

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

Karla Faccio

UMA PROPOSTA PARA O DESDOBRAMENTO DOS
REQUISITOS EM PARÂMETROS CRÍTICOS NO
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
(PDP)

Porto Alegre
2010

Karla Faccio

**Uma Proposta para o Desdobramento dos Requisitos em Parâmetros Críticos no
Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)**

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

Orientador: Márcia Elisa S. Echeveste, Dra.

Porto Alegre

2010

Karla Faccio

**Uma Proposta para o Desdobramento dos Requisitos em Parâmetros Críticos no
Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)**

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

Prof. Márcia Elisa Soares Echeveste, Dra.
Orientadora PPGEP/UFRGS

Profa. Carla Schwengber ten Caten, Dra.
Coordenadora PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Carlos Alberto Costa, Ph.D (DEMC/UCS)

Professor Danilo Marcondes Filho, Dr. (DEST / UFRGS)

Professora Istefani Carísio de Paula, Dra. (PPGEP / UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas, que de uma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho:

- Aos meus pais, pelo apoio e dedicação de uma vida. Agradeço de coração e amo vocês!!!
- À Profa. Dra. Márcia Elisa Soares Echeveste, que orientou o presente trabalho com empenho, paciência e dedicação.
- À Capes, que viabilizou financeiramente a realização deste trabalho
- Ao colega Diego Fettermann pelas ajudinhas nas figuras, ao colega Ângelo Sant'anna e ao Prof. Danilo Marcondes Filho pelo "*help*" no R.
- Aos meus queridos colegas e amigos que auxiliaram no aprimoramento da minha apresentação de defesa: Vera Lúcia Milani Martins, Patrícia Flores Magnago e João Pedro Ornaghi de Aguiar.
- Ao Tiago Poletto e ao Cleber Marchesan Perlin, membros da empresa que cedeu as informações necessárias para a realização do estudo de caso deste trabalho.
- Às queridas e grandes amigas que conheci durante o mestrado: Cassiane Velho, Livia Rodrigues da Rosa e Letícia Dexheimer. Obrigada por todo o incentivo, companheirismo e pela grande amizade durante estes dois anos.
- Aos colegas do mestrado e do LOPP.

Sempre trace seu futuro, mas trace-o a lápis.

RESUMO

Esta dissertação aborda a gestão de requisitos ou *Requirement Management* (RM) e a gestão de parâmetros críticos CPM (do inglês *Critical Parameters Management*) relacionadas com o processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Assim, o objetivo geral deste trabalho é analisar os parâmetros críticos através da revisão e inserção das atividades da CPM e da RM ao longo do PDP. Esta análise enfatiza a utilização de ferramentas e modelagem estatística. Este estudo contempla a reorganização das fases de RM e CPM propostas na literatura numa seqüência lógica utilizando ferramentas aplicáveis ao PDP. Esta proposta contempla fases exemplificadas por meio de um caso real. Como objetivos específicos para alcançar o objetivo traçado, citam-se: (i) demonstrar a inserção das atividades relativas à gestão de requisitos de produto e à gestão de parâmetros críticos ao longo das fases do PDP, revisando as fases e as sobreposições numa continuidade temática; (ii) apresentar uma proposta de reorganização das fases da RM para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático; (iii) identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística. Para cada objetivo específico foi gerado um artigo. O método de pesquisa utilizado neste trabalho foi de natureza aplicada, de abordagem qualitativa-quantitativa com objetivo exploratório e o procedimento técnico utilizado foi o estudo de caso. Como resultados principais deste trabalho destacam-se a revisão de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP suportada por técnicas e ferramentas, proporcionando um maior entendimento de como estas atividades podem ser encadeadas e utilizadas simultaneamente. A proposta culmina com a identificação de parâmetros críticos a partir dos requisitos do produto e da análise dos SSC's de um novo produto utilizando a opinião de especialistas e a modelagem estatística.

Palavras-chave: PDP, Gestão de Requisitos, Gestão de Parâmetros Críticos, QFD, modelagem estatística.

ABSTRACT

This thesis addresses the requirements management (RM) and critical parameters management (CPM) related to the product of development process (PDP). The objective of this work is to analyze the critical parameters through the review and integration of activities of the CPM and the RM along the PDP. This analysis emphasizes the use of tools and statistical modeling. This study includes the reorganization of methods of RM and CPM proposed in the literature in a logical sequence using tools that can be applicable to the PDP. Stages of this insertion of activities are exemplified through a real case. The specific objectives to achieve the goal tracing: (i) demonstrate a review and integration of activities related to management of product requirements and management of critical parameters during the phases of the PDP; (ii) present a proposal for reorganization of the phases of requirements management in development a new product through a didactic example and (iii) identify critical parameters through analysis on systems, subsystems and components (SSC's) of a new product, using expert opinion and statistical analysis. For each aim it was written an article. The research method in this study is of qualitative-quantitative nature and the technical objective procedure used was a case study. As main results of this work stand out the review of activities for the unfolding of the requirements in critical parameters related to the PDP supported by tools and techniques, providing a greater understanding of how these activities can be linked and used simultaneously. The proposal culminates with the identification of critical parameters from the product requirements and analysis of the SSC's of a new product using expert opinion and statistical modeling.

Key words: PDP, Requirements Management, Critical Parameters Management, QFD, statistics modeling.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CLP – Controlador lógico programável

CPM – Gestão de parâmetros críticos (do inglês *Critical Parameters Management*)

C_p – Índice de Capacidade potencial do processo

C_{pk} – Índice de Capacidade do processo nominal

DFSS – *Design for Six Sigma*

DOE – Projeto de Experimentos (do inglês *Design of Experiments*)

FMEA - Análise de Modo e Efeito de Falha (do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*)

IPXY – Nível de proteção de um dispositivo ou equipamento

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSE – Limite Superior de Especificação

N.U.D. – Características Novas, Únicas e Difíceis de serem atingidas

PDP – Processo de desenvolvimento de produto

POP – Procedimento operacional padrão

QFD – Desdobramento da função qualidade (do inglês *Quality Function Deployment*)

RM – Gestão dos Requisitos (do inglês *Requirements Management*)

SSC's – Sistemas, Subsistemas e Componentes

SWOT – Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças (do inglês *Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*)

TAM – Transportador aéreo mecanizado

V.O.C. – Voz do cliente (do inglês *Voice of Customer*)

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1 – Ênfase dos artigos da dissertação	21
FIGURA 2 – Estrutura dos artigos elaborados.....	22

CAPÍTULO 2

ARTIGO 1 - DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS EM PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

FIGURA 1 – Delineamento da Pesquisa.....	29
FIGURA 2 - Processo de desenvolvimento de produtos de Rozenfeld et al. (2006).....	30
FIGURA 3 – Gestão de Parâmetros Críticos.....	34
FIGURA 4 – Desdobramento <i>flow-down</i> das exigências dos sistemas para as exigências dos componentes.....	35
FIGURA 5 – Desdobramento dos Requisitos em Parâmetros Críticos.....	37
FIGURA 6 – Atividades/fases relacionadas à RM e à CPM.....	39
FIGURA 7 – Revisão e inserção das atividades de desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos no PDP.....	40
FIGURA 8 – Fases, objetivos, entradas e saídas da revisão e inserção de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos.....	41
FIGURA 9 – Revisão e inserção de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP.....	47

ARTIGO 2 – UM ESTUDO PARA A CLASSIFICAÇÃO E BALANCEAMENTO DOS REQUISITOS NO DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO PRODUTO ELETRÔNICO

FIGURA 1 – Desdobramento dos requisitos no PDP	62
FIGURA 2 – Classificação dos requisitos.....	66
FIGURA 3 – Ciclo de vida do produto em estudo e seus <i>stakeholders</i>	72
FIGURA 4 – Recorte da priorização dos requisitos dos clientes da balança dinâmica de carcaças	74
FIGURA 5 – Recorte da classificação dos requisitos dos clientes.....	74
FIGURA 6 – Recorte dos requisitos do produto balança dinâmica de carcaças	75
FIGURA 7 – Recorte da Matriz da Qualidade do QFD da balança dinâmica de carcaças	76
FIGURA 8 – Recorte dos desdobramento das funções que atendem aos requisitos dos clientes	77
FIGURA 9 – Recorte do desdobramento de funções da Matriz Morfológica da balança dinâmica de carcaças	78
FIGURA 10 – Recorte das alternativas de conceito do produto balança dinâmica de carcaças	78
FIGURA 11 – Correlações entre os requisitos do produto – telhado da Matriz da Qualidade do QFD	79

FIGURA 12 – Recorte da Matriz de Pugh da balança dinâmica de carcaças	80
FIGURA 13 – Desenho do conceito selecionado da balança dinâmica de carcaças	81
APÊNDICE A – Proposta de reorganização de fases para o desdobramento dos requisitos no PDP...	86
APÊNDICE B – Questionário qualitativo aplicado	87
APÊNDICE C – Questionário quantitativo aplicado	88
ARTIGO 3 – PROPOSTA DE GESTÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS POR MEIO DE MODELAGEM ESTATÍSTICA	
FIGURA 1 – Gestão de Parâmetros Críticos.....	96
FIGURA 2 – Recorte dos requisitos da balança dinâmica de carcaças.....	100
FIGURA 3 – Desdobramento das funções da balança dinâmica de carcaças	101
FIGURA 4 – Desenho do conceito selecionado da balança dinâmica de carcaças	102
FIGURA 5 – Recorte da Matriz das Características das Partes da balança dinâmica de carcaças	104
FIGURA 6 – Desdobramento das variáveis associadas aos SSC's.....	106
FIGURA 7 – Procedimento para identificar os parâmetros críticos por meio de modelagem estatística	108
FIGURA 8 – Especificações-meta das variáveis explicativas e da variável resposta do subsistema carro longitudinal de pesagem.....	109
FIGURA 9 – Matriz de Correlações das variáveis a serem simuladas.....	112
FIGURA 10 – Matriz de Covariâncias das variáveis a serem simuladas.....	114
FIGURA 11 – Modelo de regressão estimado para os dados simulados	116
APÊNDICE A – Questionamento sobre o tipo de relacionamento das variáveis explicativas de qualidade dos componentes relacionadas ao subsistema carro longitudinal de pesagem com a variável resposta precisão de pesagem.....	123
APÊNDICE B – Questionamento sobre a importância das variáveis explicativas de qualidade dos componentes na variável resposta precisão de pesagem	124
APÊNDICE C – Questionemnto sobre a relação/correlação entre as variáveis explicativas de qualidade dos componentes	125

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Comentários iniciais.....	12
1.2 Tema e Objetivos.....	13
1.3 Justificativa.....	14
1.4 Método	17
1.4.1 Método de Pesquisa.....	17
1.4.2 Método de Trabalho.....	18
1.5 Delimitações do trabalho.....	18
1.6 Estrutura do trabalho	19
CAPÍTULO 2: ARTIGOS	25
ARTIGO 1: INTEGRAÇÃO DAS ATIVIDADES DE DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS EM PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)	26
ARTIGO 2: UM ESTUDO SOBRE A GESTÃO DE REQUISITOS NO DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO PRODUTO ELETRÔNICO.....	54
ARTIGO 3: PROPOSTA DE GESTÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS POR MEIO DE MODELAGEM ESTATÍSTICA ...	90
CAPÍTULO 3: CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
3.1 Conclusões	132
3.2 Recomendações para trabalhos futuros	134
REFERÊNCIAS	135

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os comentários iniciais a respeito da pesquisa, com a apresentação do tema, dos objetivos e das justificativas que mostram a importância do trabalho. Na seqüência, estão descritos o método empregado, as limitações deste trabalho e sua estrutura.

1.1 Comentários iniciais

As mudanças industriais, ao longo do século XX, contribuíram para o aumento da complexidade dos produtos. A evolução tecnológica de fabricação foi deixando de lado conceitos implantados como, por exemplo, por Henry Ford, cuja preocupação concentrava-se mais com o preço e com a padronização dos produtos, do que com a qualidade e diferenciação dos mesmos. Essas transformações foram evoluindo e, atualmente, o mercado global está sendo exigente e competitivo em relação à qualidade e inovação em produtos e serviços. Esta evolução fabril acaba enfatizando mais o produto propriamente dito, assim, cada vez mais o processo de desenvolvimento de novos produtos acaba enfatizando na inovação, passando a exigir que a organização analise e reestruture o próprio negócio da empresa (CUNHA et al., 2003). Assim, o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) é um processo de negócio chave para toda empresa de manufatura que almeja sucesso no mercado. Mesmo com um ótimo desenvolvimento tecnológico e em marketing, a gestão do PDP é a parte crucial para a competitividade de uma empresa.

Diferentes abordagens para gerenciar o processo de desenvolvimento de produtos surgiram na literatura em momentos diferentes e impulsionaram o conhecimento de melhores práticas. A visão de processo fez com que o desenvolvimento de produtos fosse estruturado em fases e atividades que necessitam ser gerenciadas e controladas. Segundo Rozenfeld et al. (2006), as melhores práticas são aquelas que representam a melhor maneira de se alcançar um objetivo ou meta pela aplicação dos conhecimentos mais recentes da área de desenvolvimento de produtos. As melhores práticas estão estruturadas nos denominados modelos de desenvolvimento de produto. Para Clark e Wheelwright (1992), uma das funções desses modelos é exporem as melhores práticas, de acordo com as necessidades de cada empresa, para que busquem atender aos requisitos dos clientes, diminuam o ciclo de desenvolvimento

e custos, e aumentar a qualidade dos produtos. Para tal, as melhores práticas podem se constituir de métodos e ferramentas para aprimorar o PDP.

Métodos e ferramentas como, por exemplo, QFD (*Quality Function Deployment*), FMEA (*Failure Model and Effect Analysis*) e DOE (*Design of Experiments*), podem ser utilizados para auxiliar em todo o até a decomposição em características de novos produtos. Como uma forma de integração destas ferramentas, cita-se o DFSS (*Design for Six Sigma*) o qual foi estabelecido com um método baseado em ferramentas da engenharia e técnicas estatísticas para auxiliar no desenvolvimento de novos produtos considerando as exigências do consumidor e do mercado e, examinando quantitativamente o grau de atendimento das especificações definidas nas fases iniciais do PDP (CREVELING et al., 2003).

Muitas organizações têm atuado no PDP para providenciar produtos e serviços que satisfaçam as exigências dos clientes e do mercado (CHEN et al., 2002). Por meio da obtenção da voz do cliente (V.O.C.), na forma das suas demandas, pode-se transformá-la em requisitos dos clientes, que ocorre nas fases iniciais do PDP. Após, realiza-se a conversão dos requisitos dos clientes em requisitos dos produtos, desta forma o produto atenderá as demandas iniciais dos clientes, os quais são vistos de forma mais ampla, como *stakeholders*. No momento em que os requisitos dos produtos são definidos e combinados com uma solução em forma de produto/serviço a ser oferecido geram-se os parâmetros críticos, que devem ser gerenciados para que o produto em desenvolvimento realmente atenda às especificações propostas (ROZENFELD et al, 2006). A gestão de requisitos (RM, do inglês *Requirements Management*) é importante para que o produto atinja o sucesso atendendo às demandas dos *stakeholders*. Uma forma de avaliar o atendimento é por meio das especificações-meta dos requisitos relacionados com a identificação dos parâmetros críticos, trazendo à empresa uma vantagem sobre os fenômenos físicos, mecânicos ou químicos que regem o funcionamento do produto. Com isso, consegue-se de fato desenvolver o melhor produto na fase de conceituação, evitando que ajustes sejam necessários no seu pós-desenvolvimento.

1.2 Tema e Objetivos

O tema desta dissertação é a gestão de requisitos (RM), *Requirement Management*, e a gestão de parâmetros críticos (CPM), do inglês *Critical Parameters Management* relacionadas com o processo de desenvolvimento de produtos.

O objetivo geral deste trabalho é analisar os parâmetros críticos através de uma revisão e inserção das atividades da CPM e da RM ao longo do PDP. Esta análise enfatiza a utilização de ferramentas e modelagem estatística. Este estudo contempla a reorganização de métodos já propostos na literatura numa seqüência lógica utilizando ferramentas aplicáveis ao PDP. As fases desta inserção são exemplificadas por meio de um caso real.

Como objetivos específicos:

- Demonstrar uma inserção e revisão das atividades relativas à gestão de requisitos de produto e à gestão de parâmetros críticos ao longo das fases do PDP.
- Apresentar uma proposta de reorganização das fases de gestão de requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático.
- Identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística.

1.3 Justificativa

A área de gestão de desenvolvimento de produtos é um assunto com crescente importância no Brasil. Baseado nas tendências na área de desenvolvimento de produtos há uma preocupação com a implantação de métodos e técnicas para auxiliar no gerenciamento de informações ao longo do PDP.

A proposta de uma inserção das atividades da gestão de requisitos e parâmetros críticos relacionada ao PDP que utilize ferramentas e integre a gestão de requisitos com a gestão de parâmetros críticos facilita a sistematização das fases de identificação, priorização, classificação e acompanhamento dos requisitos nas fases do PDP. Os requisitos do produto são demandas que representam as características desejadas para aquisição do produto ou serviço e são provenientes de diferentes *stakeholders*, incluindo requisitos legais, do meio-ambiente, da qualidade, econômicos, políticos, tecnológicos, sociais, normativos e entre outros. Entretanto, pode-se dizer que um produto é decorrente de uma combinação de requisitos que muitas vezes podem ser conflitantes, ou seja, um requisito pode impactar em outro. O entendimento de como balancear os requisitos é um desafio no PDP, ainda tendo que atender a diferentes segmentos e *stakeholders*. Um produto será considerado com elevada

qualidade se estiver em conformidade com os requisitos dos clientes (HANSEN; BUSH, 1999).

Algumas técnicas estatísticas e ferramentas da qualidade podem ser utilizadas de forma integrada para reduzir a dimensão da complexidade deste conjunto de requisitos. Como método de integração de ferramentas cita-se o DFSS (*Design of Six Sigma*) (CREVELING et al.; 2003). Porém, este método citado por Creveling et al. (2003) utiliza ferramentas de forma isolada a um modelo de PDP. Desta forma, uma oportunidade de estudo é a integração e sistematização de ferramentas, principalmente nas fases iniciais do PDP, a fim de auxiliar na gestão dos requisitos.

Um método que está inserido na proposta de Creveling et al. (2003) é a gestão de parâmetros críticos (CPM), na qual os requisitos dos produtos (que foram identificados com base os requisitos dos clientes nas fases iniciais do PDP) são desdobrados em requisitos dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's). Segundo Rozenfeld et al. (2006), verifica-se que o CPM é um assunto atual na comunidade de desenvolvimento de produtos e envolve inclusive métodos clássicos utilizados no PDP (como o QFD, do inglês *Quality Function Deployment*), e pode ser considerado uma abordagem revolucionária para a gestão do PDP, uma vez que alinha as decisões estratégicas e modelos matemáticos na mesma ferramenta, estudando a conversão das demandas do mercado em especificações críticas para a funcionalidade do produto. Contudo, o grande desafio para a implementação do CPM é conseguir quantificar as informações sobre o produto (CREVELING et al., 2003; JUDD, 2005; VRINAT, 2007).

Algumas lacunas foram identificadas neste trabalho, como a classificação e organização dos requisitos a fim de estabelecer critérios para filtrar o que será entrada no QFD e o que será registrado como informação a ser detalhada em fases posteriores do PDP. Assim como um balanceamento dos requisitos para negociação e seleção do conceito do produto e como identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos SSC's do produto. Giordani (2009) constata que não existe um processo estruturado para a identificação das características críticas e o relacionamento do conceito com os requisitos do produto.

As lacunas encontradas na literatura e mostradas no parágrafo anterior partem do estudo de autores que abordam o tema com enfoque no PDP incluindo discussões de gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos, apresentando como proceder ao longo das fases

do PDP (CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006; ULLMAN, 1997; BACK et al., 2008; PAHL e BEITZ, 1996). Porém não foram encontrados na literatura exemplos práticos que demonstrem como proceder com a gestão de requisitos e a gestão de parâmetros críticos nas fases no PDP e como a informação de fato translada entre as fases do PDP. Acredita-se que um exemplo facilitaria a compreensão do leitor no emprego das atividades de gestão dos requisitos e parâmetros críticos a uma situação real. Desta forma, apresenta-se uma aplicação detalhada para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionado às fases do PDP.

Ainda, os temas de gestão de requisitos e gestão dos parâmetros críticos vêm sendo tratados de maneira não contínua por áreas de conhecimento distintas e pela literatura em geral, uma vez que não foi identificado um método que estruture e mostre como os requisitos são desdobrados em parâmetros críticos do produto ao longo do PDP de forma contínua. Esta declaração parte de um estudo a partir dos modelos propostos pelos autores Clark; Fujimoto (1991), Pahl; Beitz (1996), Ullman (1997), Ulrich; Eppinger (2000), Creveling et al. (2003), Young (2003), Rozenfeld et al. (2006), Back et al. (2008), Marx (2009). Evidencia-se que a gestão de requisitos é enfatizada na engenharia de produto e de *software* principalmente nas fases iniciais do PDP, como no levantamento de informações. Enquanto, a gestão dos parâmetros críticos é estudada pela engenharia de qualidade durante as fases finais da elaboração do projeto de um produto, como a fase de planejamento da produção do PDP. Deste modo, constata-se a necessidade da elaboração de uma proposta que integre a gestão de requisitos e a gestão de parâmetros críticos por meio de uma revisão de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP, exemplificada no desenvolvimento de um produto.

De tal modo, os temas de gestão de requisitos e gestão parâmetros críticos relacionados ao PDP podem ser considerados uma nova tendência no processo de desenvolvimento de produtos. Posteriormente, a implantação de modelos referenciais para a padronização do PDP, o próximo passo é controlar e otimizar esse processo (PATTERSON, 1993). Neste contexto, técnicas e ferramentas podem auxiliar na consecução das atividades do PDP, na identificação e organização das exigências do cliente e do mercado, verificando o quanto as especificações definidas nas fases iniciais estão sendo atendidas por meio de análise de dados.

1.4 Método

1.4.1 Método de Pesquisa

De um modo geral, uma pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza, abordagem, objetivos de estudo e procedimentos.

Em relação a sua natureza, esta dissertação pode ser classificada como uma pesquisa aplicada, uma vez que tem como característica o interesse na aplicação, utilização e conseqüências práticas dos conhecimentos (GIL, 2007).

Do ponto de vista da sua abordagem, a pesquisa é do tipo qualitativa-quantitativa. A pesquisa quantitativa procura quantificar os dados e aplicar alguma análise estatística (MALHOTRA, 2003). A pesquisa qualitativa não busca medir e/ou enumerar os eventos estudados, nem emprega a estatística na análise dos dados, parte de questões amplas, que vão se definindo à medida que o estudo vai se desenvolvendo. Envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos (GODOY, 1995).

Na maioria dos casos e inclusive nesta dissertação, a pesquisa qualitativa precede a quantitativa, uma vez que auxilia na contextualização e entendimento do fenômeno estudado. Assim, na fase de aplicação do método elaborado serão realizadas análises em uma empresa sem o uso de técnicas estatísticas, neste caso será utilizada a pesquisa qualitativa, e, para o mesmo fim será realizada uma análise estatística dos dados coletados em uma empresa, deste modo será utilizada também a pesquisa quantitativa.

Quanto aos objetivos da pesquisa, esta se classifica como exploratória, uma vez tem por objetivo desenvolver, esclarecer e modificar conceitos proporcionando um maior conhecimento para o pesquisador acerca do PDP, de gestão de requisitos e de gestão de parâmetros críticos. A fim de que esse possa formular problemas mais precisos ou criar hipóteses que possam ser pesquisadas por estudos posteriores (GIL, 2007).

O procedimento técnico empregado é o de estudo de caso, que, segundo Collis e Hussey (2005), pode ser visto como um estudo de pesquisa que foca no entendimento da

dinâmica presente dentro de um único ambiente, ou seja, será realizado um exemplo detalhado de aplicação neste trabalho.

1.4.2 Método de Trabalho

Uma breve apresentação da metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos neste trabalho é mostrada a seguir:

- Levantamento bibliográfico dos principais autores de PDP, gestão de requisitos e parâmetros críticos. Com base em uma pesquisa em periódicos nacionais e internacionais, teses, dissertações e livros relacionados ao tema. Esta etapa será realizada para alcançar um melhor entendimento do problema e o que propõem ou discutem os diferentes autores a respeito.
- Com base em um estudo sobre o processo de desenvolvimento de produtos, gestão de requisitos, gestão de parâmetros críticos e de ferramentas que poderão ser utilizadas em cada fase, procedeu-se uma revisão de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada às fases do PDP com a sugestão de ferramentas de suporte.
- Selecionar uma empresa a fim de demonstrar, testar e ajustar a proposta de revisão das atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos no PDP, realizando uma aplicação que contemple algumas fases do PDP. Pretende-se apresentar um exemplo detalhado de aplicação que contemple três fases iniciais da macro-fase desenvolvimento do PDP: i) no levantamento de informações: captar, organizar, priorizar, classificar e transformar os requisitos dos clientes em requisitos do produto; ii) na geração do conceito: utilizar ferramentas para auxiliar na escolha do conceito resultante do produto; iii) no detalhamento do projeto do produto: realizar a gestão dos parâmetros críticos (CPM).

A utilização de um exemplo prático é uma oportunidade para enriquecer a discussão das fases propostas, apresentando os pontos fortes e fracos e, conseqüentemente, trazendo melhorias na retroalimentação deste processo.

1.5 Delimitações do trabalho

Em relação às delimitações deste trabalho, apresentam-se as seguintes considerações:

- Este trabalho contempla as fases de desenvolvimento do produto, desde o levantamento de informações sobre um específico projeto de produto até o detalhamento do projeto, não

abrangendo as demais fases do desenvolvimento. Também não fazem parte do escopo as macro-fases de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento de produtos.

- Na atividades propostas para GR e CPM deste trabalho não contempla todas as fases do PDP. Esta revisão contemplará três fases do PDP: levantamento de informações, geração do conceito e detalhamento do projeto do produto.

- Nos estudos de caso deste trabalho não serão aplicadas as ferramentas em todas as fases do PDP. Estes estudos de caso contemplarão três fases do PDP: levantamento de informações, geração do conceito e detalhamento do projeto do produto.

- A representação do encadeamento das fases da inserção de atividades proposta com as fases do PDP é um dos caminhos plausíveis formado por um conjunto de ferramentas para realização do desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos.

- Neste trabalho foram selecionadas determinadas técnicas e ferramentas, não explorando todos os possíveis meios para atender a um mesmo objetivo. O critério de seleção das ferramentas obedeceu à citação na literatura especializada em PDP e adequação à manufatura de bens e serviços. O encadeamento das ferramentas depende de vários fatores como, por exemplo, a complexidade do produto, a natureza do negócio e a capacitação da equipe. O rol de ferramentas escolhidos atende a uma gama de projetos comuns a indústria de bens manufaturáveis em produtos de média complexidade do tipo melhorias incrementais ou de plataforma.

- Não é intuito deste trabalho discorrer e detalhar as ferramentas e as técnicas utilizadas, mas discutir a aplicação delas no PDP por meio de exemplos práticos.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta uma estrutura que busca adequar um maior entendimento do tema abordado. Esta dissertação apresenta uma contextualização ao tema, seguida de resultados parciais que são apresentados em forma de artigo. São propostos três artigos constituindo-se capítulos descritos a seguir:

No Capítulo 1, Introdução apresenta os comentários iniciais sobre o tema escolhido. Neste capítulo, justifica-se a escolha do tema, os objetivos, a metodologia, as limitações deste trabalho e a estruturação do mesmo.

No Capítulo 2, são apresentados e detalhados os três artigos resultantes desta dissertação. O primeiro artigo realiza, de forma teórica, uma revisão e inserção das atividades relativas à gestão de requisitos e à gestão de parâmetros críticos para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP e suportada por ferramentas. O segundo artigo apresenta uma proposta de reorganização das fases da RM para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático. O terceiro artigo propõe identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística na fase de conceituação de um novo produto.

E por fim, no Capítulo 3, são apresentadas as conclusões do trabalho juntamente com os demais elementos importantes detectados no decorrer do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

A Figura 1 ilustra, de uma maneira geral, a ênfase dos três artigos desta dissertação. Como esta dissertação aborda a gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos no PDP, a Figura 1 ilustra a transformação das demandas em requisitos do produto até o desdobramento das funções do produto e detalhamento dos SSC's, ou seja, ilustra de maneira genérica o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos. O artigo 1 propõe teoricamente uma revisão e inserção das atividades da RM e da CPM para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada com o PDP. Por conseguinte, verifica-se que os artigos 2 e o 3 estão inseridos na proposta do 1, mas com enfoques diferentes, o 2 enfatiza a gestão de requisitos e o 3 a gestão dos parâmetros críticos, e em ambos os artigos realiza-se um exemplo de aplicação no desenvolvimento de um novo produto.

Seguindo a lógica da Figura 1, o processo de desenvolvimento de produtos é composto por fases e atividades. As fases demonstradas na figura são: a identificação de oportunidades, o levantamento de informações, a geração do conceito do produto e o detalhamento do projeto do produto. A identificação de oportunidades ocorre na macro-fase de pré-desenvolvimento, a qual inclui a gestão de portfólio que avalia os projetos a serem desenvolvidos pela empresa e o plano de projeto que inclui a minuta do projeto, definição dos *stakeholders* do projeto, avaliando os riscos e cronograma de desenvolvimento. Nesta fase vários projetos de produtos são estudados e alguns deles são selecionados para serem desenvolvidos. A partir da escolha de um ou mais projetos de produtos procede-se com a fase de levantamento de informações a cerca deste produto. Esta fase detalha os requisitos dos clientes, que são provenientes das

demandas do mercado de diferentes *stakeholders*, as quais podem ser conflitantes. Essas demandas do mercado são transformadas em requisitos dos clientes, os quais são classificados e convertidos nos requisitos do produto e nas suas especificações-meta. Na fase de geração do conceito do produto, a partir da identificação dos requisitos dos clientes na fase de levantamento de informações são definidas as funções dos produtos, para as quais se determinam os princípios de solução. Bem como as possíveis alternativas de solução e os vários conceitos plausíveis a serem selecionados com o auxílio de ferramentas como a Análise Conjunta e a Matriz de Pugh, resultando na escolha do conceito final do produto. E na fase de planejamento do projeto do produto, por sua vez, os requisitos do produto são desdobrados em requisitos dos SSC's, que, juntamente com os princípios de solução, definem as especificações dos sistemas, subsistemas e componentes. Alguns parâmetros do produto são ditos críticos, pois estão diretamente relacionados com o atendimento das demandas do mercado, sendo assim de suma importância mapeá-los a fim de elaborar o melhor produto para o mercado com o menor retrabalho em fases posteriores do PDP. Realizando assim o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos do produto.

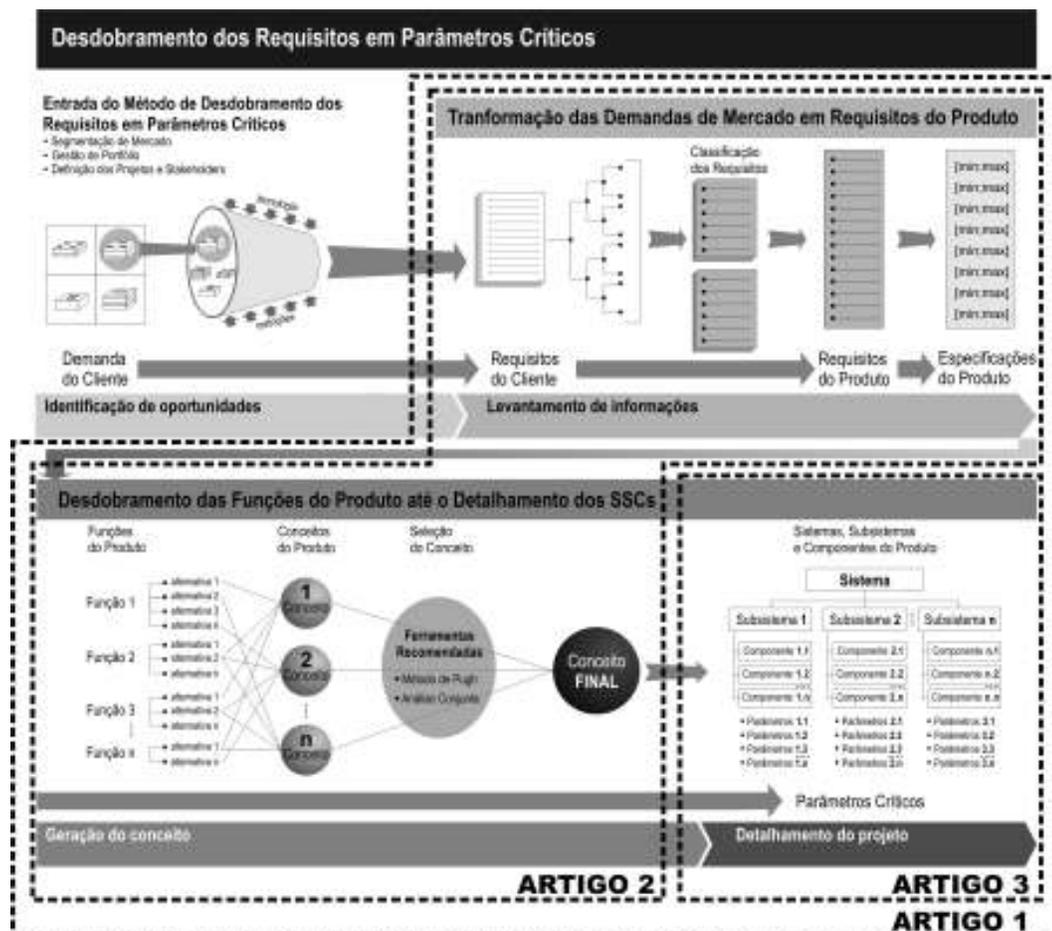


Figura 1 – Ênfase dos artigos da dissertação

A primeira etapa deste trabalho compreende a realização dos estudos apresentados nas Figuras 1 e 2. Esta etapa envolve a efetivação de atividades embasada em uma revisão teórica e de conceitos a fim de alcançar os objetivos propostos nesta dissertação. Na seqüência serão descritos, resumidamente, os três estudos principais deste trabalho, os quais compreendem os três artigos que fazem parte do mesmo.

Estudos	Objetivo	Contribuição prática / teórica	Método	Resultado Obtido
Artigo 1	Demonstrar uma inserção e revisão das atividades relativas à gestão de requisitos de produto e à gestão de parâmetros críticos ao longo das fases do PDP.	A revisão e inserção das atividades da RM e da CPM apresenta um caminho para facilitar o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionado ao PDP suportado por ferramentas, que proporcionam rastreabilidade aos requisitos.	Pesquisa bibliográfica de PDP, de gestão de requisitos, de gestão de parâmetros críticos, e de ferramentas.	Proposta de uma revisão e inserção das atividades da RM e da CPM para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP. Quadro formado pelas fases, atividades, entradas e saídas da revisão proposta.
Artigo 2	Apresentar uma proposta de reorganização das fases de gestão de requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático.	Classificação dos requisitos, definindo quais os requisitos foram informações de entrada do QFD, por meio de um caso real. Bem como a utilização da Matriz Morfológica e da Matriz de Pugh como auxílio na seleção do conceito de um novo produto.	Pesquisa bibliográfica de PDP, de gestão de requisitos e de ferramentas. E um estudo de caso com ênfase na classificação dos requisitos e seleção do conceito do produto.	Estudo de caso que contemple a gestão de requisitos nas fases do PDP de levantamento de informações e geração do conceito do produto.
Artigo 3	Identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística.	Identificação dos parâmetros críticos de um produto que ainda não foi testado e lançado no mercado, isto é, quando existem poucas informações sobre o produto.	Pesquisa bibliográfica de gestão de parâmetros críticos. E um estudo de caso para a identificação dos parâmetros críticos por meio de simulação e modelagem estatística.	Procedimento para identificar os parâmetros críticos de um novo produto por meio de opinião de especialistas e modelagem estatística.

Figura 2 - Estrutura dos artigos elaborados

O artigo 1 – Integração das atividades de desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos no processo de desenvolvimento de produtos (PDP) – contempla um estudo relacionado ao tema de pesquisa. Inicialmente realizou-se um levantamento bibliográfico dos principais autores de PDP, gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos. Com base em uma pesquisa em periódicos nacionais e internacionais, teses, dissertações e livros relacionados ao tema. Esta etapa será realizada para alcançar um melhor entendimento do problema e o que propõem ou discutem os diferentes autores a respeito. Em seguida, realizou-se uma revisão e inserção das atividades relativas à GM e à CPM para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP constituída por um conjunto de fases,

técnicas e ferramentas. Uma vez que a gestão de requisitos e a gestão de parâmetros críticos são abordadas de maneira não contínua, no contexto do PDP, pelas áreas da engenharia de produto e da engenharia da qualidade.

O emprego desta revisão e inserção de atividades relativas à gestão de requisitos e à gestão de parâmetros críticos visa proporcionar um maior entendimento de como estas atividades podem ser encadeadas e utilizadas simultaneamente, uma vez que se apresenta de maneira unificada a gestão de requisitos, a gestão de parâmetros críticos e fases do PDP com as principais ferramentas sugeridas pela literatura consultada.

O artigo 2 – Desdobramento de requisitos por meio de ferramentas no desenvolvimento de novos produtos: Caso da balança dinâmica – contempla uma proposta de reorganização das fases da gestão de requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático. Com base em um estudo bibliográfico sobre PDP e gestão de requisitos propôs-se uma reorganização de fases para o desdobramento de requisitos a ser aplicada em estudo de caso de desenvolvimento de um novo produto. A proposta foi baseada no uso de ferramentas e utilizou de forma combinada ferramentas de PDP com o QFD. Em seguida, demonstrou-se como utilizar esta proposta em um caso real, contemplando a captação, organização, priorização, classificação e transformação dos requisitos dos clientes em requisitos do produto e a utilização de ferramentas para auxiliar na escolha do conceito resultante do produto.

Verifica-se que o conjunto de ferramentas utilizado nesta proposta associado às fases do PDP é um caminho viável que atende a uma gama de projetos industriais com características similares as apresentadas neste artigo. A contribuição principal deste artigo refere-se à classificação dos requisitos, definindo quais requisitos foram informações de entrada no QFD e quais foram informações a serem inseridas na lista de exigências do produto.

O artigo 3 – Proposta de gestão de parâmetros críticos no processo de desenvolvimento de produtos por meio de modelagem estatística – contempla a identificação dos parâmetros críticos de um produto a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas (engenheiros) e análise estatística. Primeiramente, realizou-se um estudo bibliográfico sobre gestão de parâmetros críticos e ferramentas de suporte a esta metodologia. Em seguida, elaborou-se um procedimento para identificação dos parâmetros críticos de um produto.

Este procedimento foi aplicado a um exemplo de desenvolvimento de um novo produto que inexistia no mercado, realizando assim a identificação dos parâmetros críticos do mesmo com poucas informações, utilizando apenas as especificações-meta do produto e entrevistas com especialistas. A modelagem estatística quantificou estas informações a cerca do produto identificando os parâmetros críticos e o impacto de cada parâmetro em um subsistema do produto estudado. Uma vez que direcionou a identificação dos parâmetros críticos na fase de conceituação do produto, contribuindo no desenvolvimento do produto, evitando que a falta de conhecimentos das relações entre as variáveis do produto provocassem falhas no produto futuramente. Deste modo, melhorias foram incorporadas ainda no desenvolvimento do projeto do produto na fase de conceituação, evitando que falhas fossem localizadas no produto físico e no próprio protótipo do mesmo.

CAPÍTULO 2

ARTIGO 1: INTEGRAÇÃO DAS ATIVIDADES DE DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS EM PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)

INTEGRAÇÃO DAS ATIVIDADES DE DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS EM PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)

Karla Faccio

Mestranda em Engenharia de Produção – UFRGS

e-mail: karlafaccio@producao.ufrgs.br

Márcia Elisa Soares Echeveste

Prof. Dr. Engenharia de Produção – UFRGS

e-mail: echeveste@producao.ufrgs.br

Resumo

No estudo sobre o desenvolvimento de produtos, a gestão de requisitos (*Requirements Management*) e o desdobramento em parâmetros críticos (*Critical Parameters*) são abordados de forma não contínua no contexto do PDP, respectivamente, pelas áreas da engenharia de produto e de engenharia da qualidade. Este artigo almeja revisar as fases, uniformizando a linguagem e suprimindo a sobreposição de fases e ferramentas da RM e da gestão de parâmetros críticos. Assim, o objetivo deste artigo é demonstrar uma revisão e inserção das atividades relativas à gestão de requisitos de produto e da gestão de parâmetros críticos ao longo das fases do PDP. A construção desta revisão partiu de um estudo na literatura sobre o PDP, e posteriormente sobre gestão de requisitos e parâmetros críticos. Com base neste estudo, redefiniram-se as fases de desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos no PDP, destacando as principais ferramentas sugeridas pela literatura consultada. Destacou-se principalmente o uso do QFD (*Quality Function Deployment*) no estabelecimento das inter-relações entre requisitos e parâmetros críticos.

Palavras-chave: Gestão de Requisitos, Gestão de Parâmetros Críticos, PDP.

INTEGRATION OF ACTIVITIES FOR DEPLOYMENT OF REQUIREMENTS IN CRITICAL PARAMETERS IN THE PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS (PDP)

Abstract

In the study of product's development, the Requirements Management and the deployment of the Critical Parameters are not treated so continuous in the context of PDP, respectively, by the product engineering area and quality engineering area. This article intends to review the stages, standardizing the language and eliminating overlapping phases and tools of RM and CPM. The objective of this paper is to demonstrate a review and integration of activities related to management of product requirements and management of critical parameters during the phases of the PDP. The construction of this revision departed a study in the literature about the PDP, and later of management of requirements and critical parameters. Based on this study, it was developed a review of activities for the unfolding of the requirements into critical parameters related to the PDP with the main tools suggested by the literature, highlighting especially the use of QFD (Quality Function Deployment) to establish the relationships between requirements and critical parameters.

Key words: *Requirements Management, Critical Parameters Management, PDP.*

1. INTRODUÇÃO

A estruturação do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) envolve duas grandes etapas: a organização das atividades e a gestão do fluxo de informações que permeia essas atividades desde a identificação de oportunidades de mercado e de possibilidades técnicas em informações para a fabricação de um produto comercial (CLARK; FUJIMOTO, 1991). A gestão deste processo envolve entradas e saídas de conhecimentos e informações no processo interagindo com diferentes fontes de informação dentre as áreas funcionais, fornecedores e clientes (ROZENFELD et al., 2006).

O gerenciamento destas informações em geral é realizado por meio de registro de documentos e ferramentas que auxiliam na transformação da informação em conhecimento que sustentará as entradas das fases subseqüentes. No início do desenvolvimento, a equipe parte de informações sobre o mercado as quais são traduzidas em requisitos que o produto/serviço deve atender. Neste sentido, a captação e a interpretação das demandas do mercado na concepção do produto é uma das atividades mais importantes do PDP. As decisões tomadas nas fases de concepção do produto orientam as demais fases de desenvolvimento e necessitam ser gerenciadas, uma vez que a falta de entendimento dos requisitos demandados nas fases iniciais do PDP pode levar a soluções que não atendam ao mercado.

Neste contexto, um desafio para os desenvolvedores de produto é a gestão dos requisitos de um produto/serviço e, a partir disso, transformar estes requisitos em parâmetros críticos. Entende-se por requisito do produto uma característica do produto que tenha valor e utilidade para o cliente final (YOUNG, 2003). A gestão dos requisitos parte da estratégia da empresa até o conceito do produto e, quando detalhado, os requisitos devem ser representados em forma de parâmetros do produto ou serviço, e aqueles determinantes para a qualidade do produto/serviço são denominados de parâmetros críticos.

A gestão de parâmetros críticos (*Critical Parameters Management* - CPM) estuda a conversão das demandas do mercado em especificações críticas para a funcionalidade do produto. O emprego do CPM capacita a estruturar as ferramentas e métricas entre as fases do PDP (CREVELING et al., 2003). O CPM incorpora uma nova dimensão ao PDP, uma vez que contribui com o gerenciamento dos requisitos do cliente desde as fases iniciais do desenvolvimento de um produto.

Deste modo, a gestão de requisitos e a gestão de parâmetros críticos, em geral, são tratadas de forma não contínua por áreas de conhecimento distintas. Enquanto a gestão de requisitos é destacada na engenharia de produto e na engenharia de *software* nas fases iniciais do PDP,

principalmente, no levantamento de informações, a gestão dos parâmetros críticos é evidenciada pela engenharia de qualidade, durante as fases finais da elaboração do projeto de um produto no PDP. Sendo que a literatura não revelou um método que estruture como os requisitos são desdobrados em parâmetros críticos do produto ao longo do PDP. Em razão disto, este artigo apresenta uma proposta para integrar os requisitos utilizados na concepção do produto em parâmetros críticos para a qualidade do produto. Assim, o objetivo deste artigo é demonstrar uma revisão e inserção das atividades relativas à gestão de requisitos e à gestão de parâmetros críticos ao longo das fases do PDP.

A revisão proposta neste artigo pretende apresentar um caminho para facilitar a gestão dos requisitos e parâmetros críticos por meio de ferramentas aplicáveis ao PDP, que proporcionem rastreabilidade aos requisitos. As ferramentas e metodologias capacitam o desdobramento das informações, organizando-as entre diferentes fases e setores funcionais que participam deste processo. Neste caso, ressalta-se que a solução proposta refere-se a bens e serviços manufaturáveis como equipamentos e produtos físicos. Dentre essas metodologias pode-se citar a QFD (*Quality Function Deployment*) como base para o planejamento da qualidade que desdobra os requisitos em parâmetros ao longo de todo o ciclo de vida do projeto do produto. Essa metodologia é sugerida por autores de desenvolvimento de produto como auxílio na identificação dos atributos e parâmetros críticos de projetos.

O QFD parte do conhecimento da voz do cliente e os desdobra em requisitos técnicos, podendo permear todas as fases do PDP. Esta metodologia é particularmente útil nas fases iniciais, nas quais a orientação para o mercado é o ponto de partida para o desenvolvimento do conceito do produto (PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; BACK et al., 2008; ROOZENBURG; EEKELS, 2000; ULRICH; EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006). Neste contexto, propõe-se o uso do QFD como base ao longo das fases do PDP combinado às demais ferramentas da qualidade e de desenvolvimento de produtos freqüentemente utilizadas de forma isolada por diversos autores do PDP, as quais são apresentadas na seqüência.

O artigo está estruturado em cinco seções. A segunda seção apresenta os procedimentos metodológicos empregados neste artigo. Na terceira é apresentada uma revisão de literatura sobre os principais conceitos utilizados neste artigo: PDP, gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos. A quarta e a quinta seção mostram os resultados do trabalho, sendo que é apresentado, respectivamente, o cenário da gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos e a revisão das atividades do desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos. A

sexta seção apresenta uma discussão e um prosseguimento do estudo. Por fim são apresentadas as considerações finais do artigo.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método de pesquisa empregado neste artigo é do tipo exploratória, uma vez que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito (DIEHL; TATIM, 2004). A construção do método de desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionado ao PDP é baseada em uma pesquisa bibliográfica, por esta razão este artigo pode também ser classificada quanto ao procedimento como uma pesquisa bibliográfica.

O método de trabalho se desdobra em quatro etapas. Inicialmente buscou-se o entendimento das fases de um processo de desenvolvimento de produto (1). Na seqüência, como os autores apresentam a gestão dos requisitos neste processo (2). Da mesma forma, como os autores tratam a gestão de parâmetros críticos (3). Finalmente, a última etapa corresponde à revisão e inserção das atividades relativas à RM e à CPM que combine as informações de ambas as fontes para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionado ao PDP (4). A Figura 1 representa a região de intersecção da pesquisa realizada nas quatro etapas supracitadas.

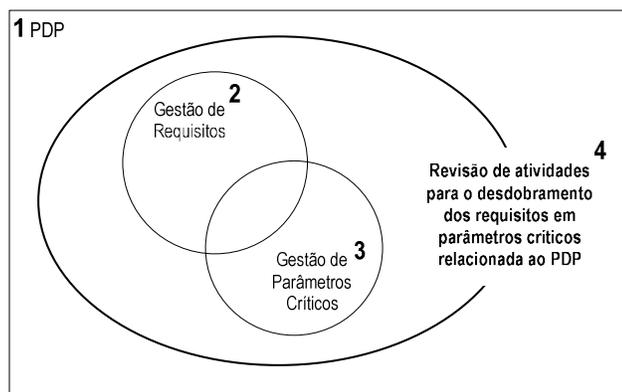


Figura 1– Delineamento da pesquisa

Este trabalho parte do levantamento de informações sobre o produto, após a aprovação do mesmo na gestão de portfólio da empresa (pré-desenvolvimento). Igualmente, a ênfase é dada na gestão dos parâmetros críticos do produto, os quais dependem dos requisitos do produto. Neste trabalho não serão contemplados outros requisitos inerentes às características intrínsecas do produto, como requisitos estratégicos, de serviços, ambientais, de processo de

controle de tempo e custos. Em outras palavras, o escopo deste trabalho refere-se aos requisitos das características do produto após a aprovação do projeto de seu desenvolvimento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste artigo apresenta primeiramente uma visão sobre o PDP, suas macro-fases e principais objetivos. Na seqüência, é apresentado como a bibliografia consultada trata o tema de gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos no PDP.

3.1 Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

O PDP consiste em uma seqüência de passos ou atividades as quais incluem o conceito, planejamento e comercialização de um produto (ULRICH; EPPINGER, 2000). Para Pahl et al. (2005), a atividade crucial no PDP consiste em um processo de análise e síntese, que passa por etapas de trabalho e de decisão. Um processo pode ser considerado uma seqüência de fases que transforma um conjunto de entradas em um conjunto de saídas (ULRICH; EPPINGER, 2000). Algumas organizações definem um processo de desenvolvimento detalhado e preciso, enquanto que outras ainda não são capazes de descrever seus processos (PAHL et al., 2005).

O modelo referencial proposto por Rozenfeld et al. (2006) contempla três macro-fases e nove fases (FIGURA 2). A Figura 2 apresenta sucintamente os objetivos e os resultados das fases do modelo de PDP elaborado por Rozenfeld e colaboradores (2006), que consiste em um registro da coletânea das melhores práticas e estudos de diversos autores sobre o tema.

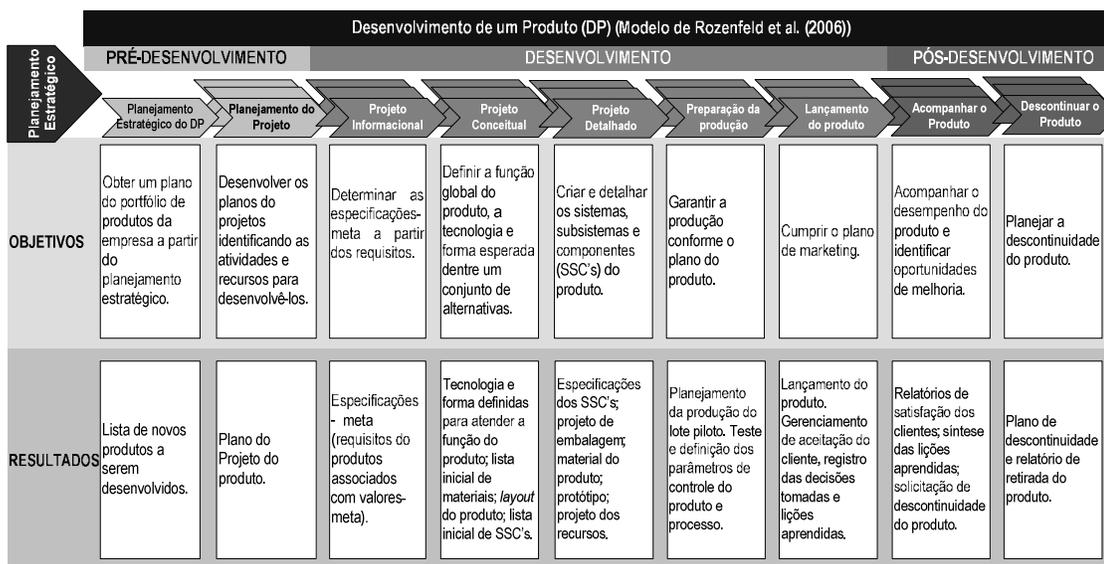


Figura 2 – Processo de Desenvolvimento de Produtos de Rozenfeld et al. (2006)

O término de cada fase é sinalizado por um conjunto de resultados, chamados de *deliverables*. Este material é analisado, revisto e aprovado ou reprovado em reuniões gerenciais denominadas de *gates*. A principal razão em dividir em fases e *gates* é reduzir o risco associado a um novo desenvolvimento (CREVELING et al., 2003; COOPER, 2006)

As fases comuns a diferentes modelos de PDP podem ser nomeadas como: identificação de oportunidades, levantamento de informações, geração do conceito e detalhamento do projeto do produto. Ressaltando que a fase de identificação de oportunidades não faz parte do escopo deste trabalho.

O levantamento de informações é a fase na qual se organiza os requisitos do produto; a geração do conceito é a fase em que ocorre *trade-offs*, na qual os requisitos são combinados para formarem diferentes arquiteturas dos produtos; e o detalhamento do projeto do produto é a fase que o conceito do produto é detalhado em parâmetros e especificações. Estas fases são fundamentais para a gestão dos requisitos.

3.2 Gestão de Requisitos no PDP

Um requisito pode ser definido como descrições de como o sistema deve se comportar e as suas restrições operacionais (KOTONYA; SOMMERVILLE, 2000). Para Rozenfeld et al. (2006) requisitos são características que o produto deve atender segundo os valores-meta, desdobrados a partir das demandas dos clientes, que são as necessidades organizadas, categorizadas e estruturadas.

A gestão de requisitos (RM, do inglês *Requirements Management*) pode ser definida como a estruturação e administração de informação para elicitação, derivação, análise, coordenação, tradução e localização dos requisitos durante o ciclo de vida do produto (HOFFMANN et al., 2004).

A elaboração da lista de requisitos envolve dois estágios. No primeiro estágio são definidos e documentados os requisitos de negócio. No segundo estágio, estes requisitos são complementados ou melhor detalhados. As principais etapas para elaboração de uma lista de requisitos são: planejamento do projeto do produto (aprovação do projeto); definição dos requisitos para o mercado e para os clientes; documentação dos mesmos; lista de verificação e, por fim, há a definição da lista de requisitos. Esta fase é a de levantamento de informações, as quais podem ser levantadas, por exemplo, por meio de uma pesquisa de mercado qualitativa. Para auxiliar na elaboração da lista de requisitos, e a conversão destes em requisitos do produto, sugere-se a utilização da metodologia QFD. Esta metodologia é

indicada para auxiliar na elaboração da lista de requisitos por meio de uma melhor formulação das demandas dos clientes (PAHL et al., 2005).

Antes de iniciar a fase de desenvolvimento do produto, as especificações das variáveis para elaboração do conceito são identificadas, uma vez que influenciam o andamento do projeto e determinam o formato do produto. Este esclarecimento é realizado por meio de um processo que gera a lista de requisitos do produto. A lista de requisitos deve conter, por exemplo, as informações do usuário (empresa e departamento), denominação do projeto/produto, requisitos classificados em necessidades, data da elaboração da lista completa, data da última revisão, número da edição como identificação e número de páginas (PAHL et al., 2005).

As fases da gestão de requisitos, segundo Young (2003) e Marx (2009), compreendem: mapeamento do cenário; identificação dos *stakeholders*; entendimento/levantamento das necessidades dos *stakeholders*; transformação das necessidades em requisitos dos *stakeholders* (identificação e esclarecimento dos requisitos); análise de conflitos, negociação e priorização dos requisitos; obtenção dos requisitos do produto/sistema (teste, verificação, validação e especificação dos requisitos); conversão dos requisitos em funções; desdobramento dos requisitos (alocação dos requisitos em subsistemas); monitoramento dos requisitos.

Em relação à gestão de requisitos, foram identificadas diversas ferramentas para a análise dos *trade-offs* entre os requisitos. Verifica-se que vários autores citam a Matriz de Pugh (PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; ULRICH; EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008). Crawford e Di Benedetto (2000) e Ulrich e Eppinger (2000) sugerem também a utilização da ferramenta estatística Análise Conjunta, uma vez que essa técnica é útil para refinar as especificações dos produtos. Para Sauerwein et al. (1996), o modelo Kano auxilia nas situações de *trade-offs* no desenvolvimento de produtos, uma vez que o modelo consegue identificar quais requisitos do produto influenciam mais a satisfação dos clientes.

Um método que integra informações e ferramentas é denominado na literatura por DFSS (*Design for Six Sigma*). O DFSS consiste em uma metodologia baseada em ferramentas analíticas para auxiliar no desenvolvimento de novos produtos (CREVELING et al., 2003). O DFSS considera as exigências do mercado e dos clientes, e verifica quantitativamente o quanto as especificações estão sendo atendidas por meio do cálculo de índices de capacidade entre as fases do PDP.

3.3 Gestão de Parâmetros Críticos no PDP

Creveling et al. (2003) apresentam a gestão de requisitos em um contexto de DFSS para verificar as relações das variáveis críticas para o processo: O CPM (do inglês, *Critical Parameters Management*). O CPM concentra esforços nas características críticas do produto que, quando controladas e ajustadas, poderão garantir melhorias no produto final. Por sua vez, o CPM compreende as seguintes atividades: identificação das necessidades críticas do mercado; exigências técnicas críticas; respostas funcionais críticas; parâmetros funcionais críticos; especificações críticas para a função.

Cada fase do CPM tem como entrada e saída variáveis mensuráveis que representam os parâmetros. Os parâmetros podem ser definidos como variáveis mensuráveis que caracterizam os Sistemas, Subsistemas e os Componentes (SSC's). Os sistemas são influenciados por variáveis dos subsistemas. E os subsistemas, por sua vez, são influenciados por variáveis dos componentes.

A Figura 3 mostra o desdobramento dos SSC's. As exigências partem das demandas do mercado, que são aquelas características percebidas pelos clientes. Em um primeiro nível, as variáveis resposta dos sistemas (Y_{Si} 's) são influenciadas por variáveis explicativas dos subsistemas (X_{SSi} 's). Em outro nível, as variáveis resposta dos subsistemas (Y_{SSi} 's) são influenciadas pelas variáveis explicativas dos componentes (X_{Ci} 's). As tolerâncias e exigências da manufatura são associadas aos componentes (CREVELING et al., 2003). O relacionamento entre essas variáveis é dado pela função de transferência sistema/subsistema, que estuda matematicamente as relações entre as variáveis $Y_{Si} = f(X_{SS1}, X_{SS2}, X_{SS3}, \dots, X_{SSi})$ e o mesmo ocorre com os subsistemas/componentes, isto é, $Y_{SSi} = f(X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}, \dots, X_{Ci})$. Onde, $i = 1, \dots, k$; k : número de variáveis; Si : sistema i ; SSi : subsistema i ; Ci : componente i ; Y_{Si} : variável resposta do sistema i , Y_{SSi} : variável resposta do subsistema i ; X_{SSi} : variável explicativa do subsistema i e X_{Ci} : variável explicativa do componente i . A análise de regressão pode ser utilizada para criar as funções de transferência a partir das medições das entradas e saídas dos sistemas (CREVELING et al., 2003; VRINAT, 2007).

Em relação à gestão de requisitos e parâmetros críticos há uma sobreposição, porém com ênfases diferentes. A gestão de requisitos enfatiza a identificação, o desdobramento, a seleção, a negociação e priorização dos requisitos dos clientes em requisitos do produto, enquanto que a gestão de parâmetros críticos enfatiza as características dos componentes e subsistemas que impactam significativamente nos requisitos do produto.

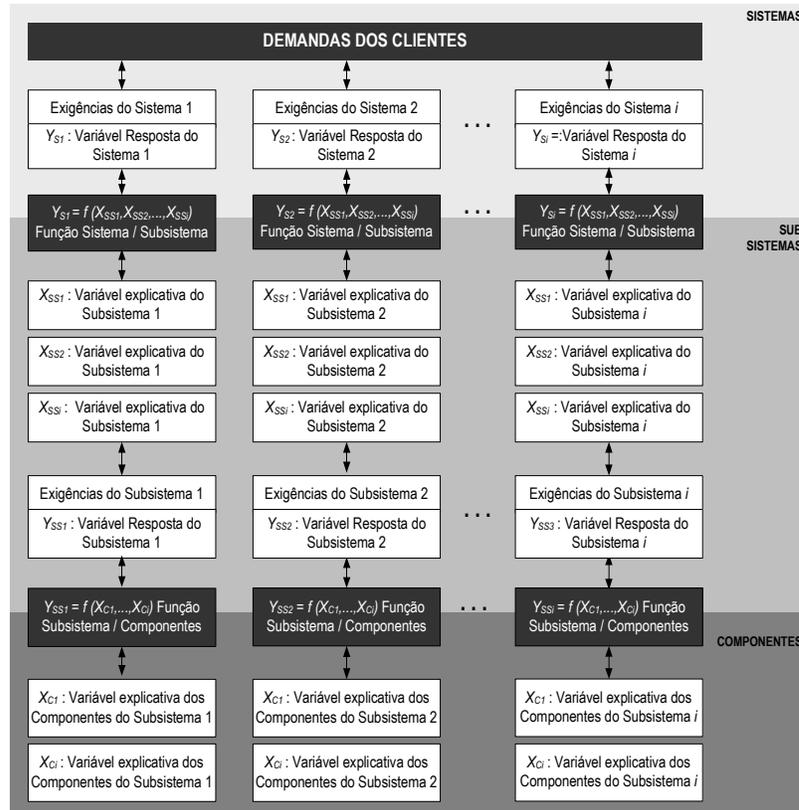


Figura 3 - Gestão de Parâmetros Críticos
Fonte: Adaptado de Creveling et al. (2003)

A visão do CPM é de sistemas para subsistemas e componentes, isto é, o produto é desmembrado *flow-down* (FIGURA 4). Essa fase está associada à geração do conceito no desenvolvimento de produtos. Na fase seguinte, verifica-se se os resultados encontrados atendem às especificações desejadas no início do PDP, calculando-se a capacidade dos parâmetros críticos. Esse cálculo segue o raciocínio contrário, *flow-up*, isto é, garantindo-se a capacidade dos componentes, garante-se a capacidade dos subsistemas e dos sistemas que estão relacionados. Neste caso, a fase é o detalhamento do projeto do PDP.

O CPM utiliza como métrica os índices de C_p e C_{pk} . Esses índices da capacidade do processo são: o índice de capacidade potencial do processo (C_p), que mede quanto o processo pode fabricar o produto-serviço satisfazendo às tolerâncias especificadas; e o índice de capacidade do processo nominal (C_{pk}), que mede o desempenho do processo, isto é, considera a amplitude e o deslocamento relativo da média em relação às especificações (MONTGOMERY, 2004). Segundo Rozenfeld et al. (2006), a capacidade do processo é utilizada para identificar os índices do processo de manufatura e serve para monitorar o processo, procurando garantir que ele consiga fornecer as tolerâncias das especificações dos SSC's, que resultam nos parâmetros críticos do produto final.

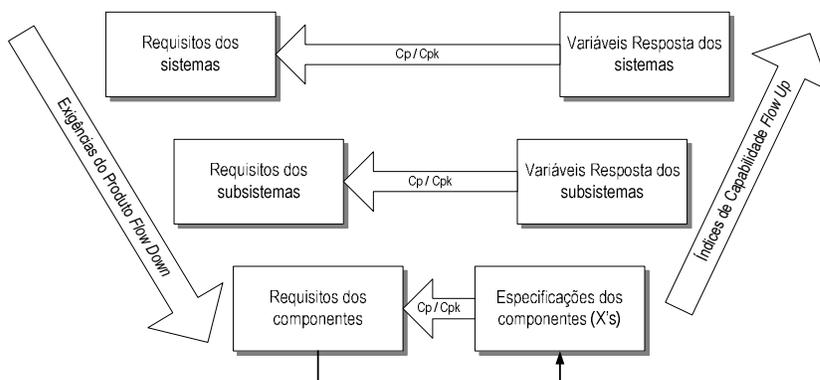


Figura 4 - Desdobramento *flow-down* das exigências do sistema para as exigências dos componentes
 Fonte: Adaptado de Judd (2005)

Em relação aos parâmetros críticos dos SSC's verifica-se que a nomenclatura diverge dentre os autores pesquisados. Pahl et al. (2005) comentam que o QFD pode auxiliar na definição de exigências técnicas críticas e na identificação de componentes críticos, mas não apresentam uma aplicação dessa ferramenta em algum exemplo prático.

Os autores Ullman (1997), Rozenfeld et al. (2006) e Back et al. (2008) sugerem como apoio para a gestão de parâmetros críticos o método Taguchi (Projeto Robusto) e DOE (*Design of Experiments*). O projeto robusto inicia com o entendimento da voz do cliente para identificar quais requisitos atendem a um conceito robusto, isto é, quando o conceito do produto é resultado do melhor equilíbrio entre os *trade-offs* dos requisitos tornando-o menos sensível aos fatores de variação que podem causar falhas posteriores (DICKINSON, 2006). Este projeto foi desenvolvido e validado por Dr. Genichi Taguchi entre os anos 50 e 60, e consiste em uma metodologia eficiente e sistemática que aplica a estatística experimental para melhorar o planejamento de produtos e processos de manufatura por meio de um estudo dos fatores controláveis sob os fatores ruído. Os fatores ruído são aqueles que afetam o desempenho do sistema, mas que não podem ser controlados ou a equipe de trabalho não tem interesse em controlá-los. Deste modo, um projeto robusto é aquele cujo produto é menos sensível aos fatores de ruído (MYERS; KHURI; VINING, 1992; MONTGOMERY, 2001; HU; YANG; TAGUCHI, 2000).

Para Clausing (1994), a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) pode ser utilizada para identificar os parâmetros funcionais críticos, fatores controláveis e fatores ruídos.

Concluindo, para Judd (2005), a gestão de parâmetros críticos é um método de suporte ao PDP. A captura sistemática do conhecimento proveniente do desempenho do produto adiciona valor ao programa de desenvolvimento e valor para a companhia, pois fornece a possibilidade

de reusar, compartilhar e distribuir este conhecimento do desempenho do produto por toda a organização.

As propostas de gestão de requisitos e parâmetros críticos são abordadas em diferentes áreas e, dependendo da área os autores enfatizam diferentes atividades e ferramentas. O projeto de um *software* pode ser um produto único, assim a influência do usuário ou cliente final é mais intensa ao longo do projeto. E devido ao intenso envolvimento com os clientes e a ocorrência de mudança de requisitos, necessita-se de um controle de configuração do produto. Assim, na engenharia de *software* a ênfase é no levantamento, tratamento e acompanhamento das mudanças dos requisitos ao longo do processo de desenvolvimento do produto (*software*) (HOFFMANN et al., 2004; YOUNG, 2003). A gestão de requisitos sob a perspectiva da engenharia de produto (MARX, 2009) também enfatiza as fases iniciais do PDP, demonstrando como tratar a informação bruta e convertê-la na linguagem de requisitos. A gestão dos requisitos no PDP é realizada principalmente nas fases de levantamento de informações, tratando-se de requisitos de um novo produto. As fases da gestão de parâmetros críticos são apresentadas por Creveling et al. (2003). Este autor tem origem na engenharia de qualidade e a ênfase é na definição dos parâmetros críticos e no acompanhamento das especificações na avaliação da qualidade do produto durante e após o desenvolvimento do produto.

4. CENÁRIO DA GESTÃO DE REQUISITOS E PARÂMETROS CRÍTICOS

Com base na revisão bibliográfica, construiu-se uma revisão das fases propostas pelos autores mencionados anteriormente. A Figura 5 ilustra o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionado ao PDP. Em relação à gestão de requisitos e à gestão de parâmetros críticos percebe-se uma sobreposição de práticas, mudando apenas o enfoque. Requisitos são derivados de exigências do consumidor/mercado/estratégia da empresa tratados pela engenharia de produto e engenharia de *software* nas fases iniciais (até a conclusão do desenvolvimento do produto) do PDP, enquanto que parâmetros críticos é uma denominação que surgiu na engenharia da qualidade. Os parâmetros críticos são variáveis que uma vez controladas impactam no atendimento aos requisitos do produto.

A identificação dos requisitos de um produto ou serviço no âmbito da gestão de requisitos inicia com a identificação de oportunidades e segue durante as demais fases do PDP (FIGURA 5). A identificação de oportunidades inclui a segmentação de mercado, a gestão de portfólio, a definição dos *stakeholders* do projeto, entre outras atividades. Os requisitos são

provenientes das demandas do mercado, que por sua vez podem ser conflitantes. O desafio passa a ser encontrar as combinações de soluções ou conceitos que atendam de maneira ótima a estas demandas. Esse processo é fundamental no PDP, uma vez que o entendimento das características-chave que o produto deve atender não depende somente das características intrínsecas do produto, depende de todo o ambiente que o envolve. Este ambiente é a fonte dos requisitos que devem atender às características vindas de toda a cadeia produtiva e do ciclo de vida do produto.

Adota-se, neste artigo, que a transformação das demandas do mercado em requisitos do produto pode ser descrita da seguinte forma: as demandas do mercado são transformadas em requisitos dos clientes, que são classificados e convertidos nos requisitos do produto e nas suas especificações-meta (valores-meta quantificáveis).

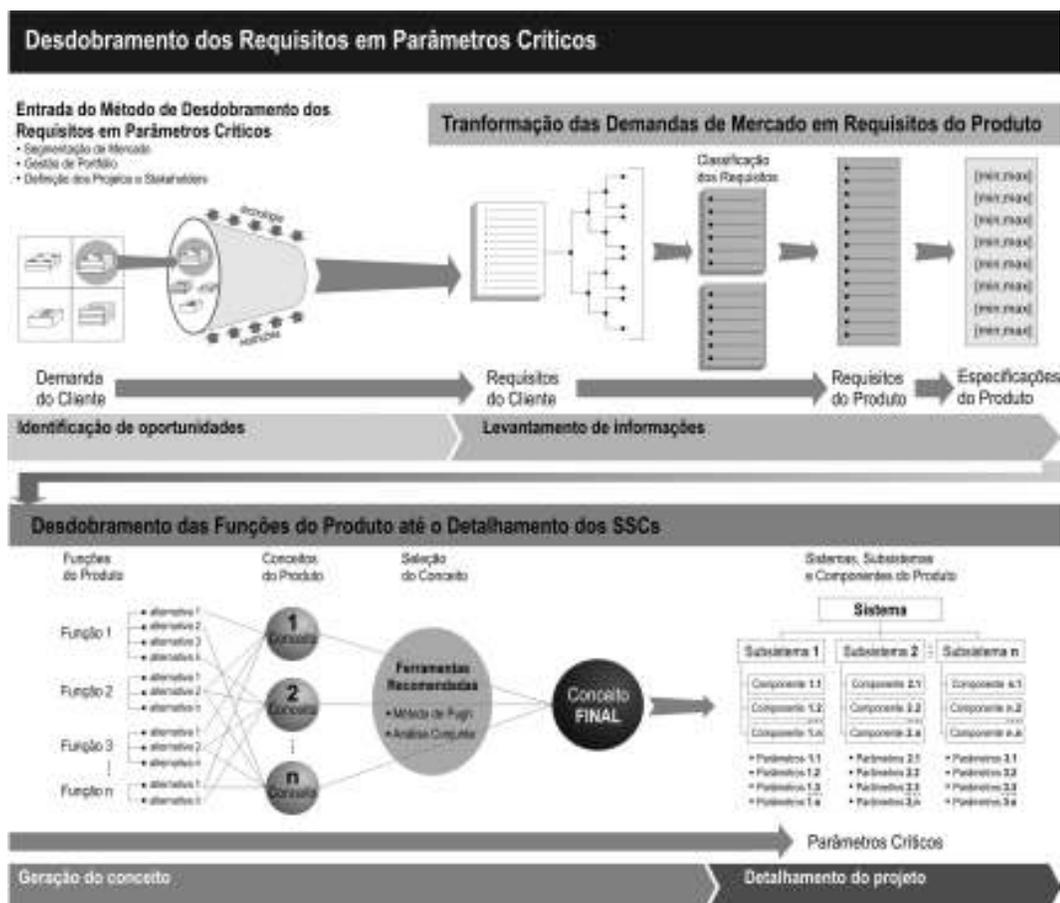


Figura 5 – Desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos

O desdobramento das funções do produto até o detalhamento dos SSC's pode ser descrito da seguinte forma: a partir dos requisitos dos clientes são definidas as funções dos produtos, para as quais se determinam os princípios de solução, ocorrendo a seleção de um conceito final com o auxílio de ferramentas como Análise Conjunta e Matriz de Pugh (ULRICH;

EPPINGER, 2000). Os requisitos do produto são desdobrados em requisitos dos SSC's, que, juntamente com os princípios de solução, definem as especificações dos sistemas, subsistemas e componentes (CREVELING et al., 2003). Alguns parâmetros são críticos, pois estão diretamente relacionados com o atendimento das demandas do mercado (FIGURA 5).

A fim de operacionalizar os itens destacados na Figura 5, sugere-se a utilização de ferramentas ligadas às fases do PDP, para tal propõe-se uma revisão de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao processo de desenvolvimento de produtos.

5. PROPOSTA DE UMA REVISÃO E INSERÇÃO DE ATIVIDADES PARA O DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS EM PARÂMETROS CRÍTICOS RELACIONADA AO PDP

A revisão e inserção das atividades relativas à RM e à CPM proposta para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP é composta por dez fases. As quais foram sugeridas a partir da combinação das fases propostas na literatura consultada concernente à gestão de requisitos (RM) e à gestão de parâmetros críticos (CPM) dos autores Creveling et al. (2003), Young (2003) e Marx (2009). Estes autores foram escolhidos pela sua complementariedade nas diferentes áreas de conhecimento que tratam o tema, mencionadas anteriormente.

As dez fases da revisão e inserção de atividades são: (i) mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto; (ii) identificar os *stakeholders* do projeto; (iii) identificar, classificar e priorizar os requisitos dos *stakeholders*; (iv) identificar e priorizar os requisitos do produto; (v) desdobrar as funções e alternativas de conceitos; (vi) balanceamento dos requisitos; (vii) identificar os SSC's críticos do produto; (viii) desdobrar os requisitos do produto em requisitos dos SSC's; (ix) identificar os parâmetros funcionais críticos; (x) determinar as especificações críticas para a função do produto.

Além do encadeamento com o PDP, esta revisão de atividades proporcionou uma reorganização das fases da gestão de requisitos e da gestão de parâmetros críticos em um modelo integrado, unindo as fases das áreas de conhecimento que tratam sobre RM e CPM sob suas perspectivas, neste caso a engenharia de *software* (YOUNG, 2003), a engenharia de produto (MARX, 2009) e a engenharia de qualidade (CREVELING et al., 2003).

Marx (2009) ressalta o tratamento da informação bruta, da linguagem do cliente e da linguagem técnica de requisitos; o autor Young (2003) enfatiza no ciclo de gestão de

requisitos de tal forma que sejam levantados e negociados os requisitos mantendo a rastreabilidade dos mesmos; os autores Creveling et al. (2003) destacam a integração de ferramentas que garantam a rastreabilidade e a tradução do que é crítico para a qualidade do produto em funcionalidades mensuráveis; e a revisão de atividades proposta neste artigo e intitulada de Faccio (2010) une fases/atividades destes autores provenientes das diferentes áreas de conhecimentos e enfatiza na identificação dos parâmetros críticos de um produto que ainda não foi lançado no mercado e tão pouco existem protótipos do mesmo. A Figura 6 ilustra as fases/atividades relacionadas à RM e à CPM dos autores anteriormente mencionados.

Marx (2009)	Young (2003)	Creveling et al. (2003)	Faccio (2010)
Mapeamento do cenário			Mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto
Identificação dos <i>stakeholders</i>	Identificação dos <i>stakeholders</i>		Identificar os <i>stakeholders</i> do projeto
Levantamento das necessidades dos <i>stakeholders</i>	Entendimento das necessidades dos usuários e clientes	Levantamento da voz do cliente	
Conversão das necessidades em requisitos dos <i>stakeholders</i>	Identificação dos requisitos, incluindo requisitos do negócio Esclarecimento dos requisitos		Identificar, priorizar e classificar os requisitos dos <i>stakeholders</i> Identificar e priorizar os requisitos do produto
Análise de conflitos, negociação e priorização dos requisitos	Análise dos requisitos Definir os requisitos de maneira que tenham o mesmo significado para todos os <i>stakeholders</i> Priorização dos requisitos	Refinamento da voz do cliente	Desdobramento das funções e alternativas de conceitos Balanceamento dos requisitos
Obtenção dos requisitos do sistema-produto	Teste, verificação, validação e especificação dos requisitos	Geração da lista de requisitos do sistema	Identificar os SSC's críticos do produto
Conversão dos requisitos em funções	Derivação e classificação dos requisitos		
Desdobramento dos requisitos	Alocação dos requisitos em subsistemas	Definição dos requisitos dos subsistemas e de submontagem Definição dos requisitos dos componentes	Desdobrar os requisitos do produto em requisitos dos SSC's
Controle dos requisitos	Monitoramento dos requisitos Gerenciamento dos requisitos		
		Gestão de parâmetros críticos	Identificar os Parâmetros funcionais críticos Determinar as Especificações críticas para a função

Figura 6 – Atividades/Fases relacionadas à RM e à CPM

A proposta da revisão e inserção de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP é apresentada na Figura 7. Esta proposta alinha as atividades do PDP, as fases da gestão de requisitos e as fases da gestão de parâmetros críticos, com as principais ferramentas recomendadas pela literatura consultada.

Macro-fases PDP	Fases PDP	Atividades do PDP	DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS EM PARÂMETROS CRÍTICOS	Ferramentas
Produto	DESENVOLVIMENTO	Levantamento de informações	1 Mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto	Matriz de oportunidades e ameaças, forças e fraquezas, SWOT
			2 Identificar os stakeholders do projeto	
			3 Identificar, priorizar e classificar os requisitos dos stakeholders	Pesquisa de Mercado
	Geração do conceito	Desenvolver princípios de solução para as funções; Gerar alternativas de conceito; Desenvolver alternativas de solução para o produto; Definir a arquitetura, ergonomia e estética do produto; Avaliar as alternativas de conceito de produto que atendam às funções do produto (testar e selecionar conceitos); Selecionar a concepção do produto;	4 Identificar e priorizar os requisitos dos produto	Matriz da qualidade do QFD
			5 Desdobrar as funções e alternativas de conceitos	Matriz Morfológica
			6 Balanceamento dos requisitos	Telhado da Matriz da Qualidade, Análise Conjunta, DOE, Matriz de Pugh
	Detalhamento do projeto do produto	Criar e detalhar os SSC's. O produto é desmembrado em sistemas, subsistemas e componentes (SSC's); Planejamento do processo de fabricação e montagem; Avaliar as SSC's / Entender a relação entre os parâmetros críticos para subsistemas e componentes; Otimizar o produto e o processo; Definir as exigências e as métricas críticas para os SSC's; Testar e homologar o produto.	7 Identificar os SSC's críticos do produto	Matriz do produto do QFD
			8 Desdobrar os requisitos do produto em requisitos dos SSC's	DOE, Projeto Robusto, Matriz das Características das Partes do QFD
			9 Identificar os parâmetros funcionais críticos	Regressão, DOE, FMEA, Matriz dos Parâmetros do Processo do QFD
10 Determinar as especificações críticas para a função do produto			Projeto Robusto, DOE	

Figura 7 – Revisão e inserção de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos no PDP

A Figura 8 apresenta os objetivos das dez fases da revisão de atividades proposta neste artigo, e as entradas e saídas de cada fase. As fases sugeridas são discutidas na seqüência.

Fases	Objetivo	Entrada	Saída
i) Mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto	Entender o contexto tecnológico e social externos à organização e a cadeia produtiva. Realizar o levantamento de oportunidades e mapear o ciclo de vida do produto.	Levantamento da tecnologia, da cadeia produtiva e de oportunidades	Oportunidades, Mapeamento do ciclo de vida do produto
ii) Identificar os <i>stakeholders</i> do projeto	Definir todos os envolvidos com o produto em desenvolvimento, isto é, os <i>stakeholders</i> .	Mapeamento do ciclo de vida do produto	Definição dos <i>stakeholders</i> do projeto
iii) Identificar, priorizar e classificar os requisitos dos <i>stakeholders</i>	Levantar as demandas dos <i>stakeholders</i> do projeto, priorizá-las e classificá-las.	Definição dos <i>Stakeholders</i> do projeto	Requisitos dos <i>stakeholders</i> classificados
iv) Identificar e priorizar os Requisitos do produto	Converter os requisitos dos <i>stakeholders</i> em requisitos do produto.	Requisitos dos <i>stakeholders</i> classificados	Requisitos do produto
v) Desdobrar as funções e alternativas de conceitos	Desdobrar as funções que atendem aos requisitos dos <i>stakeholders</i> , identificando as alternativas de soluções para cada função e gerando alternativas de conceitos.	Requisitos dos <i>stakeholders</i> e do produto	Alternativas de conceitos
vi) Balanceamento dos requisitos	Analisar os requisitos do produto para verificar a existência de conflitos para possível solução ou negociação e realizar um balanceamento dos requisitos culminando com a escolha do conceito do produto.	Requisitos do produto, Alternativas de conceitos	Conceito do produto
vii) Identificar os SSC's críticos do produto	Mapear as partes críticas para os subsistemas e componentes.	Conceito do produto, Requisitos do produto	SSC's críticos do produto
viii) Desdobrar os requisitos do produto em requisitos dos SSC's	Desdobrar os Requisitos do produto em requisitos do Sistema, Subsistemas e componentes (SSC's).	SSC's críticos do produto	Requisitos dos SSC's
ix) Identificar os Parâmetros funcionais críticos	Identificar os parâmetros funcionais críticos do produto.	Requisitos dos SSC's	Parâmetros funcionais críticos
x) Determinar as especificações críticas para a função do produto	Determinar as especificações críticas para a funcionalidade do produto.	Parâmetros funcionais críticos	Especificações críticas

Figura 8 – Fases, Objetivos, Entradas e Saídas da revisão e inserção de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos

Na fase de **mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto** deve-se entender o contexto tecnológico e social externos à organização, a cadeia produtiva, informações sobre o ambiente competitivo, análise da concorrência, a identificação de oportunidades e detalhamento do ciclo de vida do produto. Segundo Venzke (2002) e Hauschild; Jeswiet; Alting (2005), o ciclo de vida de um produto é formado pelas seguintes etapas principais: extração das matérias-primas, produção, transporte, uso e descarte após o uso. Esta fase é realizada no levantamento de informações do PDP. Para a identificação de oportunidades sugere-se um levantamento de oportunidades de desenvolvimento, levantamento dos produtos atuais desenvolvidos pela empresa, banco de idéias, escolha de uma idéia a ser desenvolvida e análise de portfólio. Considerando que o mercado é uma combinação de vários tipos de

clientes, necessidades e produtos, é necessário determinar quais são os segmentos mais adequados para se atingir as metas estabelecidas para o desenvolvimento do produto, ou seja, definir a segmentação do mercado (CHENG; DE MELO FILHO, 2007). Como ferramenta de apoio a essa fase sugere-se a Matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*), que é a combinação das ameaças e oportunidades do ambiente externo com os pontos fortes e fracos do ambiente interno, buscando assim uma adequação entre as capacidades internas e as possibilidades externas (MINTZBERG et al., 2002). Posteriormente ao mapeamento do cenário do projeto e do ciclo de vida do produto devem-se identificar os envolvidos com o PDP, uma vez que estes serão fonte de requisitos.

Na fase de **identificar os stakeholders do projeto** mapeiam-se todos os envolvidos nas principais etapas do ciclo de vida do produto (planejamento do projeto, fabricação, montagem, armazenagem, transporte e distribuição, venda, compra, uso e manutenção, desativação, descarte, reciclagem) (BACK et al., 2008). Essa fase é cumprida na fase de levantamento de oportunidades do PDP. Os *stakeholders* são fonte de geração de requisitos e podem ser formados pelos usuários finais (clientes), concorrentes, fornecedores, gestores, engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento do produto organizações, órgãos regulamentadores, entre outros envolvidos com o projeto em desenvolvimento (KOTONYA; SOMMERVILLE, 2000). A partir da identificação dos *stakeholders*, procede-se com a realização do levantamento dos seus requisitos.

Na seqüência, **identificar, priorizar e classificar os requisitos dos stakeholders** é a fase na qual se coletam as demandas dos *stakeholders*, as transformam em requisitos, os priorizam e os classificam, e realiza-se na fase de levantamento de informações do PDP. Uma ferramenta útil para a obtenção dos requisitos dos *stakeholders* é a Pesquisa de Mercado, uma vez que aponta as demandas dos *stakeholders*, as quais são convertidas em requisitos (CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006; TYAGI; SAWHNEY, 2010). A pesquisa de mercado identifica as preferências dos clientes, determinando as características necessárias para prover um produto mais aceitável no mercado o qual se destina (BAXTER, 2000; MALHOTRA, 2003; ROZENFELD et al., 2006). Os requisitos apontados na pesquisa de mercado devem ser priorizados e analisados, sendo assim necessário classificá-los, a fim de selecionar quais destes serão desdobrados no QFD e quais serão registrados em um banco de dados para análises posteriores.

Para a classificação dos requisitos sugere-se a utilização da idéia adaptada de Kano et al. (1984), Rozenfeld et al. (2006) e Back et al. (2008), uma vez que no estudo de MATZLER et

al. (1998) os autores mostraram como o modelo Kano pôde ser integrado no QFD, desta forma projetos de desenvolvimento de produtos podem ser administrados mais sistematicamente e com benefícios consideráveis (vide MATZLER et al., 1998; GOVERS, 1994). Sendo assim, os requisitos provenientes dos clientes internos, externos e intermediários, os quais foram classificados como negociáveis (atrativos ou lineares) e não-negociáveis (normativos e/ou óbvios). Os negociáveis ingressarão no QFD, enquanto que os não-negociáveis serão registrados em um banco de dados e inseridos na lista de exigências do produto juntamente com os requisitos que ingressaram no QFD. Este posicionamento surgiu de um estudo de vários autores sobre a classificação dos requisitos. Uma vez realizada a identificação dos requisitos dos *stakeholders*, procede-se com a tradução destes nos requisitos do produto, os quais são os atributos do produto que podem ser manipulados para satisfazer os requisitos dos *stakeholders*.

Para **identificar e priorizar os requisitos do produto**, os requisitos dos *stakeholders* são convertidos em requisitos do produto, que são as características que o produto deve atender ao longo do seu ciclo de vida, para tal devem ser convertidos em expressões mensuráveis. Essa fase realiza-se na fase de levantamento de informações do PDP. A literatura consultada sugere como suporte para a priorização dos requisitos a metodologia QFD, mais precisamente a Matriz da Qualidade do QFD (AKAO; MIZUNO; 1994; PAHL; BEITZ, 1996; ROOZENBURG; EEKELS, 1996; CREVELING et al., 2003; CRAWFORD; DI BENEDETTO, 2000; ULRICH; EPPINGER, 2000; DICKINSON, 2006; ROZENFELD et al., 2006).

Segundo Pahl et al. (2005), essa metodologia auxilia no planejamento do produto e do processo voltado ao cliente. Os requisitos dos *stakeholders* são convertidos em requisitos dos produtos e esses em seqüenciamentos de fabricação e exigências da produção. Essa metodologia busca uma maior interação com os clientes, traduzindo os requisitos dos clientes em características do produto e atividades de planejamento e controle do processo (FERREIRA; TOLEDO, 2001). A Matriz da Qualidade é a primeira matriz do QFD, que combina informações sobre os *stakeholders*, características desejáveis dos produtos concebidos, métricas de desempenho e *trade-offs* (DYM; LITTLE, 2004). No momento que se identificam os requisitos dos *stakeholders* e do produto procede-se com o desdobramento de funções que atendem aos requisitos dos *stakeholders*.

Para **desdobrar as funções e alternativas de conceitos** devem-se definir as funções que o produto deve conter para atender aos requisitos dos *stakeholders*, identificando as alternativas

de soluções para cada função e conceito. Essa fase cumpre-se na fase de geração do conceito do PDP. Para a geração de alternativas de conceito sugere-se a utilização da Matriz Morfológica, uma vez que auxilia a equipe de projeto a encontrar um conjunto de alternativas de solução para o produto por meio de uma análise sistemática da configuração do produto final. Essa matriz auxilia na captura e visualização das funcionalidades necessárias para o produto e explora meios alternativos e combinações para atender às funções (ROZENFELD et al., 2006). A partir da geração das alternativas de conceitos emana-se com a escolha do conceito do produto.

Para o **balanceamento dos requisitos**, que se cumpre na fase de geração do conceito do produto, sugere-se a utilização da Análise Conjunta ou da Matriz de Pugh (PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; ULRICH; EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006 e BACK et al.; 2008). Segundo Green et al. (1981), a primeira adaptação do método de Análise Conjunta para a otimização do planejamento de produtos foi proposta por Zufryden (1977), no qual o modelo assumia que o consumidor comparava a utilidade de um produto teste com a de um da marca concorrente favorita e selecionava o produto com a utilidade superior. Essa técnica estatística pode ser utilizada na geração do conceito do produto no PDP para a negociação dos requisitos, ou seja, testa e seleciona o conceito do produto (CRAWFORD; DI BENEDETTO, 2000). A Análise Conjunta avalia os diferentes conceitos e determina um conceito ótimo por meio da combinação dos níveis dos atributos do produto, estimando a importância de cada atributo na escolha do consumidor (MOORE et al., 1999).

Da mesma forma, a Matriz de Pugh avalia alternativas de conceitos auxiliando na seleção do conceito do sistema, triagem de idéias para novos produtos e nos *trade-offs* entre os requisitos. Avalia as alternativas de conceitos geradas pela Matriz Morfológica, na qual contém as alternativas e critérios de avaliação (CLAUSING, 1994; ROZENFELD et al., 2006). Definido o conceito do produto, o próximo passo é identificar os SSC's críticos do produto.

Mas, primeiramente, deve-se avaliar os requisitos do produto para verificar a existência de conflitos para possível solução ou negociação. Autores como Matzler et al. (1998), Pahl et al. (2005) e Back et al. (2008) sugerem que o telhado da Matriz da Qualidade do QFD seja útil para analisar os conflitos entre os requisitos, auxiliando nos *trade-offs* dos requisitos do produto, uma vez que o telhado analisa as relações entre os requisitos do produto e define quanto a alteração de um dado requisito influenciará em outro requisito (BACK et al., 2008).

A fase **identificar os SSC's críticos do produto** é responsável por mapear as partes críticas para os subsistemas e componentes, e esta fase cumpre-se no detalhamento do projeto do produto no PDP. Uma ferramenta que pode servir de apoio a essa fase é a Matriz do Produto (QFD), uma vez que essa matriz desdobra o produto nas diferentes partes que o compõe, auxiliando na identificação de partes críticas para a qualidade do produto final, possibilitando a priorização das partes a serem desenvolvidas (RIBEIRO et al., 2001). Em seguida a obtenção dos SSC's críticos do produto procede-se com o desdobramento dos requisitos do produto em requisitos dos SSC's.

Na fase de **desdobrar os requisitos do produto em requisitos dos SSC's**, os requisitos do produto são desdobrados nos requisitos dos sistemas, subsistemas e componentes, e essa fase é realizada no detalhamento do projeto do PDP. A literatura sugere a utilização das ferramentas DOE (*Design of Experiments*) e Projeto Robusto como suporte a esta fase (ULLMAN, 1997; ULRICH; EPPINGER, 2000; CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al. 2006; BACK et al., 2008). O DOE pode ser utilizado para medir os fatores (parâmetros) que podem maximizar o desempenho de um produto, sendo assim uma ferramenta útil para o melhoramento do processo de elaboração de um produto (MONTGOMERY, 2001; CREVELING et al., 2003; BACK et al., 2008).

O Projeto Robusto melhora a satisfação dos consumidores, reduzindo custos e tempo de desenvolvimento, sendo capaz de eliminar uma grande quantidade de retrabalho no PDP e busca definir os níveis dos fatores do processo que conduzam às características funcionais do produto aos níveis desejados e que minimizam a influência dos ruídos (CLAUSING, 1994, BARBETTA et al., 1998). Ao invés de remover os ruídos, o que pode ser de difícil execução ou de alto custo, o projeto robusto procura remover os efeitos negativos gerados pelos ruídos, sem aumentar os custos de produção (BARBETTA et al., 1998). Montgomery (2001) elucida que conhecendo quais fatores controláveis interagem nos fatores ruído é possível minimizar os efeitos dos fatores ruído por meio dos fatores controláveis. Nota-se que os fatores controláveis são os parâmetros do projeto (por exemplo, do subsistema) que uma vez otimizados são capazes de reduzir o efeito dos fatores ruído no sistema e, conseqüentemente, no produto. O projeto robusto é utilizado na execução dos ensaios necessários para validar os parâmetros do processo (ROZENFELD et al., 2006).

Outra ferramenta útil a essa fase é a Matriz das Características das Partes (QFD), uma vez que essa matriz evidencia quais as características a serem controladas, no nível de componentes e subsistemas, pois cruza as partes mais importantes com as características de qualidade,

permitindo visualizar as características a serem controladas nas partes críticas para a qualidade (RIBEIRO et al., 2001). Uma vez definidos os requisitos dos SSC's procura-se identificar quais são os parâmetros críticos.

A fase de **identificar os parâmetros funcionais críticos** cumpre-se na fase de detalhamento do projeto do PDP. Como ferramentas e técnicas de apoio a essa fase sugere-se Análise de Regressão para obtenção dos parâmetros críticos, DOE para a otimização desses parâmetros e FMEA para a atualização dos parâmetros críticos (CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006; VRINAT, 2007). A análise de regressão é uma técnica estatística utilizada para estudar as relações entre duas ou mais variáveis, e prever o valor de uma variável resposta por meio de um conjunto de variáveis preditoras (MONTGOMERY; RUNGER, 2007). Deste modo, essa técnica pode ser útil para auxiliar na gestão de parâmetros críticos do produto, verificando, por exemplo, o quanto as variáveis dos subsistemas afetam os sistemas (CREVELING et al., 2003; VRINAT, 2007). O FMEA desempenha o papel de corrigir e evitar falhas, ou seja, é uma ferramenta de prevenção, podendo ser realizada durante toda a fase de detalhamento do projeto de um produto (GINN et al., 1998; ROZENFELD et al., 2006).

Outra ferramenta favorável a essa fase é a Matriz dos Parâmetros do Processo, pois essa matriz permite visualizar os principais parâmetros do processo a serem controlados, uma vez que a qualidade da manufatura dependerá muitas vezes do controle desses parâmetros (RIBEIRO et al., 2001). Tendo sido identificados os parâmetros críticos, o próximo passo é definir as respectivas especificações críticas.

Na fase de **determinar as especificações críticas para a função** identificam-se as especificações críticas para a função do produto, e a essa fase realiza-se na fase de detalhamento do projeto do PDP. Como suporte a essa fase sugere-se a utilização das ferramentas DOE e Projeto Robusto, os quais foram comentados anteriormente.

Um resumo dos resultados alcançados neste trabalho é apresentado da Figura 9. Essa representação é um caminho possível formado por um conjunto de ferramentas para realização do desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos.

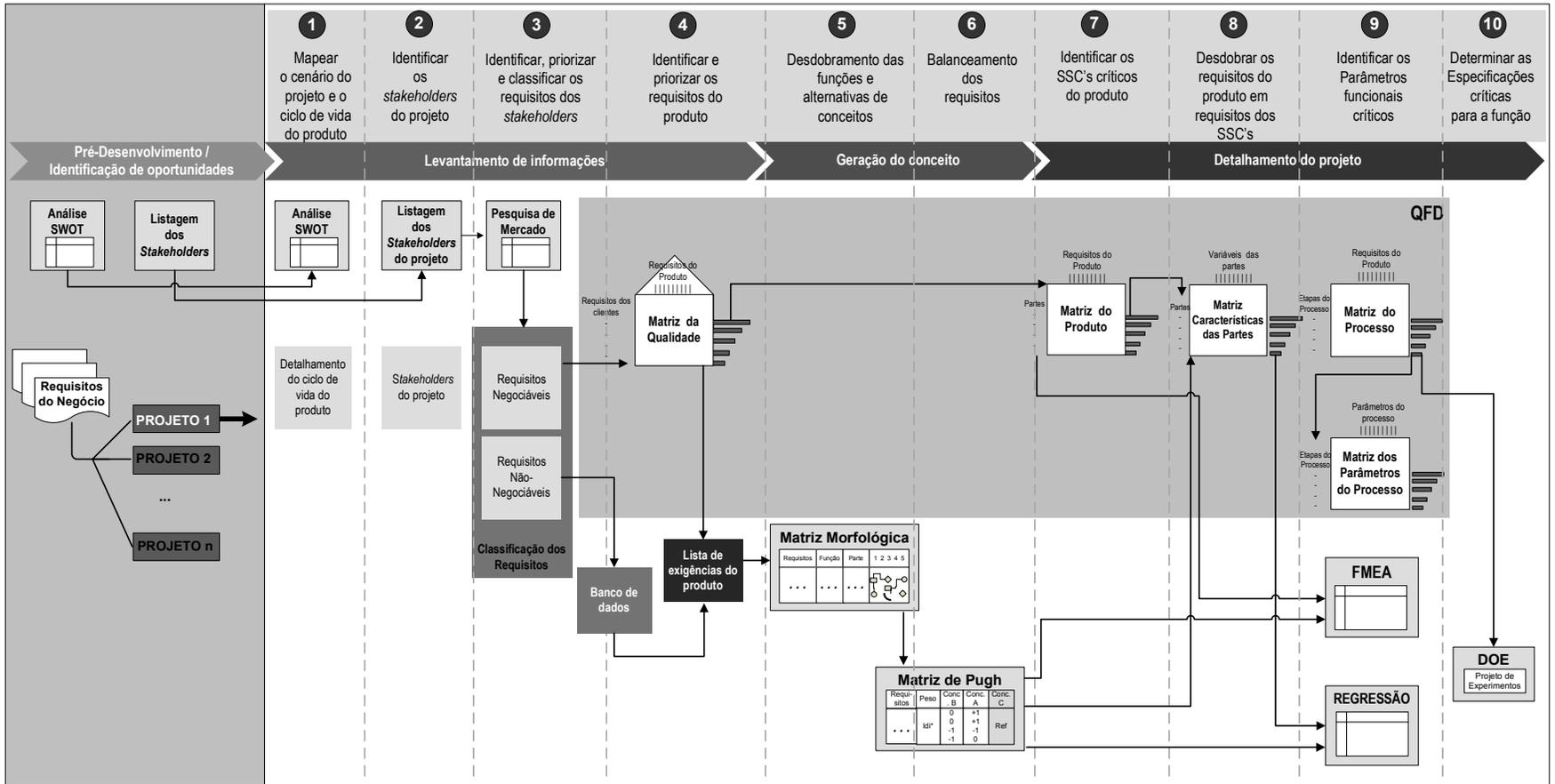


Figura 9 – Revisão e inserção de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP

Propõe-se o QFD como uma metodologia de suporte para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos (FIGURA 9), uma vez que essa metodologia permite rastrear os requisitos entre as fases do método proposto, estabelecendo uma rede de relações de causas e efeitos e auxiliando na priorização dos requisitos.

O QFD estabelece um *background* para a aplicação de outras ferramentas e o encadeamento destas com as fases do PDP. De acordo com Akao e Mizuno (1994), essa metodologia permite a conversão dos requisitos dos clientes em características de qualidade do produto e o desenvolvimento da qualidade para o produto acabado, por meio de desdobramentos sistemáticos das relações entre os requisitos dos clientes e as características do produto, investigando em maior detalhe os requisitos críticos dos clientes (GINN et al., 1998; FERREIRA; TOLEDO, 2001).

Note que o encadeamento destas ferramentas ilustradas na Figura 9 depende de vários fatores como, por exemplo, a complexidade do produto, a natureza do negócio e a capacitação da equipe. O rol de ferramentas escolhidos atende a uma gama de situações comuns na indústria de bens manufaturáveis de média complexidade em produtos do tipo melhorias incrementais ou de plataforma.

6. DISCUSSÃO E PROSEGUIMENTO DO ESTUDO

Com base na discussão da revisão e inserção de atividades proposta neste artigo, pretende-se, como contribuição futura, aplicá-la detalhadamente em um estudo de caso, principalmente no que diz respeito às lacunas teóricas identificadas neste estudo. Ressaltam-se as seguintes lacunas, que poderão tornar-se oportunidades de pesquisa: (i) organizar os requisitos, priorizá-los e classificá-los a fim de estabelecer critérios para filtrar o que será entrada no QFD e o que será registrado como informação a ser detalhada em fases posteriores do PDP, (ii) Desenvolver uma proposta que analise os *trade-offs* entre os requisitos do produto e (iii) Apresentar um exemplo que analise como encontrar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos SSC's do produto.

As lacunas supracitadas partem do estudo de autores que abordam o tema com enfoque no PDP incluindo discussões de gestão de requisitos e de parâmetros críticos, apresentando como proceder (sugestões de ferramentas) até o detalhamento do projeto do produto (PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008). Porém não exemplificam, carecendo na literatura um exemplo da gestão de parâmetros críticos no PDP que permeie, por exemplo, as atividades para o desdobramento

dos requisitos em parâmetros críticos apresentadas neste trabalho. Assim, entende-se esta como uma oportunidade de pesquisa, ou seja, discutir e aplicar a revisão de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionado ao PDP, suprimindo desta forma, as lacunas identificadas na literatura.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse artigo foi demonstrar uma revisão e inserção de atividades para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP constituída por um conjunto de fases, técnicas e ferramentas. A principal contribuição desse artigo consiste na realização de uma proposta de revisão e inserção das atividades da GM e CPM que integra e sistematiza ferramentas nas fases da gestão de requisitos e parâmetros críticos, e relaciona ao PDP. A proposta da utilização da metodologia QFD e outras ferramentas como suporte para a realização do desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos também é considerada uma contribuição deste artigo, como pode ser observado na Figura 8. Uma vez que a integração de ferramentas não aparece na literatura, de forma explícita, vinculada a um modelo de PDP.

Assim, por meio da proposta de revisão e inserção das atividades relativas à RM e à CPM, apresentou-se de maneira unificada a gestão de requisitos, a gestão de parâmetros críticos e fases do PDP com as principais ferramentas sugeridas pela literatura consultada, destacando principalmente o uso do QFD no estabelecimento das inter-relações entre requisitos e parâmetros críticos. O emprego desta proposta visa proporcionar um maior entendimento de como essas metodologias podem ser encadeadas e utilizadas simultaneamente.

Como oportunidade de pesquisa destaca-se a aplicação da proposta deste artigo a um exemplo de desenvolvimento de um novo produto, acompanhando-o por todas as fases até o detalhamento do projeto do produto, desde o nascimento dos requisitos até o desdobramento destes em parâmetros críticos do produto.

REFERÊNCIAS

- AKAO, Y.; MIZUNO, S. **QFD**: The customer-driven approach to quality planning and deployment. Hong Kong: Nórdica International, 1994.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; DA SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos**: Planejamento, concepção e modelagem. 1 ed. São Paulo: Manole, 2008.

- BARBETTA, P. A.; RIBEIRO, J. L. D.; SAMOHYL, R. W. Uma nova forma de modelar a variância em experimentos com poucas replicações. XVIII ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XVIII ENEGEP**, Niterói, 1998.
- BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
- CHENG, L. C.; DE MELO FILHO, L. D. R. **QFD: Desdobramento da Função Qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Editora Blücher, 2007.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategic, organization and management in the world auto industry**. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.
- CLAUSING, D. P. **Total Quality Development: A Step-By-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering**. 2 ed. New York, 1994.
- COOPER, R. G. Managing technology development projects. **Research – Technology Management**, v. 49, n. 6, p. 23-31, 2006.
- CREVELING, C. ;SLUTSKY, J. ; ANTIS, D. **Design for Six Sigma in Technology and product Development**, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
- DICKINSON, A. L. Integrating axiomatic design into a design for six sigma deployment. **4th International Conference on Axiomatic Design**. Firenze – June 13-16, 2006.
- DIEHL, A. A.; TATIM, D. C. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice-Hall Brasil, 2004.
- DYM, C. L.; LITTLE, P. **Engineering design: a project – based introduction**. John Wiley & Sons, Inc., 2 nd, 2004.
- FERREIRA, H. S. R.; TOLEDO, J. C. Metodologias e Ferramentas de suporte à Gestão do Processo de Desenvolvimento de produtos (PDP) na indústria de autopeças. XXI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XXI ENEGEP**, Salvador, 2001.
- GINN, D. M.; JONES, D. V.; RAHNEJAT, H.; ZAIRI, M. The “QFD/FMEA interface”. **European Journal of Innovation Management**, v. 1 n. 1, p. 7-20, 1998.
- GOVERS, C. M. P. What and how of quality function deployment (QFD). **Proceedings of the Eighth International Working Seminar on Production Economics**, 1994.
- GREEN, P. E.; CARROLL, J. D.; GOLDBERG, S. M. A General Approach to Product Design Optimization via Conjoint Analysis. **Journal of Marketing**, v. 45, p. 17-37, 1981.
- HAUSCHILD, M; JESWIET, J. EcoDesign and future environmental impacts. **Materials and Design**, n. 26, p. 629–634, 2005.

- HOFFMANN, M.; KUHN, N.; WEBER, M.; BITTNER, M. Requirements for Requirements Management Tools. **IEEE International Requirements Engineering Conference – Computer Society**, 12 th, September, 2004.
- HU, M.; YANG, K.; TAGUCHI, S. Enhancing Robust Design with the Aid of TRIZ and Axiomatic Design (Part I). **TRIZ Journal**, October, 2000.
- JUDD, T. C. Program Level Design for Six Sigma. **Cognition Corporation and SAE International**, 05M-373, 2005.
- KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S. Attractive quality and must-be quality. **Journal of Japanese Society for Quality Control**, v. 14, n. 2, p.39–48, 1984.
- KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. **Requirements engineering: process and techniques**. Chichester, John Wiley & Sons, 2000.
- MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing: Uma orientação aplicada**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- MARX, A. M. **Proposta de método de gestão de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – PPGEP, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- MATZLER, K.; HINTERHUBER, H. H. How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. **Technovation**, v. 18, n. 1, p. 25–38, 1998.
- MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. **Safári de estratégia: Um roteiro pela selva do planejamento estratégico**. São Paulo: Bookman, 2002.
- MONTGOMERY, D. C. **Design an analysis of experiments**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. **Applied statistics and probability for engineers**. 4 ed. John Wiley and Sons, 2007.
- MOORE, W. L.; LOUVIERE, J. J.; VERMA, R. Using Conjoint Analysis to help Design Product Platforms. **Journal of Product Innovation Management**, v. 16, n. 1, p. 27-39, 1999.
- MYERS, R. H.; KHURI, A. I.; VINING, G. Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach. **The American Statistician**, v. 46, n. 2, 1992.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. New York, Springer, 1996.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J; GROTE K. H. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

RIBEIRO, J. L.; ECHEVESTE, M. E.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Série Monográfica. PPGEP/UFRGS, Porto Alegre, 2001.

ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. **Product design fundamentals and methods**. John Wiley and Sons, 1996.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F; AMARAL, D. ; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D. e SCALICE, R. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para melhoria do processo**. Editora Saraiva, 2006.

TYAGI, R. K.; SAWHNEY, M. S. High-performance product management: The impact of structure, process, competencies, and role definition. **Journal of product Innovation Management**, v. 27, n.1, p. 83–96, 2010.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. 2 ed. McGraw-Hill International Editions, 1997.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

YOUNG, R. **The requirements engineering handbook**. Norwood, MA, USA: Artech House. 2003.

VENZKE, C. S. O Ecodesign no setor moveleiro do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Administração**. Edição Especial 30., v. 8, n. 6, 2002.

VRINAT, M. Driving product development with critical parameters: Cognition delivers active requirements management for full product lifecycle, 2007. **CPDA – Collaborative Product Development Associate**. Disponível em: < http://cpd-assotes.com/index.cfm?content=subpage&file=include_RPPage.cfm&ID=72404138& DOC=194759626 >. Acesso em: 18 nov. 2008.

CAPÍTULO 2

ARTIGO 2: DESDOBRAMENTO DE REQUISITOS POR MEIO DE FERRAMENTAS NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS: O CASO DA BALANÇA DINÂMICA

DESDOBRAMENTO DE REQUISITOS POR MEIO DE FERRAMENTAS NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS: O CASO DA BALANÇA DINÂMICA

Karla Faccio

Mestranda em Engenharia de Produção – UFRGS
e-mail: karlafaccio@producao.ufrgs.br

Márcia Elisa Soares Echeveste

Prof. Dr. Engenharia de Produção – UFRGS
e-mail: echeveste@producao.ufrgs.br

Resumo

O desenvolvimento de um novo projeto de produto inicia com a identificação e análise das demandas provenientes de diferentes *stakeholders*. Essas demandas tornam-se requisitos do produto, os quais representam características preferencialmente mensuráveis que devem estar presentes nos produtos/serviços para atender às demandas. Contudo, um produto é resultado de uma combinação de requisitos que muitas vezes são conflitantes entre si. Em outras palavras, a melhoria ou inserção de um requisito pode impactar negativamente em outro. Por essa razão, o entendimento de como desdobrar os requisitos é um desafio para desenvolvedores de produtos, principalmente na determinação das especificações e parâmetros do produto. Ainda, do ponto de vista comercial para o atendimento a diferentes segmentos e *stakeholders*. O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de reorganização das fases de gestão de requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático. A proposta utiliza de forma combinada o QFD, Matriz de Pugh e Matriz Morfológica no desenvolvimento de um novo produto. Como contribuição pode-se citar a utilização destas ferramentas de maneira sincronizada para desdobramento e classificação dos requisitos. As fases propostas são exemplificadas para o caso do desenvolvimento de uma balança eletrônica.

Palavras-chave: Gestão de Requisitos, QFD, PDP, Classificação dos Requisitos.

DEPLOYMENT OF REQUIREMENTS THROUGH THE TOOLS IN DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS: THE CASE OF DYNAMICS BALANCE

Abstract

The development of a new product project starts with the identification and analysis of the demands from different stakeholders. These demands become product requirements, which represent preferably measurable characteristics that should be present in the products/services to meet these demands. However, a product is the result of a combination of requirements that often conflict with each other. In other words, the improvement or insertion of a requirement can impact negatively on others. Therefore, understanding how to balance the requirements is a challenge for product developers in determining the products specifications and parameters and attends commercially the different segments and stakeholders. The aim of this paper is to present a proposal for reorganization of the phases of requirements management in development a new product through a didactic example. The proposal uses in combination of QFD, Pugh Matrix and Morphological Matrix in development of a new product. As a contribution we can mention the use of these tools in a synchronized way to deployment and classification of the requirements. The stages proposed are exemplified to the case of developing an electronic scale.

Key words: *Requirements Management, QFD, PDP, Requirements Classification.*

1. INTRODUÇÃO

Produtos e serviços são desenvolvidos para atender às demandas do mercado. Demandas são traduzidas em requisitos dos clientes e, estes em requisitos de projeto que culminam em produtos e serviços. Muitas organizações têm atuado na gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) para providenciar produtos e serviços que satisfaçam os requisitos dos clientes (CHEN et al., 2002). Os requisitos dos clientes são atributos necessários do produto que tenha valor e utilidade para o cliente (YOUNG, 2003). A gestão destes requisitos parte da estratégia da empresa até o conceito do produto e, quando detalhados, os requisitos do produto são medidos por parâmetros, os quais são denominados de parâmetros críticos quando têm impacto significativo nos requisitos do produto.

Nos estudos relacionados à gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos, autores da área de desenvolvimento de produtos apresentam os dois assuntos de forma fragmentada. Esta constatação parte de um estudo a partir dos modelos propostos pelos autores Clark; Fujimoto (1991), Pahl; Beitz (1996), Ullman (1997), Ulrich; Eppinger (2000), Creveling et al. (2003), Rozenfeld et al. (2006), Back et al. (2008) no qual não aparece explicitamente uma sistematização de como acompanhar os requisitos desde as primeiras idéias do produto até o detalhamento e a escolha de como será o produto que preencherá estes requisitos. Destaca-se a importância de gerenciar esses requisitos, uma vez que um produto é resultado de uma combinação destes, os quais, muitas vezes são conflitantes entre si. Por essa razão, o entendimento de como balancear os requisitos de forma a atingir um produto de maneira ótima pode garantir o sucesso comercial e técnico do produto. Um produto será considerado com elevada qualidade se estiver em conformidade com os requisitos dos clientes (HANSEN; BUSH, 1999).

Uma metodologia utilizada para o entendimento dos requisitos é o QFD (*Quality Function Deployment*). O QFD inicialmente foi projetado para melhoria da qualidade de produtos existentes. Contudo, os propósitos dessa metodologia são entender as demandas da qualidade provenientes dos clientes e convertê-las em características mensuráveis do produto, investigando em maior detalhe as características críticas do produto (AKAO; MIZUNO, 1994; GINN et al., 1998; FERREIRA; TOLEDO, 2001).

Estes propósitos vêm ao encontro das atividades de desenvolvimento de um novo produto, no entendimento de quais requisitos são prioritários e impactam na percepção da qualidade final do produto. Neste caso, a qualidade demandada corresponde aos requisitos do cliente e as

características de qualidade são os requisitos do produto. Desta forma, o QFD é uma metodologia que pode auxiliar na gestão de requisitos, uma vez que relaciona os requisitos do produto priorizados aos parâmetros, recursos e processos, apontando quais são críticos para o atendimento da qualidade do produto/serviço final.

Entretanto, o QFD, aplicado no contexto da qualidade, parte da priorização do cliente, geralmente o cliente final, das demandas conhecidas como a “voz do cliente” (V.O.C.) para, a partir da sua priorização, apontar o que é crítico. Embora o desdobramento das matrizes seja decorrente de uma equipe multifuncional com conhecimentos técnicos, o ponto de partida e a base para todos os cálculos de priorização é a voz do cliente.

Quando aplicado ao desenvolvimento de novos produtos, duas constatações derivam do parágrafo anterior, a primeira delas é que o cliente pode ser compreendido a partir de um conceito mais amplo, considerando como fonte de informação todos os *stakeholders* envolvidos no ciclo de vida do produto e na cadeia produtiva, incluindo o cliente final (usuário), o cliente externo (mercado, acionistas) e o cliente intermediário (produção, logística). Para definir quem é o cliente é necessário pensar em todos os *stakeholders* envolvidos na cadeia e no ciclo de vida do produto. Com isso, aumenta-se consideravelmente o número de requisitos a serem tratados e a complexidade derivada da dependência entre eles.

Baseado nesta constatação, uma questão é: como entender e classificar os requisitos a serem desdobrados em parâmetros do produto e quais são os requisitos que se constituiriam entrada no QFD?

Para responder a essa questão, Creveling et al. (2003) propõem que os requisitos denominados pelos autores de N.U.D. (novos, únicos e diferenciais) sejam desdobrados por meio do QFD e os demais (conhecidos ou de tecnologia dominada pela empresa) sejam registrados em um banco de dados.

Os requisitos têm natureza distinta, alguns, conforme Creveling et al. (2003) atendem à mercados específicos e são estratégicos, pois representam benefícios do produto/serviço. Outros são requisitos não percebidos pelo cliente final, como por exemplo, requisitos técnicos de atendimento a normas sendo estes não-negociáveis.

Creveling et al. (2003) propuseram uma classificação e análise da gestão de requisitos sob a perspectiva de emprego de ferramentas para conduzir o entendimento e rastreabilidade dos requisitos. Os autores empregam as ferramentas de matrizes do QFD, Matriz de Pugh, Matriz Morfológica, FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), DOE (*Design of Experiments*) e

entre outras. Entretanto, não foi constatado na literatura uma exemplificação que apresente o desdobramento destes requisitos fase a fase, apresentando como uma informação é transladada entre as ferramentas. Creveling et al. (2003) apresentam as ferramentas como um manual prático, contudo não exemplificam com dados como a informação transita entre as fases.

Entende-se que as ferramentas devem ser utilizadas de forma integrada e sincronizada ao PDP, no qual a informação de saída é utilizada como suporte à informação de entrada nas ferramentas utilizadas em fases posteriores. Complementariamente é necessário selecionar as informações que serão desdobradas para diminuir a dimensão e complexidade no tratamento dos dados.

Assim como os autores recém citados, considera-se que a metodologia do QFD é adequada para desdobrar e rastrear os requisitos ao longo de todo processo de desenvolvimento. Neste artigo, propõe-se o uso do QFD como uma base de ligação entre as fases de desenvolvimento assistida por outras ferramentas com objetivos mais pontuais como de organizar, selecionar e priorizar os requisitos.

Foi identificada na literatura a oportunidade de discutir a classificação dos requisitos, a fim de estabelecer critérios para filtrar o que será entrada no QFD e o que será registrado num banco de dados como informação a ser detalhada em fases posteriores do PDP. Bem como realizar a integração de ferramentas alinhadas às matrizes do QFD por meio de um exemplo de aplicação. Ressalta-se que, como resultado da aplicação das ferramentas, discute-se uma forma de analisar os *trade-offs* entre os requisitos, propondo uma análise para balancear requisitos conflitantes que podem atuar de forma divergente no atendimento às características de qualidade do produto final.

As lacunas supracitadas partem também do estudo de autores que abordam o tema com enfoque no PDP incluindo fases para a gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos, apresentando como proceder (incluindo sugestões de ferramentas) até o detalhamento do projeto do produto (PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008). Porém os autores não exemplificam como realizar estas atividades, faltando na literatura um exemplo detalhado de desdobramento dos requisitos no PDP. Assim, o objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de reorganização das fases de gestão dos requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático. Esta proposta é baseada no emprego de ferramentas. As fases propostas são exemplificadas para o caso do desenvolvimento de uma balança eletrônica. Pretende-se

que este seja um exemplo didático para replicação no desenvolvimento de outros produtos similares.

O artigo está estruturado em cinco seções. A primeira seção apresentou a introdução, a segunda seção refere-se aos procedimentos metodológicos empregados neste artigo. A terceira seção mostra uma revisão sobre os principais conceitos concernentes à gestão de requisitos (RM, do inglês *Requirement Management*). Na quarta seção apresenta-se uma proposta para o desdobramento dos requisitos no PDP, e a quinta seção realiza um exemplo de aplicação desta proposta. Por fim, são apresentadas as considerações finais do artigo.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método de pesquisa empregado neste artigo percorre duas etapas. Inicialmente, para construção da proposta para o desdobramento dos requisitos no PDP, utiliza-se uma pesquisa exploratória, uma vez que tem como objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito (DIEHL; TATIM, 2004). Nesta etapa uma pesquisa bibliográfica de autores que estudam gestão de requisitos foi confrontada no contexto do PDP. A abordagem parte de uma análise pluridisciplinar que busca evidenciar na diversidade de vocabulário e perspectiva de diferentes áreas, uma continuidade temática. A pesquisa bibliográfica teve como base uma pesquisa em periódicos nacionais e internacionais, dissertações e livros relacionados aos principais autores de PDP e gestão de requisitos. Para esta pesquisa foram utilizadas principalmente as palavras-chave *requirements management*, *product development process*, *tools in PDP*, entre outras, e investigou-se as bases *Emerald*, *Elsevier*, *Scielo*, *Wiley InterScience* e *Google Scholar* no período de março de 2008 a janeiro de 2010. Como critério de seleção foi a presença da palavra-chave e seleção de artigos que contribuíssem com os objetivos e fases relacionadas à proposta deste trabalho segundo a percepção dos autores deste artigo.

Com base neste estudo, gerou-se uma proposta para o desdobramento dos requisitos no PDP, uniformizando vocabulário e sobreposições, estabelecendo uma seqüência com as contribuições dos assuntos pesquisados. As fases propostas foram também analisadas por meio de discussões acadêmicas com especialistas provenientes da universidade sede dos autores deste artigo.

Num segundo momento, com base na literatura e reflexão de pesquisadores da área, aplicou-se a um estudo de caso de desenvolvimento de um novo produto. Para tanto, escolheu-se uma

empresa por conveniência que permitiu o acompanhamento dos pesquisadores ao longo de todo o processo de conceituação e detalhamento do produto utilizado como modelo.

Portanto, este trabalho pode ser classificado também como um estudo de caso que, segundo Gil (2007), é um estudo empírico que investiga um fenômeno atual dentro do seu contexto de realidade. Uma vez que será uma aplicação da proposta para o desdobramento dos requisitos no PDP até a elaboração do conceito do produto por meio de ferramentas aplicáveis à gestão do PDP.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão de requisitos segundo Hoffmann et al. (2004) pode ser definida como a estruturação e administração de informação para elicitação, derivação, análise, coordenação, tradução e localização dos requisitos durante o ciclo de vida do produto.

A elicitação e a derivação da lista de requisitos envolve dois estágios. No primeiro estágio são definidos e documentados os requisitos de negócio. No segundo estágio, estes requisitos são complementados ou detalhados (PAHL et al., 2005). As principais etapas para elaboração de uma lista de requisitos são: planejamento do projeto do produto (aprovação do projeto), definição dos requisitos para o mercado e para os clientes, documentação dos mesmos, lista de verificação e, por fim, a definição da lista de requisitos.

Na seqüência, para analisar os requisitos, uma dificuldade é entender o inter-relacionamento entre eles e propor uma ou mais soluções que combinem melhor o equilíbrio entre o atendimento à diferentes requisitos num mesmo produto. Este assunto pode ser visto como objeto de discussão por alguns autores da área. Vários autores citam a Matriz de Pugh como ferramenta de apoio para a seleção de conceitos e *trade-offs* dos requisitos (CLAUSING, 1994; PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; ULRICH; EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008). Nesta ferramenta uma das concepções geradas é escolhida como referência, e todas as outras concepções são comparadas com a referência, podendo indicar que a concepção é *melhor que*, *igual* ou *pior que* a referência. Um escore, então, é montado para cada concepção alternativa. A seleção final é dada pelo conceito que melhor gerencia os conflitos, considerando o balanceamento entre eles (ULRICH; EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006).

Crawford e Di Benedetto (2000) e Ulrich e Eppinger (2000) sugerem para este fim a utilização da técnica estatística Análise Conjunta. Esta técnica é útil para estabelecer relações

de valor alterando atributos e verificando a preferência do cliente em cenários pré-estabelecidos (HAIR et al., 2006).

Para Sauerwein et al. (1996), o modelo Kano também pode auxiliar nas situações de *trade-offs* no desenvolvimento de produtos, uma vez que o modelo classifica os requisitos, identificando quais deles mais influenciam na satisfação do cliente.

Na coordenação, tradução e localização dos requisitos, o QFD é a metodologia indicada para auxiliar na elaboração da lista de requisitos por meio de uma melhor formulação das demandas dos clientes, uma vez que é útil para o planejamento do produto e do processo, voltado às preferências dos clientes, auxiliando na definição de exigências críticas e na identificação de componentes críticos (PAHL; BEITZ, 1996; PAHL et al., 2005). Os requisitos dos clientes são convertidos em requisitos dos produtos e esses em seqüenciamentos de fabricação e, posteriormente em exigências da produção. Esta metodologia é utilizada para identificar os requisitos do produto e para definir os principais sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) e seus parâmetros críticos, já que apóia o time de projeto na identificação das demandas dos clientes, e na interpretação dessas em termos de parâmetros técnicos e valores alvos (ROOZENBURG; EEKELS, 2000; ROZENFELD et al., 2006).

Portanto, esta metodologia auxilia nas especificações do produto de acordo com as demandas e desejos dos clientes, investigando em maior detalhe os requisitos críticos dos clientes que podem ser transformados em medidas de engenharia, buscando uma maior interação com os clientes (GINN et al., 1998; FERREIRA; TOLEDO, 2001). Se isso for bem sucedido, o QFD consegue então desdobrar para o nível de componentes do produto.

De maneira geral, o QFD é uma metodologia citada por vários autores de desenvolvimento de produto como apoio ao PDP, uma vez que auxilia na identificação dos atributos críticos e cria um caminho entre estes e os parâmetros de projetos. O QFD parte do conhecimento da voz do cliente podendo permear todas as fases do PDP, principalmente as iniciais, nas quais a orientação para o mercado é o ponto de partida para o planejamento do conceito do produto (PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; ROOZENBURG; EEKELS, 2000; ULRICH E EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

A estrutura do QFD envolve a construção matrizes. Ribeiro et al. (2001) propõem a seqüência das seguintes matrizes: Matriz da Qualidade, Matriz do Produto, Matriz dos Processos, Matriz das Características das Partes, Matriz dos Parâmetros do Processo, Matriz de Recursos e

Matriz de Custos. A primeira dessas matrizes é a Matriz da Qualidade, que combina informações sobre os *stakeholders*, características desejáveis dos produtos concebidos e métricas de desempenho (DYM; LITTLE, 2004). Cabe enfatizar que o modelo conceitual para desdobramento das matrizes do QFD utilizado neste trabalho segue a lógica de Ribeiro et al. (2001).

Outra abordagem para a gestão dos requisitos é apresentada por Creveling et al. (2003) no qual apresentam a gestão de requisitos em um contexto de DFSS (*Design for Six Sigma*) para verificar as relações das variáveis críticas para o processo: o CPM (*Critical Parameters Management*). O CPM concentra esforços nas características críticas do produto que, quando controladas e ajustadas, poderão garantir melhorias no produto final. Por sua vez, o CPM compreende as seguintes atividades: (i) identificação das necessidades críticas do mercado; (ii) exigências técnicas críticas; (iii) respostas funcionais críticas; (iv) parâmetros funcionais críticos; (v) especificações críticas para a função.

Diferentes autores propõem fases para a gestão dos requisitos (RM, do inglês *Requirements Management*). Trabalhos mais recentes incorporaram algumas fases discutidas anteriormente relacionando com a linguagem de requisitos às fases de desenvolvimento de Produto. Neste contexto, citam-se os trabalhos de Young (2003) e Marx (2009) no qual reorganizaram a RM nas seguintes fases: mapeamento do cenário; identificação dos *stakeholders*; entendimento/levantamento das necessidades dos *stakeholders*; identificação e esclarecimento dos requisitos (transformação das necessidades em requisitos dos *stakeholders*); análise de conflitos, negociação e priorização dos requisitos; obtenção dos requisitos do produto/sistema (teste, verificação, validação e especificação dos requisitos); conversão dos requisitos em funções; desdobramento dos requisitos (alocação dos requisitos em subsistemas); monitoramento dos requisitos.

Assim, duas questões são exploradas neste artigo e incorporadas às propostas anteriores: uma discussão da classificação dos requisitos pertencente a fase de identificação e esclarecimento dos requisitos e uma discussão a respeito do balanceamento dos requisitos que ocorre na fase de análise de conflitos, negociação e priorização dos requisitos. Estas duas questões serão abordadas em maior detalhe a seguir.

4. PROPOSTA PARA O DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS NO PDP

Este trabalho propõe uma reorganização das fases de gestão dos requisitos no PDP. Conforme mencionado, esta estrutura surgiu da combinação das fases propostas na literatura consultada

concernente à gestão de requisitos dos autores Creveling et al. (2003), Young (2003) e Marx (2009). O desdobramento dos requisitos no PDP foi reorganizado de acordo com seis fases designadas como: (i) mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto; (ii) identificar os *stakeholders* do projeto; (iii) identificar, classificar e priorizar os requisitos dos *stakeholders*; (iv) identificar e priorizar os requisitos do produto; (v) desdobrar as funções e alternativas de conceitos; (vi) balanceamento dos requisitos.

A contribuição deste artigo, além da apresentação de um exemplo detalhado fase a fase para o desdobramento dos requisitos no PDP, é apontar duas atividades importantes dentro da gestão de requisitos: a classificação e o balanceamento dos requisitos. A primeira é uma atividade presente na fase de identificação e esclarecimento dos requisitos, e a segunda está relacionada com a fase de análise de conflitos, negociação e priorização dos requisitos bem como na escolha do conceito resultante do produto.

A Figura 1 apresenta as fases propostas, destacando as atividades para a classificação dos requisitos dos clientes e balanceamento dos requisitos. A descrição das fases serão organizadas de acordo com as macro-fases do PDP: pré-desenvolvimento, que envolve desde a identificação da oportunidade, planejamento estratégico do produto, gestão de portfólio e plano de projetos de produtos, e para cada projeto aprovado, a macro-fase de desenvolvimento do projeto do produto a qual percorre as fases de levantamento de informações até o lançamento do produto. A macro-fase de desenvolvimento desde o levantamento de informações até fase de geração do conceito é o escopo deste trabalho.

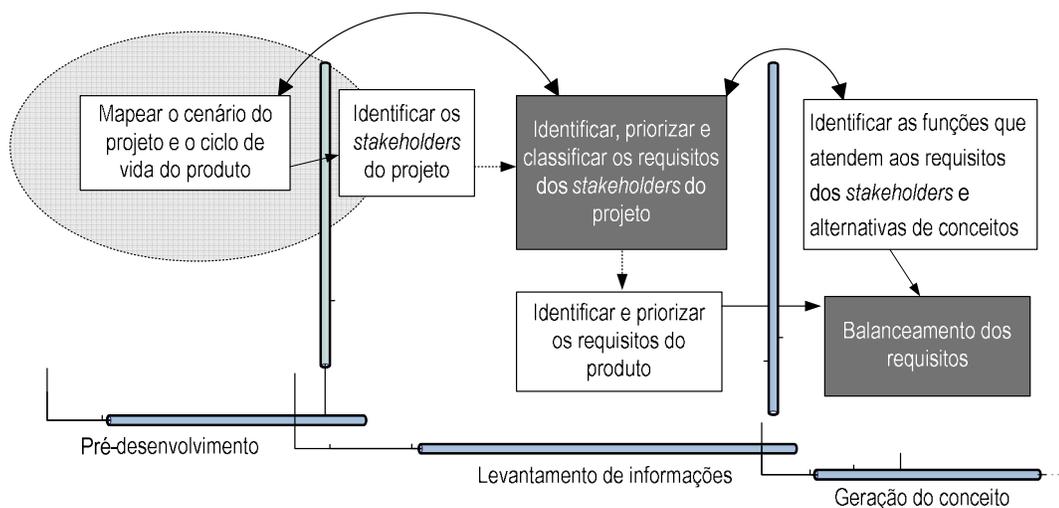


Figura 1 – Desdobramento dos requisitos no PDP

4.1 Pré-desenvolvimento

Inicialmente, entende-se que os requisitos nascem na definição estratégica do produto. Na macro-fase pré-desenvolvimento, pode-se realizar a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*) (MINTZBERG et al., 2002). As informações desta ferramenta auxiliam nas fases iniciais de desenvolvimento do produto, uma vez que este seja incluído no portfólio de projetos. Igualmente no pré-desenvolvimento identificam-se os *stakeholders* e os requisitos do negócio. Essas informações, em geral, fazem parte do plano do projeto do produto, sendo que os requisitos básicos encontram-se na minuta do protocolo do projeto do produto. Com base na minuta do projeto, selecionam-se quais idéias serão detalhadas em projetos de produto. Assim, para cada projeto aprovado, um plano de projeto é detalhado para a macro-fase de desenvolvimento.

4.2 Desenvolvimento do projeto do produto

A seqüência de fases apresentada na Figura 1 representa a macro-fase de desenvolvimento do projeto de um produto que compreende a identificação, o detalhamento e organização dos requisitos (levantamento de informações), conceituação (geração do conceito) e o projeto de engenharia (detalhamento do projeto), produção e lançamento do produto. Mais especificamente, o escopo é a identificação dos requisitos (levantamento de informações) até o conceito do produto, não contemplando o desdobramento nas fases posteriores até a produção e lançamento do produto.

Desta forma, quando o plano de projeto é aprovado, designa-se uma equipe que acompanha o desenvolvimento do projeto. As fases iniciais do desenvolvimento são fundamentais, pois os esforços despendidos na determinação das características e das respectivas especificações irão guiar todo o desenvolvimento posterior. Por essa razão, a gestão dos requisitos está concentrada nas fases iniciais do desenvolvimento até o detalhamento do projeto do produto, no qual os requisitos do produto são desmembrados em parâmetros com especificações de qualidade.

4.2.1 Mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto

A primeira fase do desenvolvimento a equipe resgata as informações do plano do projeto consolidando e detalhando informações tecnológicas e de mercado. Estas informações podem alimentar o plano do projeto recebido pela equipe de desenvolvimento de produto. Mapear o

cenário do projeto refere-se à prospecção de informações sobre o ambiente competitivo, análise da concorrência, contexto tecnológico e social externos à organização, a identificação de oportunidades e detalhamento do ciclo de vida do produto. Esta fase cumpre-se na fase de levantamento de informações do PDP.

Com base no conhecimento do cenário do projeto desenvolvido no pré-desenvolvimento, a próxima atividade é descrever como será o novo produto, considerando o ciclo de vida do projeto do produto (extração das matérias-primas, produção, transporte, uso e descarte após o uso) (VENZKE, 2002; HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Este mapeamento é realizado, em geral, por meio de fluxogramas. O mapeamento do cenário do projeto e do ciclo de vida do produto orienta a um entendimento mais amplo a cerca do produto e auxilia na identificação dos envolvidos com o PDP.

4.2.2 Identificar os *stakeholders* do projeto

A partir do mapeamento do ciclo de vida do produto é possível associar as etapas do ciclo de vida com os respectivos envolvidos/interessados em cada etapa, identificando assim os *stakeholders* do projeto do produto. Esses *stakeholders*, os quais podem ser denominados de clientes, podem ser: externos, que incluem os indivíduos ou organizações que exercem atividades nos setores de consumo ou que são influenciados, direta ou indiretamente, pelo produto, deste modo, devem ser considerados prioritariamente; intermediários, que são os responsáveis pela distribuição, comercialização e marketing; e internos, que são os relacionados ao projeto e produção do produto. As necessidades dos clientes externos devem ser priorizados sobre as dos demais clientes, uma vez que o produto precisa satisfazer a essas necessidades para alcançar sucesso nas vendas (BACK et al., 2008; MARX, 2009).

No momento em que os *stakeholders* são identificados, é possível capturar suas demandas e escrevê-las na forma de requisitos dos *stakeholders*, priorizá-los e classificá-los.

4.2.3 Identificar, priorizar e classificar os requisitos dos *stakeholders* do projeto

A identificação dos requisitos dos *stakeholders* realiza-se em maior detalhe na fase de levantamento de informações do PDP. Técnicas de pesquisa de mercado são amplamente utilizadas para a identificação dos requisitos dos clientes, uma vez que apontam as necessidades e demandas dos clientes, as quais são reescritas como requisitos. (CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006, TYAGI; SAWHNEY, 2010). Deste modo, a pesquisa de mercado aponta as preferências dos clientes, determinando as modificações necessárias

para fornecer um produto mais aceitável ao segmento de mercado no qual se destina, auxiliando na revisão e atualização do escopo do produto, assim como na identificação dos requisitos do cliente, na definição de clientes e orientação para o mercado (BAXTER, 2000; TYLER; GNYAWALI, 2002; MALHOTRA, 2003; ROZENFELD et al., 2006).

Os requisitos identificados na pesquisa de mercado são priorizados e analisados, uma vez que podem ser em grande número e terem natureza diferenciada, sendo necessário classificá-los, a fim de selecionar quais destes serão desdobrados no QFD e quais serão registrados em um banco de dados. Autores de PDP realizam ou sugerem uma classificação de requisitos (FIGURA 2). Pahl et al. (2005) classificam os requisitos em básicos, técnicos e específicos do cliente e de atratividade. Os requisitos básicos e os de atratividade são implícitos e os requisitos técnicos são explícitos, ou seja, são manifestados pelo cliente e de forma precisa, enquanto que os implícitos não são manifestados pelos clientes de maneira direta.

O autor Ullman (1997) classifica os requisitos em: funcionais de desempenho (fluxo de energia, fluxo de informações, fluxo de materiais, seqüência de operações, passos operacionais); fatores humanos (aparência, força e controle motor, etc); físicos; de confiabilidade; ciclo de vida; de recursos (tempo, custo, capital, equipamentos, ambiente, etc); de manufatura (materiais, quantidade, capacidade da companhia, etc).

Os autores Kotonya e Sommerville (2000) e Young (2003) classificam os requisitos em funcionais e não-funcionais, uma vez que os requisitos funcionais são aqueles que definem as funções que um sistema ou componente deva realizar e os requisitos não-funcionais são restrições sobre as funções de um sistema. Para Roozenburg e Eekels (2000) os requisitos podem ser classificados em propriedades de projeto; propriedades internas e propriedades externas.

Rozenfeld et al. (2006) e Back et al. (2008) classificam os requisitos como provenientes de clientes internos, externos e intermediários, os quais foram elucidados no item 4.2.2. Os requisitos do mercado e o potencial da empresa são identificados por meio de informações sobre os clientes, mercado, os próprios produtos da empresa (novos e antigos), produtos concorrentes, patentes, legislação e normas (BACK et al., 2008).

O modelo Kano, que foi desenvolvido pelo Dr. Noriaki Kano em 1984 para categorizar os atributos dos produtos e serviços, define três tipos de requisitos de produtos que influenciam a satisfação do cliente de diferentes formas: requisitos obrigatórios/óbvios (função principal do produto) - para os clientes esses requisitos já estão presentes no produto e se não forem

preenchidos o cliente ficará insatisfeito; requisitos lineares/unidimensionais, a satisfação do cliente é proporcional ao nível de cumprimento desses requisitos, isto é, quanto menor o nível de cumprimento, menor é a satisfação do cliente e vice-versa; requisitos atrativos – esses requisitos apresentam um diferencial para atrair os clientes, ou seja, vão além das expectativas dos clientes, porém sua ausência não os descontenta (KANO et al., 1984; SAUERWEIN et al., 1996; SHAHIN, 2004; LAI; KAY-CHUAN; XIE, 2007).

O modelo Kano pode ser combinado com o QFD, categorizando as demandas dos clientes e indicando a ordem de importância, em geral os requisitos dos clientes tratados no QFD são os lineares/unidimensionais de acordo com a classificação de Kano. (GOVERS, 1994; MATZLER et al., 1998; SAUERWEIN et al., 1996; SHAHIN, 2004).

Outra abordagem de classificação dos requisitos é a sua associação ao tipo de função que estes irão originar. Segundo Löbach (2001) as funções podem ser classificadas como práticas, estéticas e simbólicas. Guimarães (2006) adiciona e enfatiza uma quarta função dos produtos, a ecológica. A função prática refere-se a adequação do produto às necessidades fisiológicas ou psicológicas dos clientes, a função estética alude-se a adaptação do produto às necessidades perceptivas relacionadas com o avaliação da beleza, e a função simbólica refere-se a adequação do produto às necessidades simbólicas, sendo que as duas últimas predominam quando a função primária do produto foi atendida (GUIMARÃES, 2006; GOMES FILHO, 2007).

Classificação dos Requisitos	Autores
Requisitos obrigatórios / óbvios, lineares / unidimensionais e atrativos.	Kano et al. (1984)
Requisitos funcionais de desempenho, fatores humanos, físicos, de confiabilidade, ciclo de vida, de recursos, de manufatura.	Ullmann (1997)
Requisitos funcionais e não-funcionais.	Kotonya e Sommerville (2000); Young (2003)
Propriedades de projeto, propriedades internas e propriedades externas.	Roozenburg e Eekels (2000)
Requisitos que atendem à função prática, estética, simbólica e ecológica.	Löbach (2001); Guimarães (2006)
Características não negociáveis, características Novas, Únicas e Difíceis de serem atingidas (N.U.D.) e as características já conhecidas (Características Negociáveis).	Creveling et al. (2003)
Requisitos básicos, de atratividade, técnicos e específicos do cliente.	Pahl et al. (2005)
Requisitos provenientes de clientes internos, externos e intermediários	Rozenfeld et al. (2006); Back et al. (2008)

Figura 2 – Classificação dos requisitos

Creveling et al. (2003) descreveram três fontes de informações (exigências) de novos produtos: desenvolvimento de novas tecnologias, dados do consumidor e dados internos. Destas fontes, originam-se três grandes grupos de características (requisitos) de qualidade dos produtos: (i) as características não-negociáveis; (ii) as características Novas, Únicas e Difíceis de serem atingidas (N.U.D.) e (iii) as características já conhecidas. As características não-negociáveis são registradas em um banco de dados e ingressarão na lista de exigências do produto, uma vez que são características que o produto deve conter. As características N.U.D. são desdobradas no QFD, enquanto que as características conhecidas são registradas em um banco de dados de gestão de parâmetros críticos (CPM).

As características únicas são diferenciais e provavelmente não são contempladas pelos competidores; as características difíceis são aquelas altamente desejáveis, mas difíceis de desenvolver e que irão exigir esforços, investimentos e recursos para serem atendidas. O documento com a lista de exigências do produto é composto pelas características novas, outras características importantes, e pelas características que devem estar presentes no produto, mesmo que não sejam críticas (CREVELING et al., 2003).

Desta forma, as informações que serão inseridas no QFD partem de várias fontes além dos clientes finais, contudo, partindo das premissas do QFD, são os clientes que atribuem os pesos aos requisitos iniciais. Estes pesos são o ponto de partida de todo o desdobramento das matrizes do QFD. Para Ullman (1997), o método QFD ajuda a gerar a informação necessária para a fase de desenvolvimento das especificações de engenharia, uma vez que o QFD é considerado um documento de trabalho que é revisado e atualizado quando necessário. Os requisitos dos clientes devem ser transformados em valores (medidas) de projeto para a identificação dos parâmetros críticos. Assim, o QFD é uma maneira de realizar a gestão de requisitos e a gestão de parâmetros críticos (CPM).

Segundo Ficalora e Cohen (2009), o objetivo do CPM é fazer a gestão dos parâmetros mais importantes para os clientes, e o relacionamento entre produtos, subsistemas, componentes, materiais e parâmetros do processo que foram originados do planejamento de produtos e possuem as demandas dos consumidores. O CPM é uma ferramenta necessária para fazer o acompanhamento de um bom trabalho de QFD.

Note que neste momento, a importância dos requisitos pode ser obtida de diferentes formas, pode-se atribuir pesos diferentes aos *stakeholders* ou os pesos podem ser atribuídos de acordo com a importância dos requisitos para o cliente final. Contudo, mesmo realizando uma classificação prévia das demandas que irão ser desdobradas no QFD, é importante analisar os

conflitos entre todos os requisitos, uma vez que uma decisão em um requisito negociável pode afetar o atendimento a especificação de qualidade de um requisito não-negociável, cujas relações não estarão na Matriz da Qualidade do QFD.

Ainda, existem os requisitos de projeto, que não são na verdade requisitos e sim idéias/itens de projetos (talvez se tornem requisitos atrativos) ou muitas vezes soluções que vêm dos respondentes da pesquisa de mercado. Esses itens formam um segundo grupo cuja inclusão dos mesmos dependerá de uma decisão estratégica de projeto, se a empresa irá ou não incorporá-lo como característica do produto.

Desta forma, a pesquisa de mercado é um meio para realizar o levantamento das demandas dos clientes. Neste trabalho, as demandas prospectadas no mercado serão divididas em dois grupos: demandas de projeto (itens de projeto) que dependem de uma decisão estratégica do produto e as demandas que serão traduzidas em requisitos. Este segundo grupo de demandas serão convertidas em requisitos e classificadas seguindo a lógica adaptada de Kano et al. (1984), Creveling et al. (2003), Rozenfeld et al. (2006) e Back et al. (2008). Sendo assim, no presente trabalho, os requisitos provenientes dos clientes internos, externos e intermediários de um determinado produto foram classificados como negociáveis (atrativos ou lineares) e não-negociáveis (normativos e/ou óbvios). Os requisitos negociáveis, neste trabalho, constituirão as informações de entrada no QFD e os requisitos não-negociáveis são as informações a serem registradas em um banco de dados e inseridas na lista de exigências do produto juntamente com os resultados do QFD.

4.2.4 Identificar e priorizar os requisitos do produto

Os requisitos classificados como informação de entrada no QFD são traduzidos em medidas preferencialmente mensuráveis denominadas de requisitos do produto. Para cada requisito do produto são estabelecidas especificações-metas que são valores e intervalos de valores no qual o produto deve alcançar.

A Matriz da Qualidade do QFD aplicada nesta fase estabelece um conjunto de inter-relações entre os requisitos dos *stakeholders* e os requisitos do produto.

Com a informação dos requisitos do produto e os respectivos valores-meta, a equipe está apta a desenvolver o conceito do produto. Neste momento, sugere-se a aplicação da Matriz da Qualidade do QFD.

4.2.5 Desdobrar as funções e alternativas de conceitos

Para os requisitos dos clientes, a equipe de desenvolvimento de produtos associa as funções que o produto deve atender. O desdobramento de funções ocorre para todos os requisitos dos clientes (negociáveis e não-negociáveis). Neste momento é importante que se certifique que os requisitos não-negociáveis, muitas vezes novos no produto, sejam atendidos pelas funções. Em produtos com pequenas variações, o desdobramento das funções existe concluído na empresa. Em produtos variantes, a equipe resgata as funções dos produtos, podendo incorporar novas funções dependendo do novo benefício do produto. O importante é estabelecer uma relação entre os requisitos e as funções que os atendem.

A informação de entrada da Matriz Morfológica são os requisitos dos clientes. A esses requisitos podem ser desdobradas as funções que o produto deve atender. Uma vez que o atendimento a um requisito dos clientes está associado a uma ou mais funções do produto. As possíveis funções associadas aos requisitos dos clientes geram as partes do produto. A Matriz Morfológica auxilia a equipe a construir os possíveis conceitos que serão posteriormente selecionados, e é na seleção destes conceitos que a equipe procura uma ou mais soluções ótimas para escolha de qual será o conceito do produto a ser detalhado posteriormente. Os resultados são combinações viáveis que são os possíveis conceitos do produto (ROZENFELD et al., 2006).

4.2.6 Balanceamento dos requisitos

Os requisitos do produto possuem especificações que são atribuídas de forma independente. Entretanto, o atendimento à especificação de um requisito pode afetar outro, por essa razão é importante verificar a existência de conflitos para possível solução ou negociação, realizando o balanceamento dos requisitos. Por balanceamento dos requisitos entende-se encontrar uma solução de equilíbrio no atendimento às especificações entre os requisitos.

Autores como Matzler et al. (1998), Pahl et al. (2005) Back et al. (2008) sugerem que o próprio telhado (inter-relações entre os requisitos do produto) da Matriz da Qualidade do QFD seja fonte de informação para análise dos conflitos entre os requisitos, sendo útil na análise de *trade-offs* dos requisitos do produto. Echeveste (1997) recomenda que neste momento, o uso de projeto de experimentos (DOE – *Design for Experiments*) para entender como os requisitos do produto (fatores controláveis) podem afetar aos requisitos dos clientes (variáveis resposta). Desta forma, o uso de técnicas de DOE pode ser utilizado para medir os fatores que podem

maximizar o desempenho de um produto, sendo assim uma ferramenta útil para a melhoria e balanceamento dos requisitos (MONTGOMERY, 2001; CREVELING et al., 2003; BACK et al., 2008).

Neste momento, a equipe de desenvolvimento analisa os *trade-offs* entre os requisitos, a fim de realizar um balanceamento dos requisitos, pois cada conceito é um resultado viável da combinação de formas e atendimento às especificações compatíveis às desejadas no início do projeto do produto. Esta análise pode ser realizada por meio de discussões e levantamento de experiências dos envolvidos. Por essa razão, a Matriz Morfológica não deixa de ser um banco de possíveis soluções de projetos que podem ser combinados para atender a diferentes funções de um produto.

Para o balanceamento dos requisitos e seleção do conceito, autores como Clausing (1994), Ulrich; Eppinger (2000) e Rozenfeld et al. (2006) sugerem a Matriz de Pugh como um componente-chave para uma seleção e *trade-offs* entre os possíveis conceitos do produto. Devido à simplicidade de entendimento e aplicação da ferramenta, a comparação de mais de uma alternativa de conceito permite a equipe avaliar o atendimento aos requisitos dos *stakeholders*.

Assim, o QFD permite manter rastreado os requisitos entre as fases do PDP e estabelece um suporte para a aplicação de outras ferramentas e o encadeamento destas com algumas fases do PDP. Uma representação da interação das ferramentas citadas anteriormente é apresentada no Apêndice A deste documento.

O encadeamento destas ferramentas depende de vários fatores como a complexidade do produto, natureza do negócio, capacitação da equipe, entre outros. As ferramentas escolhidas atendem a uma gama de situações comuns na indústria de bens manufaturáveis de média complexidade em produtos do tipo melhorias incrementais ou de plataforma.

O Apêndice A ilustra as fases da proposta e as ferramentas de suporte sugeridas para cada fase, as setas indicam a integração entre as ferramentas com a intercambialidade entre as informações. Cabe salientar que estas ferramentas não são as únicas possíveis, é apenas um caminho plausível elaborado com base na literatura. As ferramentas que serão aplicadas no exemplo do desenvolvimento de um novo produto eletrônico estão destacadas no Apêndice A como escopo do artigo.

5. EXEMPLO DE DESDOBRAMENTO DOS REQUISITOS NO PDP

Esta seção apresenta um exemplo do desenvolvimento de um novo produto eletrônico denominado balança dinâmica de carcaças pertencente a uma empresa de grande porte e líder no mercado. As fases seguem a Figura 1 e o escopo apresentado no Apêndice A.

5.1 Mapear o cenário do projeto e o ciclo de vida do produto

A empresa em estudo é de grande porte e composta por cerca de 600 funcionários. Baseia-se em uma filosofia de trabalho focada na melhoria tecnológica, qualidade rigorosa e soluções personalizadas. As famílias dos produtos da empresa abrangem: linhas completas de abate e desossa de animais de consumo, projetos de *layout* e de processos para frigoríficos. Atualmente, ocupa a liderança do mercado brasileiro de equipamentos para abate de suínos e para salas de desossa de suínos e bovinos.

A identificação da oportunidade da empresa é que as balanças existentes no mercado não atendem a capacidade de produção do frigorífico. Pretende-se então, atender a capacidade de produção e a precisão necessária.

O novo produto em estudo é estratégico, uma vez que o negócio da empresa é vender soluções completas para frigoríficos, e a balança é um equipamento que influencia diretamente nos resultados da comercialização da carne e dos produtos do frigorífico. Além disso, não há nenhum produto no mercado que realize a pesagem de maneira confiável nas linhas de abate de grande velocidade para transportadores de trilho chato (que são utilizados no Brasil e USA).

Realizado o mapeamento do cenário, este pode ser registrado no plano do projeto do produto contendo as informações para a equipe de desenvolvimento de produto. Com o entendimento destas informações, a equipe detalha o mapeamento do ciclo de vida do produto. O mapeamento do ciclo de vida do produto em estudo foi realizado por meio de um fluxograma que pode ser visualizado na Figura 3, a qual ilustra as etapas do ciclo de vida do produto e auxilia na listagem dos *stakeholders* envolvidos em cada fase de desenvolvimento do respectivo produto.

5.2 Identificar os *stakeholders* do projeto

Com base no mapeamento do cenário do projeto do novo produto em desenvolvimento e o ciclo de vida do produto pôde-se definir todos os envolvidos com o respectivo projeto do

PDP. O mapeamento do ciclo de vida do produto facilitou a identificação e a associação com os *stakeholders*. Os *stakeholders* identificados para o produto balança dinâmica de carcaças estão listados e relacionados com as etapas do ciclo de vida do produto na Figura 3.

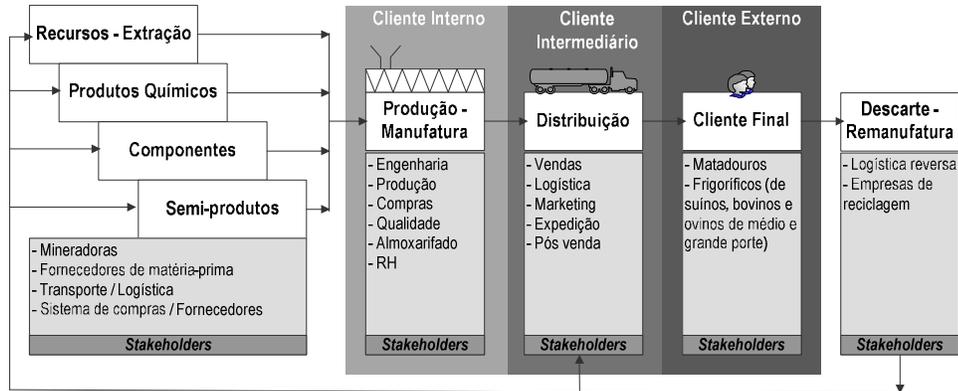


Figura 3 – Ciclo de vida do produto em estudo e seus *stakeholders*

A identificação dos *stakeholders* é uma importante fonte de geração de requisitos. Cabe enfatizar que os *stakeholders* estudados neste artigo são os clientes internos, intermediários e externos, os quais estão destacados na Figura 3, seguindo a classificação sugerida por Rozenfeld et al. (2006), Back et al. (2008) e Marx (2009). Esta fase realiza-se na fase correspondente ao levantamento de informações do PDP, no qual os requisitos são detalhados.

5.3 Identificar, priorizar e classificar os requisitos dos *stakeholders* do projeto

O levantamento dos requisitos dos *stakeholders* foi obtido por meio de uma pesquisa de mercado qualitativa, na qual foram definidas questões amplas que atenderam ao objetivo do trabalho. Doravante, por questões de simplificação, os requisitos dos *stakeholders* serão denominados de requisitos dos clientes.

O questionário qualitativo (APÊNDICE B) foi aplicado aos seguintes clientes: seis clientes internos representantes das áreas de produção, engenharia, compras, qualidade, almoxarifado e recursos humanos, quatro clientes externos (frigoríficos de suínos, bovinos e ovinos de médio e grande porte, e matadouros) e cinco clientes intermediários, representantes das áreas de marketing, expedição, pós-venda, logística e vendas, a fim de listar os requisitos dos diferentes clientes do produto em estudo.

A pesquisa qualitativa contemplou: (i) perguntas relacionadas às características esperadas do equipamento em relação aos aspectos visuais, desempenho técnico, aspectos de segurança, facilidade de operação e ergonomia, limpeza e higiene e manutenção. Igualmente, prospectou-se aos usuários (ii) como estes realizam a pesagem atualmente; (iii) quais os principais

problemas encontrados no processo de pesagem. E, finalmente, a última questão averiguou qual seria o equipamento perfeito para realizar o processo de pesagem.

Para priorizar os requisitos dos clientes levantados procedeu-se com uma pesquisa quantitativa por meio de um questionário (APÊNDICE C) enviado por e-mail para os clientes externos do produto (neste caso os clientes provenientes de três frigoríficos e um matadouro). Sabe-se que o tamanho de amostra deve ser calculado com representatividade estatística. Contudo, neste trabalho, o exemplo foi elaborado para fins didáticos, deste modo os resultados não representam, os frigoríficos pertencentes ao mercado alvo da empresa.

A priorização dos requisitos dos clientes foi calculada com base na Equação 1. Levou-se em conta a importância de cada qualidade demandada, designada como importância da demanda (requisito) i dos clientes.

$$ID_i^* = ID_i \times \sqrt{E_i} \times \sqrt{M_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde ID_i : grau de importância (de 0 a 100%) do requisito i dos clientes; $i = 1, \dots, D$; onde D : número de requisitos (demandas) dos clientes; (E_i): avaliação estratégica onde $i = 0.5, 1.0; 1.5$ e 2.0 , respectivamente, importância pequena, média, grande ou muito grande dos requisitos dos clientes; M_i : avaliação competitiva onde $i = 0.5, 1.0, 1.5$ e 2.0 , respectivamente, acima, similar, abaixo ou muito abaixo da concorrência em relação aos requisitos dos clientes.

Para tanto, foi utilizado o índice de importância ID_i para cada um dos requisitos dos clientes, corrigido pela consideração dos aspectos estratégicos e competitivos, obtendo um índice de importância corrigido: ID_i^* (grau de importância corrigido do requisito i dos clientes). Este índice de importância corrigido é calculado por meio da Equação 1 (RIBEIRO et al., 2001).

Na Figura 4 verifica-se a priorização dos requisitos dos clientes resultante da aplicação do questionário quantitativo. O nível primário mais importante foi o desempenho técnico, seguido pela resistência e robustez. Os níveis primários com menor importância atribuída foram em relação aos aspectos visuais e facilidade de operação e ergonomia.

Nível Primário dos Requisitos dos clientes	Peso	Peso %	Nível Secundário dos Requisitos dos clientes	(IDi) Peso %	Ei	Mi	IDi*
Desempenho técnico	5,0	39%	Atender a velocidade de abate do frigorífico	10,0	2,0	0,5	10,0
			Menor variação possível no peso real	9,4	1,5	0,5	8,2
			Compatível com o sistema informatizado do frigorífico	9,6	2,0	1,0	13,6
Manutenção	1,6	12%	Menor necessidade de lubrificação	2,8	0,5	2,0	2,8
Limpeza e Higiene	1,0	8%	Fácil acesso ao local para higienizar	2,5	0,5	1,0	1,8
Facilidade de Operação e ergonomia	0,9	7%	Não necessitar treinamento específico	1,7	0,5	0,5	0,9
			Baixo consumo de energia	1,6	1,0	1,0	1,6
Aspectos de Segurança	1,5	11%	não oferecer risco ao operador	3,8	1,0	1,5	4,6
			nenhuma carcaça caia no chão	3,6	2,0	2,0	7,3
			não dê choque elétrico	3,8	0,5	1,0	2,7

Figura 4 – Recorte da priorização dos requisitos dos clientes da balança dinâmica de carcaças

Posteriormente, procedeu-se a uma análise de classificação dos requisitos dos clientes (clientes internos, externos e intermediários) (adaptada de KANO et al., 1984; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008). Os requisitos foram divididos em dois grupos: negociáveis (atrativos ou lineares) que constituirão as informações de entrada no QFD e os requisitos não-negociáveis (normativos e/ou óbvios) as informações a serem registradas em um banco de dados e, posteriormente, inseridas na lista de exigências do produto juntamente com os resultados do QFD (FIGURA 5).

			Informação a ser inserida no QFD	Informação a ser inserida em um banco de dados		
CLIENTES	Nível Primário	Requisitos Nível Secundário	CLASSIFICAÇÃO			
			NEGOCIÁVEL		NÃO-NEGOCIÁVEL	
			Linear	Atrativo	Normativo	Óbvio
Cliente Externo (Frigoríficos de suínos, bovinos e ovinos de médio e grande porte; Matadouros)	Facilidade de operação e ergonomia	Não necessitar treinamento específico		x		
		Baixo consumo de energia		x		
	Desempenho técnico	Menor variação possível no peso real	x			
		Atenda a velocidade de abate do frigorífico	x			
		Menor variação possível no peso real	x			
	Manutenção	Menor necessidade de lubrificação		x		
	Limpeza e higiene	Fácil acesso ao local para higienizar		x		
Aspectos de segurança	Não oferecer risco ao operador	x				
	Não dê choque elétrico	x				
	Nenhuma carcaça caia no chão	x				
Cliente Interno (Produção; Engenharia; Compras; Qualidade; Almoxtarifado; RH)		Aproveitamento da capacidade instalada				x
		Disponibilidade de matéria-prima - fornecedor				x
		Menor variabilidade de materiais				x
		Capacitação de recursos				x
Cliente Intermediário (MKT; Expedição; Pós-venda; Logística; Vendas)		O modelo deve portar, em local de fácil visibilidade, inscrições (marca e endereço do fabricante, designação do modelo, número de série e ano de fabricação, etc)			x	
		Fácil transporte				x
		Fácil montagem de instalação				x
		Fácil de armazenar				x

Figura 5 – Recorte da classificação dos requisitos dos clientes

A classificação dos requisitos foi realizada com a equipe de desenvolvimento do projeto da balança. Nesta pesquisa de mercado, foi mencionada uma demanda (item) de projeto: “balança com sistema integrado para controle estatístico da qualidade do peso do suíno”. Contudo a equipe não considerou viável, registrando a demanda num banco de idéias sem incorporá-la no produto.

Obtidos os requisitos dos clientes, suas respectivas prioridades e classificações, prossegue-se com a identificação dos requisitos do produto.

5.4 Identificar e priorizar os requisitos do produto

Nesta fase, os requisitos dos clientes, que foram classificados como negociáveis e lineares ou negociáveis e atrativos, são convertidos em requisitos do produto, os quais são as características que o produto deve atender ao longo do seu ciclo de vida, para tal possuem expressões mensuráveis. Esta fase realiza-se na fase de levantamento de informações do PDP.

Os requisitos do produto foram definidos por uma equipe multidisciplinar, cujos constituintes têm conhecimento sobre o produto. O recorte contendo os requisitos do produto da balança dinâmica de carcaças está apresentado na Figura 6. Cada requisito dos clientes possui um requisito do produto relacionado, ou seja, uma tradução para um linguajar mais técnico.

Requisitos dos clientes	Requisitos do produto	Especificações
Velocidade que atenda ao abate	Número de pesagens/h	< 600 ciclos/h
Menor variação possível no peso real	Erro máximo permissível (Kg)	< 0,1Kg a cada 100kg
Compatível com o sistema informatizado do frigorífico	Compatibilidade c/o sistema informatizado do frigorífico (S/N)	sim
Não oferecer risco ao operador	Número de pontos de risco	< 3
Nenhuma carcaça caia da balança	Quantidade de carcaças que tiveram queda (carcaças/dia)	zero
Não dê choque elétrico	Tensão de operação (V)	<= 24V
Não necessitar treinamento específico	Tempo de treinamento (h)	< 1h
Baixo consumo de energia	Consumo de energia elétrica (kW/h)	< 3KW/h
Fácil acesso ao local para higienizar	Peças com livre acesso para higienizar (%)	100%
Menor necessidade de lubrificação	Tempo entre operações de lubrificação (h de operação)	> 120h

Figura 6 – Recorte dos requisitos do produto balança dinâmica de carcaças

Para a organização e priorização dos requisitos, conforme o apêndice A, utiliza-se o QFD, mais precisamente a Matriz da Qualidade do QFD. O recorte da Matriz da Qualidade da balança dinâmica pode ser visualizado na Figura 7.

A priorização dos requisitos do produto foi realizada por meio de um índice de importância corrigido. Esse índice é calculado considerando a importância dos requisitos do produto, a

dificuldade de atuação sobre esses requisitos e os resultados da avaliação competitiva. Deste modo, é possível identificar quais são os requisitos do produto que, caso desenvolvidos, proporcionarão maior impacto sobre a satisfação dos clientes (FIGURA 7). Os requisitos mais importantes foram a capacidade de pesagem (Kg), número de pesagens hora e compatibilidade com o sistema de informatizado do frigorífico, conforme observa-se na Figura 7.

Matriz da Qualidade	REQUISITOS DO PRODUTO										IDi	Ei	Mi	IDi*
	(+) Numero de pesagens/h	(-) Erro máximo permissível (kg)	(+) Compatibilidade com sistema inf. do frigorífico (sim/não)	(-) Quantidade de carcaças que tiveram queda (carcaças/dia)	(-) Tempo de treinamento (h)	(-) Consumo de energia elétrica (kW/h)	(+) Peças com livre acesso para higienizar (%)	(-) Número de pontos de risco para operador	(+) Tempo entre operações de lubrificação (h de operação)	(-) Tensão de operação (V)				
REQUISITOS DOS CLIENTES														
não necessitar treinamento específico					9						1,7	0,5	0,5	0,9
baixo consumo de energia	3					9				9	1,6	1,0	1,0	1,6
fácil acesso ao local para higienização							9				2,5	0,5	1,0	1,8
não dê choque elétrico						1		9		9	3,8	0,5	1,0	2,7
menor necessidade de lubrificação	3								9		2,8	0,5	2,0	2,8
não oferecer risco ao operador								9		9	3,8	1,0	1,0	3,8
nenhuma carcaça caia no chão	9			9				9			3,6	2,0	1,0	5,1
menor variação possível no peso real	9	9									9,4	1,5	0,5	8,2
atender a velocidade de abate do frigorífico	9										10,0	2,0	0,5	10,0
compatível com o sistema informatizado do frigorífico			9								9,6	2,0	1,0	13,6
ESPECIFICAÇÕES	< 600 ciclos/h	< 0,1kg a cada 100kg	sim	zero	< 1h	< 3 kW/h	100%	< 3	> 120h	<= 24V				
IQj	22,3	7,4	12,3	4,6	0,8	1,7	1,6	10,4	2,5	7,3				
Dificuldade de atuação	1,0	0,5	2,0	1,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	2,0				
Análise Competitiva (Bechmarketing)	0,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	1,0				
IQj*	15,8	5,2	17,4	5,7	1,1	2,1	2,4	12,8	3,5	10,3				

Figura 7 – Recorte da Matriz da Qualidade do QFD da balança dinâmica de carcaças

Neste momento a equipe possui as informações necessárias organizadas, priorizadas e classificadas dos requisitos e parte para o desenvolvimento do conceito do produto. Para o

desenvolvimento do conceito, uma das primeiras atividades é associar às funções que atendem aos requisitos dos clientes.

5.5 Desdobrar as funções e alternativas de conceitos

Para os requisitos dos clientes a equipe de desenvolvimento de produtos associou as funções que o produto deve atender. Na Figura 8 verifica-se o recorte do desdobramento das funções que atendem aos requisitos dos clientes.

Neste momento os requisitos não-negociáveis (normativos e/ou óbvios) (FIGURA 5), que estavam em um banco de dados, são inseridos na lista de exigências do produto juntamente com os requisitos dos clientes negociáveis que ingressaram no QFD (FIGURA 5), fazendo parte da análise na Matriz Morfológica e, posteriormente na Matriz de Pugh.

Requisitos dos clientes	Funções	Funções classificadas
não necessitar treinamento específico	treinar	secundária; operação; manutenção; prática
baixo consumo de energia	fornecer energia	secundária; alimentação elétrica; ecológica; prática
fácil acesso ao local para higienizar	acessar	terciária; higienização; ergonomia; prática
nenhuma carcaça caia no chão	segurança do produto	primária; segurança; transportar; prática
não dê choque elétrico	segurança do operador	primária; segurança; prática
menor necessidade de lubrificação	lubrificar	secundária; manutenção; prática
não oferecer risco ao operador	segurança do operador	primária; segurança; prática
menor variação possível no peso real	indicar o peso	secundária; pesagem; prática
atender a velocidade de abate do frigorífico	pesar	primária; pesagem; prática
compatível com o sistema informatizado do frigorífico	transmitir dados	secundária
fácil acesso ao equipamento	acessar/inspecionar	terciária

Figura 8 – Recorte do desdobramento das funções que atendem aos requisitos dos clientes

Esta fase também é responsável por desenvolver e avaliar as alternativas de conceito e solução para o produto, e realiza-se na fase de geração do conceito do PDP. Como ferramenta de auxílio pode-se utilizar a Matriz Morfológica.

A Matriz Morfológica auxilia na geração dos conceitos. Estuda todas as combinações (partes) possíveis do produto capazes de atender as funções desdobradas que, por sua vez, foram pensadas a partir dos requisitos negociáveis e não-negociáveis. Esta ferramenta identificou o conjunto de todas as possíveis alternativas de solução, auxiliando inclusive na análise dos conflitos existente entre os requisitos.

Nas Figuras 9 e 10 verificam-se, respectivamente, os princípios de solução e a Matriz Morfológica com as alternativas de conceitos para balança dinâmica de carcaças relacionadas às funções.

Desdobramento de funções da Matriz Morfológica						
Função principal	Função secundária	Função Terciária	SOLUÇÕES			
fornecer energia			energia elétrica	pneumática	hidráulica	térmica
inicializar	ligar		interruptor	intertravamento com TAM		
	conferir		POP	check SAN		
pesar	colocar a carga sobre a célula		trilho fixo com inclinação	trilho com carretilha com rolamentos	trilho fixo plano	trilho móvel com carro de retorno pneumático
	indicar o peso		indicador digital	indicador analógico	radiofrequência	
	transmitir dados		transmissão automática	planilha manual		
	devolver ao TAM principal		carretilha rolante com arraste manual	carretilha suspensa com auxílio do TAM	devolve pelo auxílio do transportador	
finalizar	desligar		interruptor	automaticamente com o TAM		
	higienizar	acessar	escada	plataforma	rebaixar	CLP
		limpar	POP			
		sanitizar	POP			
prover Manutenção	lubrificar		lubrificação centralizada	POP	lubrificação centralizada e POP	lubrificação descentralizada
	substituir peça		POP			
	inspecionar		POP			
	treinar		POP			
	consertar		POP			
prover Segurança	operador		FMEA			
	produto		Sistema CLP	fixar carretilha no trilho		
	patrimônio		FMEA			

Figura 9 – Recorte do desdobramento de funções da Matriz Morfológica da balança dinâmica de carcaças

Alternativas do produto		
CONCEITO A	CONCEITO B	CONCEITO REFERENCIAL
energia elétrica	hidráulica	energia elétrica
interruptor	intertravamento com TAM	intertravamento com TAM
POP	check SAN	
trilho fixo plano	trilho com carretilha com rolamentos	extensômetro fixo na carretilha
indicador analógico	indicador digital	radiofrequência
planilha manual	planilha manual	transmissão automática
carretilha rolante com arraste manual	devolve pelo auxílio do transportador	
interruptor	interruptor	automaticamente com o TAM
escada	plataforma	
FMEA	POP	FMEA

Figura 10 – Recorte das alternativas de conceito do produto balança dinâmica de carcaças

Uma vez elaborados os conceitos possíveis para o produto eletrônico em estudo, procede-se com a aplicação da ferramenta Matriz de Pugh para auxiliar no balanceamento dos requisitos (CLAUSING, 1994; PAHL; BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; ULRICH; EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

5.6 Balanceamento dos requisitos

Nesta fase, primeiramente, os requisitos do produto foram analisados para verificar a existência de conflitos para possível solução ou negociação. O telhado da Matriz da Qualidade do QFD ajudou a equipe a identificar relações recíprocas ou conflitos entre os requisitos do produto por meio da análise das correlações entre estes requisitos.

Na Figura 11 pode-se observar o telhado da Matriz da Qualidade e as correlações entre os requisitos do produto em estudo. Um exemplo de relação positiva forte fornecida pelo telhado da Matriz da Qualidade é a capacidade de pesagem (Kg) com o número de pesagens (h). A correlação é positiva porque o aumento na capacidade de pesagem (Kg) aumenta o número de pesagens (h).

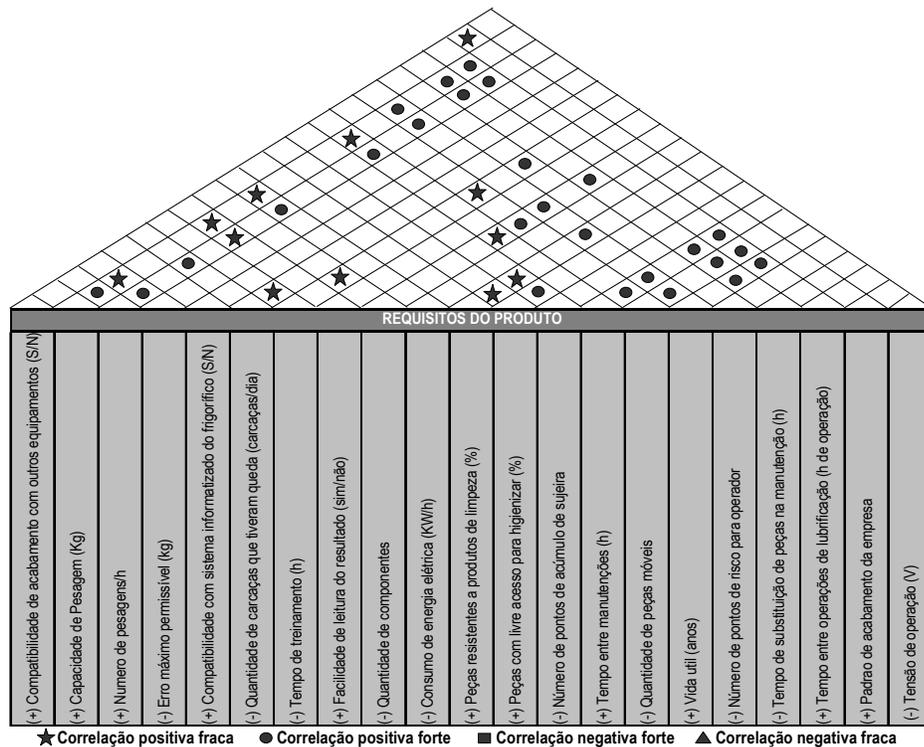


Figura 11 – Correlações entre os requisitos do produto – telhado da Matriz da Qualidade do QFD

Verifica-se, por meio da Figura 11, que ocorreram apenas relações positivas entre os requisitos do produto, ou seja, o atendimento de um requisito do produto pode facilitar o atendimento de outro requisito do produto. A equipe, com base neste registro, utilizou esse conhecimento para criar as alternativas de conceito discutidas anteriormente.

Uma vez realizado o levantamento das relações entre os requisitos do produto procede-se com a seleção do conceito para a balança eletrônica.

A Matriz de Pugh foi utilizada no caso da balança dinâmica para avaliar as alternativas de conceitos geradas pela Matriz Morfológica, na qual possui as alternativas de conceitos e critérios de avaliação. A Matriz de Pugh avaliou as alternativas de conceitos e auxiliou na escolha do conceito resultante do novo produto em estudo.

A Figura 12 ilustra o recorte da Matriz de Pugh para a balança dinâmica de carcaças. Como resultado obteve-se uma pontuação para todas as concepções e por meio da maior pontuação determinou-se a concepção mais adequada às demandas dos clientes, que neste caso foi o conceito A.

Matriz de Pugh		Requisitos dos clientes	ID _i *	CONCEITO A	CONCEITO REFERENCIAL
CLIENTE EXTERNO (Frigoríficos de suínos, bovinos e ovinos de médio e grande porte; Matadouros)	75%	Compatível com o sistema informatizado do frigorífico	10,2	-1	0
		Atender a velocidade de abate do frigorífico	7,5	0	1
		Baixo consumo de energia	1,2	0	0
		Menor variação possível no peso real	6,1	-1	-1
		Fácil acesso ao local para higienizar	1,3	0	0
		Menor necessidade de lubrificação	2,1	0	0
		Não necessitar terinamento específico	0,6	0	0
		Não oferecer risco ao operador	2,8	0	0
		Não dê choque elétrico	2,0	0	0
		Nenhuma carcaça caia no chão	3,8	1	1
CLIENTE INTERNO (Produção; Engenharia; Compras; Qualidade; Almoxarifado; RH)	10%	Aproveitamento da capacidade instalada	0,4	1	-1
		Disponibilidade de matéria-prima - fornecedor	0,3	1	0
		Compatibilidade processos existentes	0,7	1	-1
		Menor variabilidade de materiais	0,6	1	1
		Capacitação de recursos	0,8	1	-1
		Menor número de itens novos	0,4	1	-1
		Maior intercambiabilidade	0,4	1	-1
		Menor variabilidade de peças	0,4	1	1
CLIENTE INTERMEDIÁRIO (MKT; Expedição; Pós Venda; Logística; Vendas)	15%	Fácil transporte	1,2	1	1
		Fácil montagem de instalação	1,1	1	-1
		Fácil de armazenar	0,9	1	1
				13,5	11,3

Figura 12 – Recorte da Matriz de Pugh da balança dinâmica de carcaças

O conceito selecionado para o produto em estudo pode ser descrito como um instrumento de pesagem automático separador, do tipo “*catchweighing*”, eletro-mecânico de acionamento pneumático para pesagem de carcaças de animais em movimento, constituído basicamente por dispositivo receptor de carga do tipo trilho e gancho (transportador aéreo mecanizado), sistema eletro-mecânico de acionamento pneumático equipado com uma célula de carga, e dispositivo indicador eletrônico digital.

Assim, com o auxílio da Matriz Morfológica e da Matriz de Pugh o conceito escolhido da balança dinâmica de carcaças resultou no desenho ilustrado na Figura 13.

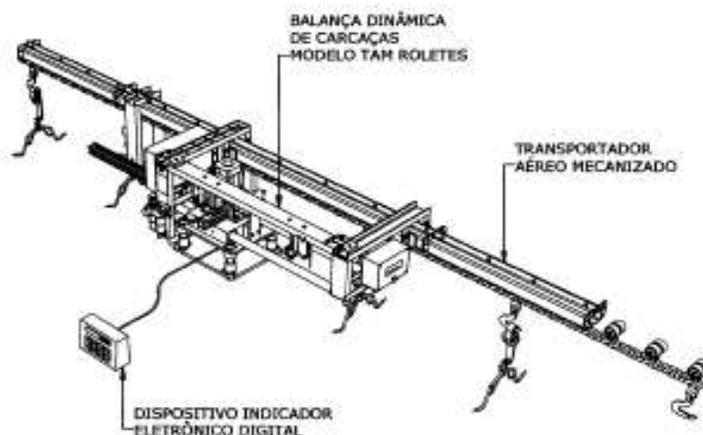


Figura 13 – Desenho do conceito selecionado da Balança dinâmica de carcaças

Como benefício desta balança pode-se citar a pesagem de alta precisão, devido à inexistência de movimento relativo entre a carcaça e a célula de carga e entre a roldana e o trilho. E devido à elevada precisão, a balança permite maior transparência na pesagem de carcaças.

Com isso, o conceito do produto passa para o detalhamento do projeto. A equipe de desenvolvimento de produto que aplicou as ferramentas acredita que a implantação destas aliadas a um modelo referencial de PDP pode contribuir no entendimento do funcionamento do produto. *A priori*, a questão de realizar as ferramentas em uma equipe multidisciplinar fez com que os envolvidos no projeto trouxessem a tona o seu conhecimento tácito tornando-o explícito. O uso de ferramentas no entendimento dos requisitos aproximou áreas como marketing, produção e projeto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi apresentar uma proposta de reorganização das fases de gestão de requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático. A proposta foi baseada no uso de ferramentas e utilizou de forma combinada ferramentas de PDP com o QFD, exemplificando no desenvolvimento de um novo produto eletrônico.

A contribuição principal deste trabalho refere-se à classificação dos requisitos, definindo quais requisitos foram informações de entrada no QFD e quais foram informações a serem inseridas na lista de exigências do produto. Bem como a utilização do telhado da Matriz da Qualidade do QFD, a Matriz Morfológica e a Matriz de Pugh como auxílio no desdobramento

dos requisitos e seleção do conceito resultante do produto exemplificados do desenvolvimento de um novo produto eletrônico.

Verifica-se que o rol de ferramentas utilizadas neste trabalho mostrou-se útil para facilitar o desdobramento dos requisitos, culminando com o conceito resultante do produto eletrônico em estudo. Novas ferramentas podem ser incorporadas ao gerenciamento dos requisitos, contudo entende-se que o conjunto utilizado neste trabalho associado às fases do PDP é um caminho viável que atende a uma gama de projetos industriais com características similares as apresentadas neste artigo.

Como continuidade desta pesquisa, pretende-se desdobrar os requisitos até o detalhamento do projeto relacionando-os aos parâmetros críticos. Realizando assim, um exemplo completo e detalhado de desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos.

REFERÊNCIAS

AKAO, Y.; MIZUNO, S. **QFD**: The customer-driven approach to quality planning and deployment. Hong Kong: Nórdica International, 1994.

ARAUJO, C. S. Avaliação e seleção de ferramentas de desenvolvimento de produtos. XVII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XVII ENEGEP**, Gramado, 1997.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; DA SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos**: Planejamento, concepção e modelagem. 1 ed. São Paulo: Manole, 2008.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**: Guia prático para o design de novos produtos. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

CHEN, C.; KHOO, L. P.; YAN, W. A strategy for acquiring customer requirement patterns using laddering technique and ART2 neural network. **Advanced Engineering Informatics**, v. 16, p. 229-240, 2002.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance**: strategic, organization and management in the world auto industry. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.

CLAUSING, D. P. **Total Quality Development**: A Step-By-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering. 2 ed. New York, 1994.

CRAWFORD, C. M.; DI BENEDETTO, C. A. **New Products Management**. 6 ed. McGraw-Hill, 2000.

CREVELING, C. ;SLUTSKY, J. ; ANTIS, D. **Design for Six Sigma in Technology and product Development**, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.

DIEHL, A. A.; TATIM, D. C. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice-Hall Brasil, 2004.

DYM, C. L.; LITTLE, P. **Engineering design: a project – based introduction**. John Wiley & Sons, Inc., 2 nd, 2004.

ECHEVESTE, M. E. S. **Planejamento da Otimização Experimental**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

FERREIRA, H. S. R.; TOLEDO, J. C. Metodologias e Ferramentas de suporte à Gestão do Processo de Desenvolvimento de produtos (PDP) na indústria de autopeças. XXI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XXI ENEGEP**, Salvador, 2001.

FICALORA, J. P.; COHEN, L. **Quality Function Deployment and Six Sigma: A QFD Handbook**. 2 ed. Prentice Hall, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GINN, D. M.; JONES, D. V.; RAHNEJAT, H.; ZAIRI, M. The “QFD/FMEA interface”. **European Journal of Innovation Management**, v. 1, n. 1, p. 7–20, 1998.

GOMES FILHO, J. **Design de objetos: Bases conceituais**. São Paulo: Editora Escrituras, 2007.

GOVERS, C. M. P. What and how of quality function deployment (QFD). **Proceedings of the Eighth International Working Seminar on Production Economics**, 1994.

GUIMARÃES, L. B. de M. **Ergonomia de Produto**. v. 2, Porto Alegre: FEENGE, 2006.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

HANSEN, E.; BUSH, R. J. Understanding customer quality requirements: model and application. **Industrial Marketing Management**, v. 28, p. 119–130, 1999.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J. EcoDesign and future environmental impacts. **Materials and Design**, n. 26, p. 629–634, 2005.

HOFFMANN, M.; KUHN, N.; WEBER, M.; BITTNER, M. Requirements for Requirements Management Tools. **IEEE International Requirements Engineering Conference – Computer Society**, 2004.

KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S. Attractive quality and must-be quality. **Journal of Japanese Society for Quality Control**, v. 14, n. 2, p.39–48, 1984.

KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. **Requirements engineering: process and techniques**. Chichester, John Wiley & Sons, 2000.

LAI, X; KAY-CHUAN, T; XIE, M. Optimizing Product Design Using Quantitative Quality Function Deployment: a Case Study. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 23, p. 45–57, 2007.

LÖBACH, B. **Design industrial**: Bases para a configuração dos produtos industriais. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing**: Uma orientação aplicada. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

MARX, A. M. **Proposta de método de gestão de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MATZLER, K.; HINTERHUBER, H. H. How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. **Technovation**, v. 18, n. 1, p. 25–38, 1998.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. **Safári de estratégia**: Um roteiro pela selva do planejamento estratégico. São Paulo: Bookman, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Design an analysis of experiments**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design**: a systematic approach. New York, Springer, 1996.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J; GROTE K. H. **Projeto na Engenharia**: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. 6 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

RIBEIRO, J. L.; ECHEVESTE, M. E.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Série Monográfica. PPGEP/UFRGS, Porto Alegre, 2001.

ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. **Product design fundamentals and methods**. John Wiley and Sons, 1996.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F; AMARAL, D. ; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D. e SCALICE, R. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: Uma referência para melhoria do processo. Editora Saraiva, 2006.

SAUERWEIN, E.; BAILOM, F.; MATZLER, K.; HINTERHUBER, H. H. The Kano Model: How to Delight your customers. **International Working Seminar on Production Economics**, Austria, February 19 – 23, p. 313 – 327, 1996.

SHAHIN, A. Integration of FMEA and the Kano model. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 21, n. 7, p. 731–746, 2004.

TYAGI, R. K.; SAWHNEY, M. S. High-performance product management: The impact of structure, process, competencies, and role definition. **Journal of product Innovation Management**, v. 27, n.1, p. 83–96, 2010.

TYLER, B. B.; GNYAWALI, D. R. Mapping managers market orientations regarding new product success. **Journal of product Innovation Management**, v. 19, n.4, p. 259–276, 2002.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. 2 ed. McGraw-Hill International Editions, 1997.

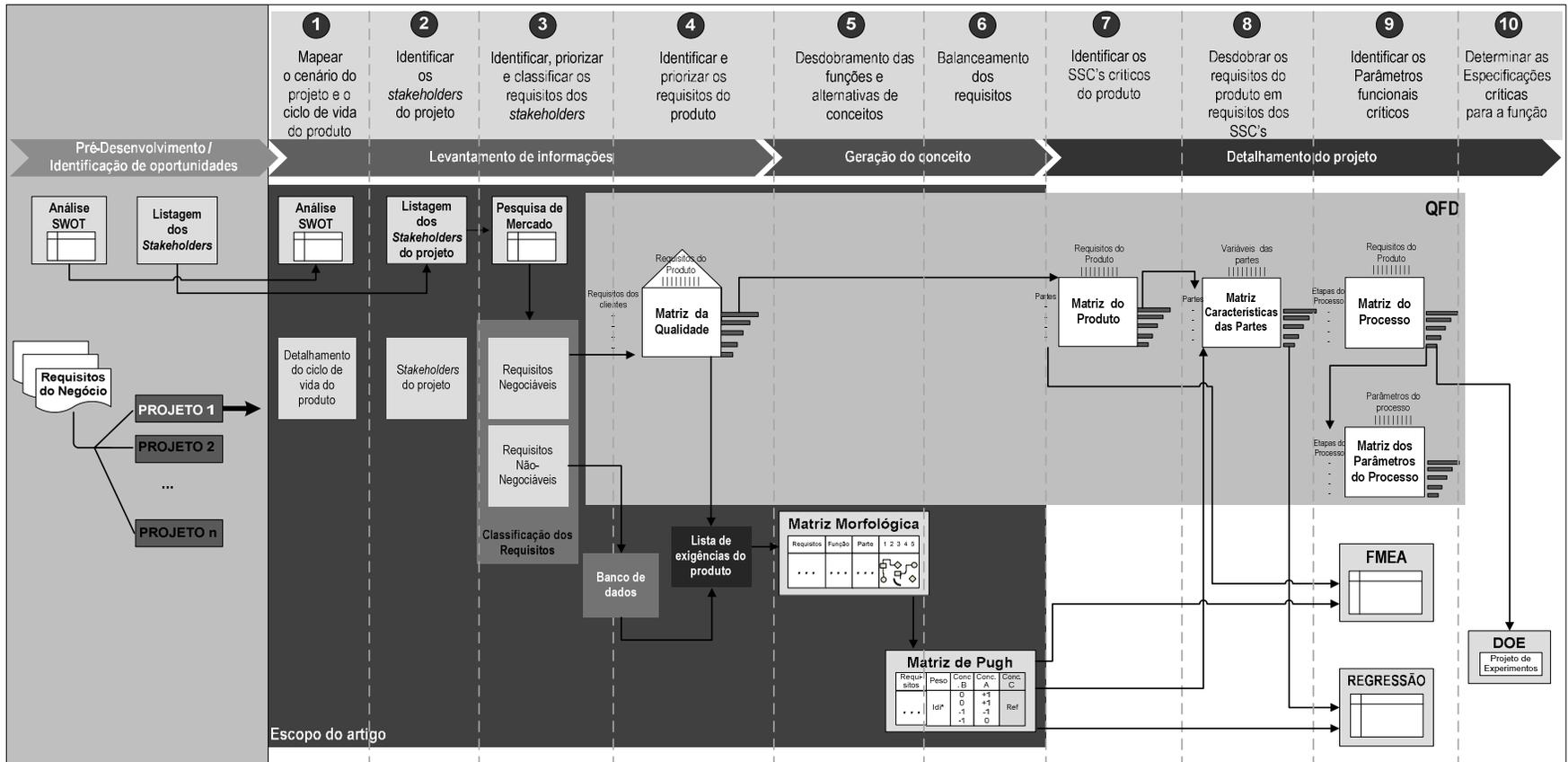
ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

YOUNG, R. **The requirements engineering handbook**. Norwood, MA, USA: Artech House. 2003.

VENZKE, C. S. O Ecodesign no setor moveleiro do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Administração**. Edição Especial 30, v. 8, n. 6, 2002.

APÊNDICE A

Proposta de reorganização de fases para o desdobramento dos requisitos no PDP.



APÊNDICE B

Questionário qualitativo aplicado.

Questionário Qualitativo
Perguntas
1) QUAIS AS CARACTERÍSTICAS ESPERADAS DO EQUIPAMENTO?
2) QUAIS AS CARACTERÍSTICAS EM RELAÇÃO A:
Aspectos visuais
Desempenho técnico (capacidade, velocidade, precisão)
Aspectos de Segurança
Facilidade de Operação e ergonomia
Limpeza e Higiene
Manutenção
3) COMO VOCÊ REALIZA A PESAGEM DO SEU PRODUTO ATUALMENTE?
4) QUAIS OS PRINCIPAIS PROBLEMAS QUE VOCÊ ENCONTRA HOJE COM ESTE PROCESSO?
5) QUAL É O EQUIPAMENTO QUE SERIA PERFEITO PARA ESSA ATUAÇÃO?

APÊNDICE C

Questionário quantitativo aplicado.

Questionário Quantitativo															
Equipamento: Balança Dinâmica de Carcaças															
Estamos pesquisando melhorias nos nossos equipamentos. Gostariamos de saber sua percepção sobre os itens abaixo:															
1) Em relação aos ASPECTOS VISUAIS da balança, avalie a importância de:						pouco importante		muito importante							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
que tenha bom acabamento															
acabamento compatível com os outros equipamentos existentes															
superfícies lisas															
2) Em relação ao DESEMPENHO TÉCNICO da balança, avalie a importância de:						pouco importante		muito importante							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
atender ao peso máximo por carcaça															
atender a velocidade de abate do frigorífico															
menor variação possível no peso real															
compatível com o sistema informatizado do frigorífico															
3) Em relação aos ASPECTOS DE SEGURANÇA da balança, avalie a importância de:						pouco importante		muito importante							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
não oferecer risco ao operador															
nenhuma carcaça caia no chão															
não dê choque elétrico															
4) Em relação à OPERAÇÃO E ERGONOMIA da balança, avalie a importância de:						pouco importante		muito importante							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
não necessitar treinamento específico															
fácil de ler o resultado do peso															
menor número de componentes															
baixo consumo de energia															
5) Em relação à LIMPEZA E HIGIENE da balança, avalie a importância de:						pouco importante		muito importante							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
não reagir aos produtos de limpeza															
fácil acesso ao local para higienizar															
não acumular sujeira (design higiênico)															
6) Em relação à MANUTENÇÃO da balança, avalie a importância de:						pouco importante		muito importante							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
baixa manutenção															
peças facilmente substituíveis															
menor número de peças móveis															
menor necessidade de lubrificação															
7) Em relação à RESISTÊNCIA E ROBUSTEZ da balança, avalie a importância do equipamento ser:						pouco importante		muito importante							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
resistente às condições de uso															
resistente à manutenção															
resistente à intemperismo															
8) Neste equipamento, o que você acha mais importante? Neste momento, ordene de 1 a 7, onde 1 é o item mais importante, 2 é o segundo mais importante, e assim sucessivamente até o 7. Não vale o mesmo número mais de uma vez.															
<input type="checkbox"/> Aspectos visuais															
<input type="checkbox"/> Desempenho técnico															
<input type="checkbox"/> Aspectos de Segurança															
<input type="checkbox"/> Facilidade de Operação e ergonomia															
<input type="checkbox"/> Limpeza e Higiene															
<input type="checkbox"/> Manutenção															
<input type="checkbox"/> Resistência e robustez															

CAPÍTULO 2

ARTIGO 3: PROPOSTA DE GESTÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS POR MEIO DE MODELAGEM ESTATÍSTICA

**PROPOSTA DE GESTÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS POR MEIO DE
MODELAGEM ESTATÍSTICA**

Karla Faccio

Mestranda em Engenharia de Produção – UFRGS

e-mail: karlafaccio@producao.ufrgs.br

Márcia Elisa Soares Echeveste

Prof. Dr. Engenharia de Produção – UFRGS

e-mail: echeveste@producao.ufrgs.br

Resumo

A gestão de parâmetros críticos (CPM) estuda a conversão das demandas dos clientes em especificações críticas para o produto. A finalidade do CPM é permitir que a equipe de desenvolvimento concentre os esforços nas características mais relevantes do produto desde as fases iniciais do PDP. Assim, o objetivo deste artigo é identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística. Como contribuição principal deste artigo pode-se citar a utilização de análise estatística na identificação de parâmetros críticos quando existem poucas informações sobre o produto, para tal, os dados foram simulados com base na opinião de especialistas e no entendimento dos requisitos do produto e suas respectivas especificações-meta e, então, modelados por meio da análise de regressão. Esta análise permitiu a identificação dos parâmetros críticos de um produto nas fases anteriores ao protótipo do PDP. O estudo é exemplificado para o caso de desenvolvimento de um novo produto eletrônico.

Palavras-chave: Parâmetros Críticos, Análise de regressão, PDP.

**PROPOSAL OF CRITICAL PARAMETERS MANAGEMENT IN DEVELOPMENT
OF PRODUCTS THROUGH STATISTICAL MODELING**

Abstract

The critical parameters management (CPM) studies the conversion of customer demands in critical specifications for the product. The purpose of the CPM is to allow development team concentrate efforts in the most relevant characteristics of the product, from the PDP initial stages. This papers aim is to identify critical parameters through analysis on Systems, Subsystems and Components (SSC's) of a new product, using expert opinion and statistical analysis. As this articles main contribution may be cited the use of statistical analysis to identify critical parameters when there is little information about the product, so, data were simulated based on expert opinion and on product requirements understanding and their specifications-goal and then modeled by regression. This enabled the critical parameters identification of a product, during the previous stages of to prototype of the PDP. The study is exemplified through the case study of development of a new electronic product.

Key words: *Critical Parameters, Regression Analysis, PDP.*

1. INTRODUÇÃO

Desenvolver um produto consiste em um processo pelo qual uma organização transforma as informações de oportunidades de mercado e de possibilidades técnicas em dados para a fabricação de um produto comercial (CLARK e FUJIMOTO, 1991). O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) contempla um fluxo de informações entre os diversos setores funcionais envolvidos. Estabelecer a comunicação entre estes setores ao longo do desenvolvimento de produtos envolve uma série de práticas e ferramentas. As ferramentas são vistas como facilitadores, por meio delas as organizações podem reestruturar seu processo de desenvolvimento de produtos (ARAUJO, 1997).

As informações sobre atributos demandados do produto são estudadas na gestão de requisitos. O entendimento dos requisitos prioritários no produto apresenta o primeiro passo para uma boa execução do projeto de um produto, uma vez que associa as necessidades dos clientes com as especificações do produto e metas de desempenho (VRINAT, 2007). Entende-se por requisito do produto o atributo necessário do produto que tenha valor e utilidade para o cliente (YOUNG, 2003). A gestão dos requisitos parte da estratégia da empresa até o conceito do produto e, quando detalhado, os requisitos desdobram-se em parâmetros, assim, aqueles que têm impacto significativo nos requisitos do produto são denominados de parâmetros críticos.

No entanto, o acompanhamento dos parâmetros críticos ao longo do projeto de desenvolvimento é um desafio em face da crescente complexidade no PDP diante das novas tecnologias, novos materiais, novas e mais sofisticadas soluções em produtos. Além disso, manter o controle sobre esses requisitos próximos de seus respectivos valores metas ao longo do PDP apresenta a meta da gestão de parâmetros críticos. Além disso, o CPM é uma abordagem revolucionária para a gestão de desenvolvimento de produtos, uma vez que alinha as decisões estratégicas e modelos matemáticos na mesma ferramenta, estudando a conversão das demandas do mercado em especificações críticas para a funcionalidade do produto. Contudo, o maior desafio para a implementação do CPM é realizar uma mensuração das informações a cerca do produto (CREVELING et al., 2003; JUDD, 2005; VRINAT, 2007).

O emprego do CPM pode iniciar ainda na fase de geração do conceito do produto, capacitando uma estruturação de ferramentas e métricas entre as fases do PDP, uma vez que fornece suporte para o mapeamento dos SSC's (Sistema, Subsistemas e Componentes) do produto. Desta forma, permite que a equipe de desenvolvimento concentre esforços nas

características mais relevantes do produto desde as fases iniciais do desenvolvimento de um produto (CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006).

Verifica-se que o CPM é um assunto atual na comunidade de desenvolvimento de produtos e envolve inclusive técnicas, ferramentas e métodos clássicos utilizados no PDP, como o QFD (do inglês *Quality Function Deployment*) e o DOE (*Design for experiments*) (ROZENFELD et al., 2006; VRINAT, 2007).

Uma metodologia utilizada para identificar os requisitos do produto e definir os SSC's e seus parâmetros críticos é o QFD. O QFD inicialmente foi projetado para melhoria da qualidade de produtos existentes. Contudo, os propósitos dessa metodologia são entender as demandas da qualidade provenientes dos clientes e convertê-las em características mensuráveis do produto, investigando em maior detalhe as características críticas do produto (AKAO; MIZUNO, 1994; GINN et al., 1998; FERREIRA; TOLEDO, 2001).

Em relação ao emprego do QFD no PDP constata-se que a identificação dos parâmetros críticos por meio do QFD é baseada no desdobramento de matrizes, que são compostas, dentre outros elementos, de pesos atribuídos. Estes pesos são resultados da importância da percepção de qualidade atribuída pelo cliente final juntamente com as relações de intensidade entre as partes do produto e as demandas. As importâncias são atribuídas pela equipe que realiza o preenchimento das matrizes do QFD. Essa informação resgata o conhecimento tácito e o torna explícito por meio de escores resultantes de uma discussão consensual das relações de causa e efeito que são a base das matrizes. Contudo, a literatura apresenta estudos que buscam a relação matemática de quais parâmetros críticos impactam no produto final. Estes estudos partem da estimação matemática das relações e interações entre as variáveis que caracterizam os produtos. Estudos como estes são objetivo da Gestão de Parâmetros Críticos ou CPM (*Critical Parameters Management*) (CREVELING et al, 2003; JUDD, 2005; VRINAT, 2007). Uma questão que deriva desta constatação é: Como estimar o impacto dos parâmetros do produto quando inexistente o produto físico e nem tão pouco o protótipo?

Percebe-se que no desenvolvimento de novos produtos, na fase de conceituação, a equipe não tem o produto físico para condução de testes. A primeira representação física do produto ocorre em geral no protótipo, no qual experimentos estatísticos podem ser conduzidos no protótipo. Contudo, o protótipo é uma das soluções possíveis de um produto, definido por meio de um método de seleção de conceito como, por exemplo, Matriz de Pugh (ULRICH; EPPINGER, 2000; JUDD, 2005). Autores defendem que quanto mais à montante o conhecimento dos parâmetros e de sua interferência no produto final, maior é o ganho de

tempo e qualidade no produto e no projeto (ECHEVESTE, 2003). Desta forma, propõe-se mapear os parâmetros críticos antes mesmo da elaboração do protótipo, tendo apenas o conceito do produto e as especificações-meta dos requisitos do produto. Quando a empresa dispõe de um simulador virtual de produtos, este ajudaria a mostrar as várias e possíveis configurações do produto antes mesmo da elaboração do protótipo de um produto. Porém, em várias empresas inexistente esta ferramenta.

Por essa razão, este artigo realiza uma simulação estatística para os valores dos parâmetros do produto com base nas suas especificações-meta e opinião de especialistas. A intenção é maximizar as informações identificadas nas fases iniciais de desenvolvimento do produto sobre os requisitos por meio da geração de um banco de dados multivariado. Este banco é considerado correlacionado, uma vez que os requisitos (mensurados por variáveis) não são interdependentes entre eles. Esse banco de dados multivariado será utilizado na modelagem estatística para a identificação dos parâmetros críticos de um novo produto. Assim, o objetivo deste artigo é identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística.

Esta proposta surge para suprir uma lacuna identificada na literatura, ou seja, um exemplo que demonstre como encontrar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos SSC's do produto. A lacuna supracitada parte do estudo de autores que abordam o tema com enfoque no PDP, com discussões de gestão de requisitos e de parâmetros críticos, apresentando como proceder (sugestões de ferramentas) até o detalhamento do projeto do produto, contudo estes autores não apresentam um exemplo didático, faltando na literatura um detalhamento da aplicação da gestão de parâmetros críticos no PDP (PAHL e BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; CREVELING et al., 2003; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

O artigo está estruturado em cinco seções. Após a introdução, a segunda seção apresenta o procedimento metodológico empregado. A terceira seção realiza uma revisão sobre os principais conceitos utilizados neste artigo, como: parâmetros críticos e ferramentas de suporte ao CPM. A quarta seção mostra os resultados do trabalho. Por fim são apresentadas as considerações finais do artigo.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico empregado neste artigo percorreu três etapas. Inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica, que teve como base uma investigação em periódicos

nacionais e internacionais, teses, dissertações e livros relacionados à gestão de parâmetros críticos. A pesquisa apontou elementos para um melhor entendimento do problema a partir da discussão do referido tema. Pesquisaram-se artigos e trabalhos provenientes das bases de dados *Emerald*, *Elsevier*, *Scielo*, *Wiley InterScience* e *Google Scholar*.

Em um segundo momento, selecionou-se um exemplo no qual os autores deste trabalho pudessem acompanhar as fases de desenvolvimento. Uma empresa de produtos eletrônicos foi selecionada por conveniência, a qual disponibilizou os dados e uma equipe de especialistas (engenheiros) para acompanhar a pesquisa. Esta empresa desenvolve equipamentos de manufatura similares a outros exemplos comuns na indústria de bens e serviços de manufatura. Com base no estudo prático, realizou-se um levantamento dos requisitos de um novo produto até o mapeamento dos seus respectivos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's).

E por fim, realizou-se entrevistas com acadêmicos da área da estatística e do PDP a fim de elaborar um procedimento para identificação dos parâmetros críticos por meio de modelagem estatística e opinião de especialistas com base na simulação dos dados de um novo produto.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste artigo versará sobre gestão de parâmetros críticos e ferramentas de suporte relacionadas ao CPM aplicáveis ao PDP.

3.1 Gestão de Parâmetros Críticos (CPM) e Ferramentas de suporte

A gestão de requisitos, segundo Hoffmann et al. (2004), pode ser definida como a estruturação e administração de informação para elicitação, derivação, análise, coordenação, tradução e localização dos requisitos durante o ciclo de vida do produto.

Um método de organização dos requisitos em parâmetros críticos proposto por Creveling et al. (2003) é o DFSS (*Design for Six Sigma*). O DFSS é uma metodologia baseada em ferramentas analíticas para auxiliar no desenvolvimento de novos produtos. Esta metodologia considera as exigências do mercado e dos clientes, e verifica quantitativamente o quanto as especificações estão sendo atendidas por meio do cálculo de índices de capacidade entre as fases do PDP.

Desta forma, Creveling et al. (2003) apresentam o CPM como uma nova visão para a gestão de requisitos em um contexto de DFSS. O DFSS é inspirado no Programa de qualidade Seis

Sigma, o qual trabalha na reação e correção de problemas no domínio do processo, enquanto que o DFSS trabalha na prevenção de problemas por meio da construção de qualidade no planejamento de um produto (SMITH, 2001). Assim, as fases do DFSS são similares as do Programa Seis Sigma. O CPM é uma dimensão do DFSS que concentra esforços nas características críticas do produto que, quando controladas e ajustadas, poderão garantir melhorias no produto final.

Verifica-se que em relação à gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos há uma sobreposição de fases, porém com ênfases diferentes. A gestão de requisitos enfatiza o traslado, seleção e priorização dos requisitos dos clientes em requisitos do produto, e a gestão de parâmetros críticos enfatiza as características dos componentes e subsistemas que impactam significativamente nos requisitos do produto.

Para Judd (2005) a gestão de parâmetros críticos é um método de suporte ao PDP. A captura sistemática do conhecimento proveniente do desempenho do produto adiciona valor ao programa de desenvolvimento do produto e grande valor para a companhia, pois fornece a possibilidade de reusar, compartilhar e distribuir este conhecimento do desempenho do produto por toda a organização.

Cada fase do CPM tem como entrada e saída variáveis mensuráveis que representam os parâmetros. Os parâmetros podem ser definidos como variáveis mensuráveis que caracterizam os sistemas, subsistemas e os componentes. Os sistemas são influenciados por variáveis dos componentes.

A Figura 1 ilustra o desdobramento dos Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC's) de um produto genérico, na qual as exigências partem das demandas do mercado, que são aquelas características que geralmente são percebidas pelos clientes. Essas demandas são convertidas em requisitos do cliente que são medidas por meio de requisitos do produto. Nesse caso, os requisitos do produto são variáveis representadas por Y , isto é, as variáveis resposta que são dependentes das variáveis explicativas (X 's) (independentes) dos subsistemas.

O relacionamento entre essas variáveis é dado pela função de transferência sistema/subsistema, que estuda matematicamente as relações entre as variáveis $Y_{Si} = f(X_{SS1}, X_{SS2}, X_{SS3}, \dots, X_{SSi})$ e o mesmo ocorre com os subsistemas/componentes, isto é, $Y_{SSi} = f(X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}, \dots, X_{Ci})$. Onde, $i = 1, \dots, k$; k : número de variáveis; Si : sistema i ; SSi : subsistema i ; Ci : componente i ; Y_{Si} : variável resposta do sistema i , Y_{SSi} : variável resposta do

subsistema i ; X_{SSi} : variável explicativa do subsistema i e X_{Ci} : variável explicativa do componente i .

Em um primeiro nível, as variáveis resposta (Y_{Si} 's) dos sistemas são influenciados por variáveis explicativas dos subsistemas (X_{SSi} 's). Em outro nível, mais abaixo, as variáveis resposta (Y_{SSi} 's) dos subsistemas são influenciados pelas variáveis explicativas dos componentes (X_{Ci} 's). Dos componentes, chega-se às exigências do processo de manufatura (CREVELING et al., 2003). Na Figura 1, as demandas são os requisitos dos clientes e Y_{S1} , Y_{S2} , Y_{Sn} são os requisitos do produto.

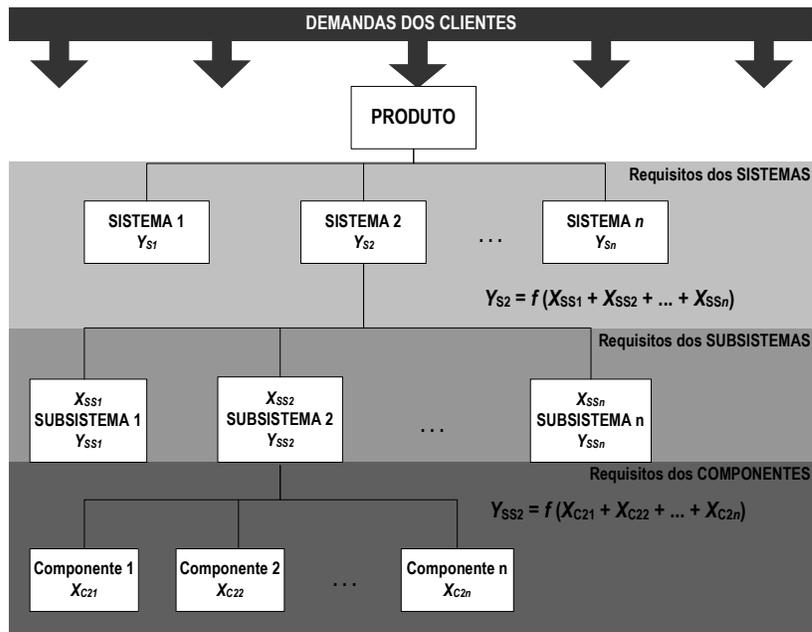


Figura 1 - Gestão de parâmetros críticos

Uma técnica estatística que pode ser útil para auxiliar na gestão dos parâmetros críticos no PDP é a Análise de Regressão. A análise de regressão é uma ferramenta utilizada para estudar as relações entre duas ou mais variáveis, e prever o valor de uma variável resposta (dependente - Y) por meio de um conjunto de variáveis explicativas (independentes X 's) (MONTGOMERY; RUNGER, 2007). A análise de regressão é utilizada para criar uma equação ou função de transferência a partir das medições das entradas e saídas dos sistemas (CREVELING et al., 2003; VRINAT, 2007). O tipo de análise de regressão pode ser quadrática, linear, entre outras. A Equação 1 é o caso de regressão linear múltipla com efeito aditivo e sem efeito de interação (GUJARATI, 2000; MONTGOMERY, 2006). A interpretação dos valores dos β 's das Equações 1 e 2 é que para cada aumento de uma (1) unidade da variável X_i , a variável Y aumenta, em média, β_i unidades de Y , mantendo as demais variáveis X_i 's constantes.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Y é a variável resposta (dependente); α é a constante (intercepto entre a reta e o eixo ortogonal); $i = 1, \dots, k$; k é o número de variáveis; β 's são os parâmetros (coeficientes da regressão); X_i 's são as variáveis explicativas (independentes) e ε é o erro ou resíduo.

A Equação 2 considera no modelo as relações não-lineares entre a variável resposta e as variáveis explicativas e o efeito de interação entre as variáveis explicativas. A simbologia é a mesma que a mostrada na Equação 1.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + \beta_5 X_1 X_2 + \dots + \beta_i X_1 X_2 \dots X_i + \varepsilon \quad (\text{Eq. 2})$$

Para que o uso das Equações 1 e 2 sejam eficazes na predição da variável dependente pressupostos do modelo de regressão devem ser analisados e atendidos. Entre os pressupostos estão: homocedasticidade, normalidade dos resíduos, linearidade entre as variáveis, ausência de autocorrelação nos resíduos (GUJARATI, 2000).

Analisando o CPM numa perspectiva da equação de regressão, esta representa a função de transferência (FIGURA 1). Neste caso, o Y_{Si} 's correspondem às variáveis resposta dos sistemas e os X_{SSi} 's às variáveis independentes dos subsistemas e, num nível mais abaixo, os Y_{SSi} 's representam as variáveis respostas dos subsistemas e os X_{Ci} 's às variáveis independentes dos componentes. Assim, as variáveis (X_{SSi} 's) dos subsistemas irão predizer as variáveis resposta (Y_{Si} 's) dos sistemas, uma vez que as variáveis (X_{Ci} 's) dos componentes predizem as variáveis resposta (Y_{SSi} 's) dos subsistemas, enfatizando quais são os parâmetros críticos de um determinado produto.

As funções de transferência podem assumir a forma do tipo linear, quadrática, entre outras. Vale salientar que os coeficientes (β 's) da regressão associados aos X_i 's representam o impacto destas variáveis na variável resposta (Y). Isso significa, em termos práticos, o quanto uma alteração em alguma variável do subsistema X_{SSi} , dentro de um determinado intervalo, pode influenciar, em média, a variável resposta estudada do sistema (Y_{Si}).

As variáveis explicativas quando incluídas em um modelo de regressão podem ser significativas para o modelo e influenciarem na variável resposta (Y), assim, estas variáveis são denominadas de parâmetros. E os parâmetros que, no modelo de regressão, apresentarem maiores β 's são ditos parâmetros críticos.

Em relação aos parâmetros críticos dos SSC's verifica-se que a nomenclatura diverge dentre os autores pesquisados. Pahl et al. (2005) comentam que o QFD pode auxiliar na definição de

exigências técnicas críticas e na identificação de componentes críticos, mas não apresentam uma aplicação dessa ferramenta em algum exemplo prático.

Os autores Ullman (1997), Rozenfeld et al. (2006) e Back et al. (2008) sugerem como apoio para a gestão de parâmetros críticos o Método Taguchi RD (Projeto Robusto ou do inglês *Robust Design*) e DOE. Uma vez que um planejamento robusto, segundo Dickinson (2006), inicia com o entendimento da voz do cliente para identificar quais requisitos atendem a um conceito robusto, isto é, quando o conceito do produto é resultado do melhor equilíbrio entre os *trade-offs* dos requisitos tornando-o menos sensível aos fatores de variação que podem causar falhas posteriores.

O planejamento robusto foi difundido por Dr. Genichi Taguchi entre os anos 50 e 60, e é uma metodologia eficiente e sistemática que aplica a estatística experimental para melhorar o planejamento de produtos e processos de manufatura por meio de um estudo dos fatores controláveis sob os fatores ruído. Encontrando o ajuste dos fatores controláveis que torna o produto menos sensível às fontes de variação (fatores ruídos) (MYERS, KHURI e VINING, 1992; HU, YANG e TAGUCHI, 2000).

Na literatura, a metodologia de qualidade QFD é largamente utilizada para relacionar requisitos aos parâmetros críticos, uma vez que é utilizada para identificar os requisitos do produto e definir os principais sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) e seus parâmetros críticos (ROZENFELD et al., 2006).

De forma geral, autores de desenvolvimento de produto sugerem o QFD como metodologia de apoio ao PDP, uma vez que essa ferramenta auxilia a identificar os atributos críticos e cria um caminho entre estes e os parâmetros de projetos. Parte do conhecimento da voz do cliente (desdobra a voz do cliente em requisitos técnicos), podendo permear todas as fases do PDP, principalmente as iniciais, nas quais a orientação para o mercado é o ponto de partida para o planejamento do conceito do produto (PAHL E BEITZ, 1996; ULLMAN, 1997; ROOZENBURG E EEKELS, 2000; ULRICH E EPPINGER, 2000; ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

Esta metodologia apóia a equipe de projeto na identificação das demandas dos clientes, na interpretação dessas em termos de parâmetros técnicos e valores alvos, definindo exigências técnicas críticas e identificando componentes críticos (PAHL E BEITZ, 1996; ROOZENBURG e EEKELS, 2000; PAHL et al., 2005). Auxilia nas especificações do produto de acordo com as demandas e desejos dos clientes, investigando em maior detalhe os

requisitos críticos dos clientes que podem ser transformados em medidas de engenharia, buscando uma maior interação com os clientes (GINN et al., 1998; FERREIRA e TOLEDO, 2001). Se isso for bem sucedido, o QFD consegue então desdobrar para o nível de componentes do produto.

Neste trabalho será utilizada a Matriz das Características das Partes do QFD, uma vez que evidencia quais as variáveis a serem controladas ao nível de componentes e subsistemas do produto e a técnica estatística análise de regressão para auxiliarem na identificação dos parâmetros críticos de um novo produto.

4. FASES E APLICAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS CRÍTICOS

Inicialmente serão apresentadas fases relacionadas ao desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos e ao PDP, uma vez que estas conduzem à realização do procedimento apresentado na Figura 7 (que será descrito na seção 4.5) de identificação dos parâmetros críticos de um produto. Esta seção apresenta um exemplo do desenvolvimento de um novo produto eletrônico denominado balança dinâmica de carcaças pertencente a uma empresa de grande porte e líder no mercado.

A empresa em estudo é de grande porte e composta por cerca de 600 funcionários. Baseia-se em uma filosofia de trabalho focada na melhoria tecnológica, qualidade rigorosa e soluções personalizadas. Os produtos da empresa abrangem: linhas completas de abate e desossa de animais de consumo, projetos de *layout* e processos para frigoríficos. Atualmente, ocupa a liderança do mercado brasileiro de equipamentos para abate de suínos e para salas de desossa de suínos e bovinos.

4.1 Identificação dos requisitos

Esta fase realiza-se na fase de levantamento de informações do PDP. Inicialmente, por meio de uma pesquisa de mercado as demandas dos clientes foram levantadas e transformadas em requisitos dos clientes e estes convertidos em requisitos do novo produto em estudo, neste caso de uma balança dinâmica de carcaças. Os requisitos do produto foram definidos por uma equipe pluridisciplinar, os quais têm conhecimento sobre o produto. O recorte dos requisitos dos clientes e do produto em estudo está apresentado na Figura 2. Uma metodologia de suporte para a organização e priorização dos requisitos é a Matriz da Qualidade do QFD.

Requisitos dos clientes	Requisitos do produto	Especificações
Velocidade que atenda ao abate	Número de pesagens/h	< 600 ciclos/h
Menor variação possível no peso real	Erro máximo permissível (Kg)	< 0,1Kg a cada 100kg
Compatível com o sistema informatizado do frigorífico	Compatibilidade c/o sistema informatizado do frigorífico (S/N)	sim
Não oferecer risco ao operador	Número de pontos de risco	< 3
Nenhuma carcaça caia da balança	Quantidade de carcaças que tiveram queda (carcaças/dia)	zero

Não dê choque elétrico	Tensão de operação (V)	<= 24V
Não necessitar treinamento específico	Tempo de treinamento (h)	< 1h
Baixo consumo de energia	Consumo de energia elétrica (kW/h)	< 3KW/h
Fácil acesso ao local para higienizar	Peças com livre acesso para higienizar (%)	100%
Menor necessidade de lubrificação	Tempo entre operações de lubrificação (h de operação)	> 120h

Figura 2 – Recorte dos Requisitos da balança dinâmica de carcaças

Os requisitos da balança dinâmica de carcaças foram priorizados com o auxílio da Matriz da Qualidade do QFD, a qual não será apresentada neste artigo. Essa matriz é útil para associar os requisitos, uma vez que no quadro central da matriz são identificadas as relações entre os requisitos dos clientes e os requisitos do produto (PAHL et al., 2005).

Com o levantamento e priorização dos requisitos, a equipe pode passar para a fase de geração do conceito do desenvolvimento do produto. Neste momento, os requisitos dos clientes juntamente com os requisitos normativos são associados às funções do produto. A partir desse levantamento, a equipe pode associar os requisitos com as funções desdobradas.

4.2 Desdobramento das funções do produto, identificação do conceito do produto e dos SSC's do produto

Na Figura 3 observa-se o recorte do desdobramento das funções atribuídas à balança dinâmica de carcaças. Verifica-se que as funções do produto em estudo foram desdobradas em funções primárias, secundárias e terciárias.

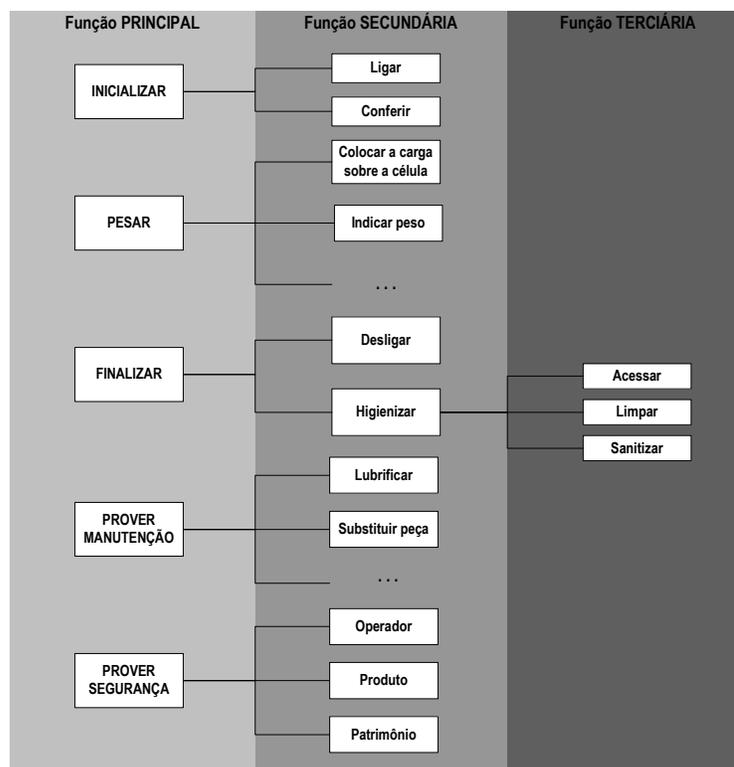


Figura 3 – Recorte do desdobramento das funções da balança dinâmica de carcaças

Com base no desdobramento das funções do produto, a equipe relacionou as possíveis soluções formando várias alternativas de conceitos. Uma vez elaborados os conceitos possíveis para o produto eletrônico em estudo, o conceito da balança dinâmica de carcaças foi negociado e selecionado com o auxílio da Matriz Morfológica e da Matriz de Pugh, resultando no desenho do conceito do produto (FIGURA 4). A Matriz morfológica relacionou os requisitos dos clientes às partes do produto, resultando nas combinações viáveis que são as possíveis alternativas de conceitos do produto, e a Matriz de Pugh auxiliou na seleção do conceito resultante do novo produto em estudo.

O conceito do produto em estudo pode ser descrito como um instrumento de pesagem automático separador, do tipo “*catchweighing*”, eletro-mecânico de acionamento pneumático para pesagem de carcaças de animais em movimento, constituído basicamente por dispositivo receptor de carga do tipo trilho e gancho (transportador aéreo mecanizado), sistema eletro-mecânico de acionamento pneumático equipado com uma célula de carga, e dispositivo indicador de modelo aprovado pelo Inmetro, contendo um mostrador.

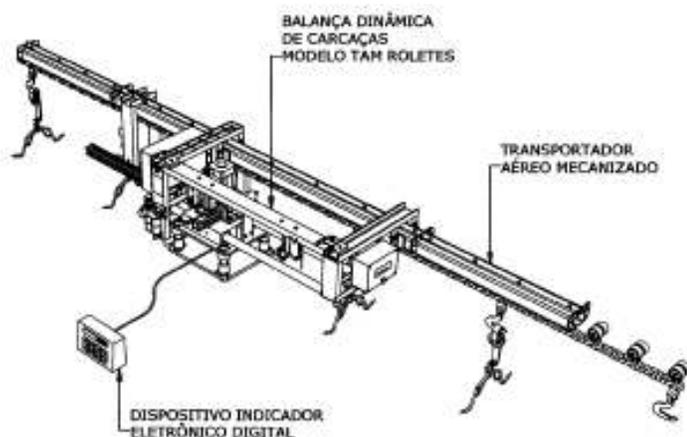


Figura 4 – Desenho do conceito selecionado da balança dinâmica de carcaças

Com a definição do conceito do produto em estudo realizou-se o desdobramento em seus respectivos SSC's. Porém, antes de se realizar o desdobramento dos SSC's do produto deve-se classificá-lo quanto ao seu grau de complexidade. Verifica-se, segundo a classificação mostrada em Poolton; Barclay (1998), que o produto em estudo pode ser considerado de média complexidade, tanto pelo número de elementos/componentes envolvidos na sua composição quanto pelo número de processos envolvidos na sua fabricação.

Uma vez realizada a classificação do grau de complexidade do produto em estudo procede-se com a realização do desdobramento deste produto em seus respectivos SSC's. Assim, o sistema balança dinâmica de carcaças pôde ser desdobrado em quatro subsistemas (FIGURA 6): eletrônico de controle; carro longitudinal de pesagem; movimentação pneumática e estrutura da balança. Os componentes que fazem parte do subsistema eletrônico de controle são programas de CLP, sensores, cabos, quadro elétrico, indicador de peso e botoeira; os componentes do subsistema carro longitudinal de pesagem são as guias longitudinais, carro com rolamentos lineares, célula de carga, pino indexador, trilho suporte da carretilha; os componentes que fazem parte do subsistema manutenção pneumática são o cilindro de retorno do carro, cilindro indexador, preparação de ar e válvulas; e os componentes do subsistema estrutura da balança são o perfil do transportador, suporte das guias longitudinais, trilho de entrada e fixação.

Note que esta fase corresponde à fase de geração do conceito do produto no qual o desdobramento macro é realizado. O detalhamento deste desdobramento depende do quanto a equipe tem conhecimento ou do quanto o produto é novo para a empresa. Quando mais conhecimento do produto e se este for um produto derivado ou variante, maior será o detalhamento dos SSC's na geração do conceito. Quanto maior a inovatividade do produto, o

detalhamento será gradual e os componentes podem ser desdobrados no detalhamento do projeto.

4.3 Identificação das variáveis que medem a qualidade dos SSC's

Uma das fases importantes na identificação dos parâmetros críticos é a identificação de quais variáveis medem a qualidade de determinado componente ou sistema/subsistema. Uma ferramenta utilizada para entender as relações entre os sistemas e os indicadores de qualidade deste é a Matriz das Características das Partes (Ribeiro et al., 2001).

A Matriz das Características das Partes do QFD evidencia quais são as variáveis a serem controladas ao nível de componentes e subsistemas, uma vez que relaciona os componentes (já levantados e ponderados com o auxílio da Matriz do Produto do QFD) mais importantes com suas variáveis de qualidade correspondentes, permitindo visualizar as variáveis a serem controladas nos componentes críticos para a qualidade (RIBEIRO et al., 2001). Maiores informações sobre esta matriz podem ser encontradas em Ribeiro et al. (2001) e Akao; Mizuno (1994). Na Figura 5 pode-se observar o recorte da Matriz das Características das Partes da balança dinâmica.

A Matriz do Produto do QFD, a qual não será apresentada neste artigo, juntamente com a Matriz das Características das Partes auxiliam na escolha do subsistema a ser analisado no decorrer deste artigo. Uma vez que a Matriz do Produto pondera e mostra os componentes mais importantes para o produto e, conseqüentemente, os subsistemas mais importantes para o produto, e a Matriz das Características das Partes relaciona os componentes com as variáveis que medem a qualidade dos mesmos. Então, com base nestas matrizes, o subsistema escolhido para análise neste trabalho foi o carro longitudinal de pesagem.

A Matriz das Características das Partes para a balança dinâmica de carcaças foi realizada com a equipe de desenvolvimento da empresa com o intuito de obter as variáveis de qualidade dos componentes críticos deste produto a serem complementarmente analisadas com o auxílio da análise de regressão, definindo quais são os parâmetros críticos para o produto em estudo.

As variáveis que mais foram críticas (FIGURA 5) para os componentes da balança foram o grau de proteção IPXY, a quantidade (em %) de água no ar comprimido e a tensão (em Volts). Vale enfatizar outras variáveis que também foram críticas: pressão (em Bar) de trabalho, vida útil (número de ciclos do cilindro) e perpendicularidade (em graus) com a face referência entre os furos do carro com o rolamento linear. As duas últimas partes deste produto não

ingressaram na análise dessa matriz, uma vez que as partes cabos elétricos e programa de CLP são terceirizados, assim os entrevistados não conseguiram informar quais são as variáveis correspondentes a essas partes.

Matriz das Características das Partes			VARIÁVEIS DE QUALIDADE DOS COMPONENTES									
			Rigidez do trilho (mm deformação / Kg)	Grau de proteção IPXY	Espessura da camada de galvanização (mm)	Dureza (hc - rockwell C)	Dímetro interno do suporte das guias (mm)	Folga entre o pino indexador e a bucha (mm)	Profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga (mm)	Dímetro interno do alojamento dos rolamentos lineares (mm)	Perpendicularidade com a face ref. entre os furos do carro com rol. linear (°)	Capacidade de pesagem (Kg)
SUBSISTEMAS	COMPONENTES	Ipi*										
Subsistema Estrutura da balança	Trilho de entrada	20,1	9		3	1						
	Trilho de saída	20,1	9		3	1						
	Perfil do transportador	40,1	1		3							
	Fixação	52,5			3							
	Suporte das guias longitudinais	61,8			3		9					
Subsistema eletrônico de controle	Botoeira	61,1		9								
	Quadro elétrico	69,4		9								
	Indicador de peso	113,0		9								
	Sensores	124,7		9								
Subsistema carro longitudinal de pesagem	Célula de carga	134,3		9								9
	Carro com rolamentos lineares	113,6			1					9	9	
	Guias longitudinais	84,9				9					6	
	Pino indexador	97,5			3	3		9				
	Trilho suporte da carretilha	111,9			3				9			
Subsistema de movimentação pneumática	Preparação de ar	115,4										
	Cilindro indexador	118,3										
	Cilindro de retorno do carro	99,4									3	
	Válvulas	127,2		9								
Itens terceirizados, logo não entram nessa análise	Cabos elétricos	51,9										
	Programa do clp	102,3										
Priorização			401	5667	1326	1096	557	877	1007	1022	1829	1209

Figura 5 – Recorte da Matriz das Características das Partes da balança dinâmica de carcaças

Uma vez identificadas as variáveis de qualidade dos componentes, procede-se com um relacionamento destas com os SSC's do produto.

4.4 Mapeamento do relacionamento entre as variáveis de qualidade dos componentes com os SSC's

Esta fase é realizada na fase de detalhamento do projeto de PDP. Procede-se com um desdobramento e relacionamento das variáveis explicativas (X_{Ci} 's) de qualidade dos componentes com os SSC's, uma vez que a Matriz das Características das Partes relacionou os componentes do produto com as suas variáveis de qualidade correspondentes. Desta forma, definem-se quais são as variáveis de qualidade relacionadas com os componentes do produto e seus subsistemas e sistema (FIGURA 6).

A Figura 6 ilustra o desdobramento dos SSC's do produto balança dinâmica de carcaças relacionado com as variáveis de qualidade correspondentes. Em um primeiro nível, o sistema balança dinâmica de carcaças é influenciado por variáveis explicativas (X_{SSi} 's) de qualidade dos subsistemas (eletrônico de controle; carro longitudinal de pesagem; movimentação pneumática e estrutura da balança). Em outro nível, os subsistemas são influenciados pelas variáveis explicativas X_{Ci} 's de qualidade dos componentes (programas de CLP, sensores, cabos, quadro elétrico, indicador de peso, botoeira guias longitudinais, carro com rolamentos lineares, célula de carga, pino indexador, trilho suporte da carretilha, cilindro de retorno do carro, cilindro indexador, preparação de ar, válvulas, perfil do transportador, suporte das guias longitudinais, trilho de entrada e fixação) que podem ser observadas na Figura 6.

O relacionamento entre essas variáveis é obtido pelas funções de transferência sistema/subsistemas e subsistemas/componentes, que estuda matematicamente as relações entre as variáveis.

Neste caso, o Y_S corresponde à variável resposta do sistema balança dinâmica e os X_{SSi} 's as variáveis explicativas dos subsistemas e, em um nível mais abaixo, os Y_{SSi} 's representam as variáveis resposta dos quatro subsistemas e os X_{Ci} 's as variáveis explicativas dos componentes, sendo $i = 1, \dots, k$, k : número de variáveis.

Assim, as variáveis (X_{SSi} 's) dos subsistemas irão prever a variável resposta (Y_S) do sistema, uma vez que as variáveis (X_{Ci} 's) dos componentes preverem as variáveis resposta (Y_{SSi} 's) de cada subsistema, enfatizando quais são os parâmetros críticos da balança dinâmica de carcaças.

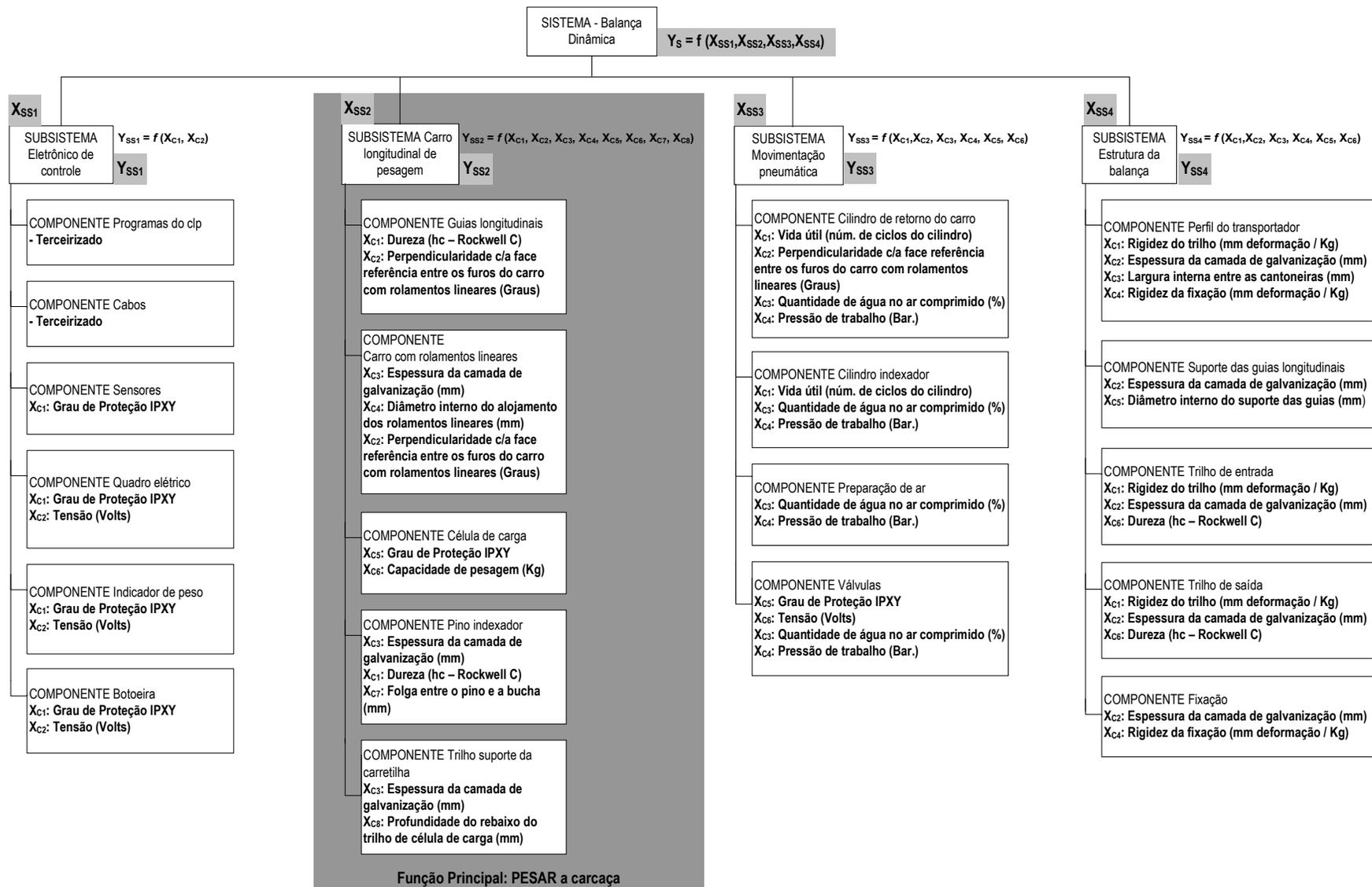


Figura 6 – Desdobramento das variáveis de qualidade associadas aos SSC's

Cada subsistema pode ser analisado, caracterizado e formalizado utilizando ferramentas da engenharia e técnicas estatísticas. Com a utilização da análise de regressão é possível estabelecer as funções de transferência entre as variáveis. Uma vez que as equações de regressão representam as funções de transferência do CPM. Assim, por exemplo, as variáveis X_{Ci} 's de qualidade dos componentes que têm um grande efeito sobre variável resposta Y_{SSi} definem as áreas críticas do subsistema e componentes.

Assim, neste artigo, a identificação dos parâmetros críticos será realizada em um único subsistema do mesmo, o qual está destacado na Figura 6 e possui a função principal de pesar a carcaça, uma vez que este foi identificado como importante pela Matriz do Produto e pela Matriz das Características das Partes complementarmente.

4.5 Desenvolvimento de um procedimento para identificar os parâmetros críticos

Esta fase realiza-se na fase de detalhamento do projeto do PDP e será uma aplicação do procedimento apresentado na Figura 7, sendo responsável por avaliar os SSC's e entender a relação entre os parâmetros críticos dos componentes até os sistemas.

O procedimento apresentado na Figura 7 é aplicado a um exemplo de desenvolvimento de um novo produto (balança dinâmica de carcaças) em que as variáveis (X_{Ci} 's e Y_{SS2}) serão amostradas por meio de simulação estatística com base nas suas especificações-meta e opinião de especialistas, uma vez que inexistente o protótipo do produto em estudo, sendo $i = 1, \dots, 8$.

Pode-se afirmar que o procedimento mostrado na Figura 7 é para o exemplo em se estuda um subsistema por vez. Após a aplicação, ajustes poderão ser propostos no procedimento, a fim de torná-lo mais factível.

Para se realizar a simulação dos dados e a modelagem estatística algumas diretrizes devem ser seguidas. Como a necessidade de estimar uma Matriz de Covariâncias entre as variáveis estudadas a serem simuladas, a qual servirá de *input* para a simulação do banco de dados seguindo a distribuição normal multivariada, e o tipo de relacionamento (linear, quadrático, etc) entre os X_{Ci} 's e o Y_{SS2} . Estes passos serão descritos no decorrer da aplicação do procedimento apresentado na Figura 7.

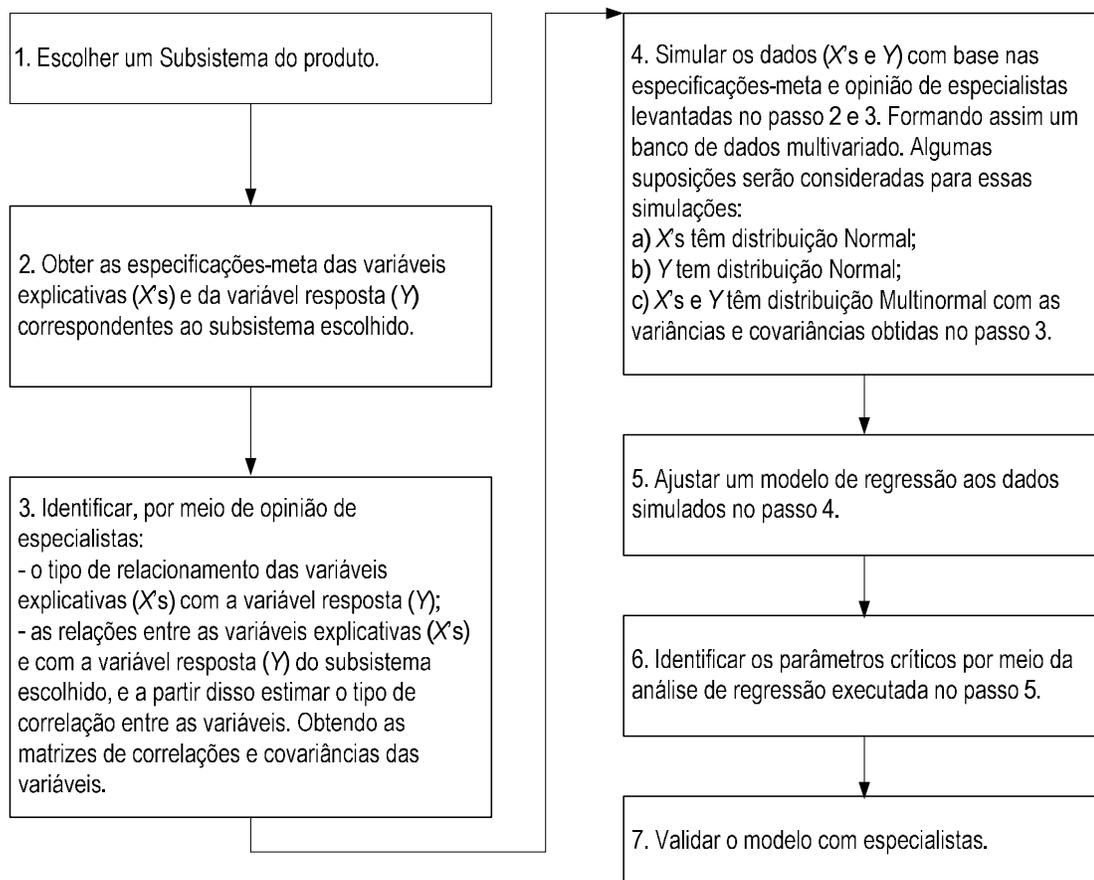


Figura 7 – Procedimento para identificar os parâmetros críticos por meio de modelagem estatística

4.5.1 Escolher um subsistema do produto

Devido à média complexidade do produto em estudo escolheu-se um subsistema do mesmo, neste caso, o Carro Longitudinal de Pesagem, que está destacado na Figura 6 e possui a função principal de pesar a carcaça, no intuito de verificar quais são os parâmetros críticos para o correspondente subsistema. A escolha deste subsistema foi relacionada com o peso dos componentes do mesmo nas variáveis de qualidade dos componentes, assim a escolha deste subsistema foi condicionada por esta priorização decorrente da Figura 5 e também pelo alto grau de importância proveniente da Matriz do Produto do QFD deste subsistema para o produto como um todo. Prosseguindo com a aplicação do procedimento, verifica-se que o próximo passo é definir as especificações-meta das variáveis dos componentes relacionadas ao subsistema em estudo.

4.5.2 Obter as especificações das variáveis explicativas (X_{Ci} 's) de qualidade e da variável resposta (Y_{SS2}) correspondentes ao subsistema escolhido

As variáveis explicativas (X_{Ci} 's) de qualidade dos componentes foram escolhidas com base na Matriz das Características das Partes obedecendo a critérios de mensurabilidade e representam as variáveis críticas para a qualidade, bem como a escolha da variável resposta (Y_{SS2}), ambas relacionadas ao correspondente subsistema. As especificações-meta dessas variáveis foram definidas com base em normas, neste exemplo, uma fonte importante foi uma norma do Inmetro (OIML R51-1 / 2006) (FIGURA 8). Essas especificações-meta serão consideradas para se realizar a simulação de um banco de dados das variáveis explicativas e da variável resposta relacionadas ao subsistema em estudo.

Variáveis explicativas (X_{Ci} 's) de qualidade correspondentes ao Subsistema Carro Longitudinal de Pesagem	Tipo de Variável	Valor Mínimo	Valor Máximo
X_{C5} : Grau de proteção IPXY	Atributo	95% com IP67	IP67
X_{C1} : Dureza (Hc)	Nominal	45 Hc	55 Hc
X_{C2} : Perpendicularidade com a referência entre os furos do carro com os rolamentos lineares (Graus)	Norminal	89,9°	90,1°
X_{C6} : Capacidade de pesagem (Kg)	Nominal	2 Kg	300 Kg
X_{C3} : Espessura da camada de galvanização (mm)	Nominal	0,07 mm	0,1 mm
X_{C7} : Folga entre o pino e a bucha (mm)	Nominal	0,02 mm	0,05 mm
X_{C8} : Profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga (mm)	Nominal	2 mm	4 mm
X_{C4} : Diâmetro interno do alojamento dos rolamentos lineares (mm)	Nominal	75 mm	75,025 mm
Variável Resposta (Y_{SS2})	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Precisão de pesagem (Gramas)	Nominal	0 g	100 g

Figura 8 – Especificações-meta das variáveis explicativas e da variável resposta do subsistema carro longitudinal de pesagem

A variável resposta precisão de pesagem relacionada ao subsistema carro longitudinal de pesagem refere-se ao erro na pesagem das carcaças (diferença entre o peso real e o peso apontado pelo instrumento em gramas), neste caso o erro máximo admissível é até 100 gramas.

Uma vez identificadas as especificações-metas das variáveis correspondentes ao subsistema em estudo, a próximo passo é identificar as relações entre essas variáveis.

4.5.3 Identificar as relações entre as variáveis explicativas (X_{Ci} 's) de qualidade e com a variável resposta (Y_{SS2}) do subsistema por meio de opinião de especialistas

Esta fase do procedimento divide-se em dois passos principais: a identificação do tipo de relacionamento entre os X_{Ci} 's e o Y_{SS2} por meio de entrevistas e desenho das possíveis distribuições individuais, e a avaliação da importância dos X_{Ci} 's no Y_{SS2} e do relacionamento entre os X_{Ci} 's e o Y_{SS2} e entre as variáveis explicativas X_{Ci} 's.

Para este estudo, as variáveis explicativas que mais influenciam na precisão de pesagem são respectivamente: capacidade de pesagem (Kg), profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga (mm), perpendicularidade com a face referência do carro com rolamentos lineares (graus), dureza (Hc), diâmetro interno do alojamento dos rolamentos lineares (mm), grau de proteção IP67, folga entre o pino e a bucha (mm) e espessura da camada de galvanização.

Esta constatação partiu de uma conversa com os especialistas, que informaram, pelos seus conhecimentos a cerca do assunto, as variáveis que mais poderiam influenciar na precisão de pesagem. Para o prosseguimento do estudo serão utilizadas as cinco variáveis mais importantes, segundo os especialistas, para a precisão de pesagem, são elas: a capacidade de pesagem (Kg), a profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga (mm), a perpendicularidade com a face referência do carro com rolamentos lineares (graus), a dureza (Hc) e o diâmetro interno do alojamento dos rolamentos lineares (mm).

Assim, o número de variáveis relacionadas ao subsistema em estudo (Carro Longitudinal de Pesagem que possui a função principal de Pesar) que serão simuladas serão cinco e não oito como indica na Figura 6, pois foram consideradas as variáveis explicativas mais importantes para a variável resposta, as quais foram ponderadas pelos especialistas no passo 3 deste procedimento. As variáveis mais importantes foram obtidas também com o auxílio da matriz ilustrada na Figura 5.

4.5.3.1 Estimar o tipo de relacionamento entre X_{Ci} 's e Y_{SS2}

Por meio de entrevista com especialistas (APÊNDICE A) verificou-se que o tipo de relacionamento das variáveis explicativas (X_{Ci} 's) dos componentes, sendo $i = 1, \dots, 8$, com a variável resposta precisão de pesagem (Y_{SS2}) relacionadas ao subsistema carro longitudinal de pesagem é linear. Esta constatação partiu de um questionamento com estes especialistas, o qual investigou a relação de cada X_{Ci} na precisão de pesagem dentro do intervalo de especificações-meta das respectivas variáveis.

Deste modo, o questionamento partiu das especificações dos X_{Ci} 's e do Y_{SS2} solicitando-se aos especialistas qual seria o comportamento do Y_{SS2} aumentando ou diminuindo os valores de cada variável (X_{Ci}) relacionadas com o subsistema em estudo dentro dos seus intervalos de especificações.

De forma genérica, considera-se a variável X_{Ci} medida na unidade (u) com intervalo de especificação [LIE;LSE]. Extrapolando este intervalo para (k - LIE; LSE + k), onde k é o deslize para fora do intervalo. Neste caso optou-se por $k = (LSE - LIE) / 2$. Assim, esta pergunta seria repetida para valores entre (k - LIE < x < LSE + k), que gerariam pontos de Y_{SS2} . A pergunta realizada pelo pesquisador é: Se X_{Ci} assume o determinado valor x , qual seria o valor de Y_{SS2} ? Com esta pergunta, o pesquisador varia possíveis valores de cada X_{Ci} , ampliando os limites do intervalo de especificação e prospectando sobre o possíveis valores de Y_{SS2} .

O resultado é desenhado à direita do formulário (APÊNDICE A) como possível distribuição de X_{Ci} 's sobre Y_{SS2} . Com isso, constrói-se uma ilustração da possível distribuição do comportamento de cada X_{Ci} sob a variável resposta Y_{SS2} . Com base nas respostas, pode-se prever o tipo de relacionamento, por exemplo, se este é linear, quadrático, se há interação, etc. Este conhecimento prévio dos especialistas facilita a identificação do melhor modelo estatístico existente entre os X_{Ci} 's e o Y_{SS2} .

4.5.3.2 Avaliar a importância dos X_{Ci} 's no Y_{SS2} e o co-relacionamento entre os X_{Ci} 's e o Y_{SS2} e entre os X_{Ci} 's

Para avaliar a importância de cada variável explicativa X_{Ci} de qualidade sob a variável resposta (Y_{SS2}) utilizou-se o formulário apresentado no apêndice B. Conforme o Apêndice B, a escala utilizada mede o grau de importância (de 1 a 10) de cada variável explicativa X_{Ci} de qualidade na precisão de pesagem (Y_{SS2}). Esta importância será utilizada para estimar o co-relacionamento entre X_{Ci} 's e Y_{SS2} . Da mesma forma, para estimar o co-relacionamento entre as variáveis explicativas X_{Ci} 's de qualidade utilizou-se a matriz de relacionamentos apresentada no Apêndice C, a qual foi preenchida por especialistas que atribuíram, nas variáveis relacionadas, valores entre 1 e 10.

Para realizar a simulação dos dados constrói-se, com base na opinião dos especialistas, o co-relacionamento entre as variáveis formando uma Matriz de Covariância entre as variáveis X_{Ci} 's e Y_{SS2} . Esta matriz é derivada da Matriz de Correlações.

Assim, para elaborar e preencher esta Matriz de Correlações, que na sequência será transformada na Matriz de Covariâncias, foi utilizado o grau de importância questionado

através do formulário apresentado no Apêndice B re-escalado entre 0 e 1. Este resultado gerou a primeira linha e a primeira coluna da matriz de correlações (FIGURA 9).

Para completar o preenchimento das demais linhas e colunas da Matriz de Correlações, utilizou-se a estimativa da relação entre as variáveis explicativas (X_{Ci} 's) de qualidade por meio da aplicação da matriz de relacionamentos mostrada no Apêndice C deste artigo. Inicialmente esta matriz foi preenchida por valores entre 1 e 10. Posteriormente, estes relacionamentos foram re-escalados em correlações (de 0 a 1) e, por conseguinte, a Matriz de Correlações ilustrada na Figura 9 foi preenchida por completo.

A Figura 9 apresenta a matriz de correlação resultante para o caso estudado. Neste caso, foram estimadas somente as correlações lineares correspondentes as cinco variáveis mais importantes anteriormente descritas e a precisão de pesagem.

	Y_{SS2}	X_{C1}	X_{C2}	X_{C6}	X_{C8}	X_{C4}
Y_{SS2}	1	0,6	0,7	0,8	0,8	0,5
X_{C1}	0,6	1	0	0,6	0	0
X_{C2}	0,7	0	1	0	0	0,3
X_{C6}	0,8	0,6	0	1	0	0
X_{C8}	0,8	0	0	0	1	0
X_{C4}	0,5	0	0,3	0	0	1

Figura 9 – Matriz de Correlações das variáveis a serem simuladas

Para simular os valores da Matriz de Covariâncias, primeiramente, a diagonal principal desta matriz é calculada, mostrando o relacionamento entre as mesmas variáveis (por exemplo, relação entre X_{C1} e X_{C1} , Y_{SS2} e Y_{SS2} , e assim para as demais variáveis), o que corresponde às variâncias entre as variáveis estudadas (X_{Ci} 's e Y_{SS2}).

Para o cálculo destas variâncias supôs-se normalidade das variáveis. Com base nisso, estimam-se as variâncias considerando 6σ (seis desvios-padrão) dentro da amplitude dos limites de especificação para cada variável.

Assim, utilizando o intervalo [LIE;LSE] de especificação de cada variável X_{Ci} calcula-se a variância conforme a Equação 3, uma vez que se considera um desvio de 6σ e $\sigma = 1$, sendo que os dados são supostamente pertencentes a uma distribuição normal (MONTGOMERY, 2004).

Por exemplo, considerando o intervalo de especificação da variável dureza [45;55], a amplitude neste caso é 10 e o desvio considerado é de 6σ , então a variância da variável dureza corresponde ao valor $(10/6)^2 = 2,78$ (vide a célula (2,2) da matriz mostrada na Figura 10). Portanto, conforme mencionado anteriormente, as variâncias estimadas formam a diagonal

principal da Matriz de Covariâncias. As demais células da Matriz de Covariâncias foram completadas a partir da equivalência da fórmula do coeficiente de correlação (r) (EQUAÇÃO 4) com a fórmula da covariância (EQUAÇÃO 5). Note que, na Equação 4, o valor de r (coeficiente de correlação linear) é proveniente da Matriz de Correlação (FIGURA 9).

Os valores da raiz de cada S_X^2 (variância da variável X) correspondem à diagonal principal da Matriz de Covariâncias (FIGURA 10). Assim, utilizando o r entre as variáveis duas a duas e as respectivas variâncias completa-se a Matriz de Covariâncias.

$$S^2 = \left(\frac{(LSE - LIE)}{6\sigma} \right)^2 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{S_X^2} \times \sqrt{S_Y^2}} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$Cov(X, Y) = r \times \sqrt{S_X^2} \times \sqrt{S_Y^2} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde S^2 : variância; σ : desvio-padrão; LSE: limite superior de especificação; LIE: limite inferior de especificação; r : coeficiente de correlação linear; $Cov(X, Y)$: covariância entre X e Y ; S_X^2 : variância do X e S_Y^2 : variância do Y .

Note que estes cálculos foram realizados para o Y_{SS2} , X_{C1} , X_{C2} , X_{C6} , X_{C8} e X_{C4} , formando assim a Matriz de Correlações e a Matriz de Covariâncias das cinco variáveis em estudo e da variável resposta precisão de pesagem.

Percebe-se que para o cálculo das covariâncias de todas as células da Matriz de Covariâncias, exceto as caselas da diagonal principal, levam-se em conta as correlações (r) e as variâncias (S^2) das variáveis calculadas duas a duas.

Este cálculo pode ser visualizado na Equação 6, que exemplifica o cálculo da célula (2,1) da Matriz de Covariâncias (FIGURA 10), ou seja, a covariância entre a variável dureza e a variável precisão de pesagem. Sucessivamente, repete-se este cálculo para as demais células.

$$Cov(X_{C1}, Y_{SS2}) = r_{X_{C1}Y_{SS2}} \times \sqrt{S_{X_{C1}}^2} \times \sqrt{S_{Y_{SS2}}^2} = 0,6 \times \sqrt{(10/6)^2} \times \sqrt{(100/6)^2} = 16,67 \quad (\text{Eq. 6})$$

	Y_{SS2}	X_{C1}	X_{C2}	X_{C6}	X_{C8}	X_{C4}
Y_{SS2}	277,78	16,67	0,39	662,22	4,44	0,03
X_{C1}	16,67	2,78	0	49,67	0	0
X_{C2}	0,39	0	0,00	0	0	4,167E-05
X_{C6}	662,22	49,67	0	2466,78	0	0
X_{C8}	4,44	0	0	0	0,11	0
X_{C4}	0,03	0	4,167E-05	0	0	1,736E-05

Figura 10 – Matriz de Covariâncias das variáveis a serem simuladas

A Matriz de Covariâncias e as demais informações coletadas com os especialistas serão utilizadas para realizar a simulação dos dados e para estimar o modelo de regressão.

4.5.4 Simular os dados (X_{Ci} 's e Y_{SS2}) com base nas informações levantadas nos passos 2 e 3

O produto em estudo é novo, portanto, inexistente protótipo do mesmo e não se tem resultados de testes acelerados registrados em um banco de dados. Propõe-se a condução de uma simulação estatística com base nas especificações-meta do produto e na opinião de especialistas para formar um banco de dados multivariado. Nota-se que alguma informação sobre outras fontes de balanças já existentes podem ser utilizadas para fundamentar a opinião de especialistas nesta fase, já que o produto em estudo não é do tipo radical, o qual não é um produto totalmente novo para a empresa e para o mercado (ROZENFELD et al., 2006).

Os dados foram simulados com base nas especificações-meta (FIGURA 8) e na opinião de especialistas, considerou-se então a Matriz de Covariâncias (FIGURA 10) entre as variáveis explicativas e entre a variável resposta como informação de entrada para realizar a simulação dos dados.

O resultado é um banco de dados normal multivariado formado por cinco variáveis (Dureza, Perpendicularidade com a referência entre os furos do carro com os rolamentos lineares, Capacidade de pesagem, Profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga e Diâmetro interno do alojamento dos rolamentos lineares) de tamanho 100 para o subsistema carro longitudinal de pesagem (APÊNDICE D).

Algumas suposições foram consideradas nessas simulações: (a) As variáveis explicativas (X_{Ci} 's) têm distribuição Normal; (b) A variável resposta (Y_{SS2}) tem distribuição Normal; (c) As variáveis X_{Ci} 's e Y_{SS2} têm distribuição Multinormal com as variâncias e covariâncias obtidas no passo 3. Sendo $i = 1, 2, 4, 6, 8$.

A suposição de normalidade das variáveis X_{Ci} 's (a) foi considerada para atingir aos objetivos deste trabalho, visto que se espera que a balança seja utilizada pelos animais com medidas

(pesos) apresentando variações em igual proporção acima ou abaixo de seus valores-alvo. Adicionalmente, essa justificativa pode ser estendida para a variável Y_{SS2} (b) sendo pertinente assumir que a precisão de pesagem tenha variações proporcionais acima e abaixo do seu valor médio. Conseqüentemente, é razoável supor que este conjunto de variáveis (explicativas e resposta) pertença à distribuição multivariada Multinormal (d), uma vez que a distribuição univariada destas variáveis é supostamente Normal (JURAN; GRYNA, 1993).

Além disso, técnicas do controle estatístico da qualidade baseiam-se na aproximação para a distribuição normal, pois conforme Montgomery (2004), esta distribuição é considerada, com freqüência, como o modelo probabilístico apropriado para variáveis do setor industrial. Estas variáveis geralmente estão associadas a um grande volume de dados, sendo assim à medida que o tamanho de amostras aumenta, supõe-se um comportamento segundo a distribuição Normal. Neste contexto, a avaliação da capacidade de processos é realizada pela comparação da distribuição de dados com os intervalos de especificação. A base desta comparação é a distribuição Normal.

Os dados (variáveis X_{Ci} 's, sendo $i = 1, 2, 4, 6, 8$ e Y_{SS2}) foram simulados com auxílio do *software R 2.6.0* e considerou-se as suposições anteriormente descritas, ou seja, seguindo a distribuição normal multivariada.

Uma vez obtido o banco de dados normal multivariado simulado, ajustou-se um modelo de regressão linear múltipla e os parâmetros críticos para o subsistema em estudo foram identificados.

4.5.5 Ajustar um modelo de regressão aos dados simulados no passo 4

O modelo de regressão linear múltipla ajustado para os dados simulados no passo 4, a 1%, é apresentado na Equação 7 e pode ser visualizado também na Figura 11. O modelo ajustado foi gerado no *software R 2.6.0*. Foram simuladas amostras de tamanho $n = 100$ e constatou-se uma convergência dos resultados, isto é, os resultados apontaram como significativas sempre as três variáveis descritas na Figura 11, assim reforça-se a consistência da simulação dos dados. A rotina do programa para a simulação dos dados e para a modelagem dos dados pode ser visualizado no Apêndice E deste artigo.

$$Y_{SS2} = 10270 + 1,949Dureza + 0,2355CapacidadePesagem + 18,49Pr ofundidade \quad (\text{Eq. 7})$$

O modelo estimado apresenta um $R^2=0,9126$, isto é, 91,26% da variabilidade da precisão de pesagem é explicada pelo conjunto de variáveis utilizadas no modelo, ou seja, pela capacidade de pesagem, dureza e profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga. Pela análise de variância verifica-se que o modelo está bem ajustado aos dados (Estatística F = 196,4 e p-valor < 0,001).

Modelo de Análise de Regressão estimado para os dados simulados				
Variáveis	Coefficientes estimados	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
Intercepto	10270	4636	2,214	0,0292 *
Dureza (X_{C1})	1,949	0,4234	4,604	0,000013 ***
Perpendicularidade com a referência entre os furos do carro com rolamentos lineares (X_{C2})	-22,68	12,41	-1,827	0,0708 .
Capacidade de pesagem (X_{C6})	0,2355	0,01419	16,58	< 2e-16 ***
Profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga (X_{C8})	18,49	1,523	12,136	< 2e-16 ***
Diâmetro interno (X_{C4})	-167,1	115,4	-1,448	0,1508

Significativos: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ' 0,1 ' ' 1

Figura 11 – Modelo de regressão estimado para os dados simulados

Por meio de uma análise adicional verificou-se que os pressupostos do modelo de regressão são atendidos. Assim, o ajuste linear foi adequado, as variâncias são constantes, não há autocorrelação entre os resíduos e os resíduos são normais (Teste de Normalidade *Lilliefors* D = 0,0413 e p-valor = 0,9442), este p-valor indica aderência dos resíduos à normalidade. Mostrando assim, que a Equação 7 é eficaz na predição da variável resposta precisão de pesagem, uma vez que os pressupostos do modelo de regressão linear múltipla foram atendidos.

Cabe comentar que as interações entre as variáveis explicativas não foram consideradas na elaboração do modelo por motivos de simplificação do mesmo. Para estudos futuros sugere-se considerar as interações possíveis, por meio de entrevistas com especialistas a fim de prospectar sobre o tipo de relacionamento entre os X_{Ci} 's. O modelo de regressão pode ter termos multiplicativos e termos de interação para estes casos. Por outro lado, as interações e modelos mais complexos podem ser estimados nas fases posteriores à macro-fase de desenvolvimento do produto, quando é possível realizar experimentos físicos no produto.

A partir da identificação do modelo de regressão para os dados simulados no passo 4, procede-se com a identificação dos parâmetros críticos para o subsistema em estudo.

4.5.6 Identificar os parâmetros críticos por meio da análise de regressão executada no passo 5

Uma vez identificado o modelo estatístico para os dados simulados, procede-se com a identificação dos parâmetros críticos. Segundo o modelo apresentado na Figura 7 e na Equação 8 verifica-se que os parâmetros mais críticos para a precisão de pesagem (g) do produto em estudo são a profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga (mm), a dureza (Hc) e a capacidade de pesagem (Kg). Observa-se que a cada aumento de uma unidade na profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga a precisão de pesagem aumenta, em média, $\beta_4=18,49$ unidades, mantendo as variáveis dureza (Hc) e capacidade de pesagem (Kg) constantes. Verifica-se também, que a cada aumento de uma unidade na dureza a precisão de pesagem aumenta, em média, $\beta_1=1,949$ unidades, considerando as demais variáveis que ingressaram no modelo como constantes, e a cada aumento de um unidade na capacidade de pesagem a precisão de pesagem aumenta, em média, $\beta_3=0,2355$ unidades, mantendo as variáveis dureza (Hc) e profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga como constantes. Sendo assim, importante monitorar e atuar nestes parâmetros a fim de obter o melhor produto para o mercado.

4.5.7 Validar o modelo com especialistas

O modelo estimado foi validado com base na opinião de especialistas, a fim de verificar de fato se representa o subsistema estudado e a respectiva variável resposta. Assim, por meio de uma nova entrevista com os especialistas verificou-se que o modelo estimado corrobora de fato o que havia sido afirmado anteriormente pelos especialistas, que as variáveis mais críticas para este subsistema são a capacidade de pesagem, profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga e a dureza do material da guia longitudinal, sendo assim os parâmetros mais críticos a serem considerados no subsistema em estudo quando a variável resposta for a precisão de pesagem.

Observa-se que este modelo estimado, além de identificar os parâmetros críticos do produto em estudo, mostrou o impacto de cada parâmetro crítico na variável resposta estudada (precisão de pesagem) por meio dos β 's estimados da regressão. Isto é, os valores estimados dos β 's apontaram “quanto” cada parâmetro é crítico para a precisão de pesagem.

O Apêndice F ilustra todos os passos realizados neste artigo para proceder com a simulação estatística e definir a importância de cada parâmetro crítica na qualidade do produto final.

4.6 Monitoramento das características críticas no PDP

No momento em que conceitos são aprovados e escolhidos, protótipos podem ser desenvolvidos. O procedimento exemplificado neste artigo pode ser replicado quando a equipe de desenvolvimento de um produto construir um protótipo do mesmo, pois dados observados com o desempenho do protótipo podem ser coletados e o processo de modelagem repetido. Neste momento é possível realizar algum tipo de DOE (*Design of Experiments*) para encontrar valores ótimos a partir da regressão. Os resultados podem ser utilizados para validar o protótipo. Da mesma forma, novos experimentos utilizando o procedimento proposto neste artigo podem ser replicados no teste final de linha de produto. Assim, a modelagem será refinada com maior conhecimento e posse de dados do desempenho do produto. Portanto, a aplicação do procedimento proposto capacita aos desenvolvedores de produtos o monitoramento das características críticas da qualidade ao longo das fases do PDP. Ainda, este acompanhamento pode ser um dos resultados avaliados nos *gates* (pontos de decisão durante do projeto).

Outra vantagem a destacar é que a identificação dos parâmetros críticos relacionados aos SSC's por meio do modelo de regressão é útil para avaliação e desenvolvimento de fornecedores, uma vez que os componentes e muitas vezes os subsistemas são desenvolvidos por fornecedores externos. Em outras palavras, parâmetros críticos exigem monitoramento e controle dos fornecedores que desenvolvem o subsistema ou componente relacionado ao mesmo. Indiretamente, esta é uma forma de conhecer a importância do fornecedor para a empresa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística. Como contribuição deste artigo, pode-se citar a utilização da gestão de parâmetros críticos quando existem poucas informações sobre o produto, para tal os dados foram simulados com base na opinião de especialistas e modelados por meio da técnica estatística de análise de regressão, auxiliando na identificação dos parâmetros críticos do produto.

Constata-se que a modelagem estatística utilizada neste artigo foi de suma importância para a gestão de parâmetros críticos, uma vez que identificou os parâmetros críticos do produto em estudo e mapeou o impacto de cada parâmetro crítico na variável resposta estudada.

Por conseguinte, verifica-se que o modelo estimado foi útil para identificar os parâmetros críticos a partir da análise dos SSC's do produto em estudo. Uma vez que direcionou a identificação dos parâmetros críticos na fase de conceituação do produto, contribuindo no desenvolvimento do produto, evitando assim que a falta de conhecimentos das relações entre as variáveis do produto provocassem falhas no produto no futuro. Deste modo, foram incorporadas melhorias no desenvolvimento do projeto do produto na fase de conceituação, evitando que falhas fossem deflagradas no produto físico.

Cabe salientar que não foi intuito deste trabalho descrever um exemplo, mas sim um procedimento para a identificação dos parâmetros críticos de um novo produto. Salienta-se que quando novos produtos são concebidos há poucas informações sobre o relacionamento das variáveis que regem o funcionamento do produto. Nestes casos, demonstra-se que é possível utilizar a opinião de especialistas e as especificações-meta do produto como informação para identificar os parâmetros críticos. Conduzindo assim, uma simulação para a elaboração de um banco de dados a ser utilizado na análise de regressão para avaliar um produto que inexistente fisicamente. Portanto, a contribuição deste trabalho refere-se à identificação dos parâmetros críticos de um produto que ainda não foi testado e lançado no mercado.

Observa-se que uma delimitação do trabalho foi o fato de ter considerado o modelo de regressão linear múltipla, o qual pode não ser o melhor modelo, uma vez que não se pesquisou os efeitos de interação.

Como oportunidade de pesquisa futura sugere-se a aplicação da ferramenta DOE a fim de otimizar os parâmetros do produto. Bem como a realização dos cálculos das funções de transferência para os demais subsistemas e para o sistema, ou seja, realizar o mapeamento dos parâmetros críticos do sistema inteiro e considerar as interações entre as variáveis explicativas por meio de opinião de especialistas.

Da mesma forma, recomenda-se que o controle do PDP incorpore os ajustes na modelagem nas fases posteriores à conceituação do produto. Ainda, os modelos estimados podem ser utilizados para identificar os parâmetros críticos do produto, considerando um espaço multivariado de variáveis respostas.

REFERÊNCIAS

AKAO, Y.; MIZUNO, S. **QFD**: The customer-driven approach to quality planning and deployment. Hong Kong: Nórdica International, 1994.

ARAUJO, C. S. Avaliação e seleção de ferramentas de desenvolvimento de produtos. XVII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XVII ENEGEP**, Gramado, 1997.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; DA SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos**: Planejamento, concepção e modelagem. 1 ed. São Paulo: Manole, 2008.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance**: strategic, organization and management in the world auto industry. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.

CLAUSING, D. P. **Total Quality Development**: A Step-By-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering. 2 ed. New York, 1994.

CRAWFORD, C. M.; DI BENEDETTO, C. A. **New Products Management**. 6 ed. McGraw-Hill, 2000.

CREVELING, C. ;SLUTSKY, J. ; ANTIS, D. **Design for Six Sigma in Technology and product Development**, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.

ECHEVESTE, M. E. S. **Uma abordagem para estruturação e controle do processo de desenvolvimento de produtos**. 2003. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, H. S. R.; TOLEDO, J. C. Metodologias e Ferramentas de suporte à Gestão do Processo de Desenvolvimento de produtos (PDP) na indústria de autopeças. XXI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XXI ENEGEP**, Salvador, 2001.

FICALORA, J. P.; COHEN, L. **Quality Function Deployment and Six Sigma**: A QFD Handbook. 2 ed. Prentice Hall, 2009.

GINN, D. M.; JONES, D. V.; RAHNEJAT, H.; ZAIRI, M. The “QFD/FMEA interface”. **European Journal of Innovation Management**, v. 1, n. 1, p. 7–20, 1998.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. 3 ed. Makron books, 2000.

HOFFMANN, M.; KUHN, N.; WEBER, M.; BITTNER, M. Requirements for Requirements Management Tools. **IEEE International Requirements Engineering Conference**, 12 th, September, 2004.

HU, M.; YANG, K.; TAGUCHI, S. Enhancing Robust Design with the Aid of TRIZ and Axiomatic Design (Part I). **TRIZ Journal**, October, 2000.

JUDD, T. C. Program Level Design for Six Sigma. **Cognition Corporation and SAE International**, 05M-373, 2005.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da Qualidade: Métodos Estatísticos Clássicos** aplicados à Qualidade. 6 ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

MARX, A. M. **Proposta de método de gestão de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to linear regression analysis**. 4 ed. Wiley-Interscience, 2006.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. **Applied statistics and probability for engineers**. 4 ed. John Wiley and Sons, 2007.

MYERS, R. H.; KHURI, A. I.; VINING, G. Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach. **The American Statistician**, v. 46, n. 2, 1992.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. New York, Springer, 1996.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J; GROTE K. H. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

POOL, J.; BARCLAY, I. New product development from past research to future applications. **Industrial Marketing Management**. New York, v. 27, n.3, p. 197-212, 1998.

RIBEIRO, J. L.; ECHEVESTE, M. E.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Série Monográfica. PPGEP/UFRGS, Porto Alegre, 2001.

ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. **Product design fundamentals and methods**. John Wiley and Sons, 1996.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F; AMARAL, D. ; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D. e SCALICE, R. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para melhoria do processo**. Editora Saraiva, 2006.

SMITH, L. **Six Sigma and the Evolution of Quality in Product Development**, 2001. Disponível em: < <http://www.Asq.org> >. Acesso em: 20 nov. 2009.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. 2 ed. McGraw-Hill International Editions, 1997.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

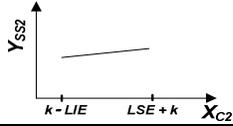
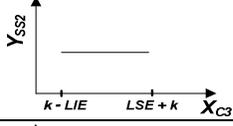
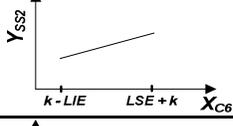
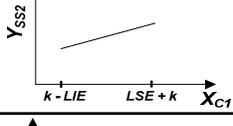
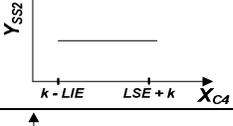
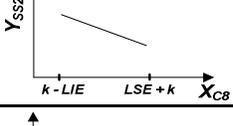
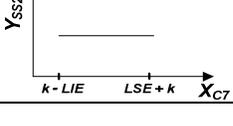
YOUNG, R. **The requirements engineering handbook**. Norwood, MA, USA: Artech House. 2003.

VRINAT, M. Driving product development with critical parameters: Cognition delivers active requirements management for full product lifecycle, 2007. **CPDA – Collaborative Product Development Associate**. Disponível em: < http://cpd-associates.com/index.cfm?content=subpage&file=include_RPPage.cfm&ID=72404138&DOC=194759626 >. Acesso em 18 nov. 2008.

APÊNDICE A

Questionamento sobre o relacionamento (linear, quadrático, etc) das variáveis (X_{Ci} 's) de qualidade dos componentes relacionadas ao subsistema Carro Longitudinal de pesagem com a variável resposta precisão de pesagem (Y_{SS2}).

A pergunta realizada pelo pesquisador é: Se X_{Ci} assume o determinado valor x , qual seria o possível valor de Y_{SS2} ?

Variáveis (X_{Ci} 's) de qualidade dos componentes	Y_{SS2} : Precisão de pesagem
X_{C5} : Grau de proteção IP67	Não se aplica, uma vez que a variável grau de proteção é Atributo
X_{C2} : Perpendicularidade com a face referencia do carro com rol. Lineares ($89,9^\circ - 90,1^\circ$)	
X_{C3} : Espessura da camada de galvanização (0,07mm - 0,10mm)	
X_{C6} : Capacidade de pesagem (2Kg a 300Kg)	
X_{C1} : Dureza (45Hc - 55Hc)	
X_{C4} : Diâmetro interno do alojamento dos rol. Lineares (75,000mm - 75,025mm)	
X_{C8} : Profundidade do rebaixo do trilho da célula de carga (2mm - 4mm)	
X_{C7} : Folga entre o pino indexador e a bucha (0,02mm - 0,05mm)	

NOTA: $k = (LSE - LIE) / 2$. Repetir a pergunta para valores arbitrários no intervalo de $(k - LIE < x < LSE + k)$

APÊNDICE B

Questionamento sobre a importância das variáveis explicativas (X_{Ci} 's) de qualidade dos componentes na variável resposta precisão de pesagem (Y_{SS2}).

1. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável DUREZA (Hc - Rockwell C) na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável PERPENDICULARIDADE COM A FACE REFERÊNCIA ENTRE OS FUROS DO CARRO COM ROLAMENTOS LINEARES (mm) na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável ESPESSURA DA CAMADA DE GALVANIZAÇÃO (mm) na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

4. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável DIÂMETRO INTERNO DO ALOJAMENTO DOS ROLAMENTOS LINEARES (mm) na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

5. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável GRAU DE PROTEÇÃO IP67 na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

6. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável CAPACIDADE DE PESAGEM (Kg) na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

7. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável FOLGA ENTRE O PINO E A BUCHA (mm) na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

8. Qual é a importância (influência) de 1 a 10 da variável PROFUNDIDADE DO REBAIXO DO TRILHO DE CÉLULA DE CARGA (mm) na PRECISÃO DE PESAGEM?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

APÊNDICE D

Dados simulados.

	[Y]	[X _{C1}]	[X _{C2}]	[X _{C6}]	[X _{C8}]	[X _{C4}]
1	53.122698	92.91479	151.0180	34.9092186	74.65791	50.00284
2	52.128469	89.03757	151.0694	-18.6801130	75.58075	50.00448
3	40.136825	89.10827	150.9503	-33.2638485	74.68892	50.00118
4	77.337682	92.36787	151.2036	32.0564903	75.89553	50.02778
5	56.847552	90.11039	150.9166	33.9948560	74.49542	49.98846
6	21.126266	88.63455	150.8987	-89.4320364	74.39213	49.99158
7	34.810217	90.75357	151.0405	-64.1000310	74.99647	50.00597
8	55.656707	90.27911	151.0590	-1.3176247	75.29172	50.00426
9	34.334954	90.62508	150.9234	-12.6561300	74.81043	49.99325
10	53.783998	90.54587	151.0133	8.6663415	74.94751	49.99800
11	54.652001	90.66139	151.0003	28.9052499	74.96696	49.99895
12	51.266861	89.67324	150.9871	7.5632274	74.97169	49.99971
13	37.484687	90.90167	150.9153	-29.5550323	74.78230	49.98515
14	30.972880	90.28215	151.0093	-52.4299621	74.65107	49.99880
15	43.604656	90.84143	150.8813	-0.2907002	74.38908	49.99080
16	22.138724	88.84580	150.9731	-68.7790304	74.57771	49.99616
17	34.774831	89.62726	150.9125	-16.6058050	74.38988	49.99397
18	55.550668	88.81318	151.1855	-53.5085355	76.56139	50.01356
19	38.443060	91.36780	150.9047	6.9166719	73.91563	49.99417
20	51.577378	89.85622	151.0184	-0.3518143	74.99586	49.99479
21	59.468920	92.40411	150.9633	45.3934009	74.99881	49.99885
22	32.700142	89.17811	151.1611	-43.9850844	75.40538	50.01666
23	62.753633	92.71401	151.1025	45.4153165	75.24896	50.00358
24	63.787139	92.54202	151.0661	-9.6753963	75.77425	50.00603
25	65.804281	92.15513	151.0197	29.2028775	75.34966	49.99987
26	56.102461	91.07206	150.8608	56.5516916	74.23325	49.99117
27	20.559811	87.25340	151.0055	-54.9039304	74.75169	49.99429
28	51.321532	91.90542	150.9186	6.6937542	74.51723	49.99190
29	27.276992	88.13611	150.9730	-61.2904621	74.51000	49.99252
30	41.489720	88.37548	151.0109	-6.8823764	75.06806	50.00384
31	61.027937	91.51300	150.9528	67.3566900	74.49764	49.99685

32 61.849807 90.43256 150.9810 19.5012365 75.59397 50.00001
33 38.677732 89.45551 151.0451 24.3206086 74.52229 50.00613
34 49.361665 90.14259 151.0363 -30.8709582 75.24469 49.99860
35 32.813256 90.73783 151.0419 -39.6116459 74.72790 50.00374
36 50.683320 89.05445 150.9854 16.1941018 74.93777 50.00239
37 84.153948 90.94963 151.1055 77.8542711 75.85750 50.01111
38 96.854682 89.90807 151.2204 48.8836218 77.02242 50.02278
39 32.495481 86.97047 151.0059 -26.5470007 74.71888 50.00105
40 30.729339 88.31855 151.0955 -70.4711239 75.30251 50.00861
41 46.949246 90.21761 151.1049 -63.3754835 75.68750 50.01241
42 29.514261 89.32172 150.9053 -61.7071837 74.93633 49.99441
43 55.479217 87.95414 151.0088 -36.1879311 75.28891 50.00114
44 74.115257 90.25583 151.0528 66.2884087 75.66516 49.99677
45 77.084497 92.35247 151.0552 72.6672760 75.22580 50.00452
46 7.172050 88.69938 150.8169 -61.4098377 73.55706 49.98653
47 29.701713 87.63793 151.0066 -37.0992685 74.89484 50.00024
48 40.279549 87.61841 151.0795 -16.5158785 75.10899 50.00373
49 50.161367 90.30831 150.9141 5.0287042 74.65465 49.99835
50 54.471023 90.35414 151.1358 16.6804604 75.66645 50.00467
51 101.820393 91.94497 151.1737 143.6513567 76.19016 50.01437
52 65.087870 90.79736 151.0354 21.4739918 75.55087 50.00555
53 53.435037 90.34329 150.9660 19.3191358 74.67746 50.00006
54 41.046189 90.75643 151.1349 -24.6332378 75.10797 50.00962
55 53.689520 88.59184 150.9072 41.2970439 74.53000 49.98857
56 63.539786 93.56672 151.0698 41.9469814 75.17639 50.00867
57 52.059078 90.47674 151.0240 19.5512638 74.74450 50.00324
58 37.795186 87.24001 151.0839 -11.1939685 75.02547 50.00802
59 71.231266 91.95008 151.0377 42.3818296 75.61761 50.00695
60 71.753383 89.85263 150.9940 8.6275718 75.73459 50.00700
61 53.205774 90.24711 151.0066 -6.1486063 75.16720 50.00147
62 55.191845 90.00567 150.9673 28.3309064 75.10997 50.00074
63 27.790837 87.95412 151.0868 -109.8145513 75.36770 50.00676
64 63.792766 88.79362 151.0147 52.4433429 75.20909 50.00064
65 15.969959 88.26207 150.9657 -65.5851948 74.22740 49.99324
66 47.137997 91.02150 150.9653 -5.5201710 75.17261 49.99580

67 34.114422 88.91592 150.8802 -34.8472466 74.38818 49.98621
68 64.250979 89.25127 151.0694 79.4704865 74.85470 50.01367
69 41.505343 90.51101 150.9889 -57.6694932 75.17889 50.00196
70 37.704210 89.96670 150.8527 -3.3815771 74.40457 49.99202
71 41.011864 89.93218 150.8713 -33.4409144 74.36141 49.99282
72 25.116094 87.25442 151.1015 -164.2935453 75.61478 50.00215
73 48.770925 89.89365 150.8330 36.7575344 74.65234 49.98490
74 50.901934 91.53069 150.9399 36.0474579 74.43448 49.98884
75 75.579242 90.71435 151.0348 54.3647400 75.21042 50.00582
76 22.177915 89.23201 150.9792 -61.5453370 73.89440 49.99013
77 64.029678 92.03511 150.9335 51.9071697 74.78371 49.99248
78 54.470138 88.08038 150.9758 -29.6766905 75.50952 49.99233
79 55.497853 91.86383 151.0485 8.8585906 75.38284 50.00503
80 36.650416 89.70313 150.8209 -26.5608378 74.69381 49.98736
81 56.121361 90.47291 150.8684 82.2833602 74.18819 49.98958
82 55.111892 91.13326 150.9743 -17.2369348 75.24825 49.99589
83 58.493415 90.09299 150.8354 86.3795018 73.82795 49.98693
84 59.787156 91.88313 151.0555 -38.1753314 75.50270 49.99868
85 63.785745 91.16447 151.0183 63.7700613 74.64045 50.00356
86 83.147816 95.04644 151.0941 102.0550179 75.36830 50.00574
87 46.004056 89.65391 151.0519 -10.4227223 74.86231 49.99943
88 59.864459 91.51009 151.0728 6.2003820 75.48996 50.00787
89 40.553811 89.83002 150.9406 -49.1424974 74.87865 49.98834
90 54.599831 91.67192 150.9134 -0.9393732 74.58670 49.98780
91 53.488093 90.00123 151.1321 -33.1696251 75.69337 50.00748
92 27.878246 87.69021 150.9636 -30.5173155 74.47867 50.00587
93 29.500152 88.62179 151.0012 -30.4818003 74.50438 50.00095
94 83.135071 91.97457 151.1084 89.6546971 75.42018 50.00337
95 71.856553 92.11197 151.0967 76.0306349 75.44653 50.00772
96 37.342063 88.69853 151.0236 -69.5480262 74.92982 49.99826
97 52.283800 91.05886 151.0191 80.1216052 74.03623 49.99625
98 27.422968 90.57530 150.9392 -30.0494023 74.49384 49.99700
99 63.405870 92.66016 151.0558 46.9483882 75.03280 50.00702
100 9.207917 87.72648 151.1076 -105.5310796 75.13757 50.00655

APÊNDICE E

Rotina do programa utilizado para a simulação dos dados e modelagem dos dados.

```
#Define Matriz de Covariâncias
remove(list=ls())
#set.seed(135)
sigma <- matrix(c(277.77778, 16.66667, 0.388889, 662.2222, 4.444444, 0.034722,
16.66667, 2.777778, 0.4966667, 0, 0, 0.388889, 0, 0.001111, 0, 0, 0.0000417, 662.2222, 49.66667, 0,
2466.778, 0, 0, 4.444444, 0, 0, 0, 0.111111, 0, 0.034722, 0, 0.0000417, 0, 0, 0.0000174),
ncol=6)
sigma

### Simula dados de uma Normal Multivariada a partir da Matriz de Covariâncias Sigma
require(mvtnorm)
n<-100
x <- rmvnorm(n, mean=c(50,90,151,3,75.0125, 50), sigma=sigma, method=c("svd"))
x
data.frame(x)
cov(data.frame(x))
cor(data.frame(x))

### Ajusta um modelo de regressão linear múltipla normal
mpc<-lm(data.frame(x), formula= "Y~ XC1+ XC2+ XC6+ XC8+ XC4")
summary(mpc)

plot(mpc)

residuals(mpc)
require(nortest)
lillie.test(residuals(mpc))
```

APÊNDICE F

Passos realizados neste artigo a fim de mapear os parâmetros críticos de um novo produto:

1. Levantamento dos requisitos dos clientes e do produto.
2. Desdobramento das funções do produto.
3. Identificação do conceito do produto.
4. Desdobramento dos SSC's do produto.
5. Identificação dos SSC's críticos por meio da aplicação da Matriz do Produto do QFD.
6. Relacionamento dos SSC's com as variáveis que medem a qualidade dos componentes por meio da aplicação da Matriz das Características das Partes.
7. Mapeamento do relacionamento das variáveis de qualidade dos componentes com os SSC's.
8. Escolha de um subsistema com base na Matriz do Produto e Matriz das Características das Partes, uma vez que a primeira matriz mostra os componentes e subsistemas mais importantes para o produto e a segunda matriz relaciona os componentes com as variáveis que medem a qualidade dos mesmos.
9. Obtenção das especificações-meta das variáveis relacionadas ao subsistema escolhido.
10. Aplicação de três questionamentos aos especialistas:
 - 10.1. Identificar o tipo de relacionamento entre X_{Ci} 's e Y_{SS2} por meio de entrevistas e desenho das possíveis distribuições individuais (exemplo de formulário no Apêndice A). Esta informação é utilizada posteriormente na escolha dos termos pertencentes no modelo de regressão (passo 13).
 - 10.2. Avaliar a importância de cada variável explicativa (X_{Ci} 's) sob a variável resposta (Y_{SS2}) por meio de questionário de avaliação da importância com escala de 1 a 10 (APÊNDICE B). Esta importância será utilizada para estimar o co-relacionamento entre X_{Ci} 's e Y_{SS2} . Após, converteu-se essa importância num intervalo de 0 a 1 preenchendo a primeira linha e primeira coluna da Matriz de Correlações.
 - 10.3. Avaliar o co-relacionamento entre as variáveis explicativas (X_{Ci} 's) por meio de uma matriz de relacionamento questionada em escala de 1 a 10 (APÊNDICE C). Após, converteu-se os resultados numa escala de 0 a 1 complementando assim demais linhas e colunas da Matriz de Correlações.

11. Obtenção da Matriz de Covariâncias por meio da Matriz de Correlações construída com o auxílio dos passos 10.2 e 10.3. A Matriz de Covariâncias servirá de informação de entrada para simular os dados que serão modelados.
12. Simulação do banco de dados das variáveis correspondentes ao subsistema escolhido com base na Matriz de Covariâncias.
13. Ajuste de um modelo de regressão ao banco de dados simulados no passo anterior levando em conta a informação identificada no passo 10.1 (de que o tipo de relacionamento entre os X_{Ci} 's e o Y_{SS2} é linear).
14. Identificação dos parâmetros críticos e do impacto de cada um deles no Y_{SS2} .
15. Validação do modelo de regressão estimado com os especialistas.

CAPÍTULO 3

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho e as recomendações de trabalhos futuros.

3.1 Conclusões

O objetivo geral deste trabalho foi analisar os parâmetros críticos através da revisão e inserção das atividades da gestão de requisitos e gestão de parâmetros críticos ao longo do PDP. Esta análise enfatizou a utilização de ferramentas e modelagem estatística. Este estudo contemplou a reorganização de métodos propostos na literatura utilizando ferramentas aplicáveis ao PDP. Essa revisão e inserção de atividades foi demonstrada por meio de um estudo de caso detalhado. O objetivo traçado foi alcançado por meio de três objetivos específicos distribuídos em três artigos distintos: (i) demonstração de uma inserção e revisão das atividades relativas à gestão de requisitos de produto e à gestão de parâmetros críticos ao longo das fases do PDP; (ii) apresentação de uma proposta de reorganização das fases de gestão de requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático e (iii) identificação dos parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística.

Como resultado principal deste trabalho destaca-se a revisão e inserção das atividades relativas à RM e à CPM para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos relacionada ao PDP suportada por técnicas e ferramentas, e a identificação de parâmetros críticos a partir da análise dos SSC's de um novo produto em desenvolvimento utilizando a opinião de especialistas e modelagem estatística.

O objetivo específico do primeiro artigo **propôs demonstrar uma inserção e revisão das atividades relativas à gestão de requisitos de produto e à gestão de parâmetros críticos ao longo das fases do PDP**. A principal contribuição deste artigo consistiu na realização de uma integração e sistematização de ferramentas nas fases da gestão de requisitos e parâmetros críticos, e relacionou ao PDP. A proposta da utilização da metodologia QFD e outras ferramentas como suporte para se realizar o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos também é considerada uma contribuição deste artigo. Uma vez que a

integração de ferramentas não aparece na literatura, de forma explícita, vinculada a um modelo de PDP. Assim, por meio da revisão e inserção de atividades proposta, apresentou-se de maneira unificada a gestão de requisitos e parâmetros críticos, as fases do PDP com as principais ferramentas sugeridas pela literatura consultada, destacando principalmente o uso do QFD no estabelecimento das inter-relações entre requisitos e parâmetros críticos. O emprego desta proposta visa proporcionar um maior entendimento de como essas metodologias podem ser encadeadas e utilizadas simultaneamente.

O objetivo específico do terceiro artigo **apresentou uma proposta de reorganização das fases de gestão de requisitos para o desenvolvimento de um novo produto por meio de um exemplo didático**. A proposta utilizou de forma combinada o QFD, a Matriz de Pugh e a Matriz Morfológica no desenvolvimento de um novo produto eletrônico. Verificou-se que as ferramentas utilizadas neste trabalho mostraram-se úteis para facilitar o a realização do desdobramento dos requisitos. Mostrando assim, a aplicabilidade prática da proposta elaborada para o desdobramento dos requisitos no PDP. As contribuições deste segundo artigo foram a classificação dos requisitos, definindo quais requisitos foram informações de entrada no QFD e quais foram informações a serem inseridas na lista de exigências do produto. Bem como a utilização do telhado da Matriz da Qualidade do QFD, da Matriz Morfológica e da Matriz de Pugh como auxílio nas situações de *trade-offs* entre os requisitos e seleção do conceito resultante do produto em estudo.

E o terceiro artigo **objetivou identificar os parâmetros críticos a partir de uma análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC's) de um novo produto utilizando opinião de especialistas e análise estatística**. Constatou-se que o modelo de regressão estimado foi útil para identificar os parâmetros críticos do produto a partir da análise dos SSC's do produto em estudo, bem como para o mapeamento do impacto de cada parâmetro crítico na variável resposta precisão de pesagem. Desta forma, o modelo identificou quantitativamente os parâmetros mais críticos para o funcionamento do subsistema estudado levando em consideração a variável reposta precisão de pesagem. Como procedimento final, submeteu-se o modelo a uma validação com os especialistas quanto à discussão e concordância com os resultados. Vale salientar que na fase de protótipo os dados podem ser coletados novamente e um novo modelo pode ser estimado. Pode-se repetir esse experimento na avaliação do protótipo e no teste final de linha do produto. O modelo, obviamente será refinado com maior conhecimento sobre o produto. Como contribuição deste artigo pode-se

citar a utilização da gestão de parâmetros críticos quando existem poucas informações sobre o produto, para tal os dados foram simulados com base na opinião de especialistas e modelados por meio da técnica estatística de análise de regressão.

3.2 Recomendações para trabalhos futuros

Como oportunidades para trabalhos futuros sugerem-se:

- (i) Aplicar a ferramenta DOE a fim de otimizar os parâmetros do produto;
- (ii) Realizar as análises de regressão (funções de transferência) dos demais subsistemas e sistema de um produto, uma vez que no artigo 3, para fins didáticos, se apresentou a análise de regressão para apenas um subsistema.
- (iii) Considerar, por meio de opinião de especialistas, no modelo de regressão do artigo 3, as interações entre as variáveis explicativas.
- (iv) Realizar a identificação dos parâmetros críticos do produto considerando mais de uma variável resposta.

REFERÊNCIAS

AKAO, Y.; MIZUNO, S. **QFD**: The customer-driven approach to quality planning and deployment. Hong Kong: Nórdica International, 1994.

ARAUJO, C. S. Avaliação e seleção de ferramentas de desenvolvimento de produtos. XVII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XVII ENEGEP**, Gramado, 1997.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; DA SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos**: Planejamento, concepção e modelagem. 1 ed. São Paulo: Manole, 2008.

BARBETTA, P. A.; RIBEIRO, J. L. D.; SAMOHYL, R. W. Uma nova forma de modelar a variância em experimentos com poucas replicações. XVIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XVII ENEGEP**, Niterói, 1998.

BAXTER, M. **Projeto de produto**: guia prático para o design de novos produtos. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

CHEN, C.; KHOO, L. P.; YAN, W. A strategy for acquiring customer requirement patterns using laddering technique and ART2 neural network. **Advanced Engineering Informatics**, v. 16, p. 229-240, 2002.

CHENG, L. C.; DE MELO FILHO, L. D. R. **QFD**: Desdobramento da Função Qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos. São Paulo: Editora Blücher, 2007.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance**: strategic, organization and management in the world auto industry. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.

CLAUSING, D. P. **Total Quality Development**: A Step-By-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering. 2 ed. New York, 1994.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração**: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

COOPER, R. G. Managing technology development projects. **Research – Technology Management**, v. 49, n. 6, p. 23-31, 2006.

CRAWFORD, C. M.; DI BENEDETTO, C. A **New products management**. 6. ed. Chicago: McGraw-Hill, 2000.

CREVELING, C. ;SLUTSKY, J. ; ANTIS, D. **Design for Six Sigma in Technology and product Development**, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.

CUNHA, G. C. A evolução dos modos de gestão do Desenvolvimento de Produtos. **Anais 4º congresso Brasileiro Gestão de Desenvolvimento de Produto**. Gramado, 2003.

DICKINSON, A. L. Integrating axiomatic design into a design for six sigma deployment. **4th International Conference on Axiomatic Design**. Firenze – June 13-16, 2006.

DIEHL, A. A.; TATIM, D. C. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice-Hall Brasil, 2004.

DYM, C. L.; LITTLE, P. **Engineering design: a project – based introduction**. John Wiley & Sons, Inc., 2nd, 2004.

ECHEVESTE, M. E. S. **Planejamento da Otimização Experimental**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ECHEVESTE, M. E. S. **Uma abordagem para estruturação e controle do processo de desenvolvimento de produtos**. 2003. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, H. S. R.; TOLEDO, J. C. Metodologias e Ferramentas de suporte à Gestão do Processo de Desenvolvimento de produtos (PDP) na indústria de autopeças. XXI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais do XXI ENEGEP**, Salvador, 2001.

FICALORA, J. P.; COHEN, L. **Quality Function Deployment and Six Sigma: A QFD Handbook**. 2 ed. Prentice Hall, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. Editora Atlas, São Paulo, 2007.

GINN, D. M.; JONES, D. V.; RAHNEJAT, H.; ZAIRI, M. The “QFD/FMEA interface”. **European Journal of Innovation Management**, v. 1, n. 1, p. 7-20, 1998.

GIORDANI, F. R. **Proposta de integração da gestão de requisitos no processo de desenvolvimento de produtos de empresa do setor de máquinas agrícolas**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GREEN, P. E.; CARROLL, J. D.; GOLDBERG, S. M. A General Approach to Product Design Optimization via Conjoint Analysis. **Journal of Marketing**, v. 45, p. 17-37, 1981.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n.2, p. 57-63, 1995.

GOMES FILHO, J. **Design de objetos: Bases conceituais**. São Paulo: Editora Escrituras, 2007.

GOVERS, C. M. P. What and how of quality function deployment (QFD). **Proceedings of the Eighth International Working Seminar on Production Economics**, 1994.

GUIMARÃES, L. B. de M. **Ergonomia de Produto**. Vol 2, Porto Alegre: FEENGE, 2006.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. 3 ed. Makron books, 2000.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

HANSEN, E.; BUSH, R. J. Understanding customer quality requirements: model and application. **Industrial Marketing Management**, v. 28, p. 119–130, 1999.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J. EcoDesign and future environmental impacts. **Materials and Design**, n. 26, p. 629–634, 2005.

HOFFMANN, M.; KUHN, N.; WEBER, M.; BITTNER, M. Requirements for Requirements Management Tools. **IEEE International Requirements Engineering Conference – Computer Society**, 2004.

HU, M.; YANG, K.; TAGUCHI, S. Enhancing Robust Design with the Aid of TRIZ and Axiomatic Design (Part I). **TRIZ Journal**, October, 2000.

JUDD, T. C. Program Level Design for Six Sigma. **Cognition Corporation and SAE International**, 05M-373, 2005.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da Qualidade: Métodos Estatísticos Clássicos aplicados à Qualidade**. 6 ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S. Attractive quality and must-be quality. **Journal of Japanese Society for Quality Control**, v. 14, n. 2, p.39–48, 1984.

KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. **Requirements engineering: process and techniques**. Chichester, John Wiley & Sons, 2000.

LAI, X.; KAY-CHUAN, T.; XIE, M. Optimizing Product Design Using Quantitative Quality Function Deployment: a Case Study. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 23, p. 45–57, 2007.

LÖBACH, B. **Design industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing: Uma orientação aplicada**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

MARX, A. M. **Proposta de método de gestão de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MATZLER, K.; HINTERHUBER, H. H. How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. **Technovation**, v. 18, n. 1, p. 25–38, 1998.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. **Safári de estratégia: Um roteiro pela selva do planejamento estratégico**. São Paulo: Bookman, 2002.

- MONTGOMERY, D. C. **Design an analysis of experiments**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to linear regression analysis**. 4 ed. Wiley-Interscience, 2006.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. **Applied statistics and probability for engineers**. 4 ed. John Wiley and Sons, 2007.
- MOORE, W. L.; LOUVIERE, J. J.; VERMA, R. Using Conjoint Analysis to help Design Product Platforms. **Journal of Product Innovation Management**, v. 16, n. 1, p. 27-39, 1999.
- MYERS, R. H.; KHURI, A. I.; VINING, G. Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach. **The American Statistician**, v. 46, n. 2, 1992.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. New York: Springer, 1996.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J; GROTE K. H. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PATTERSON, M. L. **Accelerating Innovation – Improving the Process of Product Development**. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- POOL, J.; BARCLAY, I. New product development from past research to future applications. **Industrial Marketing Management**. New York, v.27, n.3, p. 197-212,1998.
- RIBEIRO, J. L.; ECHEVESTE, M. E.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Série Monográfica. PPGEP/UFRGS, Porto Alegre, 2001.
- ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. **Product design fundamentals and methods**. John Wiley and Sons, 1996.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F; AMARAL, D.; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D. e SCALICE, R. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para melhoria do processo**. Editora Saraiva, 2006.
- SAUERWEIN, E.; BAILOM, F.; MATZLER, K.; HINTERHUBER, H. H. The Kano Model: How to Delight your customers. **International Working Seminar on Production Economics**. Austria, February 19 – 23, p. 313 – 327, 1996.
- SHAHIN, A. Integration of FMEA and the Kano model. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol. 21, n. 7, p. 731–746, 2004.

SMITH, L. **Six Sigma and the Evolution of Quality in Product Development**, 2001. Disponível em: < <http://www.Asq.org> >. Acesso em: 20 nov. 2009.

TYAGI, R. K.; SAWHNEY, M. S. High-performance product management: The impact of structure, process, competencies, and role definition. **Journal of product Innovation Management**, v. 27, n.1, p. 83–96), 2010.

TYLER, B. B.; GNYAWALI, D. R. Mapping managers market orientations regarding new product success. **Journal of product Innovation Management**, v. 19, n.4, p. 259–276, 2002.

ULRICH K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill, 2. ed., 2000.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. 2 ed. McGraw-Hill International Editions, 1997.

WEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. **Revolutionizing product development process: quantum leaps in speed, efficiency, and quality**. New York: The Free Press, 1992.

YOUNG, R. **The requirements engineering handbook**. Norwood, MA, USA: Artech House. 2003.

VENZKE, C. S. O Ecodesign no setor moveleiro do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Administração**. Edição Especial 30, v. 8, n. 6, 2002.

VRINAT, M. Driving product development with critical parameters: Cognition delivers active requirements management for full product lifecycle, 2007. **CPDA – Collaborative Product Development Associate**. Disponível em: < http://cpd-assoctes.com/index.cfm?content=subpage&file=include_RPPage.cfm&ID=72404138&DOC=194759626 >. Acesso em 18 nov. 2008.