A quanto tempo atua/possui treinamento nas áreas de conhecimento acima? (Caso tenha marcado em mais de uma área na questão anterior, favor indicar ao lado de cada opção que segue). Em média o público respondeu que atua de 1 a 3 anos.
- 5) Qual a sua relação com o desenvolvimento de produtos da empresa? A maioria do público, aproximadamente 75% conhece a metodologia de PDP e possui treinamento e, cerca de 50% destes atua, ou já atuou na liderança de projeto.
- 6) Você já participou de projetos de desenvolvimento de novos produtos? Quantos? A grande maioria, cerca de 75% já participou entre 3 e 5 projetos.
- 7) Qual a sua relação com as atividades de Arquitetura Modular da empresa ? Cerca de 70% possui treinamento, porém apenas 50% destes atuam em atividades relacionadas.
- 8) A quanto tempo participa do processo de Arquitetura Modular? Em média, os entrevistados participam de 1 a 2 anos.
- 9) Qual a sua relação com as atividades de Seis Sigma da empresa ? Uma porção não muito significativa, cerca de 30% dos entrevistados possui treinamento de Black Belt.
- 10) A quanto tempo participa do processo de Seis Sigma? Em torno de metade dos entrevistados, participa de 1 a 2 anos, cerca de 30% participa mais de 3 anos, e os demais, encontram-se na fase inicial, cerca de 1 ano. Apenas cerca de 5% participa mais de 4 anos.
- 11) Você conhece os indicadores de Arquitetura Modular do seu setor? Todos foram incisivos, afirmando que conhecem os indicadores.
- 12) Você conhece os indicadores de Seis Sigma em um projeto de Black Belt? Cerca de 50% não conhecem indicadores ou mesmo os projetos de Black Belt em detalhes.

- 13) Referente ao desenvolvimento de produtos, você identifica a oportunidade de aplicar os métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma no desenvolvimento de um novo produto? P.q? A maioria, cerca de 70%, identifica a oportunidade, porém o restante afirmou não conhecer a fundo as duas atribuições, para afirmar esta oportunidade.
- 14) Na sua opinião é possível aplicar Arquitetura Modular e Seis Sigma, com um objetivo comum, durante o desenvolvimento de um produto? P.q? A grande maioria, cerca de 85% afirma que sim. Entre os entrevistados, uma resposta relevante foi: “(...) Sim, o Seis Sigma é uma filosofia que possui metodologias de testes planejados entre outras. Esses testes podem ser usados pra validar as variantes mais importantes, as *principais interfaces, ajudar a definir os módulos, etc...* Caso isso já não seja claro baseado na *teoria de engenharia*”.
- 15) Você acredita que o Seis Sigma pode auxiliar na validação de um módulo? P.q? Os entrevistados de maneira geral, afirmaram que sim, devido as ferramentas envolvidas no Seis Sigma que possibilitam o estreitamento de fatores críticos.
- 16) Você identifica a oportunidade de aplicar o Seis Sigma e a Arquitetura Modular em um processo de PDP (desenvolvimento de produtos), seguindo a seqüência de atividades do PDP? Justifique. Alguns discordaram desta afirmação, indicando que seis sigma deve ser conduzido a parte, cerca de 20% dos entrevistados. Uma resposta considerada relevante foi a seguinte: “(...) sim, em quase todas as etapas do PDP existe um planejamento ou revalidação que pode ser baseado no resultado de algum experimento (seja virtual ou físico).”

A figura 1 do estudo ilustra a sugestão de um PDP (desenvolvimento de produto) genérico, no qual estão inseridas atividades de Arquitetura Modular e Seis Sigma, para desenvolvimento de um novo produto.

- 17) Quanto às atividades de Arquitetura Modular, você concorda que devem acompanhar as atividades de desenvolvimento do produto, desde a fase inicial, buscando conhecer os anseios dos clientes? Dos entrevistados que responderam que conhecem a teoria de Arquitetura Modular, foi unânime a resposta afirmativa desta questão.
- 18) Você concorda com a seqüência de atividades de Arquitetura Modular proposta na figura, quando avaliado frente a um desenvolvimento de produto? Explique. Os entrevistados concordaram, porém alguns, cerca de 25% indicaram não

necessariamente deveriam ser seguidas desta forma, dependendo se o produto que está sendo projetado é totalmente novo, ou se é apenas uma melhoria de um produto existente.

- 19) E quanto ao Seis Sigma, considerando este como ferramenta para validar o conceito escolhido durante o PDP, você concorda que este poderia ser disposto conforme seqüência descrita na figura? P.q? Como resposta relevante a ser destacada, três participantes indicaram que o Seis Sigma deve ser utilizado em todas as etapas.
- 20) Você gostaria de fazer mais algum comentário sobre a figura acima ou sobre o questionário?

5.2 Resultados de Arquitetura Modular

Após a realização da proposta integrada de Arquitetura Modular e Seis Sigma foram alcançados os seguintes resultados práticos: (i) redução de nove peças para sete peças (redução de 22%); (ii) ganhos diretos com redução de administração de peças em relação ao custo de fabricação do produto, cerca de 0,02% do valor do produto. Estes ganhos foram gerados através do redesenho dos módulos e comunalização de duas peças específicas da estrutura do produto.

Analisando os resultados obtidos, a opinião predominante é que os resultados obtidos pela integração da Arquitetura Modular e Seis Sigma quando expressos em conjunto, apresentam maior robustez e produzem maior aceitação por parte de avaliadores externos ao projeto, tais como gestores e gerentes.

5.3 Resultados obtidos através das melhorias estruturais

Através da melhoria estrutural desenhada com o desenvolvimento do novo módulo, estimam-se os seguintes ganhos: (i) redução do índice de falhas em 50% do Módulo 6 (estimativa baseada em simulações e protótipos, onde a ocorrência de parte das falhas foi eliminada com a exclusão de características críticas que causavam a falha). Estes ganhos gerados com melhorias de qualidade, através da reformulação do módulo, geram cerca de 0,07% de redução de custos, em relação ao custo total do produto. Similar ao ganho anterior, este parece desprezível em relação ao custo do produto, reforçando mais uma vez a necessidade de união dos resultados dos indicadores. Porém, é importante comentar que, através da modularização

do produto, realizada neste projeto, foi possível viabilizar que o Módulo 6 fosse aplicado à uma linha de produtos. Portanto os ganhos de qualidades estendem-se a um volume maior de produtos, sendo o aumento de aproximadamente 60%. É importante salientar que os resultados citados mesmo sendo aparentemente desprezíveis, tais como os 0,02% (redução de peças) e 0,07% (ganho de qualidade), se somados e multiplicados pelo volume anual de produção, tornam-se números significativos, gerando uma economia de mais de R\$ 65000,00.

5.4 Resultados gerados com re-design do Módulo Seis e melhorias provenientes da aplicação do Seis Sigma

Neste projeto, ocorreram ganhos expressivos provenientes da melhoria estrutural realizada no Módulo 6. Esta melhoria só foi possível, após análise de *benchmarking*, *brainstorming*, e como já mencionado, através de ferramentas como DFV, DFA e DFM. Os conceitos criados pela equipe técnica, após estas análises, foram validados através de simulações de eficiência e robustez, com o uso de softwares como ANSYS, que simulam elementos finitos, bem como testes em laboratórios com protótipos funcionais. Só após estas validações, o conceito pode ser evoluído através do experimento de Seis Sigma descrito, e o ganho contabilizado, referente a reestruturação do módulo 6, conforme será comentado. Os ganhos mais significativos da metodologia Seis Sigma, também foram gerados através desta modificação. O projeto de Seis Sigma possibilitou que houvesse uma redução incremental proveniente da simplificação e redução de espessura do atenuador de ruído, possibilidade esta sugerida após análise do DOE descrito na Figura 11. Os ganhos diretos relacionados com o re-design do módulo e melhoria do atenuador de ruído, obtidos através do DOE, foram: (i) ganhos com reduções no atenuador de ruído, 0,22% em relação ao custo do produto; (ii) ganhos com o re-design da estrutura do Módulo 6, 1,32% em relação ao custo do produto, devido a reformulação estrutural do módulo.

5.5 Totalização dos ganhos com a integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma para projeto do Módulo Seis

Para este projeto, portanto, estima-se uma redução direta de 1,63% do valor do produto, somando-se todos os resultados descritos acima, considerando-se os volumes atuais de produção, o resultado global aproximadamente é de R\$ 1,25 milhões de reais por ano. Este

somatório é considerado relevante, tanto em relação ao custo unitário do produto quanto, considerando-se o montante de produção anual deste, justificando, portanto, investimentos e direcionamento de recursos para execução do projeto. Caso o desenvolvimento do novo módulo fosse realizado a aplicação de Arquitetura Modular e Seis Sigma, parte da redução encontrada, cerca de 0,22% de custo do produto o que gera um montante aproximado de R\$ 170 mil reais por ano, não seria acrescido nos resultados deste projeto. Os ganhos gerados pelo uso da Arquitetura Modular isoladamente poderiam ser alcançados sem a aplicação do Seis Sigma, entretanto os ganhos alcançados neste projeto, cerca de 0,2% do custo do produto, ou aproximadamente R\$ 19 mil reais por ano de redução, provavelmente não justificariam o dispêndio de recursos, para a realização das modificações.

5.6 Adaptação dos indicadores sugeridos

Após avaliação dos resultados, foi constatado pelo comitê técnico, que seria necessário agrupar os indicadores, somando a estes, o valor obtido pelo re-design do Módulo 6. Desta forma, sugere-se uma nova tabela de indicadores, com a exclusão das duas colunas relativas aos percentuais de redução de peças e de falhas, julgadas não relevantes e inclusão de duas novas colunas: (i) ganhos diretos com o projeto (neste projeto, cita-se o ganho gerado com o re-design do módulo 6); (ii) ganhos diretos com melhorias provenientes dos experimentos de Seis Sigma (DOE). De acordo com os comentários anteriores, segue a Figura 13, com a proposta de indicadores revisada.

Situação Atual			Sistema Proposto			Ganhos Realizados			
Modularidade		6 α	Modularidade		6 α	% Redução		Ganhos Diretos	
Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Nº Peças	% Falhas	Modularidade	6 α
9	1	0,08	7	1	0,04	-22,20%	0,04	0,02%	0,07%

↓

Situação Atual			Sistema Proposto			Ganhos Realizados			
Modularidade		6 α	Modularidade		6 α	Módulos	6 α	Projeto	
Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Nº Peças	Nº Módulos	% Falhas	Modularidade	6 α Projeto	Ganhos Diretos	6 α - DOE
9	1	0,08	7	1	0,04	0,02%	0,07%	1,32%	0,22%
Total de Reduções (%)									1,63%

GANHOS DIRETOS GERADOS COM O PROJETO (NESTE CASO, COM O REDESIGN DO MÓDULO SEIS).

Figura 13. Proposta revisada de indicadores de Arquitetura Modular e Seis Sigma.

Fonte: próprio autor

Por fim, sugere-se uma linha na tabela que totalize os ganhos, somando todos os resultados das colunas. A proposta revisada na Figura 13 apresenta indicadores ainda não medidos pela companhia, gerando assim uma nova oportunidade de controle dos ganhos financeiros e de qualidade gerados em um projeto, através da execução das atividades de Arquitetura Modular e Seis Sigma. De acordo com revisão proposta, a soma dos resultados de Arquitetura Modular e Seis Sigma, deve ser indicada em conjunto com os ganhos do projeto, gerados ao longo do PDP, de forma a agregar valor aos indicadores, coerentes com a proposta inicial de inclusão destes a um processo de PDP. Como no Seis Sigma, de acordo com o método atual de PDP da empresa, ainda não existe indicador a ser apresentado ao comitê gerencial, a proposta de integração dos indicadores, visa traduzir os resultados da aplicação do Seis Sigma em ganhos financeiros e de qualidade, gerados durante o projeto, para que possam ser apresentados nos comitês.

5.7 Revisão proposta de integração dos métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma

Após o término das quatro primeiras atividades de Arquitetura Modular (i) identificação dos requisitos dos clientes, (ii) identificação das propriedades do produto - QFD, (iii) identificação das soluções técnicas – DPM e, (iv) determinação dos módulos através de análise de cluster – MIM, constatou-se que estas ocorreram em paralelo com as atividades de DFA, DFM, DFV, entre as fases de Planejamento e Desenvolvimento do Design do PDP. Portanto sugere-se uma revisão da proposta de aplicação, expressa na Figura 8, determinando que as quatro primeiras fases de Arquitetura Modular sejam concluídas até o término do desenvolvimento do design do projeto e, a etapa seguinte, de determinação das interfaces dos módulos, poderá ocorrer durante as fases de Detalhamento e Testes e refinamento. O FMEA, por ser uma ferramenta que busca antecipar possíveis riscos e, gerar ações para mitigar estes, sugere-se a aplicação desde o início de cada fase do PDP, embasando e validando cada etapa, de forma a conduzir o desenvolvimento de forma mais assertiva e focada na segurança do produto. A aplicação da metodologia Seis Sigma pôde ser mantida na configuração da proposta inicial, sendo aplicada a partir da fase 4 do PDP proposto. Conforme os comentários de revisão deste capítulo, segue Figura 14, baseada na proposta inicial deste estudo, considerando as revisões comentadas.

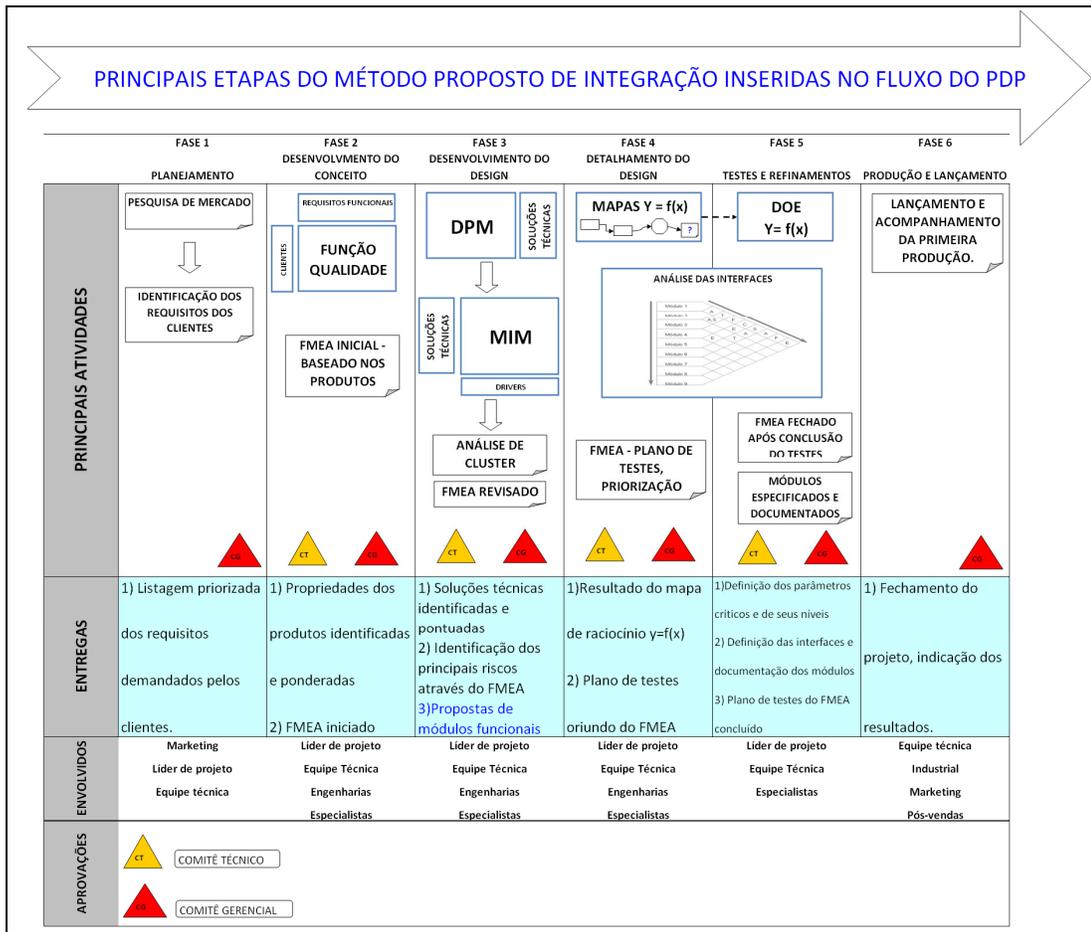


Figura 11. Revisão da proposta de integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma
Fonte: próprio autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E ETAPAS FUTURAS

Este artigo apresentou um estudo de caso referente à aplicação de uma proposta de aplicação de Arquitetura Modular e Seis Sigma no PDP de uma empresa que desenvolve eletrodomésticos. O caso estudado indicou que a integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma gera benefícios maiores do que a aplicação individual destes. Foi possível, a partir da aplicação, realizar ajustes da proposta, porém a validação final da mesma deverá ser realizada através da aplicação em projetos futuros, com diferentes graus de complexidade.

Esta proposta, busca apresentar um modelo de referência de aplicação conjunta dos de Arquitetura Modular e Seis Sigma, visando à utilização não somente na empresa estudada, mas também em outras empresas, pois está embasado em um modelo de PDP. As fases de Arquitetura Modular e Seis Sigma devem respeitar as macro fases de desenvolvimento de um PDP.

Ainda avaliando o projeto realizado, algumas dificuldades foram identificadas durante o projeto, tais como: (i) integração de equipes multifuncionais durante o projeto, em fóruns presenciais, pois na empresa estudada as engenharias de produto e industrial não estão sediadas na mesma localidade; (ii) dificuldades de mensurar ganhos de qualidade, pois não existem dados históricos, trata-se de um novo produto baseado em um modelo anterior (foi realizado através de simulações baseadas nos modelos desenvolvidos); (iii) ao rodar/realizar os experimentos (DOE), ruídos de processo e produto dificultam a análise e validação do experimento e devem ser considerados no estudo; (iv) o tempo de resposta para validação de um experimento, muitas vezes é maior do que o plausível para o projeto; (v) o compartilhamento de recursos, tais como laboratórios, dificulta ainda mais a conclusão e validação dos experimentos; (vi) o apoio direto das lideranças depende muito da comprovação do indicadores e, estes, muitas vezes não podem ser mensurados no início do projeto pois são obtidos durante as fases de desenvolvimento, sendo assim necessário, compor estimativas.

É importante salientar que os resultados, de acordo com a impressão da equipe, podem não ser favoráveis para uma das atividades, Arquitetura Modular e Seis Sigma, se usados isoladamente, concordando que a união destes dois, pode tornar a aplicação mais bem sucedida. A equipe também comenta que, os indicadores deverão ser aprimorados e validados através da aplicação em mais projetos. Outro ponto relevante é que o Seis Sigma pode ser aplicado, durante as etapas iniciais do projeto, se considerado que este pode ser aplicado para solução de problemas históricos, aos quais o novo produto estará exposto. Sugere-se também o uso do FMEA para auxiliar na construção dos mapas, atentando aos principais riscos do projeto, e facilitando a priorização de recursos para a execução de planos que busquem mitigar os riscos identificados no FMEA.

A proposta avaliada neste artigo é aplicável a empresas que já possuam estrutura e histórico na aplicação de atividades de Arquitetura Modular e Seis Sigma e também possuam um histórico de PDP, onde profissionais treinados nestas áreas atuem em equipes multifuncionais de implantação de projetos. Também é importante que o Seis Sigma e a

Arquitetura Modular, estejam presentes na cultura da empresa, localizando-se no cerne da gestão, facilitando assim condução da proposta de integração estudada.

Avaliando-se focalmente os métodos utilizados na empresa, observa-se que a Arquitetura Modular ainda deve passar por uma fase de amadurecimento e concretização, uma vez que sua aplicação na empresa é recente e de grande amplitude. O Seis Sigma, por sua vez, devido ao maior tempo de aplicação e maior disseminação na corporação, já alcançou níveis mais altos de maturidade e pode ser considerado como parte da cultura da empresa.

Como todo método desconhecido, no início da aplicação da proposta integrada sofreu críticas e alguns participantes, desprezaram a iniciativa. Após ajustes e um certo período de adaptação, com a aplicação no projeto do ar condicionado, os resultados palpáveis deste trouxeram mais credibilidade dos integrantes e, observa-se que poderá crescer a sua aplicação à medida que a proposta alcance maior maturidade.

As consequências dos resultados obtidos foram avaliadas como positivas pela equipe e pelo estudo aqui desenvolvido, comprovando a viabilidade da aplicação conjunta, bem como demonstrando resultados que justifiquem a proposta de integração. Contudo, para validação da proposta, sugere-se a aplicação em projetos diferenciados, com o intuito de aumentar o horizonte de aplicação, evoluindo com a proposta e por consequência, tornando os indicadores mais robustos. Dados históricos também facilitarão da mesma forma, a consolidação da proposta de integração.

Por fim, especificamente para o desenvolvimento do produto ar condicionado, sugere-se a continuidade do projeto Seis Sigma, validando o conceito de atenuador de ruído, exposto nos resultados, para uma gama maior de produtos, bem como buscando maiores refinamentos, com o intuito de maximizar os resultados financeiros.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos gerentes e profissionais da empresa onde foi realizado o estudo, pois sem o apoio e contribuição destes, o desenvolvimento desta pesquisa não seria possível.

7 REFERÊNCIAS

- AKAO, Y. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Cambridge: Productivity Press, 1990.
- ARNHEITER, E. ; MALEYEFF, J., The integration of lean management and Six Sigma. Total Quality Management, Vol. 17, No.1, 5-18, 2005.
- BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. The TQM Magazine, v. 14, n. 2, p. 92-99, 2002
- BALDWIN, C. Y. & CLARK, K. B. Managing in the age of modularity. Harvard Business Review, (September– October), 84–93. 1997
- BERTELS, T.; PATTERSON, G. Selecting Six Sigma projects that matter. Six Sigma Forum Magazine, V. n. 1, p. 13-17, nov. 2003.
- BITITCI, U. S.; CARRIE, A. S. & McDEVITT, L. Integrated performance measurement systems: a development guide. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 17, n. 5, p. 522-534, 1997.
- BOOTHROYD, G., “Design for Assembly – A Designer’s Handbook”, Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts, Amherst, Nov. 1980.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. Introduction. Product. Design for Manufacture and Assembly. New York, 1994. p. 2103-2107
- BORJESSON, FREDRIK. A Sistematic Qualitative Comparison of Five Approaches to Modularity. International Design Conference – Design 2010. Dubrovnik - Croatia, May. 2010.
- BRALLA, J. G. Design for Excellence. New York: McGraw-Hill, 1996. 340-349
- CHANG, T. Six Sigma: a framework for small and medium-sized enterprises to achieve total quality. 208 f. Thesis (PhD in Production Management). Cleveland State University, Cleveland, 2002.
- CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.
- CLAUSING, D. Total quality development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering. New York, Asme Press, 1993.
- CREVELING, C.M., SLUTSKY, J.L. & ANTIS, D JR. Desing for Six Sigma. New Jersey, Prentice Hall Books, 2003.
- COOPER, R.G.; KLEINSCHMIDT, E.J. Winning business in product development: the critical success factors. Research-technology management, v.39, n.4, p.18-29, July, 1996.
- DA SILVEIRA, GIOVANI, DENIS BORENSTEIN, FLAVIO S. FOGLIATTO: Mass customization: Literature review and research directions, 2001.
- DIEHL, ASTOR ANTÔNIO, TATIM, DENISE CARVALHO. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.
- GÖPFERT, J. Modulare Produktentwicklung - Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation; Gabler Verlag/Deutscher Universitätsverlag; Wiesbaden, 1998
- GUNNAR ERIXON: "Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation", Ph.D. Thesis - The Royal Institute of Technology, Stockholm, 1998.

- HABIGZANG, M. Proposta de integração entre arquitetura modular e programa Seis Sigma no processo de desenvolvimento de produtos da linha branca – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), (2010).
- HAHN, G. J. DOGONAKSOY, N.; HOERL, R. The evolution of six sigma. *Quality Engineering*, v. 2, n. 3, p. 317-326, 2000.
- HAIR, J. F. et al. *Análise multi-variada de dados*. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HAN, C.; LEE, Y. H. Intelligent integrated plant operation system for six sigma. *Annual Reviews Control*, v. 26, p. 27-43, 2002.
- HART, C.W.L. - Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. *International Journal of Service Industry Management*. Vol. 06, n.02, p.36-45, 1995.
- HARRY M & CRAWFORD J.D. Six sigma for the little guy. *Mechanical Engineering*, Vol 126 No 11, pp 8-10, 2004.
- HENDERSON, K. & EVANS, J. Successful implementation of six sigma: benchmarking General Electric Company. *Benchmarking and International Journal*. Vol.7, n.4, p.260-281, 2000.
- JOHNSON, A., SWISHER, B. How six sigma improves R&D. *Research Technology Management* 46 (2), 12–15, 2003.
- KUMAR, M. et al. Implementing the lean sigma framework in an Indian SME: a case study. *Production Planning & Control*. v. 17, n. 4, p. 407-423, jun. 2006.
- KOTHA, SURESH. Mass costumization, Implementing the Emerging Paradigm for Competitive Advantage. *Strategic Management Journal*, Vol. 16, Special Issue: Technological Transformation and New Competitive Landscape. pp. 21-42, 1995.
- KOTHA, SURESH. From mass production to mass customization: the case of the National Industry Bicycle Company of Japan. *European Management Journal*, v.14, n.5, p. 442-450, 1996.
- LEE, H. L. & TANG, C. S. Modelling the costs and benefits of delayed product differentiation. *Management Science*, 43(1) 40–53. (1997)
- MADER, D.M. Design for six sigma. *Quality Progress* July, 82–86, 2002
- MEYER, M. H. & LEHNERD, A. P. *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*. Free Press, New York, NY, 1997.
- MARTINS, R. A. Use of performance measurement systems: some thoughts towards a comprehensive approach. In: Neely, A. (Ed.) *The Second International Conference on Performance Measurement*, University of Cambridge, p. 363-370, 2000.
- MUFFATTO, M., "Introducing a Platform Strategy in Product Development," *International Journal of Production Economics*, 60-61(pp. 145-153, 1999.
- NEELY, A. The performance measurement revolution: why now and what next?. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 19, n. 2, p. 205-228, 1999.
- PAHL, G., AND BEITZ, W. *Engineering Design - A Systematic Approach*, 2nd edition, London: Springer, 1996.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering Desing, a Systematic Approach*. Springer, 3rd edition, 2006.

- PINE, B. J. 1993, *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press
- PUGH, S. *Engineering Design: Teaching Ten Years On*, in *Creating Innovative Product Using Total Design*, 1978. Editora Addison-Wesley, 1996.
- ROZENFELD, H., F A FORCELLINI, D C AMARAL, J C TOLEDO, S L SILVA, DH ALLIPRANDINI, R K SCALICE *Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo, Saraiva, 2006.
- SALVADOR, F. FORZA, C, RUNG TUSANATHAM, M. Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions. Arizona State University, Department of Management. *Journal of Operations management* 549–575, (2002).
- SELLGREN, U., ANDERSSON, S., "The Concept of Functional Surfaces as Carriers of Interactive Properties", International Conference on Engineering Design (ICED 05), Melbourne, 2005.
- SIMPSON, TIMOTHY W. & TUCKER MARION. Platform-based design and development in industry. ASME 2006, International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Sep. 10-13, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2006.
- ULRICH, K., AND TUNG, K. Fundamentals of Product Variety, Issues in Design Manufacturing/Integration, DE-Vol. 39, ASME, pp.73-77, 1991.
- ULRICH, KARL T. & EPPINGER, STEVEN D. *Product Design and Development*. U.S.A.: Mc Graw-Hill, Inc., 1995.
- ULRICH & STEVEN D. EPPINGER. *Product specifications teaching materials to accompany: Product Design and Development*. 2nd Edition, Irwin McGraw-Hill, 2000.
- WHEELWRIGHT, S.C.; CLARK, K.B. *Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality*. New York: The Free Press - 364p., 1992.
- YOUNG HOON KWAKA, FRANK T. ANBARIB. *Benefits, obstacles, and future of six sigma approach*. The George Washington University, 2004.
- ÉPOCA NEGÓCIOS, revista. *O Segredo dos Inovadores*, edição de Setembro de 2010. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Revista>. Acesso em 20 set. 2010.
- LEAN, SEIS SIGMA SUMMIT 2010. *O melhor programa Lean - Seis Sigma da América Latina em 2010 pela IQPC*. São Paulo, agosto 2010. Disponível em: <<http://www.leanseissigmasummit.com>. Acesso em 08 out. 2010.

APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO ARTIGO 2

Parte I – Perguntas Iniciais: Características dos entrevistados.

Objetivo: Identificar as características do público entrevistado

1) A quanto tempo você está na empresa?

- Até 1 ano 1 a 3 anos Mais de 5 anos?

2) Em que área da empresa você atua?

- Engenharia de Produto Gestão de Projetos Seis Sigma (Qualidade)
 Engenharia Industrial Logística / Suprimentos

3) Indique qual área(s) de conhecimento você possui treinamento/atua?

- Arquitetura Modular Seis Sigma (Black Belt) Gestão de Projetos
 Cadeia de Suprimentos/Fornecedores Engenharia Industrial

4) A quanto tempo atua/possui treinamento nas áreas de conhecimento acima? (Caso tenha marcado em mais de uma área na questão anterior, favor indicar ao lado de cada opção que segue).

- Até 1 ano 1 a 3 3 a 5 Mais de 5 anos.

Parte II – Perguntas Centrais: O processo de desenvolvimento de produtos.

Objetivo: Identificar o conhecimento do público em relação ao desenvolvimento de produtos

5) Qual a sua relação com o desenvolvimento de produtos da empresa?

- Não Possui conhecimentos sobre o sistema de gestão de projetos da empresa;
 Possui treinamento de gestão de projetos (*e-learning*);
 Já atuou ou atua como líder técnico de projetos;
 Já atuou ou atua como líder de projetos;
 Possui especialização em gestão de projetos (Pós-graduação)

6) Você já participou de projetos de desenvolvimento de novos produtos? Quantos?

- 1 a 3 3 a 5 5 a 10 Mais de 10.

Parte III – Perguntas Centrais: O processo de Arquitetura Modular

Objetivo: Identificar o conhecimento do público em relação a Arquitetura Modular

7) Qual a sua relação com as atividades de Arquitetura Modular da empresa ?

- Não Possui conhecimentos sobre o sistema de Arquitetura Modular da empresa;
 - Possui treinamento referente ao processo de Arquitetura Modular da empresa (*e-learning*);
 - Possui treinamento referente ao processo de Arquitetura Modular (treinamento presencial);
 - Já atuou ou atua como gestor de módulos (*Module Owner*);
 - Já atuou ou atua como responsável de modularidade da sua área (*Module Integrator*);
- 8) A quanto tempo participa do processo de Arquitetura Modular?
- Até 1 ano 1 a 2 3 a 4 4 ou mais anos.

Parte IV – Perguntas Centrais: Processo de Seis Sigma

Objetivo: Identificar o conhecimento do público em relação ao Seis Sigma

- 9) Qual a sua relação com as atividades de Seis Sigma da empresa ?
- Não Possui conhecimentos sobre o método;
 - Possui treinamento referente ao método (Green Belt);
 - Possui treinamento de Black Belt, mas não é formado;
 - Possui treinamento de Black Belt e é formado;
 - Possui treinamento de Máster Black Belt, mas não é formado;
 - Possui treinamento de Master Black Belt e é formado;

- 10) A quanto tempo participa do processo de Seis Sigma?
- Até 1 ano 1 a 2 3 a 4 4 ou mais anos.

Parte V – Perguntas Orientadas para a proposta de integração dos métodos no PDP

Objetivo: orientar o entrevistado em relação a proposta do autor e coletar opiniões sobre a mesma.

- 11) Você conhece os indicadores de Arquitetura Modular do seu setor?
- 12) Você conhece os indicadores de Seis Sigma em um projeto de Black Belt?
- 13) Referente ao desenvolvimento de produtos, você identifica a oportunidade de aplicar os métodos de Arquitetura Modular e Seis Sigma no desenvolvimento de um novo produto? P.q?

- 14) Na sua opinião, é possível aplicar Arquitetura Modular e Seis Sigma, com um objetivo comum, durante o desenvolvimento de um produto? P.q?
- 15) Você acredita que o Seis Sigma pode auxiliar na validação de um módulo? P.q?
- 16) Você identifica a oportunidade de aplicar o Seis Sigma e a Arquitetura Modular em um processo de PDP (desenvolvimento de produtos), seguindo a seqüência de atividades do PDP? Justifique.

A figura 1 do estudo, ilustra a sugestão de um PDP (desenvolvimento de produto) genérico, no qual estão inseridas atividades de Arquitetura Modular e Seis Sigma, para desenvolvimento de um novo produto.

- 17) Quanto às atividades de Arquitetura Modular, você concorda que devem acompanhar as atividades de desenvolvimento do produto, desde a fase inicial, buscando conhecer os anseios dos clientes?
- 18) Você concorda com a seqüência de atividades de Arquitetura Modular proposta na figura, quando avaliado frente a um desenvolvimento de produto? Explique.
- 19) E quanto ao Seis Sigma, considerando este como ferramenta para validar o conceito escolhido durante o PDP, você concorda que este poderia ser disposto conforme seqüência descrita na figura? P.q?
- 20) Você gostaria de fazer mais algum comentário sobre a figura acima ou sobre o questionário?

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Após a fase de desenvolvimento deste estudo, percebeu-se que o PDP da empresa, reflete a realidade impressa pelo histórico de desenvolvimento de projetos de produto executados. Devido à natureza das atividades, anualmente a empresa lança uma quantidade bastante significativa de novos produtos no mercado nacional e internacional. No ano de 2009, por exemplo, a empresa lançou no mercado 160 novos itens, uma média de três produtos por semana. Ela deverá encerrar 2010 com 200 novidades no portfólio (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2010). Este ritmo bastante acelerado, condizente com o caráter inovador da empresa, exige uma estrutura de desenvolvimento de produtos à altura, com profissionais especializados, laboratórios e, sobretudo, suportado por um método de PDP estruturado e eficiente. Este, por sua vez, com o intuito de entregar projetos robustos, com alta qualidade e de acordo com as exigências do público-alvo, estrutura-se através de métodos e ferramentas que orientam o projeto, para os resultados desenhados na definição do escopo. Entre as atividades, o Seis Sigma possui grande destaque na empresa, sendo largamente utilizado e difundido a mais de uma década. Em 1997, quando o Grupo Brasmotor introduziu o programa em suas atividades e apurou em 1999 ganhos de R\$ 20 milhões.

4.1 Conclusões

Também auxiliando na melhoria contínua das atividades de desenvolvimento da empresa, a Arquitetura Modular, fortalece as entregas dos mais variados projetos de produtos desenvolvidos. Este não possui tanta maturidade quanto o Seis Sigma pois ainda é considerado como um programa jovem, com alguns anos de evolução na empresa, porém já possui grande amplitude e disseminação em toda a corporação. A proposta de integração é passível de aplicação em qualquer projeto de desenvolvimento de produto gerenciado pela empresa (exceto produtos importados), uma vez que todos os projetos são gerenciados pelo mesmo sistema de PDP, que foi utilizado como base para a proposta de unificação de Arquitetura Modular e Seis Sigma, avaliados neste trabalho. As duas atividades coexistem e

comprovadamente entregam resultados palpáveis para a área de PDP da empresa. Entretanto, até o momento desta pesquisa, nunca haviam sido aplicados e avaliados de forma conjunta, tornando-os mais vulneráveis à restrições dos processos de desenvolvimento. Após a aplicação conjunta, e visualização dos indicadores, constatou-se que separadamente, como previsto, a viabilidade de um projeto pode ser fragilizada devido aos riscos e restrições, porém em conjunto, os métodos se fortalecem, reduzindo os riscos de viabilização e aumentando a visualização devido à soma dos indicadores de resultados. O constante monitoramento da qualidade destes módulos, tanto no projeto, na manufatura e no funcionamento do produto no mercado deve ser uma importante atividade na empresa. Aconselha-se que estudos futuros sejam feitos, usando indicadores que contemplem os índices de qualidade dos módulos, para que seja possível observar a evolução destes e se realmente o programa está sendo efetivo no que diz respeito à comunalização de peças e melhorias proporcionadas pelo Seis Sigma. Contudo, mesmo atuando em conjunto, muitas vezes os métodos necessitam de filtros, possibilitando que as atividades principais e mais impactantes, possam ser identificadas e priorizadas. Sob esta perspectiva, o uso do FMEA, torna-se mais uma atividade prevista na rotina de desenvolvimento. Este apresenta grande potencial na identificação, análise e controle dos riscos inerentes ao desenvolvimento do produto e, por isto, é largamente aplicado e exigido, através do método de PDP da empresa. Este, enfatiza a necessidade de desenvolvimento do FMEA, desde o início do projeto, logo após a fase inicial de planejamento, executando um controle maior sobre os riscos e portanto, auxiliando na viabilização do projeto. Mas para que todas estas atividades, tanto Arquitetura Modular, Seis Sigma e mesmo o FMEA, ocorram de forma robusta com a participação de equipes multifuncionais, o apoio das gerências é imprescindível, para que as atividades tomem proporções coerentes com a grandeza de suas entregas ao PDP. Este apoio, também é embasado, na disseminação do conhecimento, através de cursos, treinamentos e atividades que reforcem os métodos nas áreas envolvidas com o projeto. Não somente as áreas de desenvolvimento e manufatura devem se envolver, mas sim, todas as áreas impactadas com o projeto, ampliando assim a perspectiva do projeto, podendo antecipar eventuais contratemplos devido ao desconhecimento das atividades de áreas não relacionadas diretamente com o desenvolvimento, tais como armazenamento, finanças, recebimento de material, etc. Contudo, visualiza-se também a necessidade de realizar o mapeamento e validação da cadeia de suprimentos, durante o desenvolvimento de um projeto, principalmente quando este, é desenvolvido sobre os moldes da Arquitetura Modular. Da mesma forma, a cadeia de

suprimentos precisa se preparar para as demandas geradas através da modularização, uma vez que fornecedores tendem a centralizar seus volumes em um número menor de componentes. A correta definição dos níveis de qualidade aceitáveis, gerados após o ciclo de aplicação do Seis Sigma, deverá impactar nas definições de inspeção durante toda a cadeia envolvida, logística e produtiva. O envolvimento conjunto de todas as áreas pertinentes é de suma importância para o correto desenvolvimento do projeto dos moldes do PDP da empresa, porém constatou-se uma barreira geográfica significativa sobre este aspecto, pois o centro de desenvolvimento de produtos não está situado na mesma localidade da manufatura para alguns modelos de negócios geridos pela empresa. A distância não impossibilita este tipo de atividade de desenvolvimento, porém gera riscos e reduz a agilidade do desenvolvimento, sendo assim, considerado como mais uma barreira a ser transposta durante o desenvolvimento. Por fim, entende-se que os objetivos propostos neste trabalho foram atingidos. O autor apresentou uma proposta de integração da Arquitetura Modular e Seis Sigma ao PDP, ajustada através de um estudo de caso em empresa de eletrodomésticos. O resultado final da proposta pode ser visualizado na figura 1.

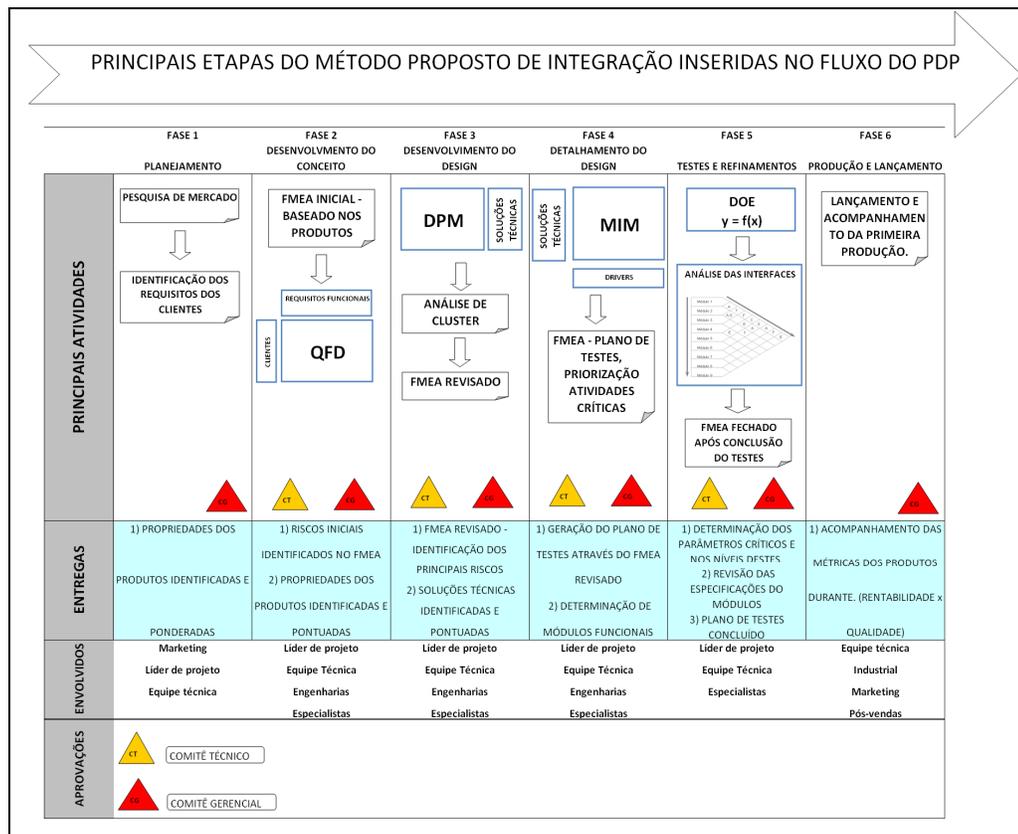


Figura 12: detalhamento do método de integração proposto
 Fonte: Próprio autor

A Figura 14, do artigo 2, ilustra de forma objetiva as atividades principais do método proposto de integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma na empresa estudada. É importante salientar que esta proposta, pode também ser utilizada em outras empresas que possuam interesse, salvo eventuais alterações para adaptações devido a características restritas da empresa, e considerando-se que sejam atendidas as premissas: (i) já possuir Arquitetura Modular e Seis Sigma implantados, (ii) possuir uma estrutura forma de PDP e cultura ativa de gestão de projetos, e (iii) possuir uma estrutura de profissionais treinados e qualificados para atuar nestas.

Sob a perspectiva acadêmica, o trabalho também atingiu os objetivos, visto que a proposta apresenta uma integração de Arquitetura Modular e Seis Sigma, em uma empresa com sólidas bases de desenvolvimento de produtos, gerando um exemplo prático ainda não explorado da mesma forma em por outras publicações.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

Visualizam-se como oportunidades: a aplicação do método a mais projetos da empresa, criando um banco de dados que poderá sustentar refinamentos da proposta na organização; validação da proposta, através aplicação em projetos de empresas de outros segmentos, com o intuito de aumentar o horizonte de aplicação, evoluindo com a proposta e por consequência, tornando os indicadores mais robustos. Também aconselha-se estudos futuros englobando a cadeia de suprimentos, utilizando a proposta de integração para expansão aos demais setores envolvidos e fornecedores.

5 REFERÊNCIAS

- ARNHEITER, E. ; MALEYEFF, J., The integration of lean management and Six Sigma. *Total Quality Management*, Vol. 17, No.1, 5-18, 2005.
- BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. *The TQM Magazine*, v. 14, n. 2, p. 92-99, 2002
- BALDWIN, C. Y. & CLARK, K. B. Managing in the age of modularity. *Harvard Business Review*, (September– October), 84–93. 1997
- BERTELS, T.; PATTERSON, G. Selecting Six Sigma projects that matter. *Six Sigma Forum Magazine*, V. n. 1, p. 13-17, nov. 2003.
- BITITCI, U. S.; CARRIE, A. S. & McDEVITT, L. Integrated performance measurement systems: a development guide. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 17, n. 5, p. 522-534, 1997.
- BORJESSON, FREDRIK. A Sistematic Qualitative Comparison of Five Approaches to Modularity. *International Design Conference – Design 2010*. Dubrovnik - Croatia, May. 2010.
- CHANG, T. Six Sigma: a framework for small and medium-sized enterprises to achieve total quality. 208 f. Thesis (PhD in Production Management). Cleveland State University, Cleveland, 2002.
- CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.
- CLAUSING, D. *Total quality development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering*. New York, Asme Press, 1993.
- CREVELING, C.M., SLUTSKY, J.L. & ANTIS, D JR. *Desing for Six Sigma*. New Jersey, Prentice Hall Books, 2003.
- COOPER, R.G.; KLEINSCHMIDT, E.J. Winning business in product development: the critical success factors. *Research-technology management*, v.39, n.4, p.18-29, July, 1996.
- DA SILVEIRA, GIOVANI, DENIS BORENSTEIN, FLAVIO S. FOGLIATTO: *Mass customization: Literature review and research directions*, 2001.
- DIEHL, ASTOR ANTÔNIO, TATIM, DENISE CARVALHO. *Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas*. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.
- GÖPFERT, J. *Modulare Produktentwicklung - Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation*; Gabler Verlag/Deutscher Universitätsverlag; Wiesbaden, 1998
- HAHN, G. J. DOGONAKSOY, N.; HOERL, R. The evolution of six sigma. *Quality Engineering*, v. 2, n. 3, p. 317-326, 2000.
- HAN, C.; LEE, Y. H. Intelligent integrated plant operation system for six sigma. *Annual Reviews Control*, v. 26, p. 27-43, 2002.
- HART, C.W.L. - Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. *International Journal of Service Industry Management*. Vol. 06, n.02, p.36-45, 1995.
- HARRY M & CRAWFORD J.D. Six sigma for the little guy. *Mechanical Engineering*, Vol 126 No 11, pp 8-10, 2004.

- HENDERSON, K. & EVANS, J. Successful implementation of six sigma: benchmarking General Electric Company. Benchmarking and International Journal. Vol.7, n.4, p.260-281, 2000.
- JOHNSON, A., SWISHER, B. How six sigma improves R&D. *Research Technology Management* 46 (2), 12–15, 2003.
- KUMAR, M. et al. Implementing the lean sigma framework in an Indian SME: a case study. *Production Planning & Control*. v. 17, n. 4, p. 407-423, jun. 2006.
- KOTHA, SURESH. Mass customization, Implementing the Emerging Paradigm for Competitive Advantage. *Strategic Management Journal*, Vol. 16, Special Issue: Technological Transformation and New Competitive Landscape. pp. 21-42, 1995.
- KOTHA, SURESH. From mass production to mass customization: the case of the National Industry Bicycle Company of Japan. European Management Journal, v.14, n.5, p. 442-450, 1996.
- LEE, H. L. & TANG, C. S. Modelling the costs and benefits of delayed product differentiation. *Management Science*, 43(1) 40–53. (1997)
- MADER, D.M. Design for six sigma. *Quality Progress* July, 82–86, 2002
- MEYER, M. H. & LEHNERD, A. P. *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*. Free Press, New York, NY, 1997.
- MARTINS, R. A. Use of performance measurement systems: some thoughts towards a comprehensive approach. In: Neely, A. (Ed.) *The Second International Conference on Performance Measurement*, University of Cambridge, p. 363-370, 2000.
- MUFFATTO, M., "Introducing a Platform Strategy in Product Development," *International Journal of Production Economics*, 60-61(pp. 145-153, 1999.
- NEELY, A. The performance measurement revolution: why now and what next?. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 19, n. 2, p. 205-228, 1999.
- PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering Design, a Systematic Approach*. Springer, 3rd edition, 2006.
- PINE, B. J. 1993, *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press
- PUGH, S. *Engineering Design: Teaching Ten Years On, in Creating Innovative Product Using Total Design*, 1978. Editora Addison-Wesley, 1996.
- ROZENFELD, H. et al (2006). *Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo, Saraiva, 2006.
- SALVADOR, F. FORZA, C, RUNG TUSANATHAM, M. Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions. Arizona State University, Department of Management. Journal of Operations management 549–575, (2002).
- SELLGREN, U., ANDERSSON, S., "The Concept of Functional Surfaces as Carriers of Interactive Properties", *International Conference on Engineering Design (ICED 05)*, Melbourne, 2005.
- SIMPSON, TIMOTHY W. & TUCKER MARION. Platform-based design and development in industry. ASME 2006, *International Design Engineering Technical*

Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Sep. 10-13, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2006.

ULRICH, K., AND TUNG, K. Fundamentals of Product Variety, Issues in Design Manufacturing/Integration, DE-Vol. 39, ASME, pp.73-77, 1991.

ULRICH, KARL T. & EPPINGER, STEVEN D. Product Design and Development. U.S.A.: Mc Graw-Hill, Inc., 1995.

ULRICH & STEVEN D. EPPINGER. Product specifications teaching materials to accompany: Product Design and Development. 2nd Edition, Irwin McGraw-Hill, 2000.

WHEELWRIGHT, S.C.; CLARK, K.B. Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality. New York: The Free Press - 364p., 1992.

YOUNG HOON KWAKA, FRANK T. ANBARIB. Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. The George Washington University, 2004.

ÉPOCA NEGÓCIOS, revista. O Segredo dos Inovadores, edição de Setembro de 2010. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Revista>. Acesso em 20 set. 2010.

LEAN, SEIS SIGMA SUMMIT 2010. O melhor programa Lean - Seis Sigma da América Latina em 2010 pela IQPC. São Paulo, agosto 2010. Disponível em: <<http://www.leanseissigmasummit.com>. Acesso em 08 out. 2010.