

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Felipe Costa Cardoso

**MDER: MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO ENXUTO E ROBUSTO APLICADO À
CONCEPÇÃO DE PRODUTOS E SEUS PROCESSOS DE MANUFATURA A
PARTIR DO ENFOQUE À FASE DE DESIGN**

Belo Horizonte
2019

Felipe Costa Cardoso

**MDER: MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO ENXUTO E ROBUSTO APLICADO À
CONCEPÇÃO DE PRODUTOS E SEUS PROCESSOS DE MANUFATURA A
PARTIR DO ENFOQUE À FASE DE DESIGN**

Versão Final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Projeto e Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Eduardo José Lima II

Belo Horizonte

2019

C268m

Cardoso, Felipe Costa.

MDER: método de desenvolvimento enxuto e robusto aplicado à concepção de produtos e seus processos de manufatura a partir do enfoque à fase de design [recurso eletrônico] / Felipe Costa Cardoso. – 2019.

1 recurso online (101 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Eduardo José Lima II.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexo: f. 101.

Bibliografia: f. 99-100.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Projetos - Metodologia - Teses. 3. Produtos industrializados - Teses. 4. Concorrência - Teses. I. Lima II, Eduardo José. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Universitário

31270-901 – Belo Horizonte – MG

Tel.: +55 31 3409.5145

E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

**"MDER: MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO ENXUTO E ROBUSTO
APLICADO À CONCEPÇÃO DE PRODUTOS E SEUS PROCESSOS
DE MANUFATURA A PARTIR DO ENFOQUE À FASE DE DESIGN"**

FELIPE COSTA CARDOSO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**Projeto e Sistemas**".

Dissertação aprovada no dia 12 de dezembro de 2019.

Por:

Eduardo Jose Lima II

Orientador - Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG

Danilo Amaral

Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG

Luiz Cláudio de Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as bênçãos e graças que generosamente me permite alcançar, me concedendo a superação necessária na busca por esse título de mestre.

À minha linda esposa Bruna, que foi incondicional em seu apoio em todas as etapas desse processo de evolução, sendo companheira, paciente, dedicada, me completando em todas minhas lacunas, além de ser meu porto seguro ao que sempre recorrerei.

Aos meus pais Paulo e Leticia, que me proporcionaram a base e estrutura necessária para trilhar meus próprios caminhos na busca dos meus mais íntimos sonhos, me conferindo valores de vida em uma relação sustentada pelo amor.

Aos meus irmãos Gustavo, Mateus e Fernanda que supriram e compreenderam minha ausência em casa, para que conseguisse conquistar mais esse feito em minha carreira, além de serem minha motivação de crescimento para continuar a ser um exemplo para eles.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo José Lima II por ter se interessado em me suportar pelas trilhas desse processo de aprendizado, me balizando com seus conhecimentos e experiência com a extrema maestria.

Ao meu amigo Jean que percorreu comigo parte dessa caminhada me suportando e apoiando sempre no que precisava.

Aos meus colegas de trabalho que me suportaram de maneira profissional e paciente, em especial ao Junio, pela confiança e apoio às minhas ideias.

Aos professores e colegas do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG por todo o conhecimento e ensinamentos compartilhados que me permitiram crescer como profissional e pessoa.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação (LRSS) pela disponibilização da estrutura para realização desse trabalho.

Agradeço também aos demais familiares, amigos e professores que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

*“O começo de todas as ciências é o espanto
de as coisas serem o que são”*

Aristóteles

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Metodologia de Projeto.....	16
2.1.1 Definição	16
2.1.2 Modelos de Metodologia de Projeto.....	17
2.1.3 Custo, qualidade e tempo: Indicadores da eficiência da Metodologia de Projeto	18
2.1.4 Características chave para melhores práticas na metodologia de projetos	21
2.2 Processo de Desenvolvimento de Produto – PDP.....	23
2.2.1 Definição	23
2.2.2 Modelos de PDP.....	23
2.2.2.1 APQP – Advanced Product Quality Planning.....	24
2.2.2.2 Modelo proposto por Rozenfeld et. al. (2006).....	31
2.3 DFMA – Design for Manufacturing and Assembly.....	33
2.3.1 O Surgimento do DFMA.....	33
2.3.2 O DFMA	34
2.3.3 Como pode ser aplicado o DFMA.....	35
2.3.4 Princípios e Regras para aplicação do DFMA	36
2.3.5 Métodos de avaliação objetiva DFA	41
2.4 Método do Design Robusto - Taguchi Methods	45
2.4.1 O Surgimento.....	45
2.4.2 A qualidade é definida pelo design.....	46
2.4.3 A prevenção pela qualidade	47
2.4.4 Princípios e Práticas do Design Robusto.....	48
2.4.5 Passos para operacionalizar o Design Robusto.....	49
3 METODOLOGIA	56
3.1 Classificação da pesquisa	56
3.2 Estratégia para a pesquisa bibliográfica	56
3.3 Desenvolvimento do método de projeto proposto	57
3.4 Estudo de caso.....	58
4 RESULTADOS.....	59
4.1 Método de Desenvolvimento proposto	60

4.2 Descrição das fases do MDER.....	60
4.2.1 Planejamento.....	61
4.2.2 Desenvolvimento do Produto e Processo.....	64
4.2.3 Validação do Produto e Processo.....	77
4.2.4 Produção.....	79
4.2.5 Controle, Realimentação e Ações Corretivas.....	80
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	83
5.1 Comparativo entre PDPs.....	85
5.2 Comparativos econômicos.....	87
5.2.1 Horas necessárias ao desenvolvimento do projeto.....	87
5.2.2 Investimentos em linha de produção, qualificação e protótipo.....	89
5.2.3 Custos diretos de produto.....	92
5.2.4 Risco de projeto Vs. margem de lucro.....	94
6 CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIAS.....	99
ANEXO A – Formulário para o modelo quantitativo de avaliação objetiva do DFMA.....	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – O efeito do design nos custos de manufatura (FONTE: ULLMAN, 2010 - Adaptado).....	19
FIGURA 2.2 – Custo do produto comprometido dadas as fases de design (ULLMAN, 2010 – adaptado).....	20
FIGURA 2.3. – Alterações de Engenharia durante o desenvolvimento de um automóvel (FONTE: ULLMAN, 2010 – adaptado).....	21
FIGURA 2.4 – Cronograma gráfico para o desenvolvimento da qualidade do produto. (FONTE: CHRYSLER et. al. 2008 – adaptado).....	27
FIGURA 2.5 – Modelo de PDP proposto por Rozenfeld et. al. (2006). (FONTE: ROZENFELD et. al., 2006).....	31
FIGURA 2.6 – Passos típicos tomados em um desenvolvimento usando o DFMA. (Fonte: BOOTHROYD, 2002 – adaptado).....	35
FIGURA 2.7 – Montagem empilhada. (Fonte: BOOTHROYD, 1994)	37
FIGURA 2.8 – Métodos comuns de fixação. (Fonte: BOOTHROYD, 1994)	38
FIGURA 2.9 – Montagem unidirecional. (Fonte: BOOTHROYD, 1994)	39
FIGURA 2.10 – Peças com característica de auto localização. (Fonte: BOOTHROYD, 1994).....	40
FIGURA 2.11 – Procedimento do Método AEM da Hitachi Co. (Fonte: SOUSA, 1998 - adaptado)	43
FIGURA 2.12 – Fluxograma do Método de Boothroyd-Dewhurst (Fonte: SOUSA, 1998 – adaptado).....	45
FIGURA 2.13 – Passos para um desenvolvimento sistêmico visando o design robusto.....	50
FIGURA 2.14 – Fluxograma para design dos parâmetros de um produto (Fonte: PHADKE, 1989 - Adaptado).....	51
FIGURA 2.15 – Diagrama P.....	52
FIGURA 2.16 – Plano de experimentos para o design dos parâmetros (Fonte: TAPAN, 1993 – adaptado).....	53
FIGURA 3.1 – Áreas do conhecimento exploradas e abrangidas pela revisão bibliográfica e a contribuição do presente trabalho.....	57

FIGURA 4.1 – Cronograma Gráfico para o Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto.....	61
FIGURA 4.2 – Planejamento e suas subfases, a primeira etapa de desenvolvimento do MDER.....	61
FIGURA 4.3 – Desenvolvimento de Produto e Processo e suas subfases, a segunda etapa de desenvolvimento do MDER.....	65
FIGURA 4.4 – Caminhos a serem seguidos após a avaliação do índice FQD.....	71
FIGURA 4.5 – Caminhos a serem seguidos dadas as criticidades do design do produto.....	75
FIGURA 4.6 – Etapa de Validação do Produto e Processo.....	78
FIGURA 4.7 – Hierarquia para Time de Projeto.....	81
FIGURA 5.1 – Comparativo para as horas de desenvolvimento do projeto para o APQP e as duas possibilidades de design do MDER.....	88
FIGURA 5.2 – Comparativo dos investimentos necessários entre o APQP e o MDER.....	90
FIGURA 5.3 – Comparativo de custo de protótipo para os diferentes métodos de desenvolvimento de projeto.....	91
FIGURA 5.4 – Comparativo para os custos diretos de produto entre os métodos de desenvolvimento avaliados.....	93
FIGURA 5.5 – Consolidação do faturamento para a implementação do um produto via método APQP e MDER.....	94
FIGURA 5.6 – Comparativo entre risco de projeto versus margem de lucro.....	95

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 2.1 – Classificação para os modelos de metodologia de projeto.....	17
TABELA 2.2 – Modelos de metodologia de projetos.....	18
TABELA 2.3 – Características chave para boas práticas em metodologias de projeto.....	22
TABELA 2.4 – Entradas e saídas da fase 1 do APQP.....	28
TABELA 2.5 – Entradas e saídas da fase 2 do APQP.....	28
TABELA 2.6 – Entradas e saídas da fase 3 do APQP.....	29
TABELA 2.7 – Entradas e saídas da fase 4 do APQP.....	30
TABELA 2.8 – Entradas e saídas da fase 5 do APQP.....	30
TABELA 2.9 – Premissas, Práticas e Técnicas selecionadas para operacionalização do RDM.....	49
TABELA 4.1 – Ferramentas e documentos utilizados na fase Planejamento do MDER.....	64
TABELA 4.2 – Exemplo de pesos às possíveis respostas de uma questão referente ao DFM.....	69
TABELA 4.3 – Exemplo de pesos às possíveis respostas de uma questão referente ao DFA.....	70
TABELA 4.4 – Ferramentas e documentos utilizados na fase Desenvolvimento do Produto e Processo do MDER.....	77
TABELA 4.5 - Documentos e ferramentas utilizadas na fase de Validação do Produto e Processo.....	79
TABELA 4.6 – Documentos e Ferramentas preconizados para a fase de Produção.....	80
TABELA 5.1 – Comparativo entre métodos de desenvolvimento de produto e o MDER.....	86
TABELA A.1– Modelo quantitativo para avaliação objetiva do DFMA.	101

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AEM	<i>Assembly Evaluation Method</i>
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>
BOM	<i>Bill Of Material</i>
CEP	Controle Estatístico de Processo
CQI	<i>Continuous Quality Improvement</i>
DFA	<i>Design for Assembly</i>
DFM	<i>Design for Manufacture</i>
DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
FQD	Fator de Qualidade de Design
IPPD	<i>Integrated Product and Process Design</i>
MDER	Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto
MQ-DFMA	Modelo Quantitativo do DFMA
MSA	<i>Measurement Systems Evaluation</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i>
RDM	<i>Robust Design Methodology</i>

RESUMO

O mercado globalizado estendeu a ampla concorrência para além de qualquer fronteira física. A iminente abertura comercial entre o Brasil e os mercados norte americano e europeu ainda poderá transformar fortemente o cenário da competitividade e concorrência em nosso mercado. Empresas brasileiras precisam concorrer com produtos chineses, americanos e europeus altamente competitivos em qualidade e preço em pleno solo nacional. Esse fato exemplifica o atual cenário de competição em que as empresas estão imersas e justifica os esforços despendidos nesse contexto. A sustentabilidade econômica está ligada diretamente à capacidade de ser eficiente na entrega de produtos, garantindo qualidade a um preço justo e no tempo que o mercado espera. Apesar desses esforços, grande parte do mercado sofre com métodos de desenvolvimento de projetos pouco eficientes, que resultam em altos desperdícios e conseqüente falta de competitividade para a indústria. Os avanços na área da metodologia de projetos propiciaram a criação de vários métodos que hoje já estão disponíveis às empresas, contudo, os mesmos apresentam benefícios específicos e pouco abrangentes. Isso significa dizer que nenhum deles é capaz de concentrar, em um único método, vários benefícios com um processo de desenvolvimento enxuto e robusto de projeto. Diante desse fato, o presente trabalho propõe um método de desenvolvimento de projeto (MDER) capaz de garantir a robustez de um produto e seu processo de manufatura por meio da ênfase na fase de concepção e desenvolvimento do design. O MDER ainda inova em propor uma ferramenta chamada MQ-DFMA capaz de avaliar objetivamente a qualidade do design de produto na ótica da manufatura e montagem, sendo ainda personalizável à instituição que a implemente. Somado a isso, o método proposto por esse trabalho prescreve estruturas que permitem o discernimento entre designs críticos ou não de produtos, onde caminhos diferentes para tais peculiaridades de projeto são preconizados a fim de se garantir a robustez no desenvolvimento com o melhor custo de projeto possível. É apresentado um estudo de caso onde uma avaliação de viabilidade econômica de aplicação do MDER em uma empresa do setor automotivo é realizada. Tal estudo de caso apresenta dados econômicos que indicam maior eficiência do método proposto ao se comparar com método já presente no mercado. Exposto isso, pretende-se que a presente dissertação gere conteúdo que auxilie no processo de desenvolvimento de projetos de empresas, instituições e até mesmo da academia, de maneira mais competitiva e sustentável.

Palavras chave: Metodologia de Projeto, Método de Desenvolvimento de Produto e Processo, MDER, MQ-DFMA.

ABSTRACT

The globalized market has extended broad competition beyond any physical frontier. The imminent trade opening between Brazil and the North American and European markets may still strongly transform the competitive landscape in our market. Brazilian companies need to compete with Chinese, American, European products that are extremely competitive in quality and price in the national soil. This fact exemplifies the current competitive scenario in which companies are immersed and justifies the efforts made in this context. Economic sustainability is directly linked to the ability to be efficient in delivering products, ensuring quality at the right price and on time that the market expects. Despite these efforts, much of the market suffers from inefficient project development methods, which result in high waste and consequent lack of competitiveness for the industry. Advances in the area of project methodology have led to the creation of several methods that are now available to companies, however, they have specific and little comprehensive benefits. This means that none of them are able to concentrate in a single method several benefits in a lean and robust design development process. Given this fact, the present work proposes a design development method (MDER) capable of guaranteeing the robustness of a product and its manufacturing process by emphasizing the design conception and development phase. MDER also innovates in proposing a tool called MQ-DFMA that can objectively evaluate the quality of product design from the perspective of manufacturing and assembly, and is customizable to the institution that implements it. In addition, the method proposed by this work prescribes structures that allow discernment between critical and non-critical product designs, where different paths for such design peculiarities are defined in order to ensure robust development at the best possible design cost. A case study is presented where an economic feasibility assessment of the application of MDER in an automotive company is performed. This case study presents economic data that indicate greater efficiency of the proposed method when compared to a method already present in the market. That said, the author intends the present dissertation to generate content that helps in the process of developing projects of companies, institutions and even academy, in a more competitive and sustainable way.

Keywords: Project Methodology, Product and Process Development Method, MDER, MQ-DFMA.

1 INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial ocorrida nos séculos XVIII e XIX as empresas veem buscando meios de aprimorar seus produtos e serviços de modo a alcançar mais espaço no mercado, ampliando sua competitividade e conseqüentemente, aumentando suas receitas.

Uma vez que esse objetivo é comum em todas as empresas, o mercado recebe uma infinidade de produtos e serviços e todos tem a missão de atrair o interesse dos consumidores. Com isso, o cliente final tem uma grande variedade de escolha fazendo com que a competição entre as empresas seja cada vez mais acirrada, impulsionando o desenvolvimento tecnológico dos produtos e da indústria.

Esse é o motivo pelo qual as soluções disponíveis no mercado veem evoluindo muito nas últimas décadas, ficando cada vez mais complexos e com funcionalidades mais exigentes como, por exemplo, maior inteligência, autonomia, eficiência energética, precisão e confiabilidade (MHENNI, 2014).

Esse cenário mercadológico de grande exigência passou a demandar das empresas novos meios para continuarem sendo competitivas e gerando receita. Receita essa que está diretamente ligada à capacidade da empresa gerar lucro. Isso acontece quanto se consegue aumentar vendas e/ou melhorar sua eficiência operacional, ou seja, aumentar a diferença entre custo operacional de produção e preço de venda.

Para tal fim, as companhias começaram a desenvolver os setores diretamente ligados a tais objetivos, como por exemplo, o marketing ligado à promoção de vendas dos produtos e os setores operacionais, ou seja, engenharia de produto, engenharia de manufatura, produção, manutenção e logística.

Uma vez que a venda do produto é uma consequência direta da capacidade da empresa ser competitiva e apresentar qualidade, métodos com conceitos que atuam diretamente no funcionamento operacional e no desenvolvimento das práticas de projeção e fabricas das indústrias começaram a receber grande atenção. O objetivo desses métodos basicamente era minimizar custos, otimizar o processo de projeção do produto e da manufatura, aumentar a produtividade, reduzir desperdícios e perdas, por meio da integração de setores, com a finalidade de se chegar a uma cadeia de valor enxuta e precisa.

Nesta busca incessante pelo aumento da competitividade, o foco inicial das empresas foi melhorar seu sistema produtivo, sendo que atualmente quase todas elas possuem programas de garantia de qualidade e conformidade do produto. Apesar dessa evolução, aquelas que se sobressaem são as empresas que garantem produtos diferenciados dando grande atenção ao processo de projeto, uma vez que a qualidade só pode ser inserida em um produto caso tenha sido projetada nele (SOUSA, 1998).

A partir da década de 60 quando os japoneses descobriram que a maneira mais eficiente de solucionar problemas de qualidade é durante a fase de design do produto (TAPAN, 1993),

uma grande quantidade de métodos focados no processo de design passaram a ser desenvolvidos e aplicados dentro da fase de criação das empresas.

Nascia então o conceito de Metodologia de Projeto, que pode ser definido como “uma coleção de documentos e ferramentas de apoio ao processo de projeto, que tem por objetivo maior auxiliar os projetistas a tomarem as melhores decisões na busca da melhor solução de um determinado problema de projeto” (MARIBONDO, 2000).

Com os estudos evoluindo dentro da área da metodologia de projetos, as empresas começaram a sentir os benefícios de um processo estruturado e sistêmico de desenvolvimento e passaram a investir ainda mais na criação de Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP) que se adequassem perfeitamente à sua forma de trabalho e organização operacional.

O PDP então obteve grande importância estratégica, situando-se na interface entre a empresa e o mercado, cabendo a esse importante processo o papel de identificar, e se possível, antecipar as necessidades do mercado, realizando proposição de soluções e estabelecendo um método para o seu desenvolvimento (ROZENFELD, 2006).

O próximo passo na evolução dos métodos e PDPs foi o início da inclusão de ferramentas de auxílio ao design. Inúmeras ferramentas surgiram e ainda surgem todos os dias. Cada uma delas tem um foco e um modelo de utilização, cabendo às empresas a escolha daquelas que melhor se adequam às suas necessidades e lacunas de desenvolvimento.

FMEA, *Six Sigma*, *Lean Manufacturing*, DFMA e *Robust Design* são alguns exemplos dessas ferramentas importantes e de grande auxílio para o processo de definição e desenvolvimento de design de produtos. Todas tem em comum o mesmo objetivo, a busca por uma concepção que garanta o desempenho, a qualidade e eficiência do produto / processo a serem desenvolvidos.

Duas delas em especial, o DFMA e o *Robust Design*, apresentam excelente potencialidade de auxílio ao processo de design. A primeira vem da junção de duas ferramentas o DFM e o DFA. O termo “*Design for Manufacturing*” (DFM) significa o desenvolvimento pensado em facilitar o processo de manufatura de componentes e o termo “*Design for Assembly*” (DFA) significa a convergência do design em soluções que tornarão mais simples a montagem do produto constituído de diversos componentes (BOOTHROYD, et. al. 2002).

A utilização do DFMA durante a fase de design garantirá que o produto ou processo seja concebido da forma mais enxuta possível para a empresa. Seus benefícios ao produto podem ser considerados como a melhoria na qualidade, diminuição do número total de peças, simplificação do processo de montagem, padronização, modularização, confiabilidade e significativa redução de custos de produção (BARBOSA, 2007).

Já a segunda ferramenta, o *Robust Design* – Design Robusto em inglês – apresenta três princípios a ser considerados durante a fase de projeção do produto: atenção à variabilidade, insensibilidade do produto a fatores de ruído e aplicação contínua do método (ARVIDSSON, 2008). Esse método revolucionou a forma de se trabalhar a qualidade e o desempenho em design de produtos e processos manufatureiros. Ao contrário de práticas de qualidade como o

Controle Estatístico de Processo (CEP) que buscam controlar os fatores que adversamente afetam a qualidade de um produto ou processo, essa ferramenta, tem foco no design onde seu objetivo é definir com excelência os parâmetros e suas tolerâncias, concebendo a qualidade como uma característica de design do produto (TAPAN, 1993).

Apesar de todo o potencial dessas duas importantes ferramentas, elas não são amplamente utilizadas no meio industrial. Uma das hipóteses para a baixa taxa de utilização é devido às horas gastas em suas operacionalizações. Em um primeiro momento, dentro da fase de desenvolvimento serão gastas mais horas do time de projeto para aplicação de tais métodos de auxílio ao design. Embora seja verdade que é necessário um volume de trabalho maior no momento da concepção do design, os benefícios trazidos por tais ferramentas são muito maiores que os seus custos de implementação. Em seu trabalho, Ullman (2010) demonstra que os custos despendidos na fase de design apresentam baixo impacto no preço final de um produto quando comparado ao impacto do design no custo total do mesmo.

Atualmente o mercado industrial como um todo atua mais fortemente no controle dos produtos a partir dos seus sistemas de manufatura do que a partir de processos de garantia do design. Essa metodologia de controle da qualidade e eficiência operacional não mais garante a competitividade necessária às empresas dentro do mercado. Genichi Taguchi, um dos grandes pensadores de métodos que compõe o Design Robusto, afirma que 80% dos custos de toda a vida útil do produto estão fixados em fase de design (TAPAN, 1993).

Por esse motivo, o presente trabalho fará uma proposta de modelo de desenvolvimento de produto robusto, a partir da definição de um PDP que contemple o uso das ferramentas de auxílio ao design como o DFMA e Design Robusto. O foco será na geração de um modelo que permita às empresas usuárias realizarem a concepção do melhor design de produto possível para sua estrutura, além de garantir um controle sobre o custo despendido nesse processo de desenvolvimento.

É apresentado ainda um estudo de caso onde uma avaliação de viabilidade econômica de aplicação do MDER em uma empresa do setor automotivo é realizada. Tal estudo foi realizado a fim de se comparar um método já presente no mercado com o modelo proposto neste trabalho antes de se realizar a implementação efetiva do MDER.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica do referencial teórico e do estado da arte. O capítulo 3 expõe a metodologia utilizada no desenvolvimento, indicado a exata área de contribuição do conhecimento. No capítulo 4 o MDER é apresentado e explicado, e no quinto capítulo o estudo de caso demonstra os benefícios trazidos por uma eventual utilização do método proposto. Por fim, no capítulo 6 se tem a conclusão e ponderações finais sobre este trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo trará os conceitos necessários para embasamento e discussões propostos neste trabalho. Uma vez que o objetivo desta pesquisa foi propor um modelo de desenvolvimento de produto robusto e enxuto, foram apresentados os assuntos necessários para uma boa delimitação do perímetro de estudo e direcionalização da proposta de método. As investigações contemplaram importantes temas como metodologia de projeto; processo de desenvolvimento de produtos; e ferramentas de projeto como *Design for Manufacturing and Assembly* e *Robust Design Methodology*.

2.1 Metodologia de Projeto

2.1.1 Definição

A sociedade busca resolver seus problemas lançando mãos de processos heurísticos, ou seja, processos práticos ou simplificados, baseados em informações anteriores, de forma a encontrar meios e soluções satisfatórias para tais questões. Contudo, métodos heurísticos se limitam a soluções de problemas simples. Ao se lidar com certames complexos, o uso de procedimentos metodológicos e sistemáticos é indispensável ao sucesso da solução desejada (PEREIRA, 2016).

Pessoas vêm estudando cada vez mais metodologias de projeto, existem dados que comprovam que a mais de cinco mil anos esse assunto tem estado no foco de pesquisadores acadêmicos e industriais. Dado todo esse tempo de evolução pode parecer que esse campo do conhecimento já esteja estabelecido e bem definido, entretanto isso não é verdade. Com o passar dos anos os projetos foram se tornando cada vez mais complexos e envolvendo maior número de pessoas, o que gera ainda mais interfaces e a necessidade de assistência ao desenvolvimento. Por esse motivo e, somado ao conhecido fato da demanda do mercado em sempre melhorar os níveis de efetividade em custo, qualidade e tempo de entrega de um produto, novas metodologias de projeto precisam continuar surgindo (ULLMAN, 2010).

Nesse contexto, a metodologia de projeto se tornou muito aplicada industrialmente e passou a ser ensinadas em muitas escolas de engenharia, mostrando uma evolução ainda maior desde os anos 70 (PEREIRA, 2016).

Buscando uma definição para metodologia de projetos, vários autores trazem suas exposições, e aqui serão ressaltadas duas delas com o objetivo de definir essa área do conhecimento. Segundo Fonseca (2002), ao se analisar a etimologia da palavra metodologia se verifica que *methodos* do grego significa organização, e *logos*, estudo sistemático, pesquisa, investigação; ou seja, metodologia é o estudo da organização, dos caminhos a serem tomadas para se realizar um estudo. Já Finkelstein e Finkelstein (1983) definem projeto como sendo “o

processo criativo que inicia de um requisito e define uma invenção ou sistema e os métodos de sua realização ou implementação para satisfazer o requisito”.

Sendo assim, o conceito de metodologia de projeto pode ser entendido como o estudo da forma de organização e/ou caminhos a serem tomados para o desenvolvimento do processo criativo que objetiva satisfazer os requisitos de uma determinada invenção ou sistema a ser realizado. Ou mesmo na voz de Maribondo (2000), metodologia de projeto pode ser definida como:

“[...] coleção de ferramentas e documentos de apoio ao processo de projeto, que tem por objetivo maior auxiliar os projetistas a tomarem as melhores decisões, valendo-se de mecanismos de avaliação e retroalimentação de dados, que juntos terminam por dar suporte às tomadas de decisões, na busca pela melhor solução de um determinado problema de projeto.”

2.1.2 Modelos de Metodologia de Projeto

Uma vez que, conforme definido anteriormente, metodologia de projeto é uma forma de organizar e prover ferramentas para um dado desenvolvimento, existem diversas maneiras de fazê-lo e, por isso, uma vasta quantidade de modelos destinados a esse fim estão disponíveis na literatura. Com o intuito de organizar tais modelos e aprimorar as formas de suas definições, foram criadas três classificações de projetos como pode ser verificado na Tabela 2.1 (MARIBONDO, 2000).

TABELA 2.1 – Classificação para os modelos de metodologia de projeto.

Modelos	Comentário
Prescritivos	São aqueles caracterizados por prescrever como o processo de projeto deve ocorrer, ou seja, são aqueles que enunciam maneiras de trabalhar durante o projeto, através de procedimentos algorítmicos e sistemáticos.
Descritivos	São caracterizados por descrever experiências anteriores mostrando como os projetos foram criados. Em outras palavras, são caracterizados por descrever quais foram os processos, as estratégias e os métodos de solução, utilizados na solução de determinados problemas de projeto.
Computacionais	São caracterizados por mapear funções dentro de uma estrutura e investigar quais delas são as mais indicadas para a implementação computacional. Além do mais, possuem dois aspectos importantes, a saber: 1) são considerados uma parte necessária no desenvolvimento de uma ferramenta mais efetiva; 2) se destinam a apoiar as pesquisas em teorias e metodologias de projeto.

Fonte: MARIBONDO (2000).

Baseadas nessa classificação várias propostas de metodologias são apresentadas por diversos autores. Na Tabela 2.2 é apresentado um quadro resumo com os autores, ano e forma de apresentação para algumas dessas propostas de processos de projetos, uma abordagem mais detalhada pode ser obtida no trabalho de Maribondo (2000).

TABELA 2.2 – Modelos de metodologia de projetos

	Autor (ano)	Forma de apresentação do processo de projeto
Descritivos	FABRICK & BLANCHARD (1990)	Fluxo que mostra o ciclo de vida de um sistema
	MARCH (1984)	Através de uma representação gráfica
	MATCHETT & BRIGGS (1966)	Através de um texto
Prescritivos	HYBS & GERO (1992)	Através de um fluxo
	PAHL & BEITZ (1971)	Diagrama de fluxo contendo fases e passos
	VDI (Verein Deutscher Ingenieure) Guideline 2221 (1987)	Diagrama de fluxo contendo passos
	HUBKA (1988)	Diagrama de fluxo contendo fases, passos e documentos de projeto
	FABRICK & BLANCHARD (1990)	Fluxo que mostra o ciclo de vida de um sistema

Fonte: MARIBONDO (2000).

Os modelos computacionais são utilizados principalmente no apoio às pesquisas em teorias e metodologias de projeto, sendo ainda mais desfrutadas nos campos da computação, do desenho, da visualização, do armazenamento de dados e na tomada de decisões (MARIBONDO, 2000).

2.1.3 Custo, qualidade e tempo: Indicadores da eficiência da Metodologia de Projeto

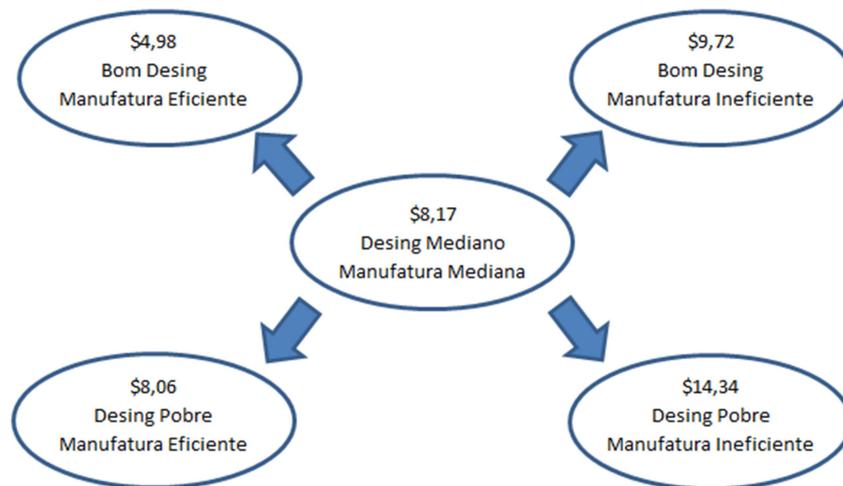
Todo desenvolvimento de produto passa por controles de sua eficiência e eficácia, a fim de se garantir os objetivos do projeto. Dessa forma, as metodologias de projeto também devem ser avaliadas a fim de monitorar sua efetividade e, para isso, os três principais indicadores utilizados são: o custo, qualidade e o tempo de entrega da solução ao mercado. Sempre que um produto está em desenvolvimento, o cliente quer mais barato possível (custo), o melhor possível (qualidade) e o mais rápido possível (tempo ao mercado), (ULLMAN, 2010).

A fim de se retratar a influência da metodologia de projeto nos indicadores citados acima Ullman (2010) trás duas situações de projetos que mostram o impacto da metodologia de

projeto no resultado final do produto. A primeira elucida o impacto no custo do produto e a segunda no tempo da entrega e qualidade percebida pelo cliente.

O primeiro exemplo retrata como a distribuição de tempo entre as atividades do projeto pode influenciar na formação dos custos de um produto. Em sua exposição, o autor expõem dados da montadora Ford Motor Company que mostram que apenas 5% dos custos de um carro são devidos às atividades de design. Entretanto, o efeito do design nos custos do produto são muito maiores que isso. Ou seja, metodologias de projeto que priorizam a fase de design, fornecendo o tempo necessário para uma boa concepção de produto, podem impactar positivamente na formação de preços do mesmo. A Figura 2.1 retrata dados de um estudo que mostram o impacto da eficiência do design do produto no seu custo.

FIGURA 2.1 – O efeito do design nos custos do produto

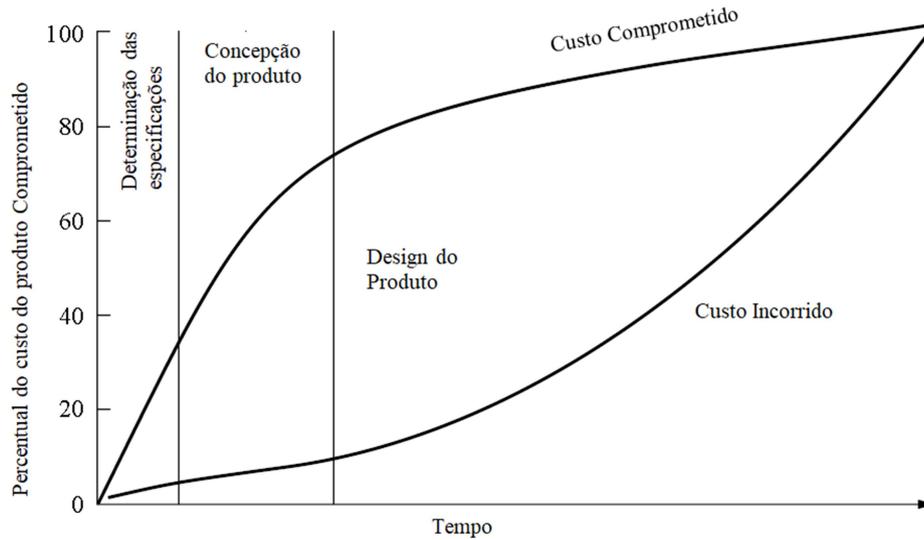


Fonte: ULLMAN (2010) - Adaptado.

Como pode ser observado, um bom design, quando comparado com cenários de manufatura eficiente, podem eliminar cerca de 38% do custo do produto, ou seja, o custo de design apresenta baixo impacto no preço final quando comparado ao impacto do design no custo do produto (ULLMAN, 2010).

Além de grande parte dos custos serem definidos pelo design do produto, aproximadamente 75% deste é comprometido logo após o congelamento da concepção do design. Sendo assim, somente os 25% do custo do produto podem ser trabalhados durante as fases de desenvolvimento do design e da manufatura (ULLMAN, 2010). A Figura 2.2 exemplifica os custos de produto e seu comprometimento ao longo das fases de projeto.

FIGURA 2.2 – Custo do produto comprometido dadas as fases de design.

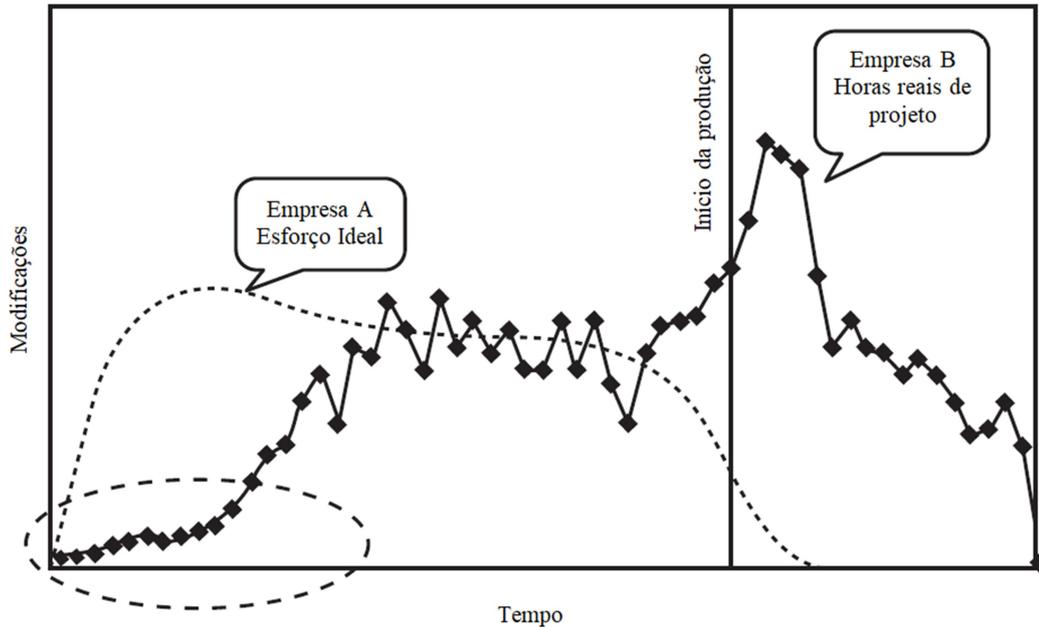


Fonte: ULLMAN (2010) – Adaptado.

O segundo exemplo de situação que reflete o impacto de uma metodologia de projeto para o desenvolvimento do produto nos indicadores de tempo e a qualidade é demonstrado graficamente pela Figura 2.3. Ela mostra a quantidade de modificações de design até a conclusão do projeto para duas filosofias de desenvolvimento diferentes. A curva indicada como Empresa B representa os dados de horas reais de projetos e quantidade de modificações de uma montadora americana de veículos, já a curva indicada como Empresa A representa as horas de desenvolvimento despendidas em um projeto típico da montadora japonesa Toyota. Embora iterações e alterações de projeto sejam essenciais ao processo de design, alterações tardias durante o desenvolvimento são muito mais caras do que aquelas que acontecem cedo, durante a fase de concepção, por exemplo. Ao se observar a curva da Empresa B, é possível verificar que ela continuou a fazer alterações mesmo depois que o produto foi entregue para produção, em outras palavras, essa montadora continuou o desenvolvimento do veículo mesmo depois que ele já estava sendo comercializado como um produto. Esse tipo de metodologia de desenvolvimento é muito prejudicial tanto para o consumidor final, que consome um produto que não está em seu último nível de desenvolvimento, estando passível de ser sobre com a não qualidade que esse venha a apresentar (como uma necessidade de recall por exemplo), quanto para todas as empresas da cadeia de valor que incorrem em altos custos de mudanças de ferramental, alterações de linha de montagem, ajuste de documentações, etc., trazendo um alto prejuízo financeiro e de imagem. Ao se avaliar a curva de desenvolvimento da Empresa A, observa-se que ela realizou suas alterações de projetos durante a fase de design do produto gastando muito mais horas de desenvolvimento que a Empresa B nesta fase do projeto. Essa horas a mais de engenharia na hora certa fazem com que a empresa siga um processo mais saldável de desenvolvimento e evite desgaste e altos prejuízos financeiros visto que, ao se fazer um paralelo de custos de alterações de design entre as fases de um projeto é possível verificar que: o custo de alteração durante a fase de design seria de cerca de \$1000,00, o custo de alterações durante a fase de processo seria da ordem de \$10.000,00, e o custo de alteração durante a vida série do produto podem ultrapassar os

\$1.000.000,00 devido a necessidade de ajustes em ferramentais, vendas, custos de estoque, reposição, etc., (ULLMAN, 2010).

FIGURA 2.3. – Alterações de Engenharia durante o desenvolvimento de um automóvel



Fonte: ULLMAN (2010) – Adaptado.

Postos tais exemplos, fica claro que a metodologia de projeto é determinante para o andamento eficaz e eficiente de um desenvolvimento, garantindo ao produto o custo, a qualidade e tempo de entrega adequado à empresa e ao mercado. Essa é a razão pela qual toda empresa desenvolvedora de soluções deve ter como uma de suas prioridades a definição correta da metodologia de projeto a ser seguida. Tal escolha além de ser fator determinante nos resultados dessas instituições, impactada diretamente toda a sociedade consumidora uma vez que os produtos desenvolvidos serão oferecidos ao mercado e este, por sua vez, será usufruto de seus resultados.

2.1.4 Características chave para melhores práticas na metodologia de projetos

Ao longo dos anos a metodologia de projeto passou a ser conhecida como o caminho para aumento da competitividade no desenvolvimento de novas tecnologias e soluções. Com a evolução desse conceito, observou-se que o controle no processo de design de produtos era mais eficiente do que o controle no processo de manufatura, e os resultados obtidos com tais estratégias de design são muito mais rentáveis do que aqueles alcançados ao se controlar a manufatura de algo que não passou por um desenvolvimento robusto. Por isso, uma vasta variedade de metodologias de projetos foram, e ainda são, criadas nessa busca infindável de competitividade. A seguir, um importante trecho de parte desse desenvolvimento é trazido.

Antes mesmo da década de 70 a metodologia mais utilizada para o design de produtos era conhecida como *over-the-wall* (sobre a parede – em uma tradução livre para o português). Nessa metodologia cada área era responsável por realizar seu trabalho de forma independente e quando concluído, passava-lo ao próximo setor para continuidade no desenvolvimento. Esse tipo de conceito apresentava um longo tempo de conclusão visto que as áreas trabalhavam separadamente e, ainda mais preocupante, havia sempre o risco de entendimentos pobres entre as passagens de bastões ao longo do projeto, o levando a baixo desempenho em custos, qualidade e tempo (ULLMAN, 2010).

Como evolução dessa metodologia nasce em 1970 o conceito de engenharia simultânea, onde áreas como a engenharia de desenvolvimento de produto e manufatura passam a se interagir e trabalhar simultaneamente, resultando em uma melhor sinergia entre os times, gerando menores tempos de entrega e menos ruídos de comunicação. Na década de 80, o conceito de engenharia simultânea evoluiu se tornando conhecida como engenharia concomitante e, já na década de 90, se tornou *Integrated Product and Process Design – IPPD*, que traduzido para o português significa: Design Integrado de Produto e Processo (ULLMAN, 2010).

Ainda nos anos 1990, importantes conceitos amplamente utilizados na indústria como o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma* se tornaram importantes influenciadores no design de produtos e processos. Mais recentemente, o Six Sigma evoluiu e começou a ser utilizado na fase de design efetivo do produto passando essa técnica a ser conhecida como *Design for Six Sigma* (ULLMAN, 2010).

Todas essas metodologias de projeto tem em comum o embasamento em importantes práticas de desenvolvimento que foram se mostrando eficazes e eficientes ao longo dos anos. Em suma, tais práticas foram agrupadas em dez características consideradas chave para boas práticas na criação de design de produtos. A Tabela 2.3 lista essas dez características indispensáveis ao conceito base para metodologias de desenvolvimento.

TABELA 2.3 – Características chave para boas práticas em metodologias de projeto.

1	Foco em toda a vida do produto
2	Uso e suporte de times de desenvolvimento
3	Entendimento que o processo é tão importante quanto o produto
4	Atenção ao cronograma quanto às atividades chave para o desenvolvimento
5	Desenvolvimento cuidadoso dos requisitos de produto
6	Encorajamento do desenvolvimento e avaliação de múltiplos conceitos
7	Consciência no processo de tomada de decisão
8	Atenção para o desenvolvimento da qualidade durante todas as fases do desenvolvimento
9	Desenvolvimento simultâneo do produto e processo
10	Ênfase na comunicação com a informação correta, para a pessoa correta e no momento correto.

Fonte: ULLMAN (2010).

2.2 Processo de Desenvolvimento de Produto – PDP

2.2.1 Definição

Nas seções anteriores ficou demonstrado que é notória a importância e o peso do desenvolvimento de produtos na competitividade das empresas e, conseqüentemente, no mundo dos negócios. Como visto, essa atividade impacta diretamente no custo final dos produtos, na sua qualidade e no tempo de introdução no mercado. Tal desenvolvimento é o responsável por traduzir objetivos, intenções e ideias em algo concreto. Portanto, o desenvolvimento de produto é um dos mais importantes processos responsáveis pela agregação de valor aos negócios (TAKAHASHI, et. al., 2007).

Rozenfeld (2006) define o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) como um “conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, se chegar às especificações de projeto de um produto e do seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo, e acompanhar o produto após o lançamento para se realizar as eventuais mudanças e incorporar, no processo de desenvolvimento, as lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto.”

O PDP situa-se na interface entre a empresa e o mercado, cabendo a esse importante processo o papel de identificar, e se possível, antecipar as necessidades do mercado, realizando a proposição de soluções, tanto de produto como de serviço, por isso, tem grande importância estratégica. Somado a isso, o PDP também é responsável por monitorar as necessidades dos clientes em toda a vida do produto; identificar as possibilidades tecnológicas; desenvolver um produto que atenda as expectativas do mercado; promover a qualidade; e garantir a competitividade de custos e tempo de lançamento (ROZENFELD, 2006).

2.2.2 Modelos de PDP

Uma infinidade de modelos de PDP estão disponíveis na literatura, tanto acadêmica, quanto industrial. Vários autores definem seus modelos os dividindo em diversas fases de desenvolvimento e abrangendo diversas áreas dentro da instituição, com o objetivo de obterem o melhor desempenho possível na empreitada da geração de um novo produto/serviço.

A escolha de um modelo de processo de desenvolvimento de produto deve ser feito intimamente pela instituição que a usará, levando-se em consideração sua estrutura organizacional, capital intelectual, capital financeiro, posicionamento no mercado, capacidade instalada e outros recursos gerais. Não existe o melhor PDP, o que se tem é aquele processo de desenvolvimento que melhor se adequa à instituição que a utiliza. Abaixo são exemplificados alguns modelos, tanto presentes na literatura acadêmica, quanto presentes na

literatura industrial. Importante ressaltar que esse modelos de PDP podem ser classificados dentro da área de metodologia de projetos como modelos prescritivos, ou seja, são modelos caracterizados por prescreverem como o de processo de desenvolvimento de produtos devem ocorrer, ou seja, são aqueles que enunciam maneiras de trabalhar durante o projeto, através de procedimentos algorítmicos e sistemáticos.

A título informativo, as nomenclaturas utilizadas pela área de conhecimento da Metodologia de Projetos se diferem ligeiramente com a área da Teoria da Similitude de Modelos, dessa forma, afim de esclarecer essas diferenças é importante notar: com relação à nomenclatura da Teoria de Similitude e Modelos, o que se denomina "modelo" é equivalente para a área de Metodologia de Projetos ao "protótipo", e o "protótipo" tem sua equivalência à "(lote) piloto".

2.2.2.1 APQP – Advanced Product Quality Planning

Desenvolvido em 1994 e revisado em 2008 em uma parceria entre as gigantes do setor automotivo Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation o APQP – *Advanced Product Quality Planning* – em uma tradução para o português: Planejamento Avançado da Qualidade do Produto tem como principal objetivo comunicar o processo de desenvolvimento a partir do uso de ferramentas e documentos padrão, além de prover diretrizes para se desenvolver um plano de desenvolvimento para a qualidade do produto, ao qual irá suportar todos os desdobramentos necessários para a obtenção de produtos e serviços com objetivo de satisfazer as necessidade dos clientes. Além disso, esperam-se os benefícios: da redução das complexidades dos planejamentos da qualidade do produto entre cliente e fornecedores e estabelecer um meio fácil de comunicar aos fornecedores os requisitos para um planejamento de qualidade para o produto. Tais diretrizes foram reunidas em forma de manual e disponibilizadas à indústria automotiva com o objetivo de se alcançar um desenvolvimento mais homogêneo e robusto para os produtos desenvolvidos em toda a cadeia de valor desse setor. As informações trazidas por essa subseção foram retiradas do manual do APQP segunda edição (CHRYSLER *et. al.*, 2008).

Fundamento do APQP

O planejamento da qualidade do produto é um método estruturado que define e estabelece passos necessários para se garantir que um produto atenda as especificações de um cliente. A efetividade desse método depende do comprometimento da alta direção e de todos que trabalham diretamente com o método. Alguns dos benefícios da utilização do APQP:

- Direcionar recursos para satisfação do cliente;
- Promover a facilidade na identificação dos requisitos;
- Evitar mudanças tardias;

- Fornecer produtos de qualidade dentro do prazo com os menores custos.

As práticas de trabalho, ferramentas e técnicas de análise são apresentadas abaixo na sua sequência lógica de utilização. Entretanto, cada projeto tem suas especificidades e quanto mais cedo as práticas, ferramentas e análises forem realizadas melhor para o projeto.

1. Organização do Time

O primeiro passo no APQP é definir um responsável de Projeto. Além disso, é de suma importância a definição de um time multidisciplinar como engenharias, manufatura, controle de materiais, compras, qualidade, recursos humanos, vendas, etc.

2. Definição do Escopo

É importante para toda a organização, antes de se iniciar qualquer desenvolvimento, a identificação das necessidades do cliente, expectativas e requerimentos. Minimamente é preciso definir:

- Definir um supervisor de cronograma de projeto;
- Definir os papéis e responsáveis por cada área do desenvolvimento;
- Identificar os clientes internos e externos;
- Definir os requisitos do cliente;
- Selecionar as áreas, indivíduos e fornecedores necessários a serem incluídos no time;
- Entender as expectativas do cliente, o design requerido e os testes requeridos;
- Realizar a análise de viabilidade daquilo requerido pelo cliente;
- Identificar custos, tempo e restrições a serem considerados;
- Determinar os suportes necessários pelo cliente;
- Identificar documentos e métodos necessários.

3. Linhas de Comunicação

As organizações devem definir as linhas de comunicação a serem desenvolvidas ao longo do projeto.

4. Treinamentos

Verificar se é necessário algum tipo de treinamento para o time quando as necessidades e especificidades de cada projeto. Um time treinado é básico para o atendimento de qualquer requisito de projeto.

5. Envolvimento entre Cliente e Fornecedor

O planejamento da qualidade do produto deve ser realizado em acordo entre cliente e fornecedor. Após definido o cronograma para o desenvolvimento o fornecedor é responsável por segui-lo com o seu time de projeto.

6. Engenharia Simultânea

O processo de engenharia simultânea é desenvolvido quando times multifuncionais desenvolvem seus objetivos de projeto em paralelo a fim de alcançarem a conclusão do projeto em um menor tempo. Esse conceito substitui o método sequencial de desenvolvimento de projetos.

7. Planos de Controle

Os planos de controle são descrições de sistema de controle para peças e processos. Planos de controle separados são desenvolvidos para três fases distintas do processo de desenvolvimento+:

- Protótipo – A descrição das análises dimensionais, avaliações de materiais e testes de desempenho necessários para se validar o protótipo estarão descritos nesse plano de controle.
- Pré-lançamento – A descrição das análises dimensionais, avaliação nos materiais e testes de desempenho necessários para se validar o projeto após as atividades de desenvolvimento do protótipo e antes do lançamento da produção.
- Produção – Compreende a documentação que caracteriza o produto e processo, controles de processo, testes e sistemas de medição a serem utilizados durante a produção em massa.

8. Resolução de Gargalos

Durante o desenvolvimento do cronograma do projeto o time se deparará com gargalos de design de produtos e/ou processo. Esses pontos de atenção devem ser documentados em uma matriz que contenha o responsável por seguir tal ação e o tempo para sua conclusão. Métodos disciplinados de solução de problema são recomendados para situações consideradas de difíceis.

9. Plano de Desenvolvimento da Qualidade do Produto

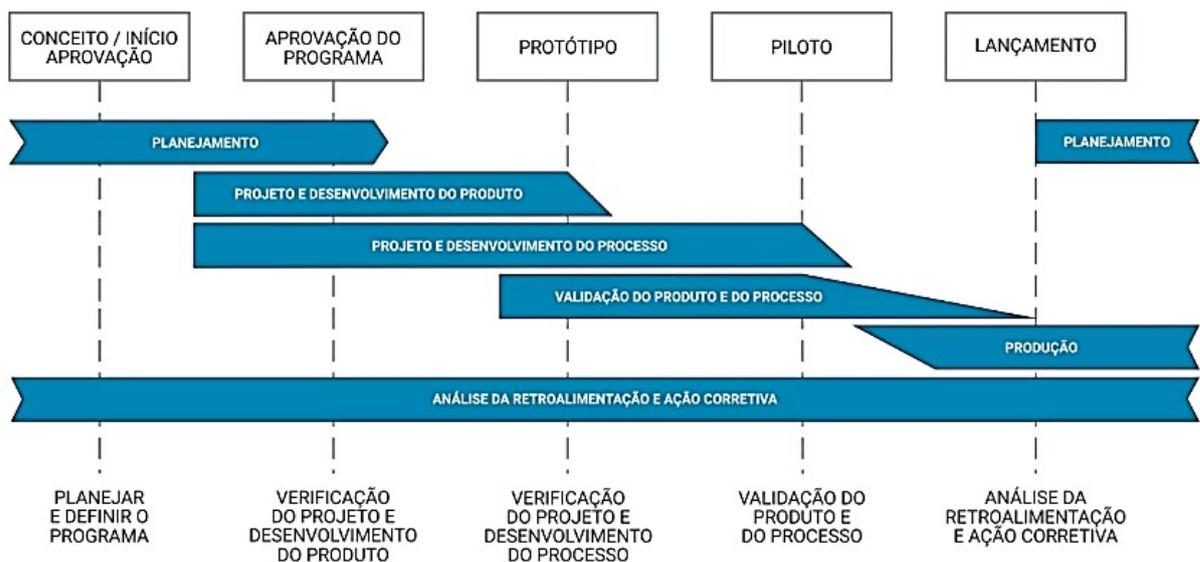
O time de projeto deve ter como prioridade o desenvolvimento do projeto dentro do seu cronograma definido. O tipo do produto, sua complexidade e as expectativas devem ser considerados no momento da determinação dos prazos para a entrega. Todos os membros do time devem aceitar os eventos, ações e tempos estabelecidos. Um cronograma bem organizado e de fácil entendimento devem listar as tarefas, atribuições e outros eventos. Para facilitar o acompanhamento, todas as atividades devem ter uma data de início e de entrega. Dessa forma, um monitoramento mais eficaz é desenvolvido para as fases de projeto.

10. Cronograma gráfico do projeto.

O sucesso de qualquer desenvolvimento depende de se conseguir atender as necessidade e expectativas do cliente dentro do prazo determinado. Para isso, o APQP divide o desenvolvimento do projeto em fases de forma a deixar mais clara as etapas a serem desenvolvidas e seus responsáveis. Na Figura 2.4 é possível se verificar o

cronograma para o desenvolvimento da qualidade do produto em forma gráfica onde estão ressaltadas as cinco fases da metodologia de projeto APQP. A representação gráfica ainda retrata que os times de engenharia de produto e de manufatura trabalham em paralelo a fim de se buscar a otimização de tempo dentro do projeto. Isso é muito bom na ótica temporal, entretanto pode trazer riscos uma vez que alterações no projeto podem impactar fortemente no desenvolvimento de ambas as áreas. Por isso, o time de projeto deve ter esse conceito claro em mente de forma a evitar problemas ao desenvolvimento do projeto e manter sempre a sinergia entre os setores envolvidos no processo de design.

FIGURA 2.4 – Cronograma gráfico para o desenvolvimento da qualidade do produto.



Fonte: CHRYSLER *et. al.* (2008) – adaptado.

Fases do APQP

Nessa subseção serão apresentadas as cinco fases de desenvolvimento de projeto consideradas pelo método do APQP. O objetivo aqui será elencar as principais entradas e saídas de cada fase, com isso, se terá a ideia de todas as atividades necessárias para implementação deste processo de desenvolvimento. As informações trazidas nessa subseção foram retiradas do manual do APQP (CHRYSLER, *et al.*, 2008).

1. Planejamento e definição do Programa

Na primeira fase do desenvolvimento todas as expectativas e objetivos do cliente devem ser trazidos para o planejamento e a definição das atividades de projeto, sendo

claramente entendidos e aceitos. O objetivo é atender as necessidades do cliente de forma competitiva e saudável. As entradas e saídas esperadas para essa etapa são elencadas na tabela abaixo:

TABELA 2.4 – Entradas e saídas da fase 1 do APQP.

Entradas	Saídas
Vozes do cliente – pesquisa de mercado, histórico de garantia e qualidade, experiência do time	Objetivos de Design
Plano de Negócio / Estratégia de Mercado	Viabilidade e objetivos de qualidade
Benchmark de produto e processo	Lista preliminar de materiais
Premissas de produto e processo	Fluxograma preliminar de processo
Estudos de viabilidade de produto	Lista preliminar de características especiais
Entradas do cliente	Garantia do Produto
	Suporte de gestão de projetos

Fonte: CHRYSLER *et. al.* (2008) – adaptado.

2. Design e Desenvolvimento de Produto

Nessa fase do programa, todos os elementos que envolvem o design e a caracterização do produto são desenvolvidos. Essas atividades envolvem a produção de protótipos para verificação dos objetivos de projeto; análise do design com o foco de garantir os requisitos do cliente, as especificações de engenharia como desempenho, peso, qualidade, confiabilidade, custo unitário, investimento necessário e capacidade de atendimento aos volumes de produção.

A fase dois do APQP foi desenvolvida para garantir que uma análise abrangente e crítica sobre os requisitos de engenharia e informações técnicas seja realizadas. Dessa forma, as entradas e saídas dessa fase podem ser verificadas na Tabela 2.5:

TABELA 2.5 – Entradas e saídas da fase 2 do APQP.

Entradas	Saídas
Objetivos de Design	DFMEA
Viabilidade e objetivos de qualidade	DFMA
Lista preliminar de materiais	Verificação de Design
Fluxograma preliminar de processo	Protótipo – Plano de controle de protótipo
Lista preliminar de características especiais	Desenhos de engenharia
Garantia do Produto	Especificações de Engenharia
Suporte de gestão de projetos	Especificações de material
	Desenhos e Alterações de Especificações
	Novos equipamentos, ferramentas e facilidades requeridas
	Lista de características especiais de produto e

	processo
	Equipamentos de testes requeridos
	Análise de viabilidade do time e suporte de gestão.

Fonte: CHRYSLER *et. al.* (2008) – adaptado.

3. Design e Desenvolvimento do Processo

Na terceira fase do APQP são discutidas as características necessárias ao desenvolvimento do sistema de manufatura e seus planos de controle necessários ao atingimento da qualidade dos produtos. Esse passo foi projeto para se garantir que um sistema manufatureiro efetivo seja desenvolvido. O processo produtivo deve garantir os requerimentos, necessidades e expectativas do cliente. Para isso, as entradas e saídas dessa fase são listadas na Tabela 2.6.

TABELA 2.6 – Entradas e saídas da fase 3 do APQP.

Entradas	Saídas
DFMEA	Especificações de embalagem
DFMA	Revisão do sistema de qualidade do produto e processo
Verificação de Design	Fluxograma de processo
Protótipo – Plano de controle de protótipo	Leiaute do chão de fábrica
Desenhos de engenharia	PFMEA
Especificações de Engenharia	Plano de controle de pré-lançamento
Especificações de material	Instruções de trabalho
Desenhos e Alterações de Especificações	Plano de análise do sistema de medição
Novos equipamentos, ferramentas e facilidades requeridas	Plano de estudo de capacidade
Lista de características especiais de produto e processo	Suporte de gestão
Equipamentos de testes requeridos	
Análise de viabilidade do time e suporte de gestão.	

Fonte: CHRYSLER *et. al.* (2008) – adaptado.

4. Validação de Produto e Processo

Esse passo é o responsável por qualificar o produto e processo, verificando se seus desempenhos estejam adequados aos requisitos de cliente. Nessa fase um lote piloto de produção é realizado para se validar a eficácia do plano de controle, do fluxograma de processo e demais características que impactam na qualidade do produto. Além disso, todos os testes e provas laboratoriais necessários para a prova ao atendimento do produto e processo às especificações de cliente e desempenho são realizados. As entradas e saídas aplicáveis a esse passo são aqueles mostrado na Tabela 2.7.

TABELA 2.7 – Entradas e saídas da fase 4 do APQP.

Entradas	Saídas
DFMEA	Especificações de embalagem
Revisão do sistema de qualidade do produto e processo	Lote Piloto
Fluxograma de processo	Avaliação dos sistemas de medidas
Leiaute do chão de fábrica	Estudo de capacidade produtiva
PFMEA	Aprovação da peça produzida
Plano de controle de pré-lançamento	Testes de validação do produto
Instruções de trabalho	Avaliação da Embalagem
Plano de análise do sistema de medição	Plano de controle de produção
Plano de estudo de capacidade	Planos de qualidade aprovado e suporte de gestão
Suporte de gestão	

Fonte: CHRYSLER *et. al.* (2008) – adaptado.

5. Retroalimentação, Avaliação e Ações Corretivas

O planejamento da qualidade do produto não acaba após a validação do produto e processo. É durante a produção em massa que as todas saídas do processo podem ser verificadas, além de ser possível atestar a efetividade e qualidade dos esforços de projeto. O plano de controle, nesse caso, é o meio simples e completo de realizar as verificações necessárias. As entradas e saídas esperadas na quinta fase do APQP são elencadas na Tabela 2.8.

TABELA 2.8 – Entradas e saídas da fase 5 do APQP.

Entradas	Saídas
Especificações de embalagem	Redução da variabilidade
Lote Piloto	Aumento da satisfação do cliente
Avaliação dos sistemas de medidas	Melhoria da entrega e serviços
Estudo de capacidade produtiva	Uso efetivo das lições aprendidas e melhores práticas
Aprovação da peça produzida	
Testes de validação do produto	
Avaliação da Embalagem	
Plano de controle de produção	
Planos de qualidade aprovado e suporte de gestão	

Fonte: CHRYSLER *et. al.* (2008) – adaptado.

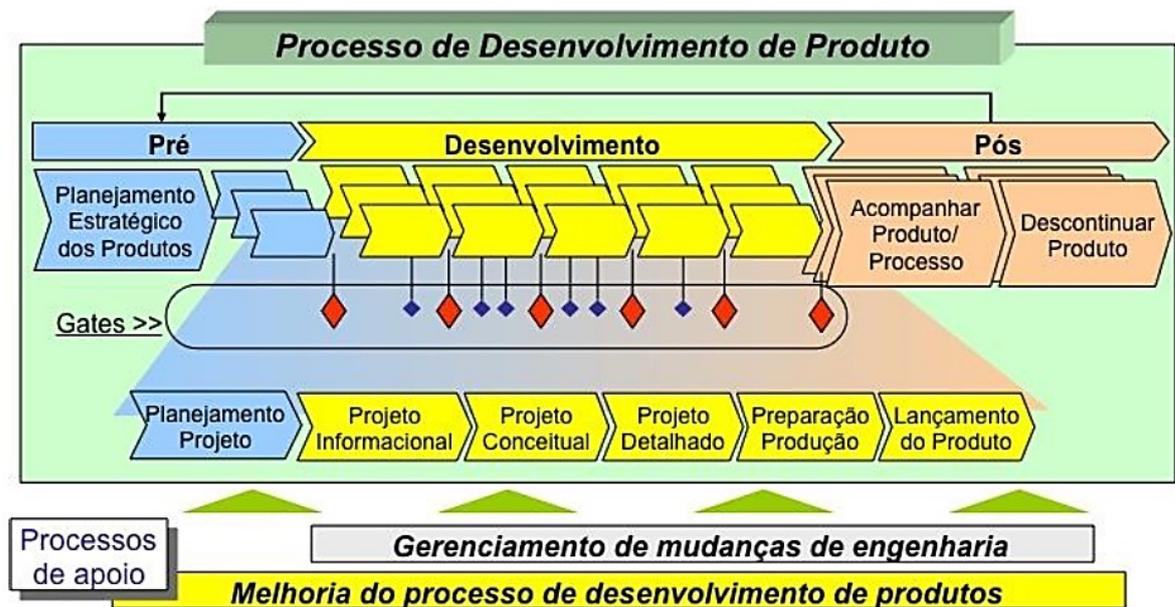
Toda a experiência adquirida ao longo desse processo e dos demais passos de para o desenvolvimento da metodologia do APQP provê à organização usuária todo o conhecimento necessário para redução de processos, inventários, custos de qualidade, além de mostrar o caminho correto para o desenvolvimento de projetos com a

eficiência e eficácia necessárias ao atendimento das expectativas do cliente e ao atendimento dos objetivos financeiros da empresa.

2.2.2.2 Modelo proposto por Rozenfeld *et. al.* (2006)

Desenvolvido em 2006 por Rozenfeld *et. al.* (2006), esse modelo de PDP divide o processo de desenvolvimento de produto em três fases principais, sendo: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. A Figura 2.5 demonstra graficamente seu conceito e cada uma das etapas desse processo serão brevemente detalhados abaixo.

FIGURA 2.5 – Modelo de PDP proposto por Rozenfeld *et. al.*



Fonte: ROZENFELD *et. al.* (2006).

Pré-desenvolvimento

Nessa etapa do processo as estratégias da empresa são as balizas para as definições dos caminhos a serem trilhados e produtos a serem comercializados. É nesse momento que as estratégias de mercado da companhia, tecnologias presente e/ou desejadas para o parque industrial, investimentos programados, projeções de mercado, e outras definições estratégicas da empresa são avaliadas a fim de se tomar o caminho mais coerente com tais objetivos.

Fases do Desenvolvimento

- Projeto Informacional

O objetivo nessa fase é a partir das informações obtidas durante o planejamento estratégico dos produtos, desenvolver um pacote de informações, o mais abrangente possível, que formará as especificações preliminares do produto, chamada de especificações-meta. Essas serão as responsáveis por orientar o desenvolvimento e fornecerá a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação utilizados nas etapas posteriores à esse processo.

- Projeto Conceitual

Nessa etapa as atividades do time de projeto estarão focadas na busca, criação, representação e seleção de soluções para os problemas de projeto. Esse processo de criação é livre de restrições, desde que pautados nas necessidades, requisitos e especificações de projeto do produto. Métodos de auxílio ao processo de criatividade também são utilizados nesse passo.

A representação das soluções por essa fase apresentada pode ser feita de diversas formas, entretanto a seleção de soluções que seguirão no desenvolvimento é feita com base em métodos apropriados que se apoiam nos requisitos de produto.

- Projeto Detalhado

Durante a fase Projeto Detalhado, a concepção do produto já desenvolvido nos passos anteriores será então detalhada e transformada nas especificações finais. Essa etapa pode abranger um grande volume de documentos responsáveis pelo detalhamento de cada item integrante do produto e seus respectivos processos de fabricação.

- Preparação da Produção

É nessa etapa que os processos de manufatura e manutenção são definidos, além de se ter a primeira produção piloto do projeto. Sendo assim, essa fase engloba principalmente as atividades da cadeia de suprimentos e engenharia de manufatura e manutenção.

- Lançamento do Produto

Tem o objetivo de colocar o produto no mercado, visando garantir sua aceitação pelos clientes em potencial.

Pós-desenvolvimento

Essa é a última fase deste modelo de PDP, entretanto é uma fase complexa e cheia de atividades. Durante o pós-desenvolvimento tarefas como: Monitoramento do mercado; produção e distribuição; atendimento ao cliente; assistência técnica; auditorias de

processo; avaliação da satisfação do cliente; monitoria do desempenho; registo de lições aprendidas; gestão de mudanças e demais atividades ligadas ao sistema operacional da empresa são continuamente desenvolvidos. Todas essas atividades de operações ligadas ao projeto somente cessarão quando o produto for descontinuado e a atividade de descontinuar produto for concluída.

2.3 DFMA – *Design for Manufacturing and Assembly*

Nas últimas duas seções foram discutidas metodologias para desenvolvimento de projetos e alguns métodos utilizados para se garantir as boas práticas ao processo de design de produtos. Em adição a tais importantes conceitos, será estudado nessa seção uma importante ferramenta que auxilia a tomada de decisão dentro da fase de concepção do design do produto.

2.3.1 *O Surgimento do DFMA*

O conceito do DFMA, de forma simplificada, é dar foco ao processo de projeção do produto a fim de se facilitar a manufatura e a montagem do mesmo, criando-se produtos com uma estrutura otimizada e um processo de montagem e produção mais enxuto (BARBOSA, 2007).

Este conceito foi aos poucos sendo aplicado (mesmo sem que tivesse sido oficialmente batizado com esse nome) ao longo de algumas décadas com percussores famosos como Eli Whitney, que desenvolveu um sistema de manufatura de armas para o governo americano, a partir da produção de componentes padronizados e intercambiáveis; e como Henry Ford, que com seu automóvel “*Model T*”, desenvolveu um sistema de montagem com peças padronizadas e projetadas para atender e facilitar a montagem em linha (BARBOSA, 2007).

A base do conceito DFMA foi construída sobre as metodologias do DFM – “*Design for Manufacturing*” e do DFA “*Design for Assembly*”. A primeira literatura desenvolvida foi a do DFM. Segundo Barbosa (2007) um de seus primeiros precursores foi Roger W. Boltz que publicou vários artigos ao longo de vários anos, dando origem, em 1947, à uma compilação chamada “*Production Process – the Producibility Handbook*”.

O DFA surgiu tempos depois com Geoffrey Boothroyd que ampliou a metodologia do *Design for Manufacturing* para a montagem automática, projetando o produto de forma que pudesse atender esta nova condição. O DFA, além de atender o processo automático, passou a facilitar a montagem manual de componentes (BARBOSA, 2007).

Boothroyd continuou seu trabalho de desenvolvimento dos conceitos de DFA aliado ao DFM e ficou conhecido por trabalhos desenvolvidos em conjunto com outros colegas. Como por exemplo, em 1968 junto com A. H. Redford publicaram o livro “*Mechanized Assembly*” que seria um guia para engenheiros e projetistas desenvolverem produtos atendendo as condições

necessárias para a montagem automática e manual; e em conjunto com Peter Dewhurst, onde contribuíram com o aprimoramento da técnica para o desenvolvimento de produtos trazendo significativa redução de custos e simplificações de produtos (BARBOSA, 2007).

2.3.2 O DFMA

A fim de se aprofundar na metodologia do DFMA é importante, inicialmente, definir os conceitos de manufatura (*manufacturing*) e montagem (*assembly*). O primeiro faz referência ao processo manufatureiro para a produção de um componente individual, que será parte de um produto montado, por exemplo, processo de injeção plástica ou usinagem de um componente. Já o segundo conceito, se refere à adição ou junção de partes para a formação de um produto completo (BOOTHROYD, et. al. 2002).

Sendo assim, o termo “*Design for Manufacturing*” (DFM) significa o desenvolvimento pensado em facilitar o processo de manufatura de componentes que posteriormente serão montados. Assim como, o termo “*Design for Assembly*” (DFA) significa a convergência do design em soluções que tornarão mais simples a montagem do produto constituído de diversos componentes (BOOTHROYD, et. al. 2002). A partir da soma de ambos os conceitos e sua aplicação simultânea o conceito do DFMA é alcançado.

Segundo Boothroyd (2002), o DFMA é utilizado em três atividades principais:

1. Como base para estudos de engenharia a fim de se produzir um guia para o time de design com a finalidade de simplificação da estrutura do produto, reduzir dos custos de manufatura e montagem e quantificar as melhorias.
2. Como uma ferramenta de *benchmarking* para estudar produtos de competidores e quantificar as dificuldades de manufatura e montagem.
3. Como uma ferramenta de *should-cost* (deve-custar em uma tradução livre) a fim de ajudar nos contratos com os fornecedores.

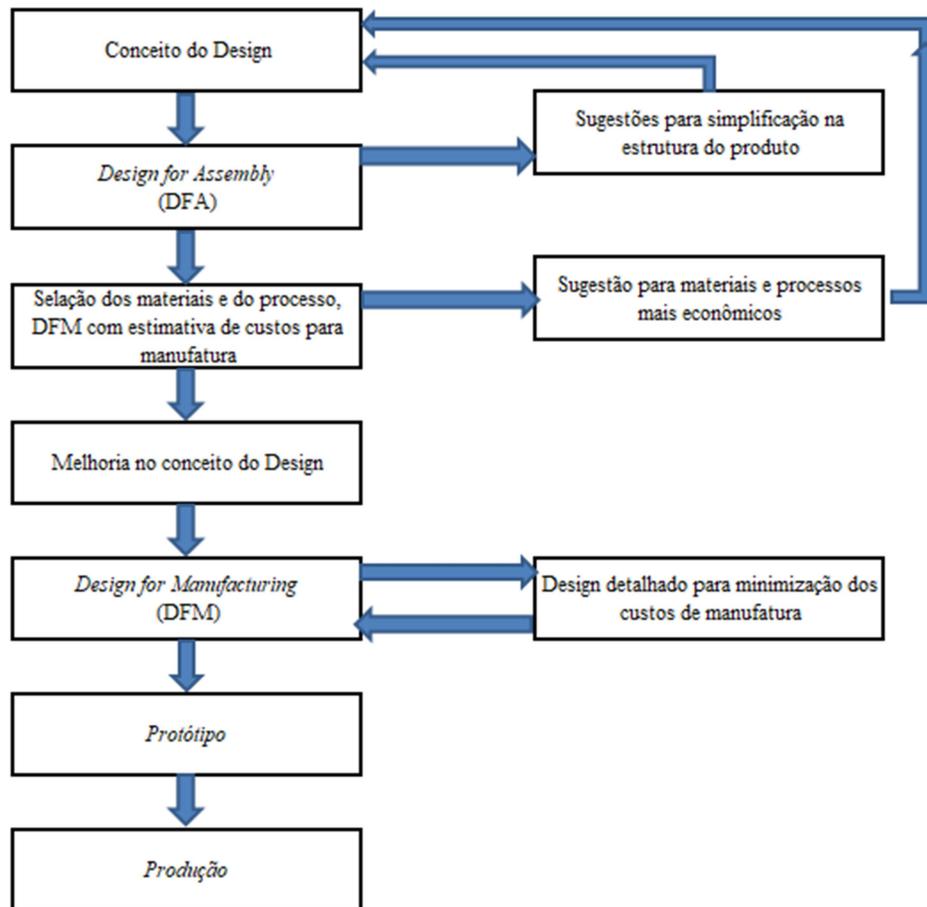
Segundo Barbosa (2007), a aplicação em sinergia do DFM e do DFA é mais benéfica ao design do produto devido ao fato de se visar a redução da complexidade e o número de peças tanto na fabricação de componentes como na montagem final do produto, se evitando que as modificações sugeridas pelo DFM aumentem a dificuldade do processo de montagem, fazendo com que o DFA não possa ser aplicado na íntegra.

Dessa forma, o DFMA trás grandes benefícios ao produto tais como: a melhoria na qualidade, diminuição do número total de peças, simplificação do processo de montagem, padronização, modularização, confiabilidade e significativa redução de custos de produção (BARBOSA, 2007).

2.3.3 Como pode ser aplicado o DFMA

Segundo Boothroyd (2002), o DFMA pode ser aplicado a um projeto seguindo a sequência de passos apresentada na Figura 2.6. Nessa figura, um fluxograma é apresentado, onde é possível se observar o passo a passo de um projeto se valendo da metodologia DFMA de desenvolvimento.

FIGURA 2.6 – Passos típicos tomados em um desenvolvimento usando o DFMA.



Fonte: BOOTHROYD (2002) – adaptado.

O desenvolvimento do projeto tem início a partir da definição do conceito do design. Essa definição de conceito é responsável por garantir que todos os objetivos desejados para o produto / serviço serão atendidos.

Na sequência aplica-se a metodologia do DFA, onde sugestões de simplificação da estrutura do produto são realizadas e realimentam o conceito de design previamente definido.

O próximo passo é a seleção de materiais a serem utilizados e uma previsão dos processos de industrialização a serem utilizados. Definidas tais características e então aplicado o DFM preliminar para estimativa dos custos de manufatura. Esse passo também realimenta o design do produto \ serviço.

Ambas as realimentações no design do produto resultam em um conceito final mais enxuto e simples para o projeto. Esse novo design é a base para a aplicação de mais uma rodada do DFM. Após essa nova iteração na concepção do produto, o detalhamento do projeto pode ser realizado, obtendo assim um conceito capaz de minimizar os custos de manufatura.

Por fim, se realiza um protótipo para o conceito de produto desenvolvido de modo a se validá-lo. Sendo esse protótipo validado, o método do DFMA considera que este está apto a ser entregue à produção. Nesse ponto, cabe um importante adendo: deve ser entendido como “produção”, as fases subsequentes ao desenvolvimento do design de produto, ou seja, desenvolvimento do processo produtivo, validações do produto e processo, introdução ao mercado, etc., conforme visto nos modelos apresentados na seção que discorre sobre PDP.

2.3.4 Princípios e Regras para aplicação do DFMA

Segundo Boothroyd (2002), a melhor maneira de se reduzir custos de montagem é: primeiro a partir da redução do número de peças a serem montadas; segundo por meio da redução do custo de material, e por fim, pela facilidade de montagem das peças remanescentes.

Os princípios do DFMA passam pelo conceito da minimização do custo de montagem e manufatura dentro das limitações do processo produtivo e das especificações do produto. Dessa forma, Boothroyd (2002) propõe alguns passos para se alcançar a redução de custos. Esses passos são discutidos abaixo:

Minimização do número de peças

Assim como já adiantado dos parágrafos anteriores, o primeiro e mais importante fator de redução de custos de montagem é a redução do número de componentes envolvidos no processo de montagem. Essa ação ocasiona uma redução dos inventários, interações de vendas, simplifica o processo de montagem, e simplifica o leiaute produtivo. Outro ponto importante é a busca pela utilização de peças multifuncionais, ou seja, peças que representam a combinação de dois ou mais componentes. Dessa forma, é possível eliminar várias operações de montagem.

Para se alcançar tais objetivos, duas perguntas devem ser sempre feitas:

1. Este componente é realmente necessário?
2. Podem esses componentes ser combinados?

Segundo Sousa (1998), no projeto ideal o produto deve ser composto por uma peça só, eliminando assim a etapa de montagem. Entretanto, há cinco razões principais porque os componentes devem permanecer separados:

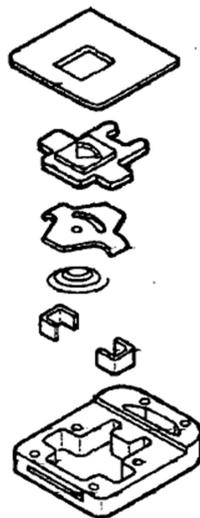
1. Peças que devem ter movimento relativo entre si;

2. Funções e propriedades diferentes que requerem materiais diferentes;
3. Por motivo de manutenção e ou reposição de componentes;
4. Para permitir montagem ou acesso a outras peças;
5. Por restrições de processo de manufatura.

Montagem modular ou componentes base

Esse princípio levanta o questionamento sobre a importância de se utilizar uma base simples/única sobre a qual todos os demais componentes serão montados. Sem tal componente base, a montagem pode consistir em trabalho sobre muitas submontagens, aumentando assim a necessidade de manipulação, requerendo extensivo reposicionamento e rearranjo para a montagem. A Figura 2.7 exemplifica a montagem de um produto sobre um componente base, simplificando o processo de produção.

FIGURA 2.7 – Montagem empilhada.



Fonte: BOOTHROYD (1994).

De forma semelhante, a montagem modular nada mais é que a união de componentes pré-montados em um componente de base. A montagem modular é mais benéfica ainda se for utilizada como padronização de famílias de produtos, simplificando assim, uma linha inteira de produtos.

Padronização de produtos

Produtos com variações de estilo e/ou função podem acarretar em complicações na montagem, necessidade de treinamento da mão-de-obra empregada na produção e aumento das tarefas de manufatura. Dessa forma, sempre que inevitáveis tais variações de produtos é muito importante que se busque criar um sistema de manufatura que associe todas as

variações de produtos em uma única submontagem. Dessa forma, podem-se padronizar todas as submontagem anteriores à customização final do produto, facilitando a gestão da produção.

Padronização de componentes

A padronização de materiais e componentes facilita a obtenção de melhores custos do componente e ajuda na eliminação de ferramentas desnecessárias.

O objetivo do time de projeto deve ser padronizar o uso de componentes, especialmente fixadores, como parafusos, presilhas, porcas, etc. Uma boa solução é a padronização dos tipos e restringir o uso a tal padrão, listando a ordem de preferência de escolha desses itens.

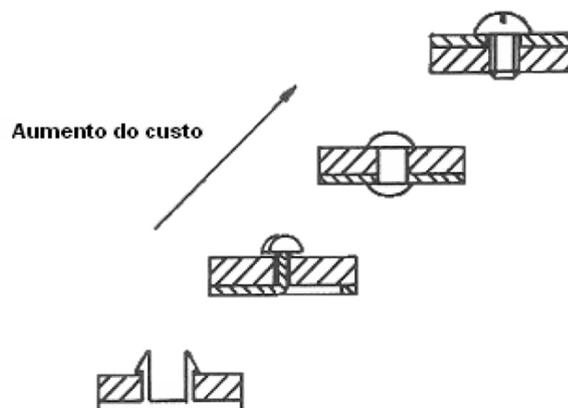
A padronização de componentes deve ser sempre avaliada para cada projeto. De certo modo, o uso de peças padronizadas pode ir contra a tentativa de se minimizar a quantidade de peças de um produto. Por isso, às vezes usar uma peça padrão disponível através de uma família de produtos é melhor que introduzir soluções mais complexas para cada produto em particular. A economia de escala será um fator favorável nesses casos.

Projeto de peças com conceito auto fixador

O uso de fixadores separados, como por exemplo, parafusos e arrebites, não agregam valor ao produto final, sendo assim, o uso de fixação por encaixe deve ser sempre um conceito a ser buscado. A Figura 2.8 exemplifica esse cenário.

O projeto de peças com característica de encaixe requer mais tempo e esforço. O time de projeto idealmente deve ter ferramentas de simulação para esses casos, deixando o processo de verificação do *design* mais fácil e ágil.

FIGURA 2.8 – Métodos comuns de fixação.



Fonte: BOOTHROYD (1994).

Montagem empilhada ou unidirecional

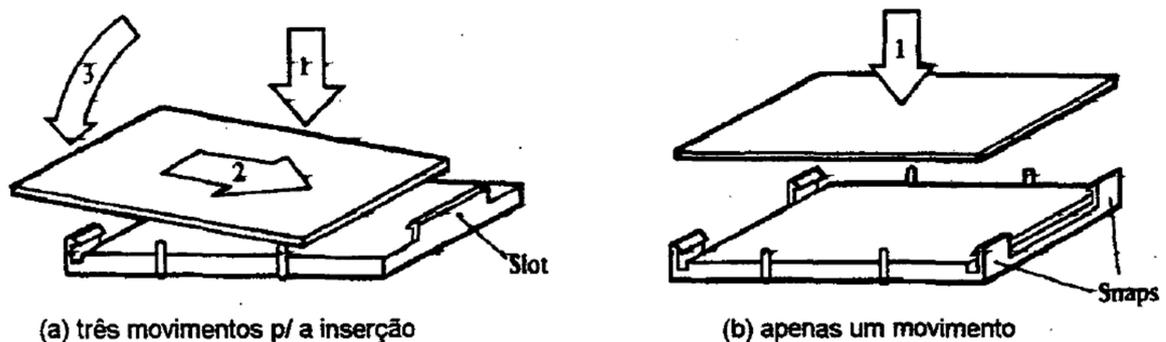
O projeto do produto, sempre que possível, deve considerar um mínimo de direções de inserção, de forma a reduzir a necessidade de reorientação do produto durante a sua montagem.

Quando os componentes precisam ser rotacionados, parcialmente montados, ou sustentados em determinada posição durante a operação de montagem, todo isso são atividades que não agregam valor.

Outro fator que auxilia na velocidade de montagem é a simetria do componente. Peças simétricas facilitam a manipulação e localização da direção de montagem. Se o projeto da peça não permite simetria, marcas de alinhamento ou assimetria óbvia para a montagem facilitarão o processo produtivo.

Já a montagem empilhada, como a mostrada na Figura 2.9, exemplifica a redução de movimentos necessária para a obtenção de um projeto simples de montagem.

FIGURA 2.9 – Montagem unidirecional.

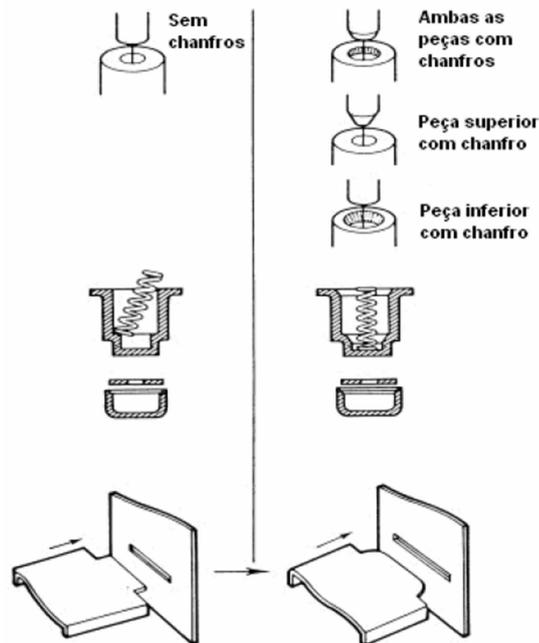


Fonte: BOOTHROYD (1994).

Peças auto localizáveis

O projeto de peças com características de auto localização facilitam a montagem e permitem que as peças subsequentes sejam colocadas numa posição precisa, sem ajustes. Chanfros, convites, alargamento de tolerâncias quando possível, etc., reduzem a necessidade de treinamento de colaboradores, simplificam o processo de montagem e não afetam o desempenho do produto. Além disso, Boothroyd (1994) salienta que essa técnica de projeto quase sempre pode ser conseguida sem incremento de custo ao projeto. A Figura 2.10 ilustra projetos com conceitos de auto localização.

FIGURA 2.10 – Peças com característica de auto localização.



Fonte: BOOTHROYD (1994).

Minimização dos níveis de montagem

Conforme já discutido anteriormente, componentes agregados em subgrupos de montagem melhoram e flexibilizam a programação e o planejamento da produção. Outra vantagem quando se tem sub níveis de montagem é a simplificação e diminuição da quantidade de *setups* de linhas de produção necessários para a produção do produto final.

Ao se reduzir os níveis de montagem de um produto, isso é traduzido para a manufatura em forma de simplificações de especificações documentações, facilidade no processo produtivo e um leiaute de fábrica mais enxuto.

Manipulação de peças facilitada

O projetista deve sempre ter em mente no momento do projeto que peças fáceis de pegar agilizam a manipulação reduzindo o tempo ciclo produtivo. Os fatores de atenção ligados à manipulação de peças são principalmente três: a geometria, onde formas regulares são sempre desejadas; a rigidez, visto que materiais macios, moles ou frágeis sempre dificultam o processo de montagem; e por fim o peso, uma vez que componentes pesados tendem a aumentar o tempo de montagem.

Dentro dos três fatores de projeto acima descritos se tem várias sub características que podem ser modificadas a projeto com o intuito de se melhorar o processo produtivo de montagem. São elas:

- Peças simétricas para reduzir o tempo de orientação;
- Projeto de componentes que não se emaranham na embalagem, dificultando assim a pega no momento da montagem;
- Uso de oblongos para evitar ajustes no posicionamento;
- Facilitar o acesso ao local de montagem do componente;

Projeto para estabilidade

Peças que tenham estabilidade durante o processo de montagem asseguram que não seja gasto tempo adicional à submontagem a fim de se equilibrar ou evitar que componentes caiam durante a montagem. Idealmente componentes em montagem devem apresentar sistemas de prefixação ou permanecerem estáveis durante o processo produtivo.

Otimizar a sequencia de montagem

A sequência de montagem tem grande influência no leiaute de fabrica e no processo produtivo, além de influenciar diretamente a manutenibilidade do produto. Uma das técnicas utilizadas para se determinar uma sequência de montagem ideal é se determinar inicialmente a sequência de desmontagem. Segundo Sousa (1998), a desmontagem é um processo no qual cada peça pode ser retirada da estrutura sem prejudicar a estrutura da submontagem; e a sequência de montagem é o inverso da sequência de desmontagem.

Uma sequência eficiente é aquela que possui o menor número de passos para ser concluída e que evita o risco de danificar as peças em processo (SOUZA, 1998).

2.3.5 Métodos de avaliação objetiva DFA

Segundo Sousa (1998), toda ferramenta de projeto se torna mais útil e confiável quando consegue exibir dados mensuráveis junto à filosofia de projeto, isto é, quando consegue quantificar as informações.

Estão disponíveis no mercado algumas formas de avaliações objetivas para o DFA e alguns softwares de análise de montabilidade que levam em consideração o processo de montagem e o projeto de linhas de produção industrial. Entretanto, não foram evidenciados métodos de análise objetiva para a metodologia do DFMA.

Com o intuito de se introduzir o conceito de avaliação objetiva aplicado ao DFA, serão apresentados dois dos principais métodos existentes e que deram origem ao demais disponíveis no mercado.

Método AEM da Hitachi Co.

O Método de Avaliação de Montagem AEM (*Assembly Evaluation Method*) desenvolvido pela empresa *Hitachi Co.* na década de 70 e revisão na década de 80, foi direcionado inicialmente para a simplificação de processos de montagem automático de peças. Essa ferramenta busca quantizar as dificuldades e o tempo de montagem para cada alternativa de processo de manufatura dado um design de produto (SOUSA, 1998).

O AEM considera uma tabela que lista cerca de 20 operações de montagem onde, para cada uma dessas operações existe um índice que pode ser utilizado como um quantificador do grau de montabilidade do processo. O método é baseado no princípio de “um único movimento para uma única peça”, cada vez que o componente requer movimentos mais complicados, uma penalidade padrão é usada. No final, a montabilidade geral do produto é avaliada pela subtração de todos os pontos perdidos (SOUSA, 1998).

Segundo Boothroyd e Alting (1992), o método AEM também foi implementado computacionalmente, apresentado benefícios como a redução no trabalho de montagem; a facilidade para a automatização da fábrica; a redução no período de projeto e a melhoria na confiabilidade dos produtos e equipamento automatizados.

O método em discussão, após sua renovação na década de 80, apresenta dois índices utilizados para a quantificação da qualidade do projeto. Um é chamado *nota de montagem do produto (E)*, responsável por mensurar a qualidade do projeto com relação à montagem; e o segundo é a *razão dos custos de montagem (K)*, que realiza uma estimativa entre custo de montagem dada alternativas de projeto, suas equações são apresentadas abaixo. Para o primeiro índice, *nota de montagem do produto*, o conceito utilizado na formulação dessas equações basicamente passa pela consideração de que as N_i tarefas de montagem para cada componente i recebem uma nota P_i relacionada a uma penalidade e_j conforme a dificuldade de cada operação elementar j . Dessa forma, se calcula a média das notas de montagem P das peças que é equivalente à nota de montagem do produto E , onde n é a quantidade de componentes do produto (SOUSA, 1998).

$$P_i = 100 - \sum_j^{N_i} e_j$$

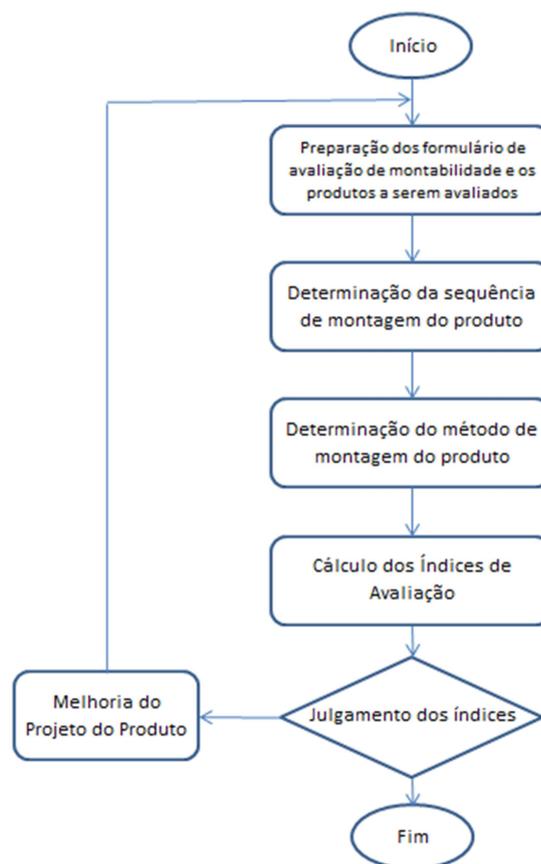
$$E = \frac{\sum_i^n P_i}{n}$$

Já para o segundo índice, *razão dos custos de montagem*, o conceito é definido como a multiplicação da nota de montagem do produto E pelo número total de tarefas de montagem N do projeto, dividido por esta mesma multiplicação para o projeto padrão (pd) em comparação (SOUSA, 1998).

$$K = \frac{N \cdot E}{N_{pd} \cdot E_{pd}}$$

Sousa (1998) em sua análise ao método AEM afirma que este realiza uma avaliação comparativa, onde o índice K somente estima a relação entre o custo de montagem entre duas alternativas de projeto de mesmo produto ou dois produtos concorrentes e que, ao se avaliar três ou mais alternativas, é necessário escolher uma como sendo o projeto padrão. Além disso, o mesmo autor adiciona que durante um reprojeto de produto é recomendável reduzir o número de operações de montagem N alterando o design dos componentes de menor nota P , além de se procurar uma melhoria de 20 a 30 pontos no valor de E , onde é preferível um K menor que um E menor. A Figura 2.11 mostra esquematicamente o fluxo de atividades para aplicação do método AEM.

FIGURA 2.11 – Procedimento do Método AEM da Hitachi Co.



Fonte: SOUSA (1998) - adaptado.

Método Boothroyd-Dewhurst para DFA

Segundo Oliveira (1990) o método de Boothroyd e Dewhurst é um método de avaliação de montabilidade dedicado à processos de montagem manual, automática e robotizada.

Desenvolvido em 1977, faz uma análise sobre o projeto no aspecto de questionar se cada um dos componentes contemplados são, de fato, necessários para o produto final, além de avaliar se a função desempenhada por estes pode ser compartilhada por outros componentes. Essa

ideia de se avaliar a necessidade de todos os componentes proporciona o critério de menor número de peças possível que guia a otimização do projeto em torno do tempo de montagem (SOUSA, 1998).

De acordo com Boothroyd, Dewhurst, e Knight (1994) o conceito de avaliação consiste, basicamente, em se responder as seguintes perguntas para cada componente individual. Se as três respostas forem afirmativas, significa que a peça deve continuar separada das demais, não podendo ser eliminada.

- A peça deve ter movimento relativo ao conjunto?
- O material do componente deve ser diferente do material do conjunto?
- A peça deve ser separada para permitir a desmontagem e remontagem do conjunto?

Uma vez identificada a necessidade real do componente no projeto, o tempo de montagem é então estimado através de uma tabela padrão de tempos de montagem originada de um banco de dados com informações reais de processos de montagem obtidos a partir de uma série de estudos sobre tempos e movimentos (*MTM = Methods Time Measurement*). Em posse dessas estimativas de tempos, é possível chegar à *Eficiência de projeto - DE_{8D}*, ou índice de DFA, se comparando o tempo de montagem ($t_{montagem}$) do produto em avaliação com o tempo mínimo de montagem se o produto tivesse apenas o menor número de peças teórico ($t_{min\ de\ DFA}$). A equação abaixo demonstra esse cálculo (SOUSA, 1998).

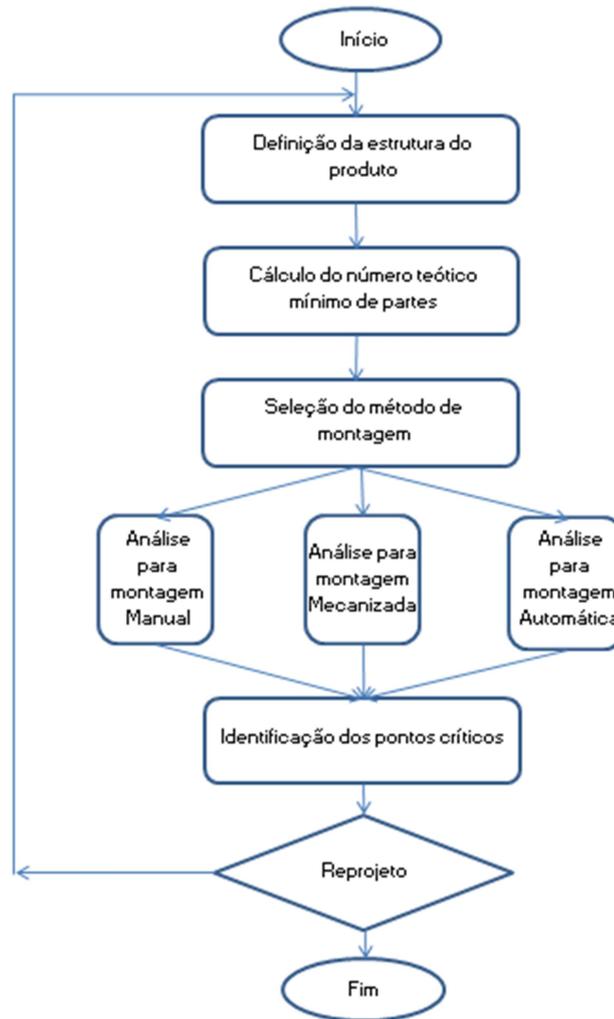
$$DE_{8D} \approx \frac{t_{min\ de\ DFA}}{t_{montagem}}$$

A formulação exposta acima indica que DE_{8D} varia entre 0 e 1, sendo a pontuação zero para um projeto extremamente podre e 1 a pontuação do projeto ideal. Uma variação do cálculo do DE_{8D} é possível utilizando-se as informações do número de peças e o tempo de montagem ou o custo do projeto. Isso deixa explícito que os principais fatores que influenciam no custo de montagem de um produto são o número total de componentes e a facilidade de manipulação, inserção e união das peças. A expressão é então construída como mostrado abaixo onde N_{tmin} é o número teórico mínimo de peças; t_{DFA} o tempo para a montagem dos componentes críticos; C_{DFA} o custo do projeto ótimo; N_{atual} o número total de componentes do produto em análise; t_{atual} o tempo de montagem de todos os componentes no projeto em avaliação e C_{atual} o custo do produto em avaliação (SOUSA, 1998).

$$DE_{8D} = \frac{N_{tmin} \cdot t_{DFA} \text{ ou } C_{DFA}}{N_{atual} \cdot t_{atual} \text{ ou } C_{atual}}$$

A Figura 2.12 mostra esquematicamente o fluxo de atividades para aplicação do método Boothroyd-Dewhurst para DFA.

FIGURA 2.12 – Fluxograma do Método de Boothroyd-Dewhurst.



Fonte: SOUSA (1998) – adaptado.

2.4 Método do Design Robusto - Taguchi Methods

2.4.1 O Surgimento

No cenário pós Segunda Guerra Mundial, onde as empresas japonesas lutavam para sobreviver com recursos muito limitados, Genichi Taguchi desenvolveu métodos estatísticos, chamados *Taguchi Methods* – do inglês: Métodos Taguchi - responsáveis por revolucionar o processo manufatureiro japonês. Muitos autores consideram os Métodos de Taguchi como responsáveis diretos por fazer a indústria do Japão pós-guerra se reerguer e prosperar (KARNA *et. al.*, 2012).

Genichi Taguchi em seus estudos verificou que os processos de manufatura são afetados por influências externas, ou seja, ruídos. Sendo assim, uma importante parte do seu trabalho foi o

desenvolvimento de métodos de identificação desses ruídos que vêm ajudando muitas empresas ao redor do globo (KARNA *et. al.*, 2012).

De acordo com Box *et. al.* (1988), o inimigo da produção em massa é a variabilidade, o sucesso em sua redução invariavelmente irá simplificar processos, reduzir refugo, e reduzir custos. Esse é o principal foco dos Métodos Taguchi, a busca por projetos de sistemas robustos capazes de serem confiáveis sob condições de trabalho em ambientes com ruído (TAGUCHI, 1978). Dessa forma, o método tem por objetivo definir parâmetros em seus níveis ótimos, para uma resposta robusta do sistema, ou seja, insensível a fatores de ruídos, que são difíceis ou impossíveis de se controlar (PHADKE, 1989).

O conceito por trás dos Métodos de Taguchi está ligado a duas premissas base: atenção à variabilidade e a insensibilidade a fatores de ruído. Não por coincidência seus métodos foram completamente ligados ao conceito do *Robust Design Methodology* (RDM) do inglês – Metodologia do Design Robusto, que apresenta as mesmas duas premissas base do método de Taguchi aliado a uma terceira que trata da aplicação contínua das outras duas premissas. Arvidsson e Gremyr (2005) definem o RDM como “esforços sistemáticos para se atingir a insensibilidade à fatores de ruído, sendo esses esforços aplicados em todas as fases de design do produto e processo”, (apud – ARVIDSSON, 2008).

2.4.2 A qualidade é definida pelo design

Os Métodos de Taguchi, e posteriormente o RDM, revolucionaram a forma de se trabalhar a qualidade e o desempenho em design de produtos e processos manufatureiros. Ao contrário de práticas de qualidade como o Controle Estatístico de Processo (CEP) que buscam controlar os fatores que adversamente afetam a qualidade de um produto ou processo, o método supracitado, como já dito, tem foco no design onde seu objetivo é definir com excelência os parâmetros e suas tolerâncias a fim de que o resultado final do projeto produza um produto com a menor sensibilidade possível a fatores de ruído (TAPAN, 1993).

Esses métodos buscam revelar a complexas relações de causa e efeito entre os parâmetros de design e seus desempenhos relativos, fazendo com que na fase de projeto as definições de produto/processo sejam aquelas ótimas à aplicação desejada, construindo a qualidade na fase de desenvolvimento e mitigado riscos antes mesmo que o produto/processo entre efetivamente em produção (TAPAN, 1993).

A utilização dos Métodos de Taguchi e, conseqüente extensão para o RDM, na fase de desenvolvimento do produto e processo, é possível aumentar a capacidade de um processo em produzir sem falhas pela minimização da variabilidade, além de reduzir a sensibilidade da manufatura a causas atributivas (ruído), reduzindo substancialmente os esforços necessários para se manter a produção nos objetivos desejados (TAPAN, 1993).

Taguchi tinha ainda dois outros balizadores utilizados no desenvolvimento de seus métodos. Eles agregam valor ao processo ao identificar como a qualidade de um produto deve ser entendida e ao definir passos para o design de produtos e processos (TAPAN, 1993):

1. Todas as vezes que se tem a ocorrência da não qualidade a sociedade incorre em perdas. Taguchi define o termo “qualidade” como as perdas que um produto impõe a sociedade desde o momento que é expedido ao mercado. Essas perdas são diretamente dependentes dos desvios de desempenho do produto, podendo ser medidas a partir do indicador de qualidade “Perda de função” (*loss function* do inglês), sendo útil na determinação das tolerâncias dos parâmetros de processamento.
2. O desenvolvimento do produto e processo requer um modelo sistemático, passando por passos bem definidos que contemplem: design do sistema, design dos parâmetros e design das tolerâncias.

2.4.3 A prevenção pela qualidade

Os Métodos de Taguchi se fundamenta na ideia de que 80% dos custos durante a vida útil do produto estão fixados em sua fase de design. Como exemplo, se um projetista opta por utilizar aço ao invés de plástico em um dado design de produto, durante a vida produtiva deste item ficará difícil buscar reduções de custo em matéria prima, restando somente a busca por melhoria de custo nos 20% ligados à manufatura da peça. Por esse motivo, é muito importante que os projetistas e engenheiros durante a definição do design do produto busquem, além das ações que geram reduções de custo no produto, ações que impactam significativamente em características que gerarão reduções de custo também para a manufatura da peça (TAPAN, 1993).

Os japoneses descobriram em 1953 que a maneira mais eficiente de solucionar problemas de qualidade é durante a fase de design do produto e processo. Neste ano uma grande empresa japonesa conseguiu reduzir 10 vezes sua variabilidade a partir da utilização de experimentos estatísticos para avaliar características de design. Essas evidências mostram que é muito tarde para pensar em controle de qualidade depois que o produto está saindo das linhas de produção. Como já mencionado, O Método de Taguchi apresenta uma abordagem de desenvolvimento de design em três fases. Essa abordagem deve, obrigatoriamente, anteceder a entrada do produto em produção para se maximizar as chances de um desempenho dentro do esperado e com mínima variabilidade em produção (TAPAN, 1993).

2.4.4 Princípios e Práticas do Design Robusto

Os Sete Pontos de Taguchi

Uma vez que os conceitos base para o Método do Design Robusto foram embasados nos métodos de Taguchi, é importante entender suas ideias fundamentais para melhor apreciação do método como um todo. Por isso, é elencado nessa subseção as ideias que fundamentaram a pesquisa de Taguchi e seu contexto de desenvolvimento.

A filosofia japonesa de qualidade, na qual está incluído também o Método de Taguchi, prega que a melhor forma de se alcançar o desempenho superior em algo vêm a partir de esforços contínuos de melhoria, ou seja, novas tecnologias e inovações se dão devido aos esforços despendidos objetivando-se a qualidade. Abaixo são apresentados os Sete Pontos de Taguchi que buscam sempre aprimoramento da qualidade (TAPAN, 1993).

1. Taguchi define a ‘qualidade’ de um produto como o total de perda gerada por este à sociedade a contar do seu envio ao mercado;
2. Em uma economia competitiva, a Melhoria Contínua da Qualidade (do inglês *Continuous Quality Improvement - CQI*) e redução de custos são necessários para se manter competitivo;
3. O CQI inclui redução contínua na variação do desempenho do produto e nos seus objetivos de controle;
4. A perda do cliente atribuída à variação do desempenho de um produto geralmente é proporcional ao quadrado do desvio dos objetivos de controle;
5. A qualidade e custo final (P&D, processo produtivo, e operações) de um produto dependem primariamente do seu design e do seu processo de manufatura;
6. Variações no desempenho de produto / processos podem ser reduzidos a partir da exploração dos efeitos não lineares intrínsecos à suas características e parâmetros de desempenho;
7. Experimentos planejados podem eficientemente e confiavelmente identificar o conjunto de parâmetros de produtos / processos que reduzem as variações de desempenho.

Fundamentos do Design Robusto

O Método do Design Robusto apresenta, conforme já mencionado, três premissas: atenção à variabilidade, insensibilidade a fatores de ruído e aplicação contínua. Essas premissas podem ser implementadas a partir de algumas práticas e atividades que efetivamente alteram o modo de trabalhar de uma organização. Algumas dessas atividades, voltadas para um foco mais

técnico, são listadas na Tabela 2.9. A execução dessas atividades ajuda na operacionalização do RDM (ARVIDSSON, 2008).

TABELA 2.9 – Premissas, Práticas e Técnicas selecionadas para operacionalização do RDM

Premissa	Atenção à Variabilidade	Insensibilidade a fatores de ruído	Aplicação Contínua
Práticas	<p>Apreciação do indicador “Perda de função” (<i>loss function</i>)</p> <p>Desenvolvimento do diagrama P para facilitar a identificação dos fatores de ruído e classificá-los, como por exemplo, ruído interno e ruído unidade-para-unidade</p>	<p>Explorar e utilizar funções de transferência para caracterização dos produtos</p> <p>Criar conceitos com inerente robustez</p>	<p>Continuamente aplicar o RDM em todas as fases de design do produto e processo. Não perder nenhuma oportunidade de melhoria da robustez.</p>
Técnicas	<p>Questionários de Revisão</p> <p>Entrevistas com clientes / estudo de como o cliente utiliza o produto</p> <p>Construção do diagrama P conceitual</p> <p>Estudo da Variabilidade</p>	<p><i>Design of Experiments (DOE)</i></p> <p>Diagrama P</p> <p>Questionários de Revisão</p> <p>FMEA</p>	<p>Questionários de Revisão</p>

FONTE: ARVIDSSON (2008) - adaptado.

2.4.5 Passos para operacionalizar o Design Robusto

O método do Design Robusto foi concebido com a premissa de se projetar a qualidade como um parâmetro intrínseco ao conceito do produto. Para isso, Taguchi determina três passos: primeiro o design do sistema, seguido pelo design dos parâmetros e finalmente o design das tolerâncias (TAGUCHI, 1986). A Figura 2.13 ilustra esses passos para a obtenção do design final de um produto / processo.

Figura 2.13 – Passos para um desenvolvimento sistêmico visando o design robusto.



Fonte: TAPAN (1993) – adaptado.

Design do Sistema

Também chamado de Design Funcional, é o primeiro passo no desenvolvimento do produto e usa conhecimento técnicos para se obter um design capaz de entregar as funcionalidades básicas desejadas para o produto. É nessa fase que as inovações acontecem e onde se tem o maior esforço de desenvolvimento (TAGUICHI, 1986).

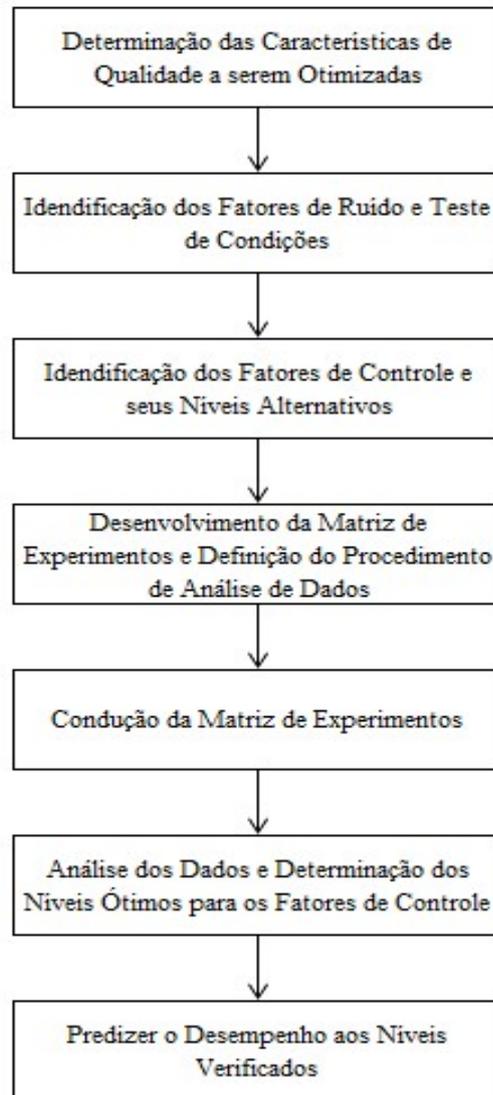
Design dos Parâmetros

Após definidas as características básicas e determinantes para o desempenho técnico do produto, se procede com o design dos parâmetros. O objetivo desse passo é selecionar níveis ótimos para os parâmetros controláveis do sistema a fim de garantir a funcionalidade do produto com altos níveis de desempenho em uma larga faixa de condições, além de o manter robusto e insensível aos fatores de ruído (TAGUICHI, 1986).

Com o intuito de se chegar à tais definições, um protótipo (físico ou matemático) do produto definido durante a fase de design do sistema é criado e submetido a eficientes experimentos estatísticos. Isso gerará os valores para os parâmetros nos quais o desempenho do protótipo será ótimo. Dois tipos de experimentos são desenvolvidos para tal fim: o primeiro objetivo é identificar valores e ajustes de parâmetros de processo nos quais o produto produzido a partir deles apresenta o desempenho desejado; já o segundo, tem por objetivo determinar os efeitos de fatores de ruído no desempenho do produto, buscando definir parâmetros de design que minimizam tais efeitos sem necessariamente eliminar esses fatores indesejados (o que seria caro ou impossível), (TAPAN, 1993).

A Figura 2.14 trás o fluxograma de atividades a serem desenvolvidas para o design dos parâmetros em um projeto de produto (PHADKE, 1989).

FIGURA 2.14 – Fluxograma para design dos parâmetros de um produto



Fonte: PHADKE (1989) - adaptado.

1. Determinação das Características de Qualidade a serem Otimizadas

O primeiro passo para aplicação dos Métodos de Taguchi é a determinação das principais funcionalidades do produto (características de qualidade (Y)); quais os efeitos secundários o produto pode ter e fatores que o leva a falha. As características de qualidades são aquelas a serem otimizadas e cuja variação de seus parâmetros causam efeitos críticos na qualidade do produto. São as saídas ou as variáveis de resposta a serem observadas. Alguns exemplos são: peso, custo, corrosão, espessura alvo, força estrutural, radiação eletromagnética (EDWIN, 1991).

2. Identificação dos Fatores de Ruído e Testes de Condições

O próximo passo é a identificação dos fatores de ruído (w_1, w_2, w_3) que podem impactar negativamente no desempenho e qualidade do produto. Fatores de ruído incluem variações em condições ambientais, deterioração de componentes com o uso, variação de resposta entre produtos com o mesmo design e mesmos parâmetros de entrada (EDWIN, 1991).

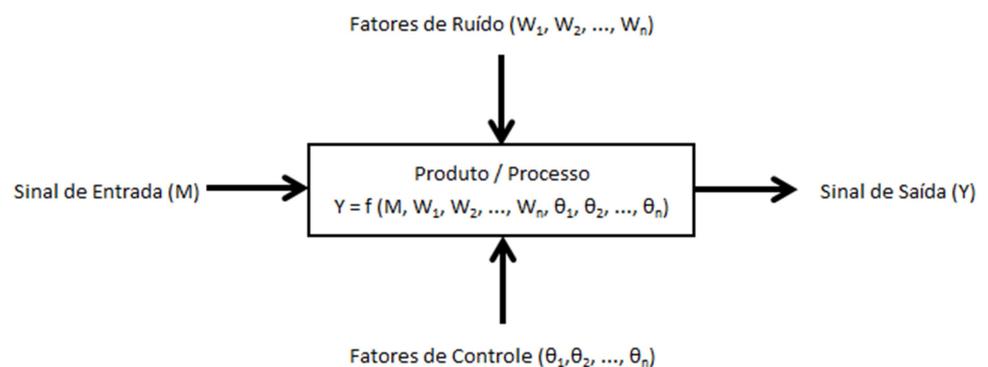
3. Identificação dos Fatores de Controle e seus Níveis de Alternativos

Nessa etapa são identificados os parâmetros para os fatores de controle ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) que apresentam efeitos nas características de qualidade do produto. Os níveis de cada uma das variáveis de controle devem ser definidos nessa etapa. A quantidade de níveis associado à quantidade de fatores de controle determina o tamanho do experimento (EDWIN, 1991).

A fim de se facilitar a realização dos passos 1, 2 e 3 a aplicação do diagrama P pode ser realizada. Dentro do contexto do RDM o diagrama P é muito utilizado por facilitar a caracterização do produto. Basicamente essa ferramenta descreve o produto como um sistema de entradas e saídas com diferentes categorias de fatores influenciadores em sua resposta (Y), seu diagrama pode ser verificado na Figura 2.15. Em resumo (ARVIDSSON, 2008):

- Fatores de Sinal (M): São os parâmetros ajustados pelo usuário do produto com o objetivo de se chegar ao resultado desejado de desempenho. Exemplo: um motorista quando vira o volante de seu carro esperando que ele contorne uma rua.
- Fatores de Ruído (w_1, w_2, w_3): São as potenciais fontes de variação que não podem ser controladas pelo projetista. Exemplo: envelhecimento dos componentes
- Fatores de Controle ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$): São os parâmetros que pode ser livremente especificados pelo projetista. Cada fator de controle pode ter múltiplos valores. Exemplo: material a ser utilizado.

FIGURA 2.15 – Diagrama P

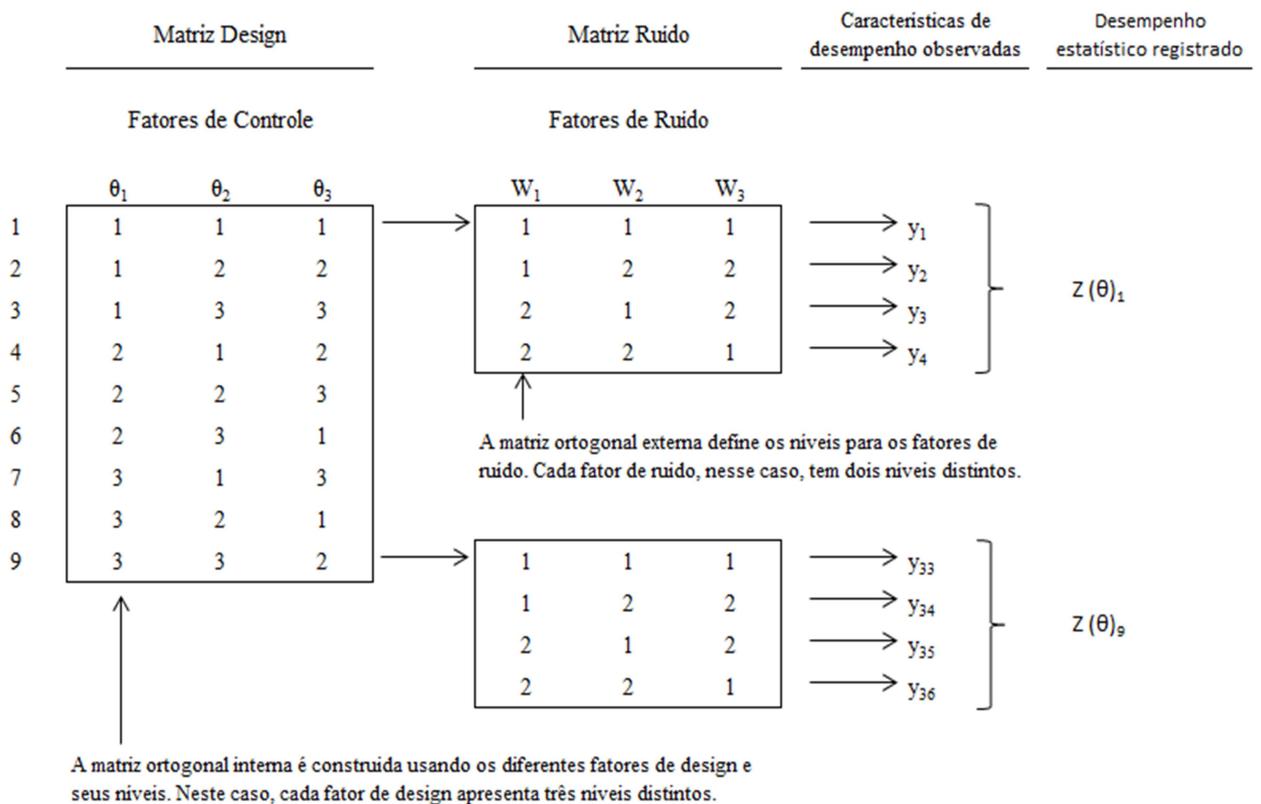


Fonte: TAPAN (1993) – adaptado.

4. Desenvolvimento da Matriz de Experimentos e Definição do Procedimento de Análise dos Dados

O quarto passo se inicia pelo desenvolvimento da matriz de experimentos. Para isso, as matrizes ortogonais para os fatores de controle e fatores de ruído devem ser definidas, de forma semelhante as apresentadas na Figura 2.16. Taguchi recomenda o procedimento de análise dos dados dos experimentos seja realizado a partir do método de análise *Signal-to-ratio* ($Z(\theta)_i$) ao invés de avaliar diretamente as respostas y_i (TAPAN, 1993).

FIGURA 2.16 – Plano de experimentos para o design dos parâmetros



Fonte: TAPAN (1993) – adaptado.

5. Condução da Matriz de Experimentos

O próximo passo é a realização da matriz de experimentos definida na etapa 4, matriz essa que são baseadas nos princípios do *Design for Experiments* (DOE). Essa condução experimental pode ser realizada de diversas maneiras, desde o experimento físico, até a simulação computacional de modelos do produto (EDWIN, 1991).

6. Análise dos Dados de Determinação dos Níveis Ótimos para os Parâmetros de Controle

Com os dados experimentais em mãos o método de análise estatístico *Signal-to-ratio (S/N)* é aplicado a fim de se determinar níveis de controle que melhor interagem com ruído. Esse método leva em consideração os parâmetros. De forma simplificada, o S/N é a razão entre o parâmetros (sinal) e o seu desvio (ruído). A característica desejada para o S/N depende do critério a ser aplicado para a otimização da característica de qualidade. Existem diversas possibilidades para a razão S/N, entretanto três delas são consideradas padrões e geralmente utilizadas (PHADKE, 1989):

- Quanto Menor Melhor (Smaller the better – STB)

Esse padrão é escolhido para todas as características indesejadas, como por exemplo, defeitos, e características que o valor ideal é zero. Exemplo: contaminação.

- Quanto Maior Melhor (Larger the better – LTB)

Esse padrão é escolhido para características desejadas e que seus valores deve ser os maiores possíveis. Exemplo: produtividade.

- Nominal é Melhor (Nominal the better – NTB)

É o padrão utilizado quando um valor específico é desejado. Exemplo: uma dimensão de desenho.

7. Predizer o Desempenho aos Níveis Verificados

Ao se utilizar dos Métodos de Taguchi para design de parâmetros o ajuste ideal não necessariamente irá corresponder com alguma linha da matriz de experimentos. Isso acontece frequentemente quando se tem um design altamente fracionado para um projeto (PHADKE, 1989).

Para se finalizar esse processo de design dos parâmetros, o último passo é a realização de um experimento final utilizado os níveis ótimos encontrados para as variáveis de controle a fim de se verificar o desempenho em tais ajustes.

Design das Tolerâncias

Está é a última fase de design de produto / processo. Nessa etapa as tolerâncias aos parâmetros anteriormente obtidos são determinadas a fim de se buscar a minimização da variabilidade e conseqüentemente, a redução dos custos de produto e manufatura ao longo de toda sua vida útil. O grande desafio dessa etapa é encontrar a melhor relação trade-off entre os custos pela perda de qualidade devido a variação de processo e os aumentos de custo de manufatura para evitar a variação de processo.

De forma semelhante na definição dos parâmetros, a fim de se realizar o congelamento das especificações de tolerância, o último passo é a execução de um experimento final as aplicando sobre os níveis ótimos das variáveis de controle. Assim, será possível verificar o desempenho do produto nos parâmetros e suas tolerâncias definidos pelo RDM.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será discutida a metodologia aplicada à pesquisa, além dos caminhos e da organização de estudo tomados para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente será apresentada uma classificação para a pesquisa e, posteriormente, serão abordadas as estratégias seguidas para o desenvolvimento ao longo deste estudo científico.

3.1 Classificação da pesquisa

Quanto à natureza desta pesquisa, pode se classifica-la como aplicada visto que, segundo Vianna (2013), uma pesquisa aplicada tem como finalidade imediata gerar produtos e/ou processos, e esta pesquisa tem a finalidade de gerar processos para o desenvolvimento de produtos robustos.

Quanto ao objetivo, este trabalho deve receber uma classificação abrangente sendo enquadrado hora como exploratória, hora como descritiva e hora como explicativa. A pesquisa exploratória tem como finalidade obter informações sobre o assunto de interesse e orientar os objetivos, métodos e a formulação de hipóteses; a pesquisa descritiva registra e descreve os fatos observados sem interferir neles e por fim; a explicativa busca explicar as causas, valendo-se do registro, das análises, da classificação e interpretação dos fenômenos observados, além de aprofundar o conhecimento da realidade e utilizar o método experimental para isso (VIANNA, 2013).

3.2 Estratégia para a pesquisa bibliográfica

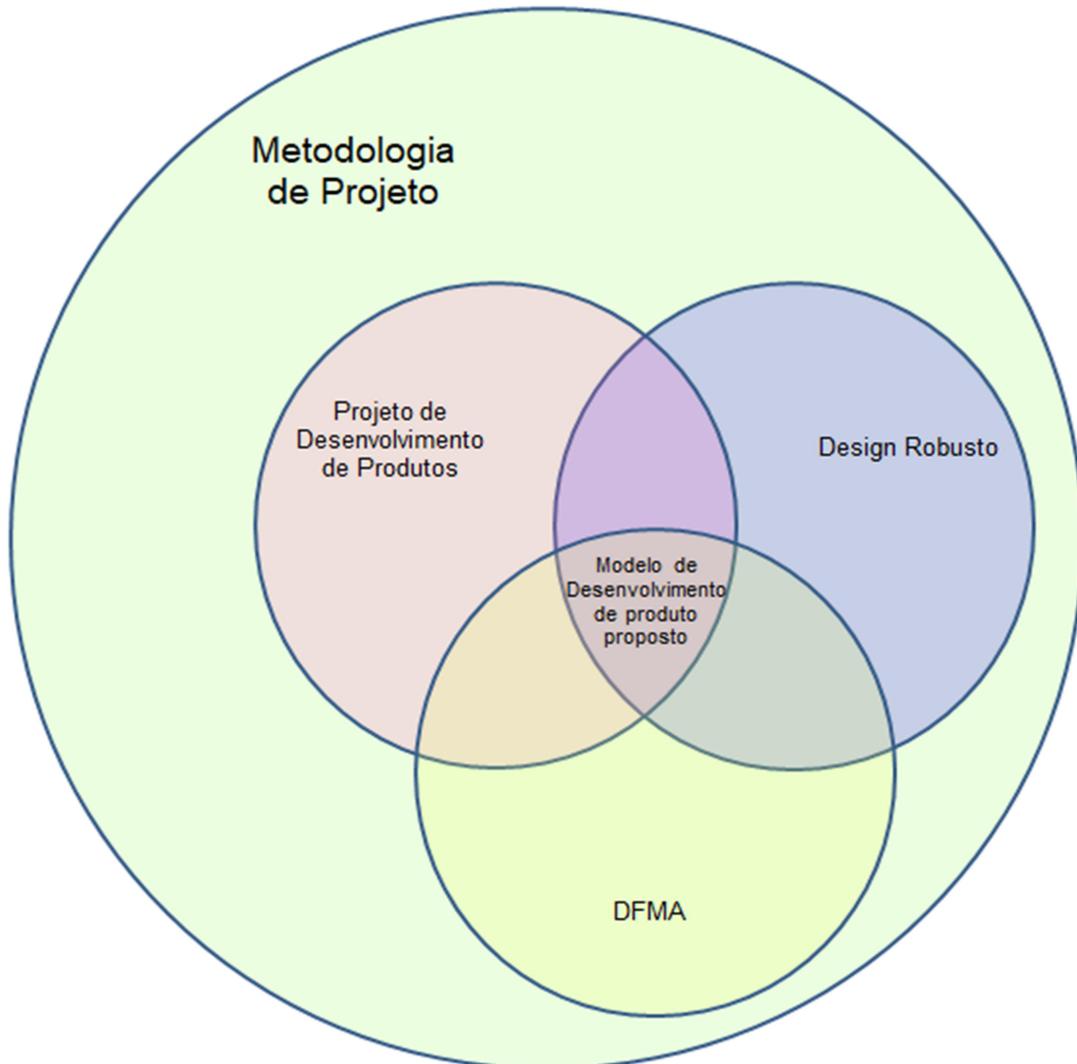
Visto que este trabalho busca propor um modelo de desenvolvimento de produto robusto focado na fase de design e que, uma vez que se tem à disposição vasto conteúdo que discorre sobre técnicas e ferramentas que corroboram com os objetivos já citados desta pesquisa, a revisão bibliográfica foi realizada de forma abrangente e com o intuito de se verificar os conceitos já existentes que pudessem ser agregados ao modelo de desenvolvimento de produto proposto neste trabalho.

Sendo assim, tal pesquisa bibliográfica teve foco na busca de ferramentas e técnicas de auxílio ao desenvolvimento de produtos aprofundando principalmente nos conceitos de duas ferramentas poderosas que atuam na concepção do design de produtos: o DFMA e o método do Design Robusto; além de expor os conceitos de Metodologia de Projeto e Projetos de Desenvolvimento de Produtos.

Com isso, busca-se agrupar uma base conceitual já existente e consolidada que servirá de fundamentação teórica para a proposição do modelo de desenvolvimento de produto robusto,

com foco no design, proposto neste trabalho. A Figura 3.1 ilustra a metodologia de pesquisa utilizada evidenciando a contribuição do presente trabalho e as principais áreas do conhecimento abrangidas.

FIGURA 3.1 – Áreas do conhecimento exploradas e abrangidas pela revisão bibliográfica e a contribuição do presente trabalho.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3 Desenvolvimento do método de projeto proposto

O desenvolvimento do método de projeto proposto nesse trabalho foi realizado a partir da conciliação da base teórica adquirida com a revisão bibliográfica e com a base prática de desenvolvimento de projetos vivida pelo autor no ambiente empresarial.

Essas duas vertentes de conhecimentos aliaram conceitos de desenvolvimento de produto e as dores de suas implementações em um ambiente prático industrial. Com isso, as soluções e respostas para tais dores vividas durante o processo de desenvolvimentos de projetos foram utilizadas como conceitos base do método proposto por esse trabalho.

3.4 Estudo de caso

A fim de se verificar o método proposto por este trabalho foi realizado um estudo de caso onde uma avaliação de viabilidade de aplicação do MDER em uma empresa do setor automotivo foi realizada. Tal estudo foi desenvolvido pelo setor de gestão de projetos em conjunto com os responsáveis pelas análises de viabilidade econômica de produtos da empresa. O resultado desse estudo de caso foi a comparação entre um método já presente no mercado e o modelo proposto neste trabalho.

4 RESULTADOS

O lançamento de um novo produto no mercado se dá a partir da realização de um projeto. Este envolve desenvolvimentos que nunca foram feitos antes, e que é, portanto, algo único (PMI, 2000). Assim sendo, o sucesso desse empreendimento temporário de criação se dará a partir da realização de suas atividades por meio de fases bem definidas e que garantam, não somente ao seu final, mas em todo o seu desenvolvimento, que as especificações e necessidades dos *stakeholders* sejam completamente atendidas, principalmente no âmbito de custo, qualidade e tempo.

Isso só pode ser conseguido a partir de um processo de desenvolvimento robusto, capaz de garantir que a qualidade e a eficiência sejam características de design do produto e não uma consequência final do projeto.

Para se atender esse objetivo, o PDP ou o método de projeto deve considerar fases bem definidas de projeto, além da utilização de ferramentas que auxiliam o time de desenvolvimento a garantir duas importantes premissas:

1. Satisfação total do(s) cliente(s);
2. Garantia de que as fases de projeto, como por exemplo, a concepção, definição do design, qualificação, produção e a entrega do produto, sejam realizadas de modo a se desprender a quantidade certa de recursos para o desenvolvimento assertivo das atividades de projeto.

A primeira premissa não é novidade dentro das metodologias de projeto. A totalidade dos desenvolvedores sempre tem seu foco no atendimento às expectativas dos clientes. O grande diferencial das empresas que conseguem sobressair no mercado está justamente na maneira em que seu desenvolvimento de projeto é realizado. Conforme já discutido nas seções anteriores, o PDP deve proporcionar grande ênfase na fase de definição do design do produto, uma vez que 80% dos custos ao longo de toda a vida do projeto são fixados ali.

Esse foco na fase de concepção considera o importante fato de que a definição do design tem enorme impacto no custo final do produto, além de afetar diretamente os resultados econômicos de todas as áreas que envolvem a operação industrial da empresa (como por exemplo, processo manufatureiro, manutenção e produção). Contudo, o desafio consiste em garantir a correta concepção do produto sendo extremamente consciente na quantidade de horas gastas para esse fim, uma vez que essas têm alto custo e seu gasto exacerbado encarece o projeto, podendo torna-lo inviável à instituição e, até mesmo, alterando muito o balanço financeiro desta.

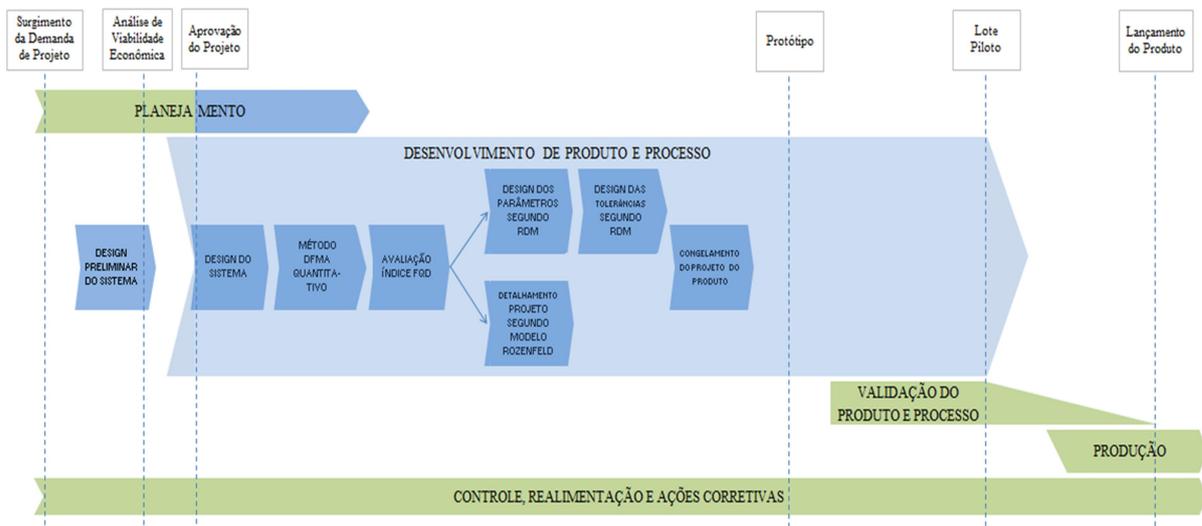
Portanto, este trabalho traz a proposta de um método de desenvolvimento de produto que tem por objetivo garantir a devida atenção ao processo de design, além de incluir ferramentas que irão evitar desperdícios de horas do time de desenvolvimento, garantindo a robustez do produto e processo resultante.

4.1 Método de Desenvolvimento proposto

O método de desenvolvimento de projeto proposto por esse trabalho, doravante chamada de Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto – MDER usa como base conceitual a estrutura apresentada pelo método de projeto do APQP (CHRYSLER *et. al.*, 2008). Entretanto, diferente do APQP que tem como objetivo definir padrões de documentos e ferramentas a serem utilizadas, o MDER, além de contemplar esses mesmos documentos e ferramentas, ainda estrutura a fase de desenvolvimento do produto e processo em passos claros e bem definidos para as tomadas de decisão inerentes a esse processo. Em outras palavras, o MDER se apodera do APQP em padrões e documentos e agrega ferramenta e uma estrutura robustas em etapas sequenciais para à fase mais crítica do projeto, ou seja, concepção e desenvolvimento dos designs de produto e processo.

A Figura 4.1 traz o cronograma gráfico para o Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto. Ao se observar a estrutura de projeto proposto, pode-se perceber que a grande evolução do método está presente na fase de desenvolvimento de produto e processo. Enquanto no APQP essas fases eram consideradas como etapas distintas, embora concomitantes, no MDER, essas fases foram unificadas fortalecendo ainda mais o conceito de engenharia simultânea. Além disso, é possível observar sub etapas bem estruturadas focadas no design e desenvolvimento do produto. O intuito é dar maior ênfase nas definições de design uma vez que 80% dos custos da vida do produto são congelados nesta fase.

FIGURA 4.1 – Cronograma Gráfico para o Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Descrição das fases do MDER

A seguir, serão descritas as fases que contemplam o método MDER. Serão apresentadas informações sobre os passos a serem seguidos para desenvolvimento do projeto além de elencados os documentos e ferramentas a serem utilizados em cada uma dessas fases.

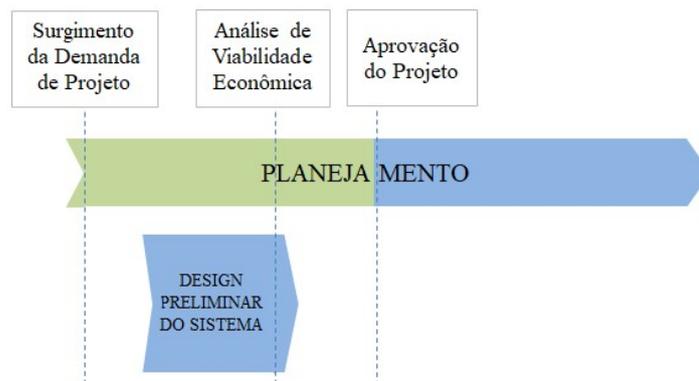
4.2.1 Planejamento

O Planejamento é a primeira fase do MDER onde seu principal objetivo é identificar se o projeto em pauta atenderá as expectativas da empresa, dos clientes e dos *stakeholders* envolvidos. Em resumo, é a fase onde a empresa verifica se terá retornos positivos com o projeto e se será capaz de satisfazer seus clientes.

Essa fase contempla atividades relacionadas ao âmbito estratégico da empresa e por isso deve ser realizada com bastante precisão e embasamento. Nesse momento a empresa tem a capacidade de revisar suas estratégias para atingimento ao mercado, avaliar as tecnologias que pretende adotar, verificar os investimentos necessários ao projeto, prospectar novos produtos, além de traçar uma previsão do cenário futuro da empresa caso o projeto seja aprovado e vá avante. Por esse motivo, as áreas estratégicas de vários setores da empresa são envolvidas nessa fase.

Ao se avaliar o cronograma gráfico apresentado na Figura 4.1, observa-se que o diagrama que representa a fase do Planejamento é dividido em dois momentos representados pelas suas cores diferentes. Primeiramente se tem a fase de análise da demanda e sua viabilidade econômica e posteriormente a uma eventual aprovação de projeto, a parte de planejamento das atividades de desenvolvimento. Essas subfases são brevemente descritas a seguir e estão destacadas na Figura 4.2.

FIGURA 4.2 - Planejamento e suas subfases, a primeira etapa de desenvolvimento do MDER.



Fonte: elaborado pelo autor.

Análise da Demanda e Viabilidade Econômica

Todo projeto nasce a partir de uma demanda, seja ela proveniente do mercado, dos acionistas ou até mesmo por uma necessidade da própria empresa. Tal demanda de projeto, antes de receber aprovação para início de desenvolvimento, deve passar por uma avaliação bem apurada dos seus objetivos e da sua viabilidade econômica.

O MDER entende que essa primeira etapa do Planejamento é de extrema importância para o sucesso do projeto e, conseqüentemente da empresa, por isso, define um passo importante a ser desenvolvido nesse momento. Esse passo é chamado de “Design Preliminar do Sistema” e é responsável por gerar as informações técnicas necessárias à avaliação econômica do projeto.

O design preliminar do sistema deve ser entendido como uma fase na qual o conceito do produto e processo a serem desenvolvidos serão esboçados e custeados. Nesse momento um time multifuncional deve ser reunido contemplando engenharia de produto, engenharia de manufatura, qualidade, produção e logística. Tal processo criativo deve seguir as seguintes sub etapas de desenvolvimento:

1. Análise dos dados de entrada da demanda.

Todas as informações referentes à necessidade a serem atendidas pelo projeto devem estar disponíveis e serem analisadas de forma detalhada, como por exemplo, especificações do produto, requisitos funcionais, requisitos de desempenho, requisições do cliente, preconizações de uso, embalagens especiais, atendimento logístico, etc.

2. Brainstorming.

O próximo passo é a realização de um Brainstorming com o objetivo de buscar soluções para o atendimento às demandas do projeto. Essa fase pode contemplar também o uso de outras ferramentas de auxílio à concepção do produto, como por exemplo, o *Benchmarking*.

3. Consulta ao banco de dados da empresa e lições aprendidas

Somando-se a todas as ideias levantadas no passo anterior, a experiência da empresa deve ser evocada nesse momento a fim de se garantir o melhor nível de utilização possível dos recursos disponíveis. Dessa forma, se evitará repetir erros do passado e eventuais desperdícios, além de se buscar semelhanças em produtos presentes no portfólio da empresa e se evitar desenvolvimentos desnecessários.

4. Definição da BOM (lista de materiais) preliminar

De posse de todas as informações disponíveis até esse momento, pode-se então definir uma lista de materiais que constituirá o produto. É importante nesse momento garantir que o conceito que está sendo gerado tenha o mínimo de robustez e assertividade para evitar erros na estimativa do preço final do produto. Para isso, a ferramenta de avaliação de potenciais modos de falha no produto, o DFMEA, pode ser utilizada, além de alguns documentos suporte, como por exemplo, um *check list* de verificação da presença de itens básicos na BOM como: embalagem, custos de validação do produto, conferência aos atendimentos das especificações do cliente, consideração de componentes standard, etc.

5. Definição do fluxograma de processo preliminar

A definição da BOM abre caminhos para se possa definir o fluxograma preliminar de processo. Esse fluxograma irá prever a forma com que o produto será manufaturado, evidenciando a necessidade dos equipamentos, dispositivos e mão de obra. De forma similar à definição da BOM, nessa fase também deve ser empregada a ferramenta de verificação de potenciais modos de falha no processo, PFMEA, e um *check list* de verificação de itens básicos da manufatura, como por exemplo, qual o tempo ciclo estimado, verificação de todos os meios necessários para a produção, verificação da existência de mão de obra qualificada, etc., a fim de se garantir a assertividade na estimação daquilo necessário ao processo operacional de manufatura.

6. Desenvolvimento dos cenários econômicos e suas apresentações.

Os *steps* 4 e 5 geram as informações necessárias ao processo de análise de viabilidade. Sendo assim, os dados de custo de produto, necessidades de investimentos, despesas com a qualificação do produto, prazo de entrega, dentre outros, já estarão disponíveis e custeados para avaliação financeira do potencial do projeto. De posse dessas informações, o cenário econômico é então construído e apresentado para a diretoria afim de uma tomada de decisão sobre a aprovação ou não do programa, ou seja, desenvolvimento do produto.

Definido o Design do Sistema e quantificado os possíveis cenários econômicos, a diretoria proverá o parecer final quanto à viabilidade do projeto. Tal parecer pode apresentar duas vertentes: a aprovação do programa ou sua reprovação. Esse é o ponto de corte para a segunda fase do Planejamento contemplado pelo MDER.

Uma decisão negativa quanto à continuidade do projeto gerará uma demanda de realimentação das lições aprendidas da empresa a fim de registro e manutenção dos históricos, além de resultar no fechamento dos estudos referentes ao projeto em questão com consequente desmobilização do time até então engajado.

Caso o parecer seja positivo, se dará andamento aos passos do método aqui proposto.

Aprovação do Projeto

Perante um parecer positivo pela diretoria para a viabilidade do projeto, isso indicará a aprovação do programa, fazendo com que o projeto entre em sua fase de execução. Para isso, se faz necessário o planejamento de suas atividades de desenvolvimento. Essa fase de

organização e preparação do projeto, integra a segunda etapa da fase “Planejamento” e é identificada pela cor azul em seu bloco indicativo no cronograma gráfico da Figura 4.1. Nessa etapa o cronograma oficial de desenvolvimento é definido, além de se elencar todas as atividades necessárias à conclusão do projeto com seus responsáveis.

A Tabela 4.1 trás os principais documentos e ferramentas a serem utilizados nessa fase de planejamento do projeto. Tais documentos utilizam os mesmos padrões presentes na metodologia APQP e podem ser referenciados em seu manual para maiores detalhes.

TABELA 4.1 – Ferramentas e documentos utilizados na fase Planejamento do MDER.

Documentos	Ferramentas
Objetivos de Design e Qualidade	Benchmark de produto e processo
Plano de Negócio / Estratégia de Mercado	DFMEA
Desejo dos Clientes	PFMEA
Premissas de produto e processo	
Lista preliminar de materiais	
Fluxograma preliminar de processo	
Estudo de viabilidade econômica do projeto	

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.2 Desenvolvimento do Produto e Processo

Concomitante com a segunda etapa da fase de planejamento, o desenvolvimento do produto e processo se inicia logo após a aprovação do projeto. Essa segunda fase no MDER é aquela que recebe grande parte das propostas trazidas por este trabalho. É a fase responsável por definir o design do produto e do processo e, haja vista todo o exposto referente à importância dessa definição e seus impactos, foram estruturados uma série de passos bem definidos que devem ser realizados em conjunto com algumas ferramentas muito importantes e até customizadas para o MDER.

Ao se observar a Figura 4.3, é possível verificar que essa fase apresenta um fluxograma de atividades a ser seguido até que o congelamento do produto seja realizado. Outra observação importante é que, diferentemente do APQP que trazia a as fases de produto e processo de forma separada, no MDER elas foram unificadas para que o conceito de engenharia simultânea fosse ainda mais expandido.

FIGURA 4.3 – Desenvolvimento de Produto e Processo e suas subfases, a segunda etapa de desenvolvimento do MDER.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para melhor apreciação daquilo que é proposto pelo método, a seguir cada uma das sub etapas da fase de desenvolvimento do produto e processo serão tratadas.

Design do Sistema

De forma semelhante ao método do Design Robusto o design do sistema é a fase onde o conceito do produto é concebido. O objetivo é criar algo que seja capaz de atender todas as demandas de projeto e principalmente entregar as funcionalidades desejadas, a qualidade esperada e o custo determinado para o produto. Essa é a fase mais criativa e inovativa do projeto, onde os times de engenharia de produto, processo, qualidade, produção e manutenção devem gerar as ideias que serão utilizadas na definição do design do produto e conseqüentemente, da sua manufatura.

Os estudos realizados na primeira etapa da fase de Planejamento, relacionados à atividade de custeio para análise econômica e decisão quanto à sequência do projeto devem, obrigatoriamente, servir de base para os avanços na definição do design do produto. Essa base conceitual servirá como guia de custo, tempo de desenvolvimento e investimentos necessários para tirar o projeto do papel. Por isso, essa fase criativa tem uma única restrição que é o não distanciamento exacerbado da ideia original concebida na fase de planejamento, sob pena de se alterar demais o cenário econômico do projeto, o que poderia levar a empresa a grandes prejuízos.

Para um processo de definição eficiente do design do sistema é necessária a aplicação das seguintes sub etapas de desenvolvimento:

1. Transformação dos dados de entrada do projeto em especificações de produto.

As informações de entrada do projeto e as pré análises realizadas na fase de Planejamento deve ser reunidas e transformadas em especificações de produto. Esse é o momento de se definir claramente o desempenho e funcionalidades que serão apresentados pelo produto final.

2. Agrupamento em área de desenvolvimento

Para produtos de média e alta complexidade, é necessário que se tenha sub áreas de desenvolvimento trabalhando em sinergia para se conseguir chegar em um design de produto robusto e eficiente de maneira mais sustentável. O conceito por trás da divisão do desenvolvimento em algumas sub áreas é baseado no fato de que processos complexos quando seccionados, são mais facilmente resolvidos. Por exemplo, na fase de design de veículos, se somente um único time de projeto tiver que projetar todo o produto, os tempos gastos nessa atividade seriam varias vezes maior do que quando se divide essa tarefa em sub times como, chassi, *body*, motor, componentes eletrônicos, etc. Dessa forma, os usuários do MDER devem prever a divisão em times de trabalho de designs de média e alta complexidade, garantindo um canal de comunicação contínuo e robusto entre os times, a fim de que a sinergia no desenvolvimento é o entendimento mútuo do projeto estejam fielmente estabelecidos.

3. Brainstorming.

O próximo passo é a realização de um Brainstorming com o objetivo de buscar soluções para o atendimento às especificações de projeto. As análises de *Benchmarking*, BOM preliminar, lições aprendidas e dados prévios da empresa devem ser trazidos para essa fase criativa para se proporcionar maior efetividade na busca de soluções.

4. Definição da BOM

De posse de todas as informações disponíveis até esse momento, pode-se então definir uma lista de materiais que constituirá o produto. Mais uma vez, é importante utilizar documentos suporte, como já citado anteriormente, o *check list* de verificação da presença de itens básicos da BOM.

5. Desenhos 3D

Após definida a BOM, pode-se partir com a modelagem matemática do produto em ambiente virtual a partir de seus desenhos 3D. Nessa fase, o produto é desenhado e concebido sem tolerâncias. A ideia é se visualizar o conceito determinado no passo anterior.

6. Realização do DFMEA

Sempre que se tem uma definição de lista de materiais e consequentes desenhos 3D de um produto é obrigatória a aplicação da ferramenta DFMEA. Ela garantirá que o produto definido seja avaliado em uma ótica de análise de riscos de qualidade, produção, componentes, etc. Sendo assim, é uma oportunidade para se realizar uma rodada de validação qualitativa do design definido. Caso seja necessário, a concepção do produto pode ser alterada e uma nova BOM gerada. Sendo assim, as fases 3, 4 e 5 devem ser repetidas de forma iterativa até que o time de projeto julgue que o design do produto está robusto o bastante para seguir para o próximo passo do desenvolvimento.

Método DFMA Quantitativo

O próximo passo após a definição do design do sistema é a aplicação de uma ferramenta muito poderosa de auxílio ao projeto do produto e processo, o DFMA. A utilização dessa ferramenta visa garantir que o design definido para o produto é aquele mais enxuto possível, evitando o uso desnecessário de componentes e auxiliando no design de peças mais facilmente industrializadas.

Em especial para o MDER, foi desenvolvida uma proposta de variante para o método DFMA já existente na literatura, que visa a otimização do tempo despendido em sua utilização além da objetivação da avaliação do design do produto, facilitando a tomada de decisão do time de projeto com dados quantificados. A essa proposta deu-se o nome de Modelo Quantitativo do DFMA – MQ-DFMA e será mais bem apresentada abaixo, além de estar disponível em outra literatura conforme apresentada por Cardoso *et. al.*, 2019.

O MQ-DFMA é uma variação do método DFMA de design de produtos pensados na manufatura e na montagem. A ideia é a utilização de um modelo objetivo de verificação do projeto, ao invés de somente subjetivo como proposto originalmente. Embora haja alguns métodos de DFA objetivos, conforme aqueles apresentados na revisão bibliográfica, um método DFMA objetivo e quantitativo aberto não foi evidenciado e por isso, a proposta aqui apresentada pode ser uma alternativa que suportará os projetistas na tomada de decisão nesta fase de design de produtos.

As principais funções do MQ-DFMA podem ser elencadas como:

- Auxiliar o time de projeto na avaliação objetiva da qualidade do design de produto quanto à facilidade de industrialização e quanto à otimização de componentes;
- Gerar um índice de referência para a tomada de decisão no projeto quanto ao caminho a ser seguido dentro da fase de design do produto e processo.

O modelo quantitativo proposto nesse trabalho consiste basicamente em se lançar mão de questionamentos teóricos provenientes do DFMA e se objetivar as avaliações ali propostas. Com esse intuito, foram elencados em forma de perguntas, alguns conceitos e pontos de avaliação sugeridos no método original. Somado a isso, o modelo prevê para cada uma das possíveis respostas aos questionamentos a aplicação de uma nota/peso. Assim, ao se responder às perguntas propostas para todos os componentes presentes no design do produto se terá, ao final da avaliação, índice numérico que refletirá a qualidade do design avaliado.

Chamado de “Fator de Qualidade de Design (FQD)”, o índice em questão quantifica o desempenho do design do produto, quanto à facilidade de manufatura e montagem. A partir de uma escala predefinida para o FQD classifica-se o design em “Adequado”, “Adequado com Ressalvas” e “Reprojeto Sugerido”, proporcionando ao time de projeto um indicativo do caminho a ser tomado nas definições para o produto.

O primeiro passo na direção do desenvolvimento deste modelo quantitativo foi a seleção das perguntas a serem consideradas. Para isso, foram utilizados os principais questionamentos dos conceitos do DFM e do DFA, de forma que, cada um dos componentes presentes no produto passasse por uma avaliação de sua real necessidade e de seu conceito de montagem. A partir dessas perguntas foi construído um formulário em forma de lista onde, nas primeiras colunas se elencam todos os componentes do produto e nas demais se realizam os questionamentos a cada um deles partindo por se indagar conceitos do DFM e na sequência, se questionar conceitos do DFA.

Dessa forma, foi possível determinar uma linha de raciocínio importante, capaz de direcionar o pensamento do time de projeto para uma avaliação do design do produto de forma concisa e robusta, proporcionando conseqüentemente agilidade no desenvolvimento do projeto. O Anexo A trás o formulário completo para o modelo quantitativo do DFMA proposto neste trabalho. Neste é possível se verificar todos os questionamentos elencados para a avaliação do design.

Definido o questionário imprescindível para uma avaliação vigorosa do design, passou-se a etapa de determinação das possíveis respostas e seus respectivos pesos. Essas definições são o ponto chave do MQ-DMFA apresentado neste trabalho, visto que, é a partir do somatório dos pesos de cada uma das respostas ao formulário que se gerará o índice FQD, resultando na definição do caminho a ser tomado no desenvolvimento do projeto.

Nessa etapa de determinação das respostas e seus pesos, a ferramenta proposta se diferencia dos demais modelos de avaliação objetiva. Após as verificações na literatura sobre métodos quantitativos para o DFA, verificou-se que embora existam métodos que consideram índices e pesos passíveis de serem aplicados horizontalmente a qualquer organização e tipos de projetos, foi possível observar a existência de um modo potencial de falha devido à possibilidade de alguns produtos não se adequarem bem ao modelo de quantificação, gerando, por conseguinte, uma avaliação fraca do design.

Durante as avaliações dos modelos quantitativos disponíveis no mercado, este trabalho teve o cuidado de verificar a adequação dos métodos aos vários tipos de projetos de produtos

existentes. Nesta avaliação observou-se uma não adequação de alguns modelos a projetos com grande número de componentes presentes no design do produto. Como resultados da utilização desses métodos observou-se que alguns índices para avaliação objetiva dificultavam a tomada de decisão pelo fato de que estes não transparecem a real necessidade e adequação dos componentes aos conceitos DFMA e sim, refletiam a complexidade do produto devido ao grande número de itens constituintes do design.

Por esse motivo, a proposta desse trabalho considera que o modelo ideal de avaliação objetiva deve considerar uma personalização para a empresa e instituição usuária. Sendo assim, o que se propõe é que cada organização deve definir suas respostas aos questionamentos levantados e determinar também sua respectiva pontuação em base ao tipo de produto e nas facilidades de manufatura e montagem presentes em seu parque industrial.

Para isso, deve ser criado um time multidisciplinar que conheça os produtos da organização e seja capaz de discernir sobre os melhores métodos de manufatura e montagem segundo o praticado ou desejado pelas linhas de produção da empresa. Essa equipe será a responsável por definir as respostas e os pesos necessários ao questionário proposto. As Tabelas 4.2 e 4.3 retratam dois exemplos de determinações de respostas e pesos para duas das perguntas presentes no modelo quantitativo para o DFMA.

TABELA 4.2 – Exemplo de pesos às possíveis respostas de uma questão referente ao DFM.

Qual o Tipo da operação de Montagem?		
Respostas pré-estabelecidas	Nenhuma	0
	Parafusamento	1
	Presilha / abraçadeira	1
	Torção	2
	Crimpagem	2
	Arrebitar	3
	Furação	5
		Pesos às respostas

Fonte: elaborado pelo autor.

TABELA 4.3 – Exemplo de pesos às possíveis respostas de uma questão referente ao DFA.

	É possível montar a peça em posição errada?		
Respostas pré-estabelecidas	Design com Anti erro	0	Pesos para as respostas
	Sim, em uma direção	2	
	Sim, em varias direções	5	

Fonte: elaborado pelo autor.

Com as definições do time multidisciplinar, se conseguirá um modelo robusto, e direcionado para as necessidades da instituição que o produziu, sendo extremamente eficiente em guiar as tomadas de decisão dentro do projeto.

O último passo para a obtenção do modelo quantitativo do DFMA é a definição da escala para o índice FQD. Esta escala deve ser construída a partir de um projeto de referência e com o auxílio da mesma equipe multidisciplinar citada anteriormente. O conceito de desenvolvimento dessa escala é simples: a instituição deve selecionar dentro dos seus designs de produtos, aquele considerado o mais crítico e responsável por gerar a maior dificuldade de manufatura e montagem.

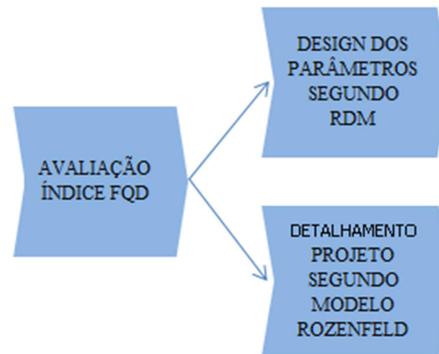
A partir desse design deve-se compilar o formulário de avaliação quantitativa do DFMA. O índice gerado será então a referência para a formação da escala do FQD, onde: um valor de até 30% do total obtido no design de referência será considerado um projeto “Aprovado”; acima de 30% e menor que 60% será considerado um design “Aprovado com Ressalvas”; e acima de 60% será considerado um design com “Design de Risco”.

Avaliação Índice FQD

Após a aplicação da ferramenta MQ-DFMA e conseqüente geração do fator de qualidade do design, o próximo passo a ser realizado pelo time de projeto é gerar a tratativa necessária em resposta esse importante dado disponível para o projeto. Em resumo, se espera uma tomada de decisão quanto ao caminho a ser seguido pelo design do produto, sendo ele aprovado, com ou sem ressalvas, ou de risco.

Nesse caso o FQD além de ser um indicativo da qualidade do design do produto também é capaz de expressar o risco presente na concepção do produto e, por esse motivo, é ele o índice que determinará o próximo passo a ser seguido dentro do projeto. A Figura 4.4 indica que essa a avaliação do índice FQD é determinada para a escolha do caminho de projeto a ser seguido. Sendo assim, serão apresentadas as diretrizes a serem seguidas para cada um dos resultados deste indicador gerado pelo MQ-DFMA.

FIGURA 4.4 – Caminhos a serem seguidos após a avaliação do índice FQD.



Fonte: elaborado pelo autor.

- Aprovado

Quando a escala do FQD gerar um resultado aprovado, isso significa que o design definido para o produto apresenta alta eficiência de projeto quanto a real necessidade de cada um dos seus componentes, além de baixo risco do design do produto imputar à manufatura do item desperdícios e ineficiências produtivas.

Sendo assim, esse design deve ser encaminhado para a fase de “Detalhamento do projeto segundo modelo Rozenfeld”.

- Aprovado com Ressalvas

O design aprovado com ressalvas indica um risco médio sobre o design do produto. Nesse caso é indicada a realização de um novo ciclo de *brainstorming* a fim do surgimento de ideias que levem o design do produto para a escala do aprovado.

Caso, após essa rodada de estudos sobre o produto, seja verificada a impossibilidade da evolução necessária no design, deverá então ser gerado um plano de ações para as fases subsequentes do projeto. Nesse plano todos os componentes com notas críticas no MD-DFMA deverão receber uma tratativa especial durante a fase de desenvolvimento dos processos de manufatura. Assim, espera-se minimizar os riscos de produção gerados pelo design quando o produto quanto este entrar em vida série.

O design aprovado com ressalvas seguirá de forma semelhante ao design aprovado, ou seja, deverá ser encaminhado para a fase de “Detalhamento do projeto segundo modelo Rozenfeld”. Embora o risco proporcionado pelo design seja médio, as tratativas geradas pela fase de desenvolvimento do processo de manufatura serão suficientes para mitigar eventuais dificuldades em linha de produção, permitindo o design do produto ser mantido e evoluir se forma similar à um design aprovado.

- Design de Risco

Ao se aplicar a ferramenta MD-DFMA e o resultado da avaliação do design estiver na faixa de pontuação que supere 60% da nota de um design de referência da empresa, esse produto receberá uma avaliação de “Design de Risco”.

Essa avaliação indica que os riscos ao projeto associados ao design do produto são altos e, por isso, precisam passar por etapas que produzirão ações de mitigação e/ou eliminação desses riscos.

O MDER considera dois caminhos possíveis para a evolução desses cenários: o primeiro é o redesign, onde novas rodadas de brainstorming e etapas de desenvolvimento do produto devem ser realizadas a fim de se diminuir os riscos gerados pelo design do produto; já o segundo é tratar o design como crítico e desenvolvê-lo na ótica do Método do Design Robusto.

Sendo assim, o design enquadrado como de risco deve inicialmente passar por nova rodada de *brainstorming*. Nessa nova etapa criativa devem ser aprimorados o projeto dos componentes que apresentaram notas altas no DFMA quantitativo, indicando riscos altos para o projeto.

Caso essa fase de redesign seja efetiva, o projeto se enquadrará em uma das opções de evolução já abordados, “Aprovado” ou “Aprovado com Ressalvas”, devendo ser seguidas as tratativas já discutidas para cada uma dessas possibilidades.

Já em casos que, por uma característica intrínseca do produto, o design ainda seja enquadrado como de risco, a abordagem para sequência no projeto será diferente. O caminho a ser seguido pelo time será então, aquele que contempla a aplicação do Método do Design Robusto. Dessa forma, se garantirá que mesmo com um design crítico, o projeto consiga garantir à empresa uma vida série livre de problemas operacionais e de não qualidade devido à fase de concepção do produto.

A presente etapa de “Avaliação do Índice FQD” é uma fase de extrema importância dentro do Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto aqui proposto. O conceito por trás do MDER é aquele de se desenvolver de forma robusta e sem desperdícios, utilizando as horas estritamente necessárias ao projeto. O seja, é nessa fase que se garante a eficiência do time a partir da determinação da correta estratégia de desenvolvimento.

Conforme discutido na revisão bibliográfica, o Método do Design Robusto é uma ferramenta muito poderosa para a obtenção de um design capaz de conceber o produto mais eficiente possível se evitando custos com não qualidade, retrabalho de projetos e desperdícios operacionais. Contudo, a aplicação desse método considera um longo caminho com várias subfases de desenvolvimento, exigindo do time de projeto o desprendimento de várias horas em sua realização, o que conseqüentemente aumenta os custos da fase de design do produto.

Mesmo que os impactos de custo do design do produto ao longo da vida série sejam muito maiores que os impactos de custo da fase de design sobre o projeto, nenhuma empresa quer desperdiçar horas de seus times de desenvolvimento com atividades de projetos que não trazem risco ou agregam valor.

Sendo assim, a “Avaliação do Índice FQD” tem justamente o papel de proporcionar o risco gerado pelo design do produto e seu custo de desenvolvimento, garantindo que o time usará as ferramentas corretas sendo mais eficientes nas escolhas dos caminhos a serem seguidos no projeto.

Detalhamento do Projeto Segundo Rozenfeld

Para os designs que receberam a aprovação com ou sem ressalvas na fase de “Avaliação do Índice FQD”, o próximo passo de desenvolvimento é o “Detalhamento do Projeto Segundo Rozenfeld”.

Basicamente esse detalhamento consiste em se pormenorizar todas as informações sobre o design do produto concebido e validado, a partir de documentos técnicos com as definições de projeto necessárias aos componentes do produto, bem como realizar as definições de sistemas e subsistemas necessários à produção do item.

Nessa fase, as análises de engenharia deverão produzir as informações técnicas suficientes para as definições de:

- Tolerâncias dos componentes do produto;
- Definição final dos materiais a serem utilizados no produto;
- Definição das documentações técnicas de suporte ao projeto;
- Definição das embalagens.

Para isso, o time de projeto se dispõe de várias ferramentas de auxílio, como por exemplo:

- Software de modelagem 3D;
- Simulação CAD/CAE;
- Prototipação;
- *Tryouts* em linha.

Dessa forma, ao final dessa etapa de detalhamento do projeto se espera os seguintes resultados:

- Lista final de materiais;
- Definição das tolerâncias de projeto;
- Projetos da embalagem;
- Material de suporte do produto;

- Protótipo;
- Validação do protótipo
- Planos de controle do produto e processo;
- Fluxograma de processo;
- Definição dos recursos de produção necessários;
- Reavaliação do status financeiro do projeto;

Em resumo, a fase de “Detalhamento do Projeto Segundo Rozenfeld” é a etapa em que o time de produto, processo, manutenção e produção, fecham todas as informações técnicas necessárias para o desenvolvimento do projeto. Para isso, documentações técnicas são geradas e oficializadas. Nesta fase a experiência do time é utilizada a fim de se determinar todas as nências de produto e processo necessárias para que a vida operacional do produto transcorra sem percalços.

Design dos Parâmetros Segundo RDM e Design das Tolerâncias Segundo RDM

A fase de “Design dos Parâmetros Segundo RDM” e “Design das Tolerâncias Segundo RDM” são destinadas àqueles produtos que foram avaliados como design de risco pelo MQ-DFMA. Essas duas subfases são basicamente a aplicação do RDM para desenvolvimento do design do produto.

O objetivo de aplicar o método do Design Robusto nesses casos se dá para que haja uma garantia de projeto de que todos os riscos gerados pela característica de design de produto sejam mitigados/eliminados em sua fase de desenvolvimento.

Conforme discutido na revisão bibliográfica, esse método é extremamente poderoso na obtenção e validação das especificações de produto e processos, principalmente no que tange a determinação de parâmetros de controle e suas tolerâncias, tanto ligadas ao design do produto quanto a da manufatura. Dessa forma, o RDM fará o produto mais insensível a fatores de ruído, o tornando mais robusto e diminuindo as perdas qualitativas e operacionais relacionadas a falhas causadas por problemas de design do projeto.

A operacionalização do RDM dentro destas subfases de design dos parâmetros e das tolerâncias devem seguir exatamente os mesmos passos da versão original do método descritos na seção 2.4.5. O MDER lança mão desse incrível processo de construção de especificações para se garantir a maior segurança possível na concepção e desenvolvimento do design do produto e processo, buscando garantir assim, um método de projeto que produzirá soluções de qualidade e baixos níveis de risco qualitativos e operacionais.

É importante destacar também, que os passos de “Design dos Parâmetros Segundo RDM” e “Design das Tolerâncias Segundo RDM” só são utilizados em projeto de produtos que apresentam design de Risco. Isso é um fator de diferenciação para o PDP aqui proposto, uma vez que a aplicação do RDM é cara devido ao alto número de horas de projeto necessárias

para sua operacionalização, além dos investimentos necessários com a construção de protótipos, o que pode ser muito caro.

Dessa forma, o MDER foi desenvolvido para discernir entre riscos de projetos e determinar caminhos diferentes para designs de alto, médio e baixo risco. Com isso se garantirá a segurança e robustez necessária à fase de desenvolvimento, sem fazer com que a empresa incorra em desperdícios de recursos dentro do projeto.

Como resultado desse discernimento quanto à adequação das horas de projetos à característica de produto a ser desenvolvida, o MDER promove dentro das instituições uma aumento considerável de sua competitividade no mercado. Isso porque, além dos benefícios ligados à melhoria da operacionalização e qualidade do produto, que fazem os custos de produção e não qualidade serem reduzidos, o custo de desenvolvimento do projeto é mais baixo, uma vez que os recursos são alocados somente onde realmente são necessários, fazendo com que a empresa tenha melhores custos de produto, desenvolvimento de projetos e de manutenção do negócio.

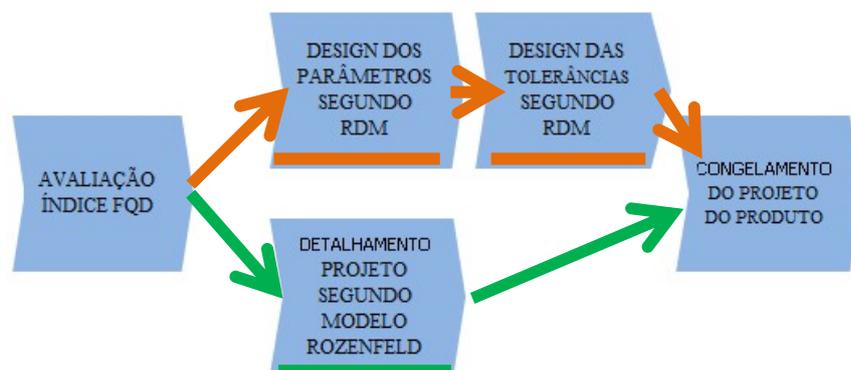
Congelamento do Projeto do Produto

O último passo no desenvolvimento do design do produto é o “Congelamento do Projeto do Produto”. Nessa etapa, todos os documentos técnicos que caracterizam o produto são então oficializados e disponibilizados nos canais de comunicação oficial do projeto.

Documentos como BOM, desenhos 2D e 3D, definição de materiais, especificação de embalagens, planos de controle de produto, etc., são oficializados e compartilhados com todo o time de desenvolvimento para a sequência no projeto.

A Figura 4.5 resume os caminhos para o desenvolvimento do produto até seu congelamento. O caminho representado em verde é aquele a ser utilizado pelos projetos classificados como “Aprovado” e “Aprovado com Ressalvas”, já o caminho em laranja é aquele destinado para designs de risco.

FIGURA 4.5 – Caminhos a serem seguidos dadas as criticidades do design do produto.



Fonte: elaborado pelo autor.

Embora até a presente fase do projeto o desenvolvimento do produto e processo andaram sempre lado a lado, na etapa de “Congelamento do Projeto do Produto” como sua própria nomenclatura deixa claro, faz o congelamento somente de todas informações referentes ao produto.

Esse desfasamento entre o desenvolvimento do produto e processo se faz necessário visto que, até a presente fase do projeto, todos os conceitos, ideias, parâmetros e tolerâncias de projeto do produto já foram definidos, testados e validados. Já os desenvolvimentos referentes ao processo de manufatura do item nessa fase do projeto, já estão bem estruturados, mas ainda deverão passar pela construção final e sua validação, podendo ainda passar por melhorias e afinamentos.

Sendo assim, finalizada as sub etapas de design e desenvolvimento do produto conforme detalhadas acima, passa-se ao desenvolvimento final do processo produtivo. O congelamento do produto é o gatilho de projeto que fará a liberação dos investimentos necessários à construção do processo de manufatura e, em sequência, validação dos meios de produção.

Visto que já foram desenvolvidos os fluxogramas de processo, planos de controle, previsão de mão de obra necessária, o setor de engenharia de processos/manufatura, já dispões de todas as informações necessárias para aquisição de maquinários e desenvolvimento dos meios produtivos considerados na fase de design do projeto.

É importante garantir que durante essas construções de desenvolvimentos de maquinários e dispositivos de processo o time de projeto esteja presente e atuante, sempre realimentando a análise de risco do setor, através da ferramenta do PFMEA.

Ao final do desenvolvimento e instalação dos meios produtivos necessários ao projeto, o time de engenharia de processo/manufatura, fará o treinamento inicial com o time de produção, a fim de se demonstrar os padrões de trabalho e familiarizar os operadores de máquinas com suas novas atividades de trabalho.

Com o time treinado é possível realizar o lote piloto de produção que, em resumo, é a primeira produção em escala industrial do novo produto em desenvolvimento. Nessa fase, todo o time de projeto deve estar em chão de fábrica para avaliações de desempenho do produto e processo e respectivas realimentações de DFMEA e PFMEA.

Caso seja necessário algum ajuste, estes devem ser listados no plano de ação do projeto e acompanhados até sua conclusão pelo chefe de projeto. No momento que a última ação deste plano de melhorias estiver fechada, a fase de “Desenvolvimento de Produto e Processo” estará concluída.

A Tabela 4.4 apresenta as principais documentações de ferramentas utilizadas durante a fase de Desenvolvimento do Produto e Processo do MDER.

TABELA 4.4 – Ferramentas e documentos utilizados na fase Desenvolvimento do Produto e Processo do MDER.

Documentos	Ferramentas
BOM	DFMEA
Desenhos 2D e 3D	MQ-DFMA
Especificações de produto	PFMEA
Especificações de material	
Especificações de processo	
Especificação de embalagem	
Lista de características especiais	
Fluxograma de processo	
Plano de controle de produto e processo	
Padrões de trabalho da produção	
Revisões de Design e verificação do atendimento do escopo do projeto	
Lista de dispositivos e calibres de controle	
Análise econômica do projeto e suporte de gestão	

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.3 Validação do Produto e Processo

Assim que as linhas produtivas, processos de manufatura e sistemas de suporte à produção estão devidamente instalados e disponíveis, o projeto entra em sua fase de validação. Essa fase, chamada de “Validação do Produto e Processo” é a etapa onde todos os testes necessários para verificação da eficiência e eficácia do projeto são realizados.

A etapa de validação começa antes mesmo da avaliação oficial da linha produtiva. Vários testes realizados no produto e processo ao longo de seus desenvolvimentos, como por exemplo, *tryouts* de máquinas, testes em protótipos funcionais, teste do sistema logístico, também são etapas preliminares dessa importante fase de validação do projeto. Por esse motivo a representação gráfica desta etapa tem uma perna longa dentro da etapa de desenvolvimento do produto e processo, como pode-se verificar na Figura 4.6.

FIGURA 4.6 – Etapa de Validação do Produto e Processo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Uma das mais importantes atividades definida para essa fase é a realização de um lote produtivo seguindo-se exatamente o protocolo de qualquer outro lote da empresa, inclusive se utilizando volumes consideráveis de produtos a serem manufaturados. O objetivo desse lote produtivo é a avaliação da adequação do produto ao sistema operacional da empresa e vice versa. Ou seja, as áreas de armazém, abastecimento de linha, equipamentos e dispositivos de produção, operadores de produção, líderes de linha, manutenção, expedição e áreas suporte são avaliados a fim de se validar a operacionalização daquele novo produto.

O próximo passo após a realização do primeiro lote produtivo é a execução dos testes de validação do produto. Para isso, parte dos produtos realizados nesta primeira produção é enviada aos laboratórios de produto para serem submetidos aos planos de testes de validação.

Nos testes de laboratório todas as características do produto são validadas, provas climáticas, mecânicas, químicas, de desempenho e durabilidade são executados a fim de se garantir que o cliente será corretamente atendido em suas especificações, além de gerar garantias para a empresa que seu sistema produtivo é capaz de manufaturar as peças de acordo com o que elas foram projetadas e, assim, manter o correto padrão de qualidade.

Caso durante a validação do produto e processo, qualquer característica do projeto for reprovada, tal falha deve ser tratada via plano de ação com responsável e data para finalização do processo de correção. Caso não haja nenhuma reprovação, o produto e processo estão prontos para entrada em produção e vida série.

A Tabela 4.5 traz os documentos e ferramentas utilizadas na etapa de “Validação do Produto e Processo”.

TABELA 4.5 - Documentos e ferramentas utilizadas na fase de Validação do Produto e Processo.

Documentos	Ferramentas
Relatório do primeiro lote de produção em massa	MSA
Estudos estatísticos do Produto e Processo	CEP
<i>Book</i> de qualificação do Produto	
Aprovação da embalagem	
Aprovação do projeto pelo time de gestão	
Plano de controle de lançamento	

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.4 Produção

Em continuidade às atividades de projeto a fase subsequente à validação de produto e processo é o início de produção. Geralmente as empresas iniciam a produção algum tempo antes do produto ser lançado no mercado, isso para se garantir que as demandas iniciais logo após o lançamento do produto serão supridas.

Pode-se parecer estranho a inclusão da fase de produção dentro do projeto, mas existe fundamento para isso. O projeto é responsável por monitorar o início da produção a fim de:

- Verificar os custos de produção e comparar com aqueles previstos em fase de cotação, para se entender se o planejado está sendo cumprido;
- Verificar o desempenho operativo dos sistemas de manufatura e suporte à produção, a fim de se verificar eventuais desperdícios;
- Verificar o desempenho do produto para os clientes internos e principalmente externos. Essa fase é importante para monitoria da satisfação dos clientes;
- Verificação da qualidade do sistema de produção.

Sendo assim, o time de projeto se mantém mobilizado para monitoria e eventuais correções que se fizerem necessárias para satisfação total dos requisitos de projeto. Essa mobilização se estende por um período pré estabelecido pela empresa, até que se tenha a estabilização do projeto e entrada em regime de produção em massa com suas características intrínsecas de manutenção e controle.

Essa é a última fase oficial do projeto e, ao seu final, o time de desenvolvimento será desmobilizado para novas demandas. Os documentos e ferramentas preconizadas para essa etapa do projeto podem ser verificadas na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Documentos e Ferramentas preconizados para a fase de Produção

Documentos	Ferramentas
Plano de Controle de Lançamento	Pesquisa de Mercado
Plano para redução da variabilidade	CEP
Plano para aumento da satisfação do cliente	MSA
Plano para melhoria da entrega do cliente	

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.5 Controle, Realimentação e Ações Corretivas

Conforme pode ser observado na Figura 4.1 onde se tem a representação gráfica do cronograma de projeto especificado pelo MDER, existe uma fase suporte ao longo de todas as etapas de desenvolvimento. Essa fase chamada de “Controle, Realimentação e Ações Corretivas” fornece a estrutura de suporte necessária para o bom andamento do projeto. Suas principais funções são:

- Controle

Todo projeto tem um início, meio e fim, aliado a um custo previsto de desenvolvimento, com o objetivo de se entregar um produto ou serviço. Dessa forma, para que se consiga ser efetivo em tempo, custo e atendimento aos objetivos é necessário que exista um responsável por monitorar e controlar as ações de desenvolvimento.

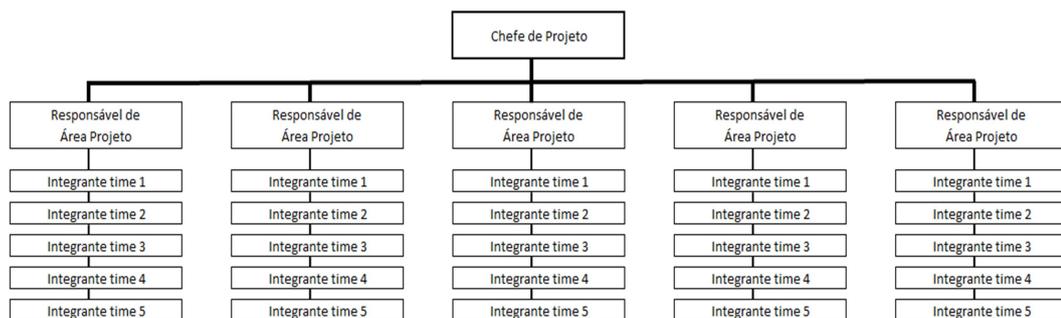
Para isso, o projeto deve receber uma estrutura hierárquica bem definida, responsável por garantir o bom andamento do desenvolvimento. O organograma do time de projeto é algo que deve ser estruturado paralelo àquele organizacional da empresa. Isso significa que, por exemplo, o responsável do projeto não necessariamente é o gerente / coordenador de um setor, entretanto tem certa autonomia dentro do desenvolvimento de forma a o permitir controlar o andamento do projeto.

Sendo assim, o time de projeto deve ser composto por:

- Chefe de projeto: responsável por monitorar as atividades de desenvolvimento de todas as áreas envolvidas, em eventuais necessidades deve utilizar seu responsável de área para suporte nas atividades de projeto;
- Responsável de área – projeto: responsável por controlar as atividades de projeto dentro de uma área específica, reportando os resultados ao chefe de projeto e escalando eventuais problemas ao chefe de área;
- Integrante do time – projeto: colaborador da empresa que está diretamente envolvido nas atividades de projeto e se reporta ao responsável de área de projeto em caso de necessidade e ao responsável de área em eventuais problemas.

A Figura 4.7 traz um exemplo de organograma para um time de projeto genérico. Cada organização deve desenvolver sua própria estrutura de acordo com seu arranjo organizacional.

FIGURA 4.7 – Hierarquia para Time de Projeto.



Fonte: elaborado pelo autor.

- Realimentação

As atividades de realimentação dentro de um projeto basicamente consistem em se mensurar, a partir das informações obtidas pela atividade de controle, os resultados de projeto e os reportar aos seus *stakeholders*.

Dessa forma, se passa um panorama de projeto aos interessados e eventuais ajustes podem ser realizados. É importante se definir, ao início de projeto, os canais de comunicação oficiais para esse processo de realimentação.

- Ações Corretivas

É muito difícil de se garantir que no desenvolvimento de novos projetos 100% das atividades sejam bem sucedidas logo em sua primeira tentativa. Para casos em que o sucesso de uma tarefa não é alcançado segundo o planejado, o processo de ações corretivas deverá ser utilizado.

Essa atividade consistem em se desenvolver sub cronogramas de correção de tarefas que não foram bem sucedidas e saíam do que estava planejado para o cronograma macro do projeto.

O processo de ações corretivas deve ser concebido de forma a se ter um maior controle sobre responsáveis e prazos, visto que são atividades que se tornaram críticas devido ao seu insucesso e podem impactar no prazo final de entrega do projeto.

Por esse motivo, o chefe de projeto deve manter reuniões periódicas com os responsáveis das ações de correção até que essas sejam devidamente implementadas.

Com esses três processos de controle, realimentação e ações corretivas, aumentam-se as chances de sucesso do projeto. É importante ressaltar que são atividades de suporte que perduram ao longo de todo o desenvolvimento e devem ser utilizadas sempre, a fim de se garantir a execução fluida e sem problemas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao longo de várias décadas de evolução as Metodologias de Projetos e os Processos de Desenvolvimento de Produtos alcançaram resultados substanciais em melhoria e otimização dos resultados operacionais de empresas. Apesar de toda essa inegável evolução, as indústrias ainda sofrem muito com perdas decorrentes do emprego de métodos de desenvolvimento de projetos pouco abrangentes.

A fragilidade nesses métodos de projeto e PDPs disponíveis às empresas e instituições desenvolvedoras podem ser relacionadas ao enfoque por eles apresentados, uma vez que o objetivo comum a todos é a melhoria operacional a partir de ações no âmbito operacional.

Os últimos estudos na área de metodologia de projeto mostram que o foco somente na melhoria operacional não é mais suficiente para garantir o nível de competitividade necessário para as empresas. Somado a esse fato, as metodologias existentes que extrapolam o âmbito operacional apresentam objetivos pulverizados, fazendo com que seja difícil para as empresas a determinação de um único PDP que abranja várias de suas necessidades.

Existem metodologias e processos de desenvolvimento de produto com as mais variadas finalidades, como por exemplo, melhoria do sistema de gestão de projetos, redução do tempo total de desenvolvimento, métodos de aumento da robustez de produtos. Apesar de toda essa disponibilidade, as empresas precisam fazer suas escolhas de acordo com o benefício que esperam, sendo aí o grande ponto de necessidade de melhoria.

Toda empresa necessita de um processo de gestão de projeto eficiente, além de sempre buscar a redução do tempo total de desenvolvimento e aumento da robustez de seus produtos. Sendo assim, o simples fato da necessidade de escolha entre benefícios desejados ao se definir a metodologia de projeto a ser adotado já é um grande problema.

Nesse cenário, o presente trabalho propôs o Método de Desenvolvimento Eficiente e Robusto – MDER, de projetos que tem por característica intrínseca à sua concepção a união dos principais benefícios esperados pelo emprego de um único PDP:

- Redução do Tempo de Desenvolvimento;
- Aumento da robustez de design de produto e processo;
- Aumento da eficiência de desenvolvimento, reduzindo desperdícios de horas de projeto e conseqüentemente os custos de projeto;
- Redução das perdas devido a não qualidade dada pela sensibilidade a fatores de ruído do produto e processo;
- Padronização de documentos e ferramentas a serem utilizadas.

Sendo assim, o MDER foi concebido como um método de desenvolvimento de projetos inovador gerado a partir da reunião e do aprimoramento de modelos e ferramentas pré-existentes no mercado, sobre a qual foi estruturado um novo método focado no design,

desenvolvimento e avaliação de produto e processo, contando ainda com a utilização de uma nova ferramenta de análise objetiva da qualidade do design. Tudo isso com o grande objetivo de reunir os benefícios anteriormente citados em um único método de projeto.

Com esse foco, o MDER reuniu trechos de três métodos de desenvolvimento de projetos disponíveis na literatura além de propor uma nova ferramenta de avaliação da qualidade de design de produtos, para auxílio de tomada de decisão do time de projeto.

Conforme discutido ao longo do desenvolvimento deste projeto, o MDER utiliza como base de método de desenvolvimento o APQP, amplamente utilizado na indústria automotiva. Sobre essa base metodológica, é então estruturada a fase de “Desenvolvimento de Produto e Processo” em um passo a passo a ser seguido para uma concepção robusta de design. O método proposto por esse trabalho foca grande parte dos esforços despendidos ao longo do projeto na fase de concepção e desenvolvimento dos designs de produto e processo. Essa estratégia é adotada uma vez que é nessa fase do projeto que se dá a definição de 80% dos custos da vida do produto, conforme demonstrado por Tapan Taguchi (1993) em seus estudos.

Essa estrutura oficializada em subfases conta ainda com uma ferramenta de avaliação da qualidade do design. Conforme visto anteriormente o MQ-DFMA é uma ferramenta inovadora que realiza a avaliação da qualidade do design de um produto quanto à sua sinergia com os processos de manufatura e montagem de seus componentes. Sua utilização busca reduzir drasticamente o risco de se desenvolver um produto de complexa produção e de difícil manutenção operacional.

O MQ-DFMA funciona como um marco de referência para o projeto, onde logo após a definição do design do produto, sua aplicação gera o índice FQD que proporcionará ao time de trabalho uma avaliação objetiva para a definição robusta sobre os passos seguintes de desenvolvimento. Reprojeto do produto, intervenção no design do processo produtivo, aprovação do design ou identificação da necessidade de aplicação do RDM são as indicações possíveis trazidas pela utilização do método quantitativo do DFMA proposto por esse trabalho.

Sendo assim, seus benefícios são muito palpáveis:

- Avaliação objetiva do design de produto em fase de concepção;
- Avaliação objetiva de riscos à manufatura e à produção devido ao design do produto;
- Eliminação do desperdício de horas de projeto com a aplicação de ferramentas de desenvolvimento não necessárias às características do produto.

O benefício da eliminação dos desperdícios de horas de projeto é um dos grandes diferenciais do MDER. A aplicação o Método de Design Robusto é um forte desejo de empresas de desenvolvimento de tecnologias, como montadora de veículos, fabricantes de motores, fabricantes de aeronaves, justamente por ser uma ferramenta de alto poder para o desenvolvimento de designs robustos.

Apesar desse desejo, grandes empresas já tentaram implementar o Método do Design Robusto e não tiveram completo sucesso, devido a dois principais motivos. O primeiro deles está

ligado aos seus custos de operacionalização. Por se tratar de uma metodologia baseada em experimentação e processos estatísticos é necessária a dedicação de muitas horas de projeto até o completo desenvolvimento do produto. Por esse motivo, sua utilização deve ser destinada a designs considerados complexos. Sendo assim, esse é o primeiro grande desafio enfrentado pelas empresas que precisam do RDM, uma vez não é viável simplesmente aplicá-lo em todos seus desenvolvimentos devido ao conseqüente desperdício de capital intelectual e financeiro.

Já o segundo motivo de insucesso nesta implementação está ligado ao fato da inexistência de métodos objetivos para identificação ao time de projeto de quanto será necessária à aplicação ou não do RDM. Esse gap nos PDPs geram fragilidade para o processo de desenvolvimento que podem acarretar na necessidade de retrabalhos de projeto devido a designs de produto e processo pouco robustos devido a falhas na tomada de decisão do time de projeto.

O MDER, percebendo essa carência nos PDPs disponíveis no mercado, propôs a ferramenta MQ-DFMA para sanar esses dois problemas. Ao se utilizar o Método Quantitativo do DFMA, o time de projeto terá em mãos o índice FQD capaz de definir quando será necessária a aplicação do RDM. Sua operacionalização dentro da metodologia de projeto aqui proposta, além de garantir uma definição em base objetiva da real necessidade de aplicação do RDM, conseguirá uma conseqüente redução de custos em horas de desenvolvimento erroneamente empregadas na utilização desnecessária do Método de Design Robusto.

A fim de se quantificar os benefícios trazidos pelo MDER a seguir serão apresentadas algumas análises comparativas.

5.1 Comparativo entre PDPs

A Tabela 5.1 traz o comparativo entre as características presentes nos métodos de desenvolvimento de produto estudados durante a revisão bibliográfica e o Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto proposto por este trabalho.

Esse comparativo resume os benefícios trazidos pelo MDER e corrobora um dos seus grandes objetivos que é a consolidação de benefícios de vários métodos de desenvolvimento em um único PDP, de forma a facilitar o desenvolvimento de projeto das empresas, além de proporcionar a padronização de seus processos internos.

TABELA 5.1 – Comparativo entre métodos de desenvolvimento de produto e o MDER.

	Modelo Proposto por Rozenfeld (ROZENFELD, 2006)	Método Design Robusto (ARVIDSSON, 2008)	APQP (CHRYSLER et. al., 2008)	MDER
Considera o Desenvolvimento do Produto e Processo como uma só fase em completa sinergia.				X
Considera estrutura objetiva de avaliação da qualidade do design e tomada de decisão quanto aos passos de desenvolvimento do design de produto e processo.				X
Considera ferramentas de avaliação objetiva da qualidade do design do produto em termos do risco gerado para a manufatura e montagem.				X
Considera ferramentas de avaliação de análise de modos de falha de design de produto e processo.	X		X	X
Considera uma estrutura bem estabelecida de controle, realimentação e Ações Corretivas.	X		X	X
Considera método estatístico e experimental para detalhamento do projeto com passo a passo para definição dos parâmetros e tolerâncias de produto.		X		X
Padroniza documentos e ferramentas mínimas de desenvolvimento a serem utilizadas no projeto.			X	X
Custo reduzido de protótipo e menor tempo de desenvolvimento para designs considerados simples	X		X	

Fonte: elaborado pelo autor.

5.2 Comparativos econômicos

A título de validação prática do Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto foi realizada uma análise econômica sobre a viabilidade de implementação deste método proposto. Tal análise foi realizada pelo time de desenvolvimento de projeto de uma empresa multinacional do setor automotivo com planta instalada na região de Belo Horizonte. Por motivo de sigilo empresarial, o nome dessa empresa não será mencionado, sendo essa doravante referida simplesmente por Empresa Piloto, visto que as avaliações piloto sobre o MDER foram suportadas por ela.

O objetivo do estudo de viabilidade é realizar um comparativo entre o atual método de desenvolvimento aplicado pela empresa baseado no APQP e o método proposto MDER. Grande parte das empresas avaliam a viabilidade de seus negócios sobre a relação de compromisso entre possibilidade de lucro versus risco de projeto. Sendo assim, é coerente que o MDER seja também avaliado por esse mesmo prisma.

O método utilizado para esse estudo consistiu em se aplicar o procedimento padrão de cotação da empresa, além da realização de uma análise de riscos de projeto para um determinado cenário. Com essa avaliação foi possível se comprar níveis de investimentos e custos de desenvolvimento versus o risco de projeto para os citados métodos.

Sendo assim, a equipe responsável por avaliar a viabilidade dos negócios da Empresa Piloto realizou o custeio da implementação do MDER a fim de compara-lo objetivamente, por uma ótica econômica, com o APQP. Para isso, foram mensurados os parâmetros utilizados para a avaliação de uma nova possibilidade de projeto, ou seja, investimentos necessários em termos de horas de desenvolvimento, custo de matéria prima, custo de mão de obra, custo de protótipos, investimentos em linhas de produção, custos de validação do produto, além da análise de risco do projeto.

A partir dessa análise foi possível estruturar comparações importantes que revelam as características de cada um dos métodos de desenvolvimento de projetos avaliados. Os gráficos apresentados a seguir evidenciarão as principais diferenças entre cada um deles, sendo possível avaliar objetivamente suas vantagens e desvantagens.

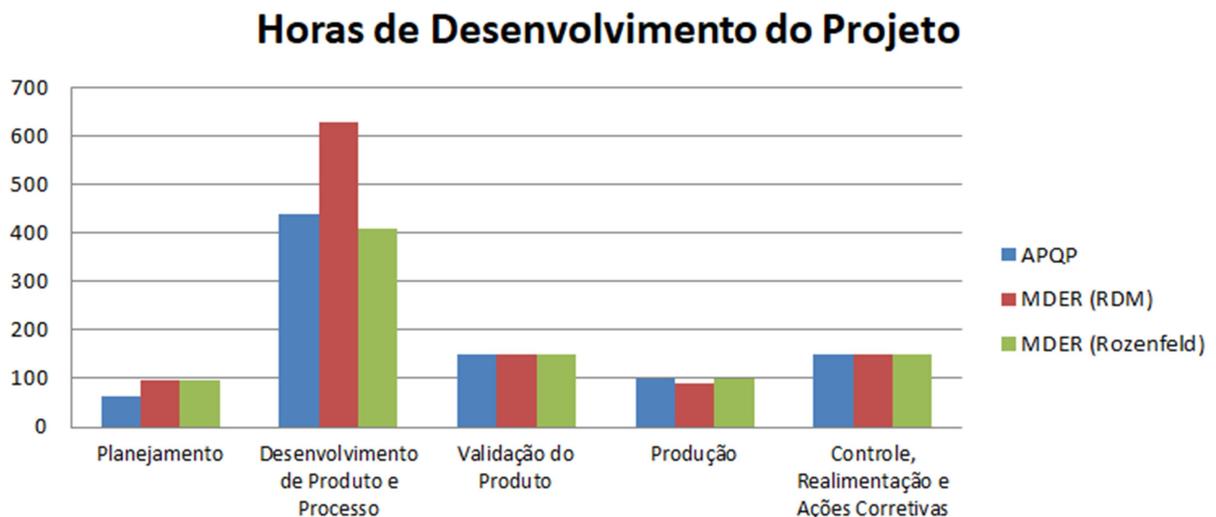
5.2.1 Horas necessárias ao desenvolvimento do projeto

Os métodos de desenvolvimento de projeto atuam principalmente no modo em que as pessoas envolvidas irão desempenhar suas atividades. Dessa forma, o primeiro indicador afetado ao se estudar a implementação de um novo método de desenvolvimento é a necessidade de horas para o projeto.

A Figura 5.1 traz um comparativo entre as horas necessárias para a execução de um projeto a partir da utilização do APQP e do MDER em seus dois possíveis caminhos de design. Esse

comparativo foi realizado por etapa de projeto a fim de se facilitar o entendimento sobre a necessidade de capital humano em cada uma das fases de projeto.

FIGURA 5.1 – Comparativo para as horas de desenvolvimento do projeto para o APQP e as duas possibilidades de design do MDER.



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao se avaliar o gráfico da Figura 5.1 já na primeira fase de desenvolvimento é possível notar diferenças importantes no número de horas necessárias entre as metodologias. Na fase de Planejamento estudos de viabilidade do projeto são realizados e para isso, o MDER considera que um pré-desenvolvimento deve ser realizado para o design do produto e processo, a fim de se conseguir maior assertividade nas análises de viabilidade. Esse passo extra requer cerca de 32% a mais de horas de projeto para ser realizado. Já o APQP não explicita esse passo de pré-desenvolvimento, requerendo apenas algumas avaliações preliminares mais simples, por isso a menor necessidade de horas despendidas.

Essa diferença conceitual gera maior robustez da análise de viabilidade do projeto, aumentando o nível de assertividade da metodologia e reduzindo os riscos de uma tomada de decisão equivocada por falta de análise técnica.

A segunda fase do projeto referente ao Desenvolvimento de Produto e Processo, a maior diferença de demanda de horas é alcançada. A fim de se facilitar a análise comparativa entre os métodos para essa etapa de projeto, foi realizada uma adaptação gráfica. Visto que o APQP considera duas fases distintas para o Desenvolvimento de Produto e Desenvolvimento de Processo, foram somadas as horas gastas nessas etapas, considerando esse total para a comparação com o MDER que apresenta somente uma fase de Desenvolvimento do Produto e Processo.

Ao se avaliar as horas necessárias para essa segunda etapa do projeto pode-se perceber que o MDER (RDM) apresenta maior necessidade de horas, cerca de 32% a mais que o APQP. Isso

porque o Método de Design Robusto requer grande investimento em tempo de projeto para se concluir todas as etapas de experimentação e análise estatística necessária para elevar a robustez de projeto de um produto que apresente design crítico. Essa maior demanda de horas na fase de desenvolvimento do produto e processo é completamente compensada pela obtenção de um design de produto robusto e insensível a variáveis de ruído. O que consequente reduz o nível de variabilidade operacional, resultando em um projeto mais eficaz e eficiente em toda sua vida série.

O MDER (Rozenfeld) é aquele que requer a menor quantidade de horas para o desenvolvimento do produto e processo, aproximadamente 7% menos que o APQP. Esse fenômeno se dá devido ao fato de que durante a fase de Planejamento foi realizado um pré-desenvolvimento onde boa quantidade de informação será reaproveitada na fase de desenvolvimento. Já o APQP que não considera o pré-desenvolvimento, gasta mais horas de projeto nessa fase para compensar o fato de não tê-lo feito anteriormente.

O fato da não requisição de uma fase de pré-desenvolvimento do produto e processo no método do APQP é uma desvantagem em relação ao MDER, uma vez que pode-se gerar uma análise de viabilidade de projeto equivocada devido ao baixo nível técnico de informações.

A próxima fase onde é possível notar uma ligeira diferença de demanda de horas é na fase Produção, por volta de 10%. Nessa fase o MDER (RDM) requer um pouco menos horas de projeto devido ao fato de que durante a fase de desenvolvimento de produto e processo já foram realizadas diversas produções a fim de se realizar a experimentação e análise estatística necessária ao procedimento de definição dos parâmetros e das tolerâncias do produto e processo. O material gerado por essas produções durante a segunda fase do projeto auxilia muito na economia de horas despendidas nessa quarta fase.

Por fim, as etapas de Validação e Controle, Realimentação e Ações Corretivas, não apresentam variações na necessidade de horas empregadas ao projeto. Isso porque o MDER empresta do APQP os procedimentos referentes a essas fases de desenvolvimento.

5.2.2 Investimentos em linha de produção, qualificação e protótipo

A segunda métrica de viabilidade de projeto utilizado para a comparação entre os métodos de desenvolvimento foi quanto à necessidade de investimentos em linhas de produção e em qualificação dos produtos. Em resumo, a quantidade necessária de investimentos em um dado projeto é utilizada para calcular o tempo de retorno (*payback*), ou seja, quanto tempo depois de investido o capital a empresa conseguirá recuperá-lo e iniciar a se beneficiar com os lucros do novo produto.

Sendo assim, quanto menor a necessidade de investimentos, maior a potencialidade do projeto em gerar retornos positivos para a empresa, sendo uma métrica muito importante para a capacidade de desenvolvimento da empresa.

A Figura 5.2 mostra o comparativo para a necessidade de aporte financeiro destinados a linhas de produção e qualificação do produto.

FIGURA 5.2 – Comparativo dos investimentos necessários entre o APQP e o MDER.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na análise realizada pela Empresa Piloto foi possível apurar uma possível redução de necessidade de investimentos da ordem de 7% a partir da utilização do MDER. Essa redução foi possível uma vez que o método proposto por esse trabalho contempla a utilização da ferramenta MQ-DFMA que tem foco na otimização do produto na ótica da manufatura e montagem em produção. Dessa forma, uma das resultantes de otimização em design resulta na eliminação de algumas fases de produção e conseqüentemente seus investimentos.

Para que se fosse possível chegar a essa conclusão, o time de análise de viabilidade econômica da Empresa Piloto buscou em seu histórico alterações de projetos casos onde foram possíveis otimizações de processos em linha produtiva. O resultado dessa pesquisa trouxe um exemplo muito claro de um caso onde se o MQ-DFMA estivesse sido aplicado durante a fase de desenvolvimento do conceito do produto, tais melhorias já poderiam ter sido implementadas diretamente na fase de projeto, gerando um benefício ainda maior para a empresa.

Neste caso em questão, o design do produto foi concebido considerando um processo de união de duas peças por meio de arrebites. Tal definição faz com que a linha de produção fosse concebida com tal conceito incluindo o investimento em um equipamento semi automático para execução dessa tarefa. Depois de algum tempo da vida série do produto, um líder de produção deu a ideia de alterar a união das peças considerando o processo de crimpagem, a partir da modificação de um dos componentes do produto. O grande benefício

seria a economia do arrebite utilizado nesta operação e a utilização de um equipamento muito mais simples e barato no processo produto.

Caso essa avaliação tivesse sido feita na fase de concepção do produto, não seria necessário o investimento em um caro equipamento de semi automático para arrebites, aumentando os retornos trazidos pelo projeto.

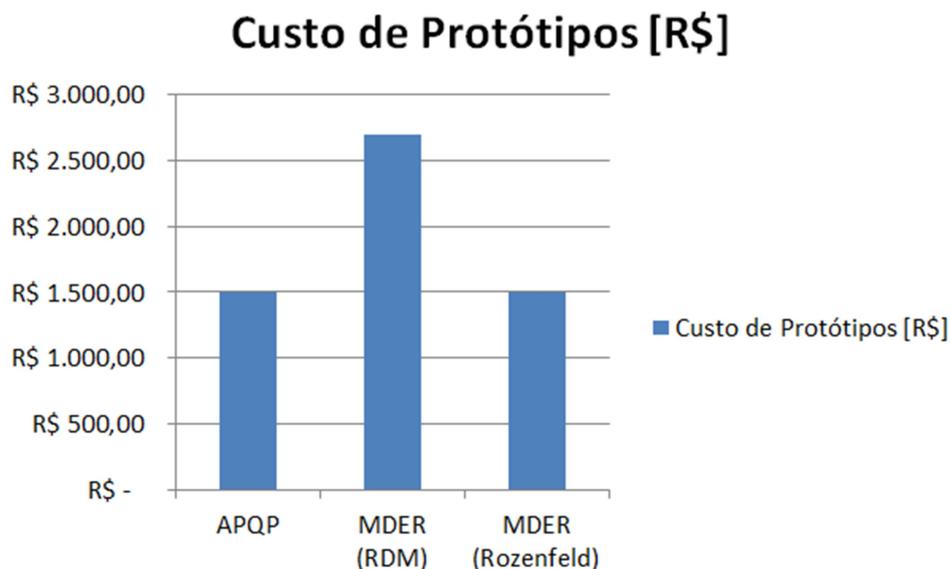
Essa é uma das vantagens do MDER em relação aos outros métodos de desenvolvimento. Uma vez que a ferramenta MQ-DFMA é um passo preconizado e determinante para o sequenciamento do projeto de desenvolvimento de produto e processo, as chances de se ter um design mais enxuto serão maiores.

Passando para a análise dos investimentos necessários para a qualificação do produto, é possível se verificar uma invariabilidade entre os métodos avaliados. Isso se dá devido ao fato da qualificação estar ligada a um plano de testes dedicado aos requisitos de cliente, que são invariáveis ao método de desenvolvimento de projeto aplicado pela empresa.

Ainda no campo da necessidade de investimentos, o último comparativo realizado fez referencia aos custos de protótipos. A Figura 5.3 traz os dados objetivos que propiciaram a análise entre os métodos de projeto.

Uma vez que o MDER ter a especificidade de apresentar dois caminhos possíveis para o desenvolvimento do produto e processo e, tais caminhos impactam na necessidade de investimentos diferentes relacionados a protótipos. Os dados foram apresentados de forma a permitir a tal discriminação dado o caminho a ser percorrido pelo projeto.

FIGURA 5.3 – Comparativo de custo de protótipo para os diferentes métodos de desenvolvimento de projeto



Fonte: elaborado pelo autor.

A análise gráfica da Figura 5.3 evidencia que o método MDER chega a demandar investimentos em protótipos até 80% maiores quando o RDM é necessário. Esse método de design robusto, conforme já exposto, demanda uma série de experimentos que propiciarão à equipe de projeto chegar a um conceito robusto de produto e processo. Da necessidade desses experimentos surge o aumento dos dispêndios em protótipos.

Apesar desta elevação considerável deste custo, os benefícios em robustez de design do produto e processo propiciam riscos do projeto muito reduzidos. Dessa forma, apesar de uma análise rápida parecer indicar uma perda de eficiência do projeto, com a utilização RDM dentro do MDER, é possível evitar custos de ordens muito maiores ligados a modificações de produto e alterações de linha produtiva tardiamente, além de perdas ligadas a não qualidade, imagem no mercado, etc.

Já ao se comparar o APQP com o MDER quando aplicado o caminho “Rozenfeld” a necessidade de investimento em protótipos se mantém inalterada.

5.2.3 Custos diretos de produto

Toda empresa busca oferecer ao mercado um produto de qualidade e com o melhor preço possível, assim ela conseguirá alcançar altos níveis de aceitação e penetração em seu público alvo. Os principais elementos constituintes do preço de venda de um produto são: o custo de matéria prima e o custo de mão de obra para sua montagem. Sendo assim, a terceira análise realizada avaliou esses importantes medidores da competitividade de uma companhia.

O comparativo para os custos de matéria prima e os custos de mão de obra entre o APQP e MDER foi realizado a partir de um estudo de caso conduzido pela equipe da Empresa Piloto. Para esse estudo, foi escolhido um dos produtos do portfólio da empresa de modo que o seu *core business* estivesse sendo representado.

Com a escolha desse produto, foram conduzidas verificações no histórico do projeto com o objetivo de avaliar sua vida série e, a partir das principais modificações realizadas, obter dados dos aprimoramentos de eficiência realizados. Com tais dados, foi possível fazer uma extrapolação da possibilidade de antecipação da melhoria para a fase de design do produto e processo, caso se tivesse utilizado o MDER como método de projeto.

Neste estudo observou-se que durante a fase inicial de produção foram necessários alguns ajustes de projetos para o produto e processo, o que impactou negativamente na margem de lucro da empresa.

No que tange o custo de matéria prima percebeu-se, depois das análises de desempenho do produto no mercado, que uma das peças estruturais concebida em material metálico no design inicial poderia ser produzida em plástico de engenharia. Essa modificação trouxe uma redução de custo de matéria prima na ordem de 9%, sendo uma alteração considerada simples de projeto com um benefício substancial para a empresa.

Esse tipo de avaliação sobre os componentes do projeto é um dos papéis principais da ferramenta MQ-DFMA. Isso significa que, caso o MDER tivesse sido aplicado para o desenvolvimento deste projeto, o componente estrutural teria grandes chances de já ter sido concebido em material polimérico, proporcionando à empresa uma margem maior de lucro desde a entrada do projeto em produção.

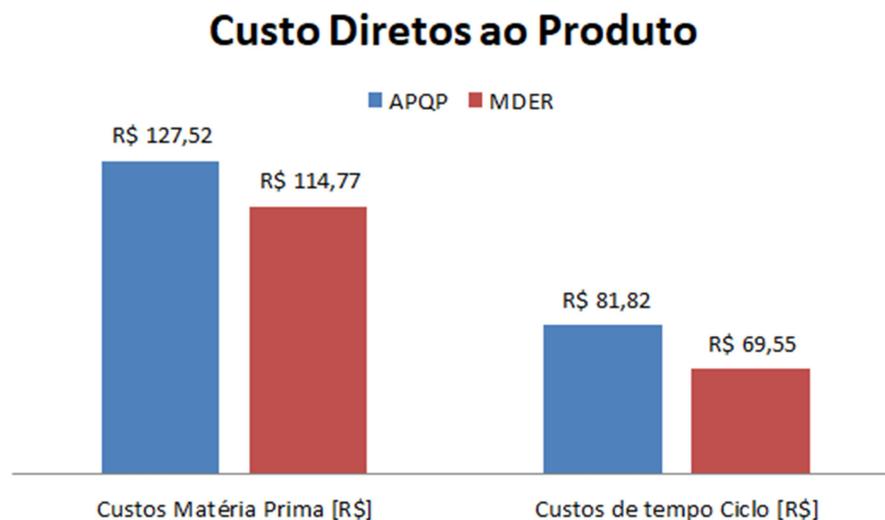
No tocante à linha de produção, o uso do componente estrutural em material metálico requeria a utilização de uma prensa pneumática para sua união a outro componente constituinte do produto por meio de uma prensagem. Basicamente, essa cravação garantia que os componentes se mantivessem unidos até a próxima fase de montagem do produto onde ocorre uma sobre injeção plástica.

Ao se evoluir o design da peça estrutural deixando de ser metálica e passando a ser de plástico de engenharia, a montagem dessa peça pode ser realizada de forma manual sem necessidade de um posto de cravação pneumática, gerando uma redução de tempo ciclo e também do equipamento outrora necessário à operação. Essa alteração propiciou uma melhoria de pouco mais de 8% do custo da mão de obra direta para a montagem do produto.

Novamente, se o MDER tivesse sido utilizado, seria possível se desenvolver o fluxo de produção já na sua forma mais enxuta, evitando um investimento em uma prensa pneumática que não se faz mais necessária.

A Figura 5.4 traz o gráfico com o comparativo entre os custos diretos de produto considerando-se a aplicação do APQP e a extrapolação realizada pelo estudo de caso aqui descrito com os possíveis resultados para a aplicação do MDER.

FIGURA 5.4 – Comparativo para os custos diretos de produto entre os métodos de desenvolvimento avaliados.



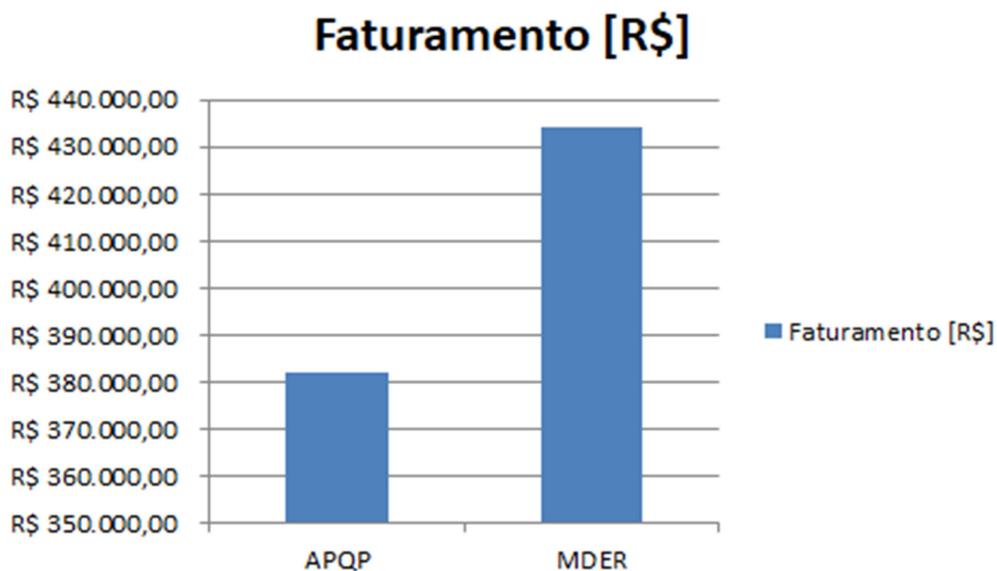
Fonte: elaborado pelo autor.

O estudo de caso aqui apresentado trabalhou sobre dados já consolidados de um projeto real em andamento da empresa, o que poderia facilitar uma eventual conclusão sobre a eficácia do método proposto. Por isso, o time de gestão de projeto da Empresa Piloto atentou-se para realizar a extrapolação dos possíveis resultados do projeto sobre a ótica do MDER, em base exclusivamente a passos e análises que pudessem ser objetivadas pela metodologia proposta.

Sendo assim, a melhoria citada sobre a alteração do material do componente foi considerada como possivelmente tratada pelo MDER uma vez que se tem uma pergunta objetiva e direta presente no MQ-DFMA, podendo ser verificada no Anexo A deste trabalho. Com esse tipo de análise objetivada para o estudo de caso é possível considerar robusto os dados comparativos aqui apresentados.

A fim de se consolidar a análise comparativa de custos diretos ao produto foi feito uma prospecção para o faturamento resultante da aplicação do APQP e do MDER. A Figura 5.5 explicita a diferença em reais do que seria apurado em vendas anual pela empresa para os diferentes métodos de desenvolvimento.

FIGURA 5.5 – Consolidação do faturamento para a implementação de um produto via método APQP e MDER.



Fonte: elaborado pelo autor.

5.2.4 Risco de projeto Vs. margem de lucro

Para finalizar a análise de viabilidade de utilização do Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto, o último comparativo foi realizado sobre os indicadores de Risco Projeto e Margem de Lucro.

Esses indicadores têm grande peso de na tomada de decisão gerencial quanto às análises de viabilidade de uma empresa. Em poucas palavras, esses indicadores avaliados juntos explicitam a relação entre quão rentável pode ser o projeto e qual o risco inerente a essa lucratividade esperada.

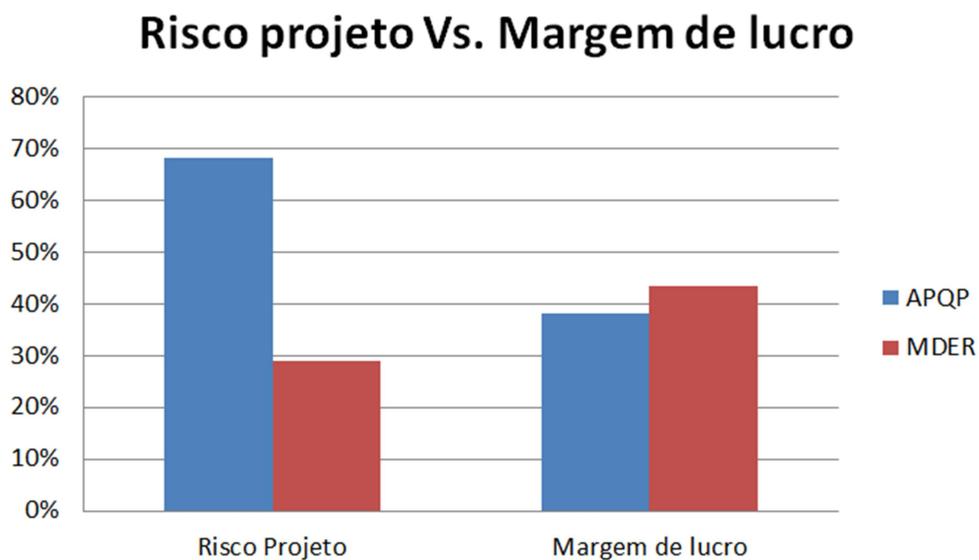
O Risco Projeto para a Empresa Piloto é um indicador resultante da análise de risco executada pelos gestores de todas as áreas envolvidas no projeto. Trata-se de um documento com uma série de questionamentos técnicos e gerenciais sobre os riscos trazidos por uma possível implementação do projeto em avaliação.

Sendo assim, foi realizado pelo time de gestão de projetos da Empresa Piloto uma extrapolação da análise de risco considerando-se a ótica de um projeto hora desenvolvido pelo APQP, hora desenvolvido com o MDER.

Já para a comparação da margem, os dados apresentados anteriormente para os custos diretos ao produto, horas de desenvolvimento e investimentos foram compilados de forma a se gerar o preço peça final ao mercado, onde foi possível a apuração da margem de lucro bruta do projeto para cada um dos métodos de desenvolvimento.

A Figura 5.6 ressalta os dados finais para a comparação em questão. Como já esperado, ao se analisar o risco projeto é possível perceber que o MDER apresenta índice muito mais baixo que aquele demonstrado pelo APQP.

FIGURA 5.6 – Comparativo entre risco de projeto versus margem de lucro.



Fonte: elaborado pelo autor.

O risco de projeto ao se considerar a utilização do MDER foi apurado em aproximadamente 40% menor que aquele referente à utilização do APQP. Esse resultado foi possível devido à

presença no MDER de estruturas robustas de desenvolvimento e avaliação de design de produto e processo como:

- Pré-desenvolvimento dos conceitos de design de produto e processo na fase de Planejamento;
- Preconização do uso do MQ-DFMA para avaliação objetiva da qualidade do design do produto em relação ao processo;
- Definição de caminhos diferentes para o desenvolvimento de designs considerados críticos ou não.

Já a análise da margem de lucro nos mostra uma elevação dos proventos de projeto para a utilização do MDER, conforme esperado, uma vez que já se havia observado reduções nos custos diretos ao produto.

Sendo assim, essa última comparação entre métodos ressalta que o MDER apresenta potencialidade de gerar produtos mais lucrativos aliados a menores riscos inerentes para o projeto.

6 CONCLUSÕES

O mercado globalizado estendeu a ampla concorrência para além de qualquer fronteira física. Atualmente empresas de todo o globo estão presentes em vários tipos de mercado. Empresas brasileiras têm de concorrer com produtos chineses, americanos e europeus extremamente competitivos em pleno solo nacional.

Esse fato exemplifica que a competitividade é o grande assunto em destaque e amplamente abordado pelo mercado. A sustentabilidade econômica das empresas está ligada diretamente à sua capacidade de ser eficiente na entrega de seus produtos, garantindo qualidade a um preço justo e no tempo que o mercado espera.

Com o objetivo de se garantir que os citados objetivos empresariais sejam alcançados, a metodologia de projeto nascida em meados do XVIII vem evoluindo a cada dia. A pesar desses esforços, grande parte do mercado sofre com métodos de desenvolvimento de projetos pouco eficientes, que resultam em altos desperdícios e conseqüente falta de competitividade para a indústria.

Conforme observado ao longo deste trabalho, os métodos de projeto disponíveis às empresas apresentam benefícios específicos e limitados. Isso significa dizer que existem métodos para aumento da robustez de produtos em detrimento do custo necessário para esse desenvolvimento; método para aumento da eficiência operacional em detrimento do custo da matéria prima do produto; método para melhoria dos processos de gestão de atividades em detrimento das horas de projeto despendidas. O ponto que ficou evidenciado é que nenhum deles é capaz de concentrar em um único método de projeto vários benefícios de desenvolvimento enxuto e robusto.

Diante desse fato, esse trabalho propôs um método de desenvolvimento de projeto capaz de garantir a robustez de um produto e seu processo de manufatura por meio da ênfase na fase de concepção e desenvolvimento do design. O MDER ainda inova em propor a ferramenta MQ-DFMA capaz avaliar objetivamente a qualidade do design de produto na ótica da manufatura e montagem, sendo ainda personalizável à instituição que a implemente. Além disso, o MDER tem estruturas que o permite discernir entre designs críticos ou não de produtos, onde caminhos diferentes para tais peculiaridades de projeto serão adotados a fim de se garantir a robustez no desenvolvimento com o melhor custo de projeto possível.

Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica cujo intuito foi de construir uma base sólida de métodos de desenvolvimento de projetos e algumas ferramentas importantes de suporte a esse processo, que pudessem ser utilizadas dentro do MDER. Sobre tal base conceitual foram estruturados os conceitos e ferramentas propostos nesse trabalho.

Com o intuito de se validar o método proposto foram realizados estudos de caso com o suporte de uma empresa do setor automotivo. Tais estudos foram executados pelo time de gestão de projetos desta empresa parceira e consistiu em analisar a viabilidade econômica

para a implantação do MDER, a partir dos seus procedimentos de cotação e vários dados históricos.

Como resultado desse estudo de viabilidade foi possível verificar, em base a dados reais, que o método proposto por esse trabalho tem a capacidade de reduzir os riscos de um projeto, além de aumentar a sua margem de lucro, sendo os objetivos mais almejados pelas empresas. Em suma, os dados econômicos mostraram que é possível desenvolver um produto mais robusto a partir de um modelo inteligente de otimização de recursos de projeto.

Além disso, foi construído um quadro comparativo entre os métodos de projeto disponíveis no mercado e aquele aqui proposto. Nessa comparação identifica-se que foi possível realizar a reunião de vários benefícios, presente individualmente em diversos métodos, no MDER.

Portanto é possível concluir que o objetivo desse trabalho foi alcançado de forma bastante satisfatória, proporcionando ao mercado uma nova forma de melhoria da competitividade empresarial por meio de um método enxuto e robusto de desenvolvimento.

Como perspectiva, espera-se poder implementar o Método de Desenvolvimento Enxuto e Robusto em projetos de novos produtos a fim de se corroborar, com dados pós projeto, a análise de viabilidade aqui apresentada.

Por fim, é importante frisar que o presente trabalho foi de grande valia para o crescimento profissional e acadêmico do autor. Todos os profissionais presentes hoje na indústria passam por processos ineficientes que geram desperdícios não agregando valor ao ciclo econômico. Com a proposta trazida por esse trabalho espera-se agregar valor à indústria brasileira e instituições desenvolvedoras, ajudando-as a despontar como potências mundiais, gerando melhores condições de vida para nós brasileiros.

REFERÊNCIAS

- ARVIDSSON, M., GREMYR, I., HASENKAMP, T. **AN OPERATIONALIZATION OF ROST DESIGN METHODOLOGY**. Chalmers University of Technology, Suíça, 2008.
- BARBOSA, G. F. **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DFMA – DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY NO PROJETO E FABRICAÇÃO DE AERONAVES**. USP, São Carlos, 2007.
- BOOTHROYD, G. e ALTING, L. **DESIGN FOR ASSEMBLY AND DISASSEMBLY**. Anais de CIRP, vol. 41/2, 1992.
- BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. and KNIGHT, W. **PRODUCT DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY**. New York: Marcel Dekker, 1994.
- BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. and KNIGHT, W. **PRODUCT DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY**. Marcel Dekker, Inc., 2nd Edition, 2002.
- BOX, G., BISGAARD S. **STATISTICAL TOOLS FOR IMPROVING DESIGNS**. Mechanical Engineering, Vol. 110, 1988.
- CHRYSLER CORP., FORD MOTOR CO., GENERAL MOTORS CO. **ADVANCED PRODUCT QUALITY PLANNING (APQP) AND CONTROL PLAN**. Reference Manual, Second Edition, 2008.
- CARDOSO, F. and LIMA, E. **PROPOSTA DE MODELO QUANTITATIVO DE AVALIAÇÃO DO DFMA AJUSTÁVEL AO PERFIL DAS EMPRESAS**. Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, 2019.
- EDWIN, B., D. **TAGUCHI APPROACH TO DESIGN OPTIMIZATION FOR QUALITY AND COST: AN OVERVIEW**. Annual Conference of the International Society of Parametric Analysis, 1991.
- ESKILANDER, S. **DESIGN FOR AUTOMATIC ASSEMBLY – A METHOD FOR PRODUCT DESIGN: DFA2**. Royal Institute of Technology, Stockholm, 2001.
- FARIA, A., PINTO, A., RIBEIRO, M., CARDOSO, T., RIBEIRO, J. **PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS: UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.
- FAIRFIELD, M., BOOTHROYD, G. **ASSEMBLY OF LARGE PRODUCTS**. Anais de CIRP, vol. 40/1, 1991.
- FINKELSTEIN, L., FINKELSTEIN, A. C. W. **REVIEW OF DESIGN METHODOLOGY**. IEE Proceeding, 1983.
- FONSECA, J. **METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA**. Fortaleza: UEC, apostila, 2002.
- KARNA, S. K., SAHAI, R. **AN OVERVIEW ON TAGUCHI METHOD**. International Journal of Engineering and Mathematical Sciences, Volume 1, Issue 1, 2012.

MHENNI, F. et al. **A SysML-BASED METHODOLOGY FOR MECHATRONIC SYSTEM ARCHITECTURAL DESIGN** *ADVANCED ENGINEERING INFORMATICS*. V. 28, 2014

OLIVEIRA, D. **ESTUDO SISTEMATIZADO DAS TÉCNICAS DO PPM – PROJETO PARA MONTAGEM**. Dissertação de mestrado, EMC – UFSC, 1990.

PEREIRA, J. C. **METODOLOGIA DE PROJETO APLICADO À CONCEPÇÃO DE SISTEMAS MECATRÔNICOS A PARTIR DA ELABORAÇÃO DE UM MODELO PRESCRITIVO DE DESENVOLVIMENTO**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, UFMG, 2016.

PHADKE, S. **QUALITY ENGINEERING USING ROBUST DESIGN**. Englewood Cliffs. Prentice-Hall, 1989.

PMI (Project Management Institute). **PMBOK – PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE**. PMIMG, Belo Horizonte, 2000.

ROZENFELD, H., FORCELLINI F., AMARAL, C., TOLEDO, C., SILVA, L., ALLIPRENDINI, H., SCALICE, K. **GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: UMA REFERÊNCIA PARA A MELHORIA DE PROCESSO**. São Paulo, Saraiva, 2006.

SOUSA, A. **ESTUDO E ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA MONTABILIDADE DE PRODUTOS INDUSTRIAIS NO PROCESSO DE PROJETO**. UFSC, Florianópolis, 1998.

TAGUCHI, G. **OFF-LINE AND ON-LINE QUALITY CONTROL SYSTEMS**. Proceeding of International Conference on Quality, Tokyo, Japan, 1978).

TAGUCHI, G. **INTRODUCTION TO QUALITY ENGINEERING**. Asian Productivity Organization, 1986.

TAKAHASHI, S., TAKAHASHI, P. **GESTÃO DE INOVAÇÃO DE PRODUTOS: ESTRATÉGIA, PROCESSO, ORGANIZAÇÃO E CONHECIMENTO**. Rio de Janeiro, Editora Campus, 2007.

TAPAN, P. BAGCHI. **TAGUCHI METHODS EXPLAINED: PRACTICAL STEPS FOR ROBUST DESIGN**. India: Prentice Hall of India, 1993.

ULLMAN, D. **THE MECHANICAL DESIGN PROCESS**. Mc Graw-Hill, 4º Edição, Nova York, 1944.

VIANNA, C. **CLASSIFICAÇÃO DAS PESQUISAS CIENTÍFICAS**. Notas para os alunos. Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/214642457/Quadro-resumo-e-pratico-para-a-Classificacao-de-Pesquisas-cientificas>>. Acesso em: 19 de Maio de 2019.

