

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA AS FASES
INICIAIS DO PROJETO DE PRODUTO MECATRÔNICO**

ALBERTO MAX CARRASCO BARDALES

ORIENTADOR: ANDREA CRISTINA DOS SANTOS, Dr. Eng.

DISSERTAÇÃO MESTRADO EM SISTEMAS MECATRÔNICOS

PUBLICAÇÃO: ENM. DM – 63/13

BRASÍLIA / DF: SETEMBRO - 2013

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA AS FASES
INICIAIS DO PROJETO DE PRODUTO MECATRÔNICO**

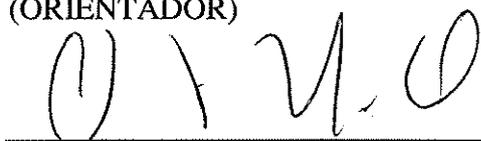
ALBERTO MAX CARRASCO BARDALES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSARIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM SISTEMAS MECATRÔNICOS.

APROVADA POR:



ANDREA CRISTINA DOS SANTOS, Dr. Eng. (UnB/ENM)
(ORIENTADOR)



CARLOS HUBERTO LLANOS QUINTERO, Dr. Eng. (UnB/ENM)
(EXAMINADOR INTERNO)



FERNANDO ANTÔNIO FORCELLINI, Dr.Eng. (UFSC)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/ DF, SETEMBRO 05 DE 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

CARRASCO, ALBERTO MAX BARDALES

Modelo de estimativa de custos para as fases iniciais do projeto de produto mecatrônico [Distrito Federal] 2013

xiv, 88 p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Mestre, Sistemas Mecatrônicos, 2013)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Projeto de Produto Mecatrônico

2. Métodos e Técnicas de Apoio

3. Custos de Projeto

4. Metodologia de Projeto de Produto

I. ENM/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARRASCO, A. M. (2013). Modelo de Estimativa de Custos para as Fases Iniciais do Projeto de Produto Mecatrônico, Publicação ENM.DM-63/13, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Alberto Max Carrasco Bardales.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Modelo de Estimativa de Custos para as Fases Iniciais do Projeto de Produto Mecatrônico.

GRAU / Mestre

ANO / 2013.

É concedida a Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma cópia para esta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Alberto Max Carrasco Bardales

CLN 412/413 Bloco A apto 205, Asa Norte

CEP: 70867-405 – Brasília/DF – BRASIL

e-mail: albertomax@unb.br

“Dios no manda cosas imposibles, sino que, al mandar lo que manda, te invita a hacer lo que puedas y pedir lo que no puedas y te ayuda para que puedas.”

San Agustín

Agradecimentos

Quero agradecer em primeiro lugar a Deus, pela força, fé e perseverança, A minha esposa Lucía Isabel minha companheira pelo inestimável apoio e compreensão durante esta caminhada juntos, Aos meus pais Max e Zoila pela educação, o exemplo, apoio e conselho que me deram e por tudo que fizeram por mim durante toda minha vida, Aos meus irmãos Meli, Jr e Avi por torcerem por meu sucesso, A minha sogra Rosvelia por todas as mostras de carinho.

Aos meus amigos e colegas brasileiros, cubanos, colombianos, hondurenhos, peruanos por terem-me apoiado ao longo destes dois anos.

À professora Andrea Cristina dos Santos, minha orientador, pela sua paciência, disposição, tempo, apoio e ensino. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos especialmente ao professor Carlos por todo o apoio oferecido no começo do curso. Agradeço também à Universidade de Brasília e a CAPES, pelo apoio logístico e financeiro prestado.

Resumo

A importância da estimativa de custos nas fases iniciais do projeto de sistemas mecatrônicos é ressaltada na literatura pela importância da gestão dos custos em todo o ciclo de vida do produto, pela busca de um melhor benefício econômico para a empresa e para o cliente, por meio do fornecimento de um produto diferenciado com um custo adequado. Um dos temas chaves no desenvolvimento de sistemas mecatrônicos é a integração. É necessário encontrar um modelo de estimativa de custo que integre os diferentes sistemas, no início do projeto, de tal modo, que ajude na tomada de decisões, e assim, estabelecer os caminhos a seguir ao longo do projeto. Neste contexto, considerando as lacunas existentes, neste trabalho foi proposto um modelo de estimativa de custo para as fases iniciais do projeto de produtos mecatrônicos. A metodologia adotada para o desenvolvimento do modelo contemplou: uma fundamentação teórica dos principais modelos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos e métodos de estimativa de custo; uma pesquisa de campo onde foram levantados os conhecimentos de especialistas, e aplicação em um caso prático de desenvolvimento de produto mecatrônico. O modelo proposto possibilita estimar rapidamente e de uma maneira confiável e precisa os custos do projeto do desenvolvimento de produto mecatrônico nas fases iniciais do projeto.

Palavras chaves: projeto de produtos mecatrônicos; métodos e técnicas de apoio; custos de projetos; metodologia de projeto de produto.

Abstract

The importance of cost estimation in the early stages of mechatronics systems design is highlighted in the literature because of the importance of cost management throughout the entire product lifecycle, through the search of better economic profits for the company and the customers, by providing a differentiated product with an appropriate cost. One of the key issues in mechatronics systems development is integration. It is necessary to find a cost estimation model that integrates the different systems, in the early stages of design in such way that it helps in strategic decision taking, establishing the paths to follow along the project. In this context, considering the existing gaps, a cost estimation model for the early stages of mechatronic product design was proposed in this dissertation. The methodology adopted for the model development contemplated: a theoretical basis of the main models of mechatronic products design and cost estimation methods. Field research where specialist's knowledge was compiled, and the application of a practical case of mechatronic product development. The proposed model allows the quick, reliable and precise estimation of mechatronic product development costs in the early design phases.

Key words: Mechatronic products design; support methods and techniques; project costs; product design methodologies.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	4
1.2. Objetivos	5
1.2.1 Objetivo geral	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3. Organização do Trabalho	5
CAPÍTULO II – SISTEMAS MECATRÔNICOS E MODELOS DE PROJETO DE PRODUTOS MECATRÔNICOS	8
2.1. Mecatrônica.....	8
2.2. Sistemas Mecatrônicos	9
2.2.1. Tipos de produtos mecatrônicos	10
2.3. Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP)	11
2.3.1. Modelo de PDP segundo Back <i>et al.</i> (2008).....	11
2.3.2. Modelo de PDP segundo Rozenfeld <i>et al.</i> (2006).....	11
2.3.3. Modelo de PDP segundo Pahl & Beitz (2005).....	13
2.4. Modelos de Desenvolvimento de Sistemas Mecatrônicos	14
2.4.1. Modelo de 3-Ciclos	15
2.4.2. Modelo Projeto Axiomático	18
2.4.3. Modelo V	19
2.4.4. Modelo Hierárquico	20
2.5. Comentários Finais	21
CAPÍTULO III – PROCESSO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS NO CONTEXTO DO PDP	24
3.1. Custo de Ciclo de Vida.....	24
3.2. Conceitos Fundamentais e Classificação dos Custos	26
3.3. O Processo de Estimativas de Custo	29
3.3.1. Estimativas de custo para sistemas mecatrônicos	33

3.3.2. Estimativas de custo para <i>software</i>	33
3.3.2.1. Métodos não algorítmicos.....	33
3.3.2.2. Métodos algorítmicos.....	34
3.3.2.3. Novas abordagens de estimativa de custo para <i>software</i>	36
3.3.2.4. COCOMO.....	36
3.3.3. Estimativas de custo para <i>hardware</i>	38
3.4. Comentários Finais	40
CAPÍTULO IV – PESQUISA DE CAMPO.....	41
4.1. Elaboração e Aplicação do Roteiro de Entrevista	41
4.2. Seleção das Empresas	42
4.3. Empresas Pesquisadas	42
4.4. Resultados Obtidos	43
4.4.1. Empresa A.....	43
4.4.2. Empresa B.....	45
4.4.3. Comparação do Desenvolvimento de Produto Entre a Teoria e as Empresas Pesquisadas	46
4.5. Comentários Finais	47
CAPÍTULO V – PROPOSTA DE MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA PRODUTOS MECATRÔNICOS.....	49
5.1. Diretrizes para Modelagem da Estimativa de Custo de Produtos Mecatrônicos.....	49
5.1.1. 1ª Diretriz: limitações dos conhecimentos envolvidos na modelagem.....	49
5.1.2. 2ª Diretriz: objetivos da modelagem de estimativa de custo para produtos mecatrônicos	51
5.1.3. 3ª Diretriz: usuários do modelo de estimativa de custo para produtos mecatrônico.....	52
5.1.4. 4ª Diretriz: abrangência do modelo (visão geral).....	52
5.1.5. 5ª Diretriz: forma de representação do modelo	54
5.2. O Modelo de Estimativa de Custo para Produtos Mecatrônicos	55
5.2.1. Preparação das informações de custo.....	56
5.2.2. Estimativa de custo das alternativas do PM	61
5.2.3. Revisar o custo das alternativas do PM	67
5.3. Comentários Finais	67

CAPÍTULO VI – AVALIAÇÃO DO MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA PDPM	69
6.1. Elaboração do Questionário de Avaliação	69
6.2. Perfil dos Avaliadores	70
6.3. Resultados da Avaliação do Modelo	71
6.4. Comentários Finais	72
CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
7.1. Conclusões	74
7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	81
ANEXOS A - Roteiro de entrevista	82
ANEXOS B - Ferramenta de preparação das informações de custo	84
ANEXOS C - Questionário de avaliação do modelo de estimativa de custo para PDPM	87

Lista de Figuras

Figura 1.1: Custos incorridos e cometidos durante o PDP. Fonte: Farr (2011).....	2
Figura 1.2: Custos nas diferentes fases de projeto informacional e conceitual. Fonte: Baxter (2004).....	3
Figura 1.3: Estrutura do trabalho	7
Figura 2.1: Definição geral de mecatrônica. Fonte: Vasić & Lazarević, (2008).....	8
Figura 2.2: Exemplos de sistemas mecatrônicos. Fonte: Isermann, (2008).....	10
Figura 2.3: Visão geral do modelo de PDP. Fonte: Rozenfeld <i>et al.</i> , (2006).....	12
Figura 2.4: Fluxograma do modelo do PDP. Fonte: Pahl & Beitz (1996)	14
Figura 2.5: Atividades de projeto mecatrônico. Fonte: Hehenberger <i>et al.</i> , (2010)	15
Figura 2.6: Modelo de 3-ciclos de engenharia de produto. Fonte: Gausemeier <i>et al.</i> (2011).....	16
Figura 2.7: Modelo genérico para o projeto conceitual integrativo de produto e dos sistemas de produção. Fonte: Gausemeier <i>et al.</i> (2011)	17
Figura 2.8: Projeto axiomático domínios e elementos. Fonte: Sozo, (2002)	19
Figura 2.9: Princípio geral do modelo V para projeto mecatrônico. Fonte: Vasić & Lazarević (2008).....	20
Figura 2.10: Modulo mecatrônico. Fonte: Hehenberger <i>et al.</i> (2010)	21
Figura 3.1: Ciclo de vida segundo a evolução das vendas do produto. Fonte: Rozenfeld <i>et al.</i> , (2006).....	24
Figura 3.2: Composição dos custos dos produtos/componentes. Fonte: Ullman (1992, <i>apud</i> Ferreira <i>et al.</i> , 2000).....	28
Figura 3.3: Métodos de estimação custos em todo o ciclo de vida. Fonte: Farr (2011).....	31
Figura 3.4: Desafios que enfrentam nas estimativas de custos. Fonte: adaptado Farr (2011)	32
Figura 3.5: A SBS e sua relação com a especificação. Fonte: Axelsson (2000).....	39
Figura 4.1: Etapas do processo de desenvolvimento de produto da empresa A.	45
Figura 4.2: Ciclo de feedback construir-medir-aprender. Fonte: Reis (2012).	45
Figura 5.1: Área de conhecimento para desenvolvimento do modelo proposto.....	50
Figura 5.2: Limitações dos conhecimentos envolvidos na modelagem.	51
Figura 5.3: Visão geral do modelo de estimativa de custos para produtos mecatrônicos. Fonte: adaptado Gausemeier <i>et al.</i> (2011).	53

Figura 5.4: Representação de um processo com o IDF0. Fonte: Valle e Babará, (2011).....	54
Figura 5.5: Representação do modelo de estimativa de custos para produtos mecatrônicos (Modelagem segundo IDF0).....	55
Figura 5.6: Origem das informações para preparação das informações de custo	56
Figura 5.7: Atividade de preparação das informações de custo	57
Figura 5.8: Exemplo das atividades principais do projeto mecânico, eletrônico e de <i>software</i> . Fonte: Bernardi <i>et al.</i> (2004).	59
Figura 5.9: Desdobramento das funções do produto mecatrônico.....	60
Figura 5.10: Fluxo da informação através do processo de estimativa de custo. Adaptado: Ferreira (2002).....	61
Figura 5.11: Atividade de estimativa de custo do PM	62
Figura 5.12: Atividade de revisar o custo das alternativas do PM	67

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Contribuições das referências para o desenvolvimento de sistemas mecatrônicos.....	22
Tabela 3.1: Erro “admissível” na estimativa de custos conforme a etapa de projeto (Dieter 1993, <i>apud</i> Ferreira <i>et al.</i> , 2000).	29
Tabela 3.2: Classificação de modelos algorítmicos (Leung & Fan, 2002).....	35
Tabela 3.3: Resumo das vantagens e desvantagens dos diferentes métodos (Leung & Fan, 2002)	36
Tabela 4.1: Perfil geral das empresas pesquisadas	42
Tabela 5.1: Métodos para determinar o preço de venda.....	58
Tabela 5.2: Matriz de cálculo de custo de desenvolvimento.....	63
Tabela 5.3: Desdobramento das funções básicas até os princípios de soluções	65
Tabela 6.1: Perfil dos avaliadores	70
Tabela 6.2: Avaliação do modelo pelos especialistas e profissionais.....	71
Tabela 6.3: Resultado da avaliação, média por questão e por avaliador	72

Lista de Símbolos e Abreviações

A	Matriz de Projeto
a, b	Valores do desenvolvimento
COCOMO	COConstructive COSt MOdel (Modelo de Custo Construtivo)
$C_{atividade}$	Custo por hora de atividade
$CT_{projeto}$	Custo Total de Projeto
E	Esforço
EAF	Ajuste de Fatores de Esforço
HPT	<i>Hardware Points Technique</i> (Técnica de pontos de <i>hardware</i>)
IDFO	Integration Definition for Function Modeling (Integração de Definição para Modelagem Funcional)
KLOC	Thousands of lines of code (milhares de linhas de código)
LCC	Life cycle cost (Custo do Ciclo de Vida)
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MVP	Minimum viable product (Produto viável mínimo)
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PDPM	Projeto de Produto Mecatrônico
PLC	Product Life cycle (Ciclo de Vida do Produto)
PM	Produto Mecatrônico
PP	Parâmetros de Projeto
RF	Requisitos de Projeto
RNA	Redes neurais artificiais
S	Tamanho do Software
SBS	System Breakdown Structure (Desdobramento de estrutura do sistema)
T_{Horas}	Total de numero de horas por atividade
UML	Unified Modeling Language (Linguagem de Modelagem Unificada)
UnB	Universidade de Brasília
WBS	Work Breakdown Structure (Desdobramento de estrutura do trabalho)

1. INTRODUÇÃO

As empresas procuram benefícios econômicos quanto a toma à decisão de empreender num novo projeto. A importância da estimativa de custos nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos é a redução dos custos em todo o ciclo de vida do produto, proporcionando um benefício econômico para a empresa e para o cliente, por meio do fornecimento de um produto diferenciado com um custo adequado. Existe um grande desafio das estimativas de custo no início do projeto do produto, pois nas fases iniciais não se têm muitas informações sobre o projeto do produto.

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006, pg. 10) o processo de desenvolvimento de produto (PDP) pode ser compreendido como:

“a consideração de todas as atividades, internas à empresa e nas cadeias de suprimentos. Essas participam da função de traduzir o conhecimento sobre as necessidades do mercado, as oportunidades tecnológicas e as estratégias da empresa em informações para a produção, distribuição, uso, manutenção e descarte do produto, considerando todo o seu ciclo de vida.”.

O projeto é um esforço para se atingir um objetivo específico por meio de um conjunto único de tarefas inter-relacionadas e da utilização eficaz de recursos (GIDO & CLEMENTS, 2007).

A diferença entre um projeto e o processo de desenvolvimento de produto é que o projeto é um esforço temporal que produz um produto único, e o processo é um esforço repetitivo para projetar muitos produtos periodicamente. O projeto do produto faz parte do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Desta forma o PDP envolve todas as fases do ciclo de vida de um produto.

Ao documentar e disseminar o PDP de uma empresa, a gerência está definindo um padrão de como desenvolver seus produtos. Esse padrão pode ser aplicado pelas equipes e pelo gerente de cada projeto. Com isso, cada projeto de desenvolvimento terá uma linguagem comum e a

garantia de que certas práticas e ferramentas serão aplicadas em todos os projetos de desenvolvimento (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O conjunto de práticas que compõem o PDP são os métodos (indicam “o como”), técnicas (indicam “o que”) e ferramentas (indicam “com o que”) que auxiliam as equipes de projeto na condução das atividades.

Nas fases iniciais do PDP são definidas as principais soluções construtivas do produto, nesse momento são determinados os materiais e as tecnologias a serem utilizados, os processos de fabricação e a arquitetura final do produto.

Farr (2011) e Rozenfeld *et al.* (2006), argumentam que as escolhas de alternativas ocorridas no início do ciclo de vida do produto, nas fases iniciais de projeto do produto, são responsáveis por cerca de 80% do custo do produto final. Ou seja, todas as outras definições e decisões a serem tomadas ao longo do ciclo de desenvolvimento, após as fases iniciais, determinam cerca de 20% do custo.

A Figura 1.1 ilustra que o custo do produto é determinado por decisões tomadas durante a fase de exploração conceitual de projeto.

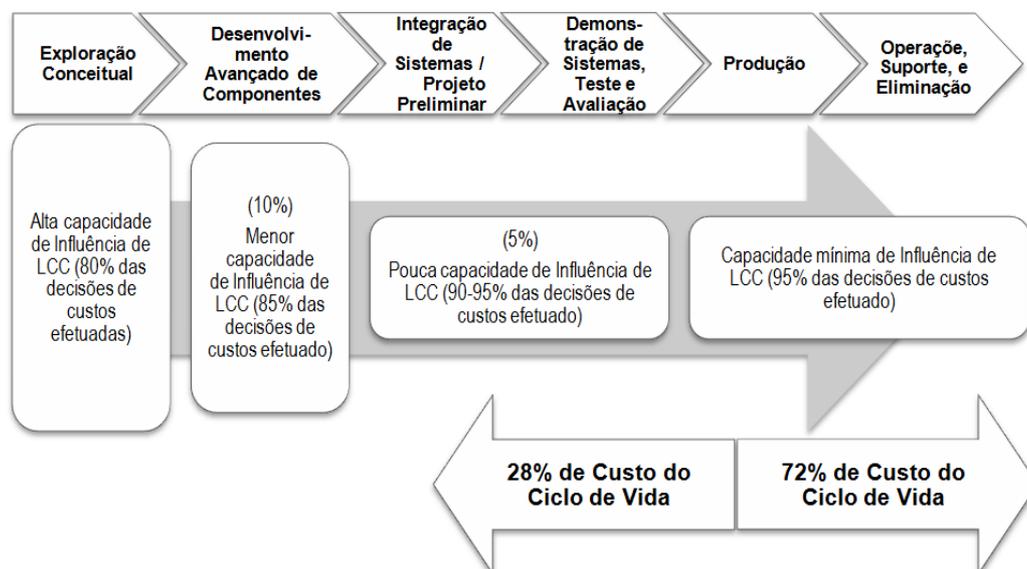


FIGURA 1.1: Custos incorridos e cometidos durante o PDP. Fonte: Farr (2011).

Em síntese, qualquer melhoria nas fases iniciais do processo de desenvolvimento vai ter um impacto direto no custo do produto.

Conforme ilustrado na Figura 1.2, os maiores potenciais de redução de custos de produtos encontram-se nas fases de projeto informacional e conceitual. Exatamente quando se toma a maior parte das decisões, que são significativas para a determinação de custo final do produto, é o momento no qual se tem o maior grau de incerteza sobre o produto e suas especificações, sobre o seu processo de fabricação e mesmo se ele será um sucesso no mercado (ROZENFELD *et al.*, 2006).

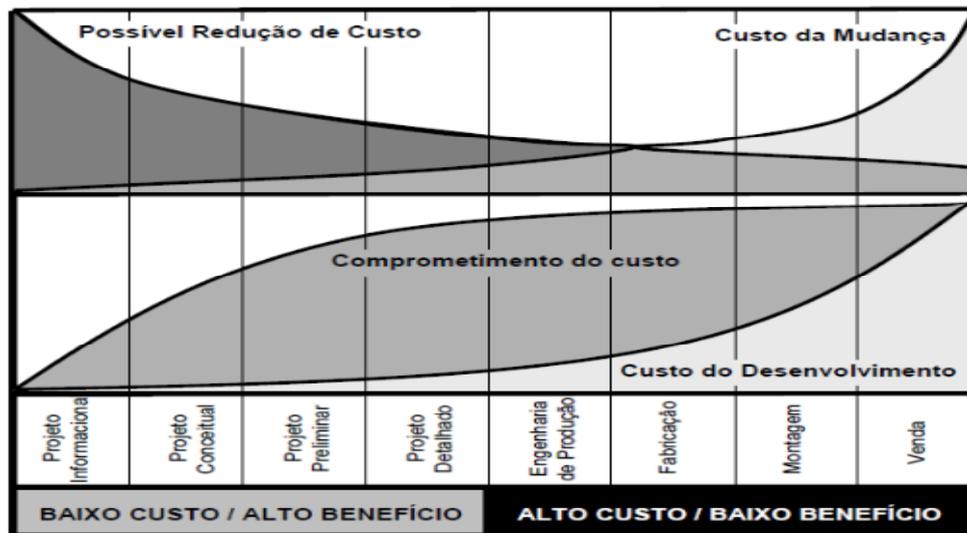


FIGURA 1.2: Custos nas diferentes fases de projeto informacional e conceitual. Fonte: Baxter (2004).

As fases de projeto informacional e conceitual são as fases iniciais do projeto engenharia do produto, nestas fases é determinado o ciclo de vida do produto e são realizadas as estimativas iniciais de custos do produto.

Conforme com De Vries & Breunese (1995) o enfoque da mecatrônica influencia especificamente a fase de projeto conceitual, pois é durante esta fase a maioria das decisões são tomadas com relação à interação funcional e à integração espacial do projeto de sistemas. O projeto de engenharia em geral e assim também concepção de sistemas mecatrônicos, essencialmente aborda duas questões: determinar os requisitos para o produto a ser projetado e formular um modelo que satisfaça estes requisitos e que possa ser realizado.

Hoover *et al.* (1991) colocam que o projeto conceitual é um processo de refinação continua da solução de projeto proposto com base em um conjunto de requisitos em evolução, assim a lista de requisitos (em parte) será dependente da solução de projeto proposto e vice-versa. Em síntese, o custo de produto é em grande parte, determinado por decisões que são tomadas nas

fases de projeto conceitual. Para auxiliar na busca de ideias para os princípios de solução que atendam às funções do produto.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente no mundo dos negócios as empresas além de competirem para satisfazer as necessidades dos clientes, desenvolvendo produtos de alta qualidade e baixos custos. Os produtos têm que fornecer um valor agregado diferenciado da competência e capacidades de customização, tudo isto integrado às necessidades básicas do cliente. Isto leva ao crescente desenvolvimento de produtos complexos, muitos deles sendo produtos mecatrônicos.

O desenvolvimento de produtos como um processo pode ser conduzido para manter a competitividade e para fornecer o equilíbrio econômico aos negócios da empresa. O processo de desenvolvimento de produto foi tradicionalmente visto como a elaboração de um conjunto de informações sobre as especificações de um produto e sobre como produzi-lo e sua disponibilização para a manufatura (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Segundo Ehrlenspiel *et al.* (2007), na prática, o sucesso do processo de desenvolvimento de produto depende diretamente em manter os objetivos de custos, de tempo e qualidade sob controle, seguindo um planejamento. O processo deve ser o mais eficiente, buscando fazer gestão das mudanças para obter o maior benefício para as diversas partes envolvidas no projeto.

Em relação aos aspectos econômicos do desenvolvimento de produtos Bruen & Launsby (2003) comentam que só cerca 60% dos novos produtos lançados têm sucesso no mercado e 45% dos recursos alocados para o desenvolvimento, não trazem o retorno financeiro esperado. Uma das principais causas de falha no lançamento do produto no mercado se refere aos custos do projeto do produto serem muito superiores aos inicialmente planejados nas fases iniciais do projeto.

Os custos envolvidos desde a fase de projeto, envolvidos em todas as fases do ciclo de vida do produto, servem de base para a tomada de decisão do preço de mercado. Geralmente, os custos de desenvolvimento representam a maior porção.

O ensino de engenharia tem pouca preocupação com os aspectos dos custos, contudo as suas decisões durante o projeto têm impacto direto sobre os custos envolvidos em todo o ciclo de vida do produto. Por exemplo, os custos indiretos contribuem com os custos em todo o ciclo

de vida, ao ignorarem os custos indiretos podem tornar o projeto insustentável para as partes interessadas. Os custos não contabilizados podem fazer que o projeto fracasse antes do lançamento do produto (FARR, 2011).

A justificativa para o tema proposto deve-se ao fato que os modelos de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos encontrados na literatura não dão ênfase na estimativa de custo de produtos mecatrônicos, e ao detalhamento e organização das suas atividades.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é propor um modelo para o processo de estimativa de custos para as fases iniciais do projeto de produto mecatrônico.

1.2.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos deverão ser alcançados:

- Estudar os modelos para o processo de desenvolvimentos de produtos mecatrônicos, com o intuito de identificar modelos para o processo de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos que apresentem integração entre as diferentes áreas de conhecimento da mecatrônica.
- Selecionar uma modelo de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos para a implementação do processo de estimativa de custo.
- Estudar e identificar os principais métodos e técnicas de estimativas de custos.
- Sistematizar as atividades de estimativas de custos visando sua integração no processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Através da Figura 1.3 ilustra-se a estrutura do presente trabalho, estruturado em quatro fases gerais e organizado em sete capítulos.

No Capítulo 1 - este que se apresenta, é delineado o escopo deste trabalho, descrevendo a importância da estimativa de custo, a justificativa, os objetivos e a metodologia a estrutura do mesmo.

No Capítulo 2 - “**Sistemas mecatrônicos e modelos de projeto de produto mecatrônico**”, é apresentada a fundamentação teórica sobre: os conceitos de mecatrônica, sistemas

mecatrônicos, os tipos de produtos mecatrônicos, os modelos do PDP e os modelos de desenvolvimento de sistemas mecatrônico. O objetivo é identificar os modelos de sistemas mecatrônicos e selecionar um modelo adequado para implementação do processo de estimativa de custo.

No Capítulo 3 - “**Processo de estimativa de custo no contexto do PDP**”, é estudado o processo de estimativa de custo e são apresentados os métodos e modelos de estimativa de custo para *software* e *hardware*. Este capítulo tem por objetivo identificar os principais métodos de estimativa de custo.

No Capítulo 4 - “**Pesquisa de Campo**”, realiza-se um estudo de caso em empresas de desenvolvimento de produtos mecatrônicos em Brasília-DF. É elaborado um roteiro de entrevista e são apresentados os resultados da pesquisa. Também é realizada uma comparação entre os modelos teóricos e modelos das empresas pesquisadas.

Através dos objetivos alcançados nos capítulos anteriores (2, 3 e 4) é estabelecido o fundamento para realização do capítulo 5.

No Capítulo 5 - “**Proposta do Modelo**”, o objetivo é descrever o modelo de estimativa de custo para as fases iniciais do projeto de produtos mecatrônicos através do qual apoia-se ao processo de tomada de decisões com base nos custos do projeto mecatrônico. São apresentadas as diretrizes da modelagem, e as atividades, tarefas, entradas, saídas e ferramentas envolvidas no processo de estimativa de custo.

No Capítulo 6 - “**Avaliação do modelo**”, realiza-se o processo de avaliação do modelo proposto através de um *workshop* efetivado pelos especialistas e profissionais.

No Capítulo 7 - “**Conclusões e recomendações**”, são descritas as considerações finais do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

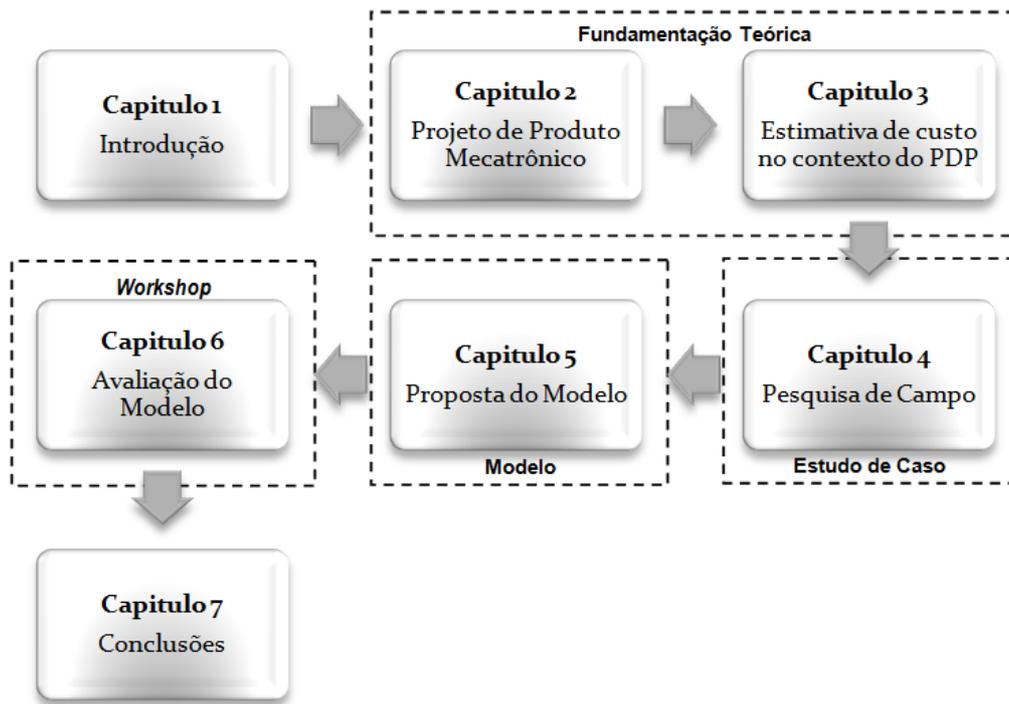


FIGURA 1.3: Estrutura do trabalho.

2. SISTEMAS MECATRÔNICOS E MODELOS DE PROJETO DE PRODUTOS MECATRÔNICOS

O objetivo deste capítulo é apresentar a fundamentação teórica sobre: o que são produtos e sistemas mecatrônicos; os modelos para o processo de desenvolvimento de produtos e modelos para o processo de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos.

Vasić e Lazarević (2008) colocam que independentemente do tipo de sistema mecatrônico, há uma necessidade de compreender os princípios fundamentais dos sistemas mecatrônicos antes de abordar o processo de projeto de um produto mecatrônico.

2.1. MECATRÔNICA

Na literatura existem muitas definições de mecatrônica. A palavra mecatrônica nasceu no meio da década de 1970. Para Vasić & Lazarević (2008), uma das definições mais aceita é a seguinte:

“A integração sinérgica da engenharia mecânica com eletrônica e controle inteligente de computador no projeto e manufatura de produtos e processos industriais”.

Uma descrição mais detalhada do conceito mecatrônica é apresentada na Figura 2.1:

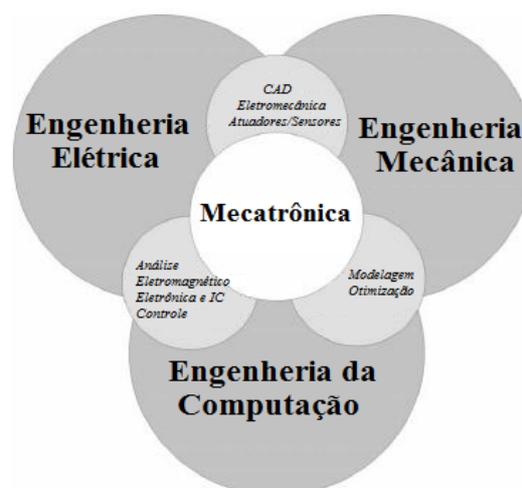


FIGURA 2.1: Definição geral de Mecatrônica. Fonte: Vasić & Lazarević, (2008).

Também mecatrônica pode ser definida como um campo interdisciplinar das ciências da

engenharia, que caracteriza a integração e interligação entre a engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação de tal forma são a base para concepção de produtos de sucesso (HEHENBERGER *et al.*, 2010).

2.2. SISTEMAS MECATRÔNICOS

Um sistema mecatrônico pode ser definido como um conjunto de subsistemas, componentes de *hardware* e *software*, e pessoas designadas para realizar um conjunto de tarefas que satisfazem os requisitos funcionais especificados e restrições (HEHENBERGER *et al.*, 2010).

Segundo Gausemeier *et al.* (2011) a variedade de sistemas mecatrônicos pode ser expresso por duas categorias: A primeira categoria é baseada na integração espacial da mecânica e da eletrônica. Esta tem por objetivo alcançar uma alta densidade de funções mecânicas e eletrônicas dentro do um espaço disponível. A segunda categoria trata dos movimentos controlados de sistemas multi-corpo (*multi-body system*). O objetivo é melhorar o comportamento do sistema mecatrônico por meio de sensores que coletam informações sobre o ambiente e o próprio sistema.

Barbalho (2006) coloca que para um produto ser definido como um produto mecatrônico deve satisfazer aos seguintes critérios: integração de tecnologias mecânica, eletrônica e *software*, as funções básicas do produto são fornecidas pela integração entre as tecnologias que o compõem, e que o produto pode ser compreendido como um sistema malha aberta ou malha fechada.

Segundo Bradley *et al.* (1991) os principais componentes para produto mecatrônico são: sensores e instrumentação, *software* de processamento/controle, atuadores e *drives*, projeto de engenharia, e sistemas de comunicação.

Neste contexto, sistemas mecatrônicos são produtos multidisciplinares, por conseguinte o conhecimento requerido para o desenvolvimento de tais produtos/sistemas é amplo. Existe uma falta de processos de desenvolvimento integrado e ferramentas para produtos mecatrônicos (HEHENBERGER & ZEMAN, 2007). A Figura 2.2 ilustra alguns exemplos de sistemas mecatrônicos:

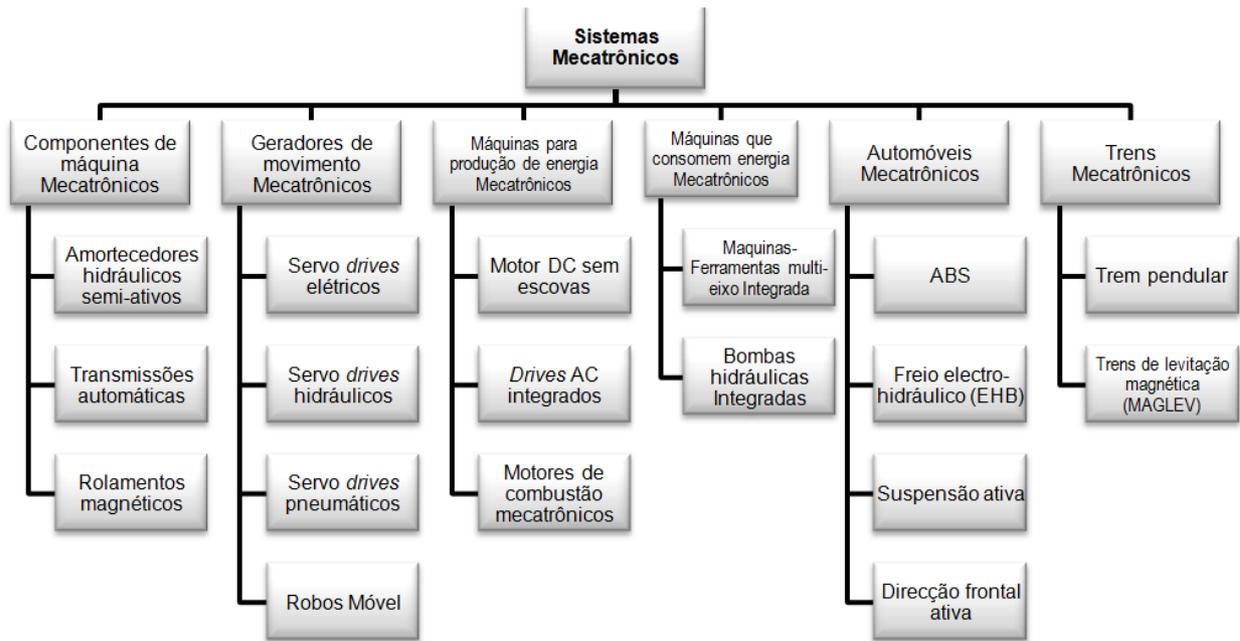


FIGURA 2.2: Exemplos de sistemas mecatrônicos. Fonte: Isermann, (2008).

2.2.1. Tipos de produtos mecatrônicos

Rzevski (2003) propõe a seguinte classificação para os produtos mecatrônicos:

- **Sistemas mecatrônicos automáticos:** são os sistemas mecatrônicos mais comuns que são capazes de manusear materiais e energia, comunicarem-se com seu ambiente e apresentar comportamentos de auto-regulação, ou seja, de resposta pré-programada a mudanças previstas em seu ambiente. O modelo proposto neste trabalho orientou-se para atender aos sistemas mecatrônicos automáticos.
- **Sistemas mecatrônicos inteligentes:** sistemas capazes de atingir objetivos sob condições de incerteza. Esses sistemas são projetados para responderem a mudanças em seu ambiente de operação sem que seja necessário reprogramá-los. Esses sistemas são desenvolvidos através do uso de lógica *fuzzy*, redes neurais e inteligência artificial.
- **Redes mecatrônicas inteligentes:** são os sistemas mecatrônicos capazes de decidir seu próprio comportamento por meio de negociação entre suas unidades constituintes, cada uma das quais é um “sistema mecatrônico inteligente”. As mais interessantes características desse tipo de sistema é a capacidade de melhorar seu desempenho através da auto-organização.

2.3. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Segundo Pugh (1990), o processo de desenvolvimento de produtos pode ser definido como:

“Atividade sistemática necessária, da identificação de necessidades de mercado / usuário até a venda do produto que atenda com êxito àquela necessidade – uma atividade que abrange produto, processo, pessoas e organização”.

Na literatura são encontrados distintos modelos destinados a auxiliar o projeto de produto: Back *et al.* (2008), Rozenfeld *et al.* (2006), Pahal & Beitz (2005), Pugh (1990), etc. Todas oferecem elementos importantes para o processo de desenvolvimento e promovem a sistematização e integração das tarefas de desenvolvimento de produto.

Nesta seção são apresentados alguns modelos existentes para o entendimento do processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

2.3.1. Modelo PDP segundo Back *et al.* (2008)

Back *et al.* (2008) propõe um modelo integrado para o desenvolvimento de produto composto de três macros fases decompostas da seguinte forma:

1. Planejamento do projeto, que envolve a elaboração do plano do projeto.
2. Elaboração do projeto do produto, decomposta em projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Tem como resultados principais respectivamente, as especificações de projeto, a concepção do produto, a viabilidade técnica e econômica e a documentação do produto;
3. Implementação do lote piloto: fase decomposta em preparação da produção, lançamento e validação do produto. Tem como resultados principais respectivamente, a liberação do produto, a liberação do lote piloto e a validação do produto.

2.3.2. Modelo PDP segundo Rozenfeld *et al.* (2006)

Rozenfeld *et al.* (2006), dividem o processo de desenvolvimento de produtos em três macrofases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

A macrofase de desenvolvimento enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e forma de produção, domínio de conhecimento da engenharia, é dividida em Projeto Informacional, Projeto Conceitual,

Projeto Detalhado, Preparação da Produção e Lançamento de Produto. Na Figura 2.3 é apresentada a visão geral do modelo proposto por Rozenfeld *et al.*, (2006).



FIGURA 2.3: Visão geral do modelo de PDP. Fonte: Rozenfeld *et al.*, (2006).

1. No Projeto Informacional o objetivo é a partir das informações levantadas no planejamento e em outras fontes, desenvolver um conjunto de informações, o mais completo possível, chamado de especificações-meta do produto. Essas especificações, além de orientar a geração de soluções, fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento.
2. Na fase de Projeto Conceitual as atividades da equipe de projeto relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto. A busca por soluções já existentes pode ser feita pela observação de produtos concorrentes ou similares. O processo de criação de soluções é livre de restrições, porém direcionado pelas necessidades, requisitos e especificações de projeto do produto, e auxiliado por métodos de criatividade. A representação das soluções pode ser feita por meio de esquemas, croquis e desenhos que podem ser manuais ou computacionais, e é muitas vezes realizada em conjunto com a criação. A seleção de soluções é feita com base em métodos apropriados que se apoiam nas necessidades ou requisitos previamente definidos.
3. No Projeto Detalhado a concepção de produto será detalhada e transformada nas especificações finais, que pode abranger uma ampla gama de documentos, detalhando cada item que o compõe e os respectivos processos de fabricação.

4. A fase de Preparação da Produção engloba a produção do lote piloto, a definição dos processos de produção e manutenção. Ou seja, trata de todas as atividades da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno, objetivando a obtenção do produto, culminando com sua liberação.
5. O objetivo da fase de Lançamento de Produto é colocar o produto no mercado, juntamente com o resultado da fase anterior, de preparação da produção, visando garantir sua aceitação pelos clientes em potencial, que constituíam em premissas do estudo de viabilidade econômico-financeira deste produto, desenvolvido e monitorado durante todo o processo de desenvolvimento de produto.

2.3.3. Modelo PDP segundo Pahl & Beitz (2005)

Segundo Pahl & Beitz (2005) a atividade crucial no desenvolvimento de um produto e na solução de tarefas consiste num processo de análise e um subseqüente processo de síntese que passa por etapas de trabalho e de decisão. Em geral, os procedimentos iniciam-se de forma qualitativa, tornando-se cada vez mais concretos e, portanto quantitativos.

As atuais condições para desenvolvimento e projeto de um produto demandam o planejamento de três aspectos de produto: planejamento do teor do processo de desenvolvimento e de projeto; estabelecimento de um cronograma das etapas de trabalho do processo de desenvolvimento e de projeto; e planejamento dos custos do produto, visando não ultrapassar um limite prefixado (*target costing*).

O modelo proposto por Pahl & Beitz (2005), dividem o processo de desenvolvimento e projeto em nas seguintes fases: definição da tarefa, concepção, projeto preliminar e projeto detalhado.

1. Definição da Tarefa: é o estudo de um problema que da como resultado a elaboração da lista de requisitos. A ideia básica neste estudo é fixar as funções requeridas, as grandezas de entrada e saída e as perturbações externas ao problema.
2. Concepção: é a parte do projeto na qual, após definição da tarefa é possível indicar uma função global que baseado no fluxo de energia, material e sinal, expressa o relacionamento entre as entradas e as saídas independentemente da solução. Conceber é a definição preliminar de uma solução.
3. Projeto Preliminar: inicia com uma concepção avaliada técnica e economicamente. O ponto chave é satisfazer uma dada função com a forma dos componentes, leiaute, e materiais apropriados.

4. Projeto Detalhado: estabelece as descrições definitivas para a disposição dos elementos, forma, medidas, acabamentos superficiais, materiais, a verificação do projeto e dos custos de fabricação. O resultado do detalhamento é a definição da tecnologia de produção da solução.

Na Figura 2.4 mostra-se o processo geral de desenvolvimento.

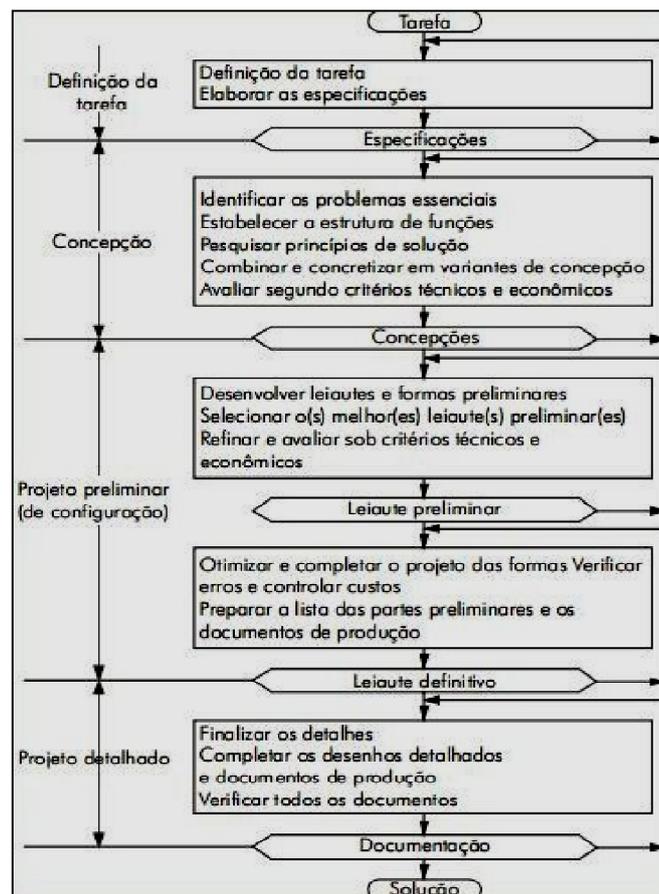


FIGURA 2.4: Fluxograma do modelo do PDP. Fonte: Pahl & Beitz (2005).

2.4. MODELOS DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MECATRÔNICOS

De acordo com Callahan (2006), os modelos são muito importantes para atividades complexas de engenharia de projeto. São contenedores de conhecimento e as simulações são atividades que produzem informações que podem melhorar o conhecimento do produto e também a qualidade de muitas análises e decisões tomadas durante o processo de projeto.

Para gerenciar a complexidade do projeto de produto para sistemas mecatrônicos são necessários modelos de procedimentos adequados. O desenvolvimento de sistemas

mecatrônicos pressupõe uma consideração integralizada e um raciocínio interdisciplinar (PAHL *et al.*, 2005).

Segundo Hehenberger *et al.* (2010), uma das questões-chave no desenvolvimento dos sistemas mecatrônicos moderno é a integração rigorosa da mecânica, controle, elétrica, eletrônicos e aspectos de *software* desde o início da fase de concepção, como pode ser visto na Figura 2.5.

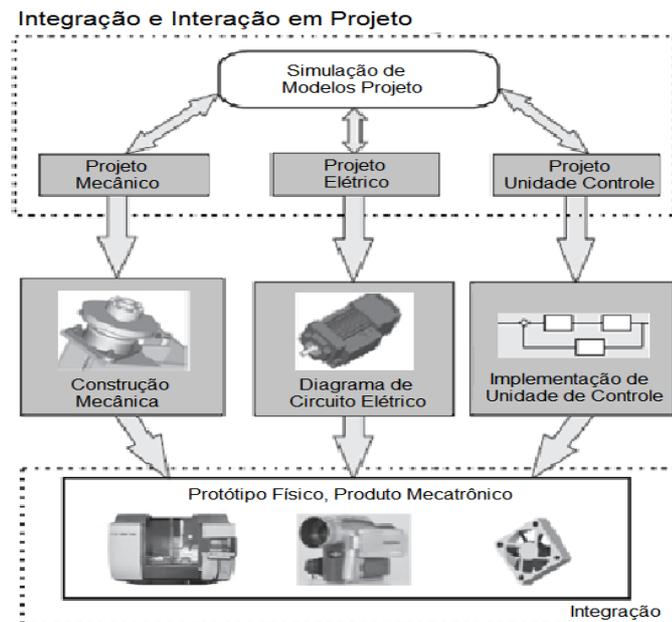


FIGURA 2.5: Atividades de Projeto Mecatrônico. Fonte: Hehenberger *et al.*, (2010).

Conforme Gausemeier *et al.* (2011) existem dois grandes desafios que tem que ser gerenciados para desenvolver um modelo para sistemas mecatrônicos. Primeiro o projeto é um tarefa interdisciplinar. Engenheiros de domínios diferentes estão envolvidos. Todas as atividades de desenvolvimento devem ser coordenadas e sincronizadas. E em segundo lugar, a concepção de um produto mecatrônicos é fortemente determinada pelo processo de fabricação. Nas seguintes seções são apresentados os modelos para desenvolvimento de sistemas mecatrônicos.

2.4.1. Modelo de 3-Ciclos

Modelo apresentado por Gausemeier *et al.* (2011), desenvolve um novo modelo que consiste em três tarefas principais: planejamento estratégico do produto, desenvolvimento de produto e desenvolvimento de sistemas de produção. Para Gausemeier *et al.* (2011) estas

tarefas não podem ser consideradas como uma sequência rigorosa de fases e etapas. É mais uma iteração entre atividades que podem ser subdivididos em três ciclos. Na Figura 2.6 ilustra o modelo 3-Ciclos proposto por Gausemeier.

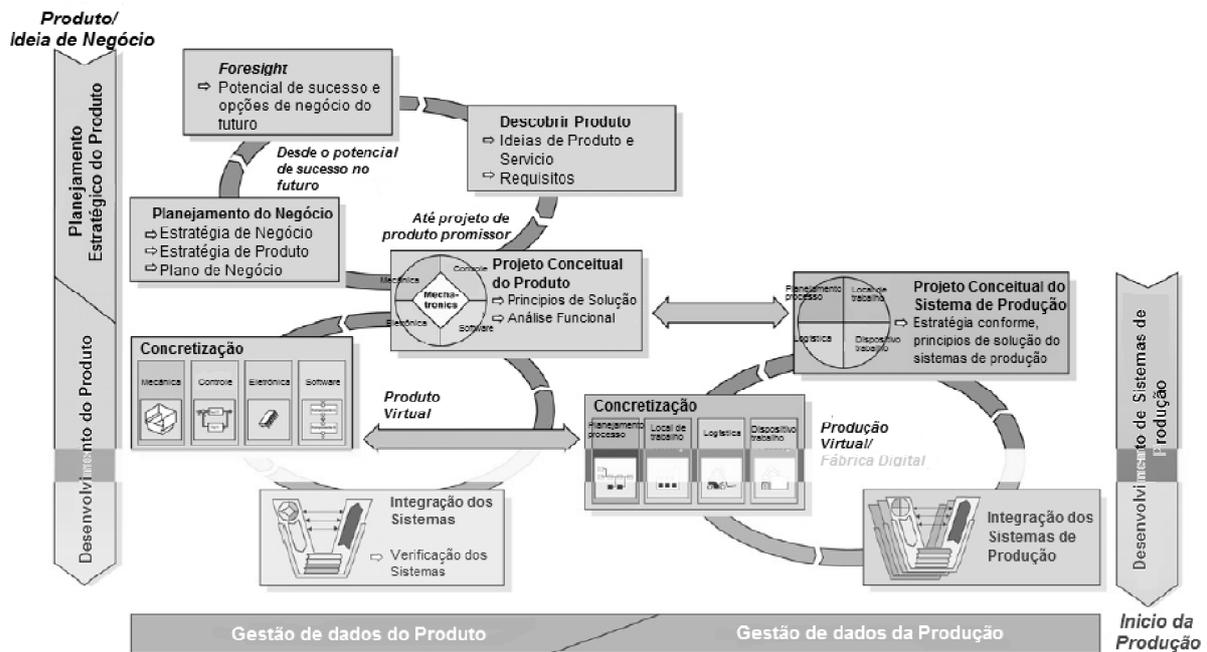


FIGURA 2.6: Modelo de 3-Ciclos de engenharia de produto. Fonte: Gausemeier *et al.* (2011).

1. Primeiro Ciclo: caracteriza-se por os passos de encontrar os potenciais de sucesso no futuro à criação de um projeto de produto promissor, ou o que autor chama princípio de solução. O ciclo tem quatro tarefas principais: *foresight*, descobrir produto, projeto conceitual do produto e planejamento de negócios.
2. Segundo ciclo: (Produto Virtual) – o ciclo compreende as três fases de domínio: projeto conceitual do produto, concretização do domínio-específico (mecânica, eletrônica, *software*/controle) e integração dos sistemas. O projeto conceitual acopla o primeiro e segundo ciclo. Os resultados da concretização são integrados a uma solução global que conduz a prototipagem virtual.
3. Terceiro ciclo: (Produção Virtual) – ele compreende as três fases de domínio: projeto conceitual do sistema de produção. O resultado de esta fase é o princípio de solução do sistema de produção. Concretização do domínio-específico (planejamento do processo, planejamento do local de trabalho, logística de produção e planejamento do dispositivo de trabalho). E a fase de integração dos sistemas de produção combina os

resultados do planejamento do domínio-específico para uma solução dos sistemas de produção.

A partir do modelo 3-Ciclos o autor citado desenvolve um modelo detalhado para um projeto conceitual integrativo do produto e do sistema de produção de sistemas mecatrônicos, como mostrado na Figura 2.7. Onde se combina e sincroniza as principais fases do projeto conceitual do produto e do projeto conceitual dos sistemas de produção.

Este foco no projeto conceitual integrativo representa uma vantagem em relação aos demais modelos os quais não possuem esta característica, a qual ao momento da concepção do produto a tomada de decisão vai ser baseada em aspectos ou restrições importantes do processo de fabricação. Por o qual este modelo selecionou-se para basear o modelo de estimativa proposto.

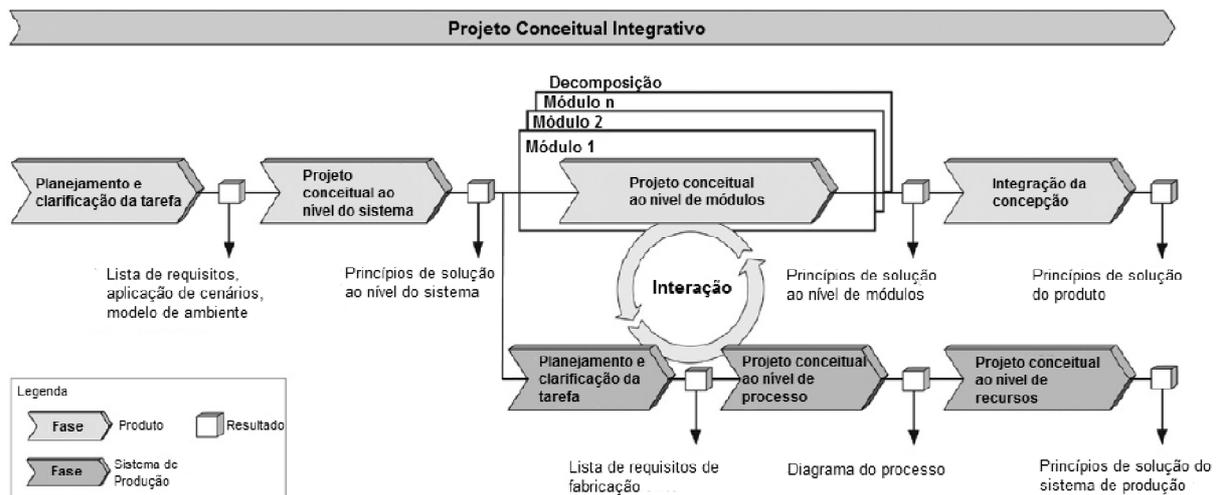


FIGURA 2.7: Modelo genérico para o projeto conceitual integrativo de produto e dos sistemas de produção. Fonte: Gausemeier *et al.* (2011).

O modelo do projeto conceitual integrativo consiste em: planejamento e esclarecimento da tarefa (do produto e dos sistemas de produção), projeto conceitual ao nível do sistema, projeto conceitual ao nível de módulo, projeto conceitual ao nível de processo, projeto conceitual ao nível de recursos e integração do conceito.

- Planejamento e esclarecimento da tarefa (Produto): é identificada a tarefa central de desenvolvimento. O resultado de esta fase é a lista de requisitos.
- Projeto conceitual ao nível de sistema: a entrada é a lista de requisitos da qual são extraídas as principais funções do produto e são configuradas dentro de uma

hierarquia de funções. Os princípios de solução ao nível de sistema são os resultados desta fase.

- Projeto conceitual ao nível de módulos: é preciso ter uma visão mais aprofundada para a solução do sistema, para dar uma análise da percepção técnica e econômica do princípio de solução. Para esse efeito, o sistema é modular e são desenvolvido um princípio de solução para cada módulo. O resultado é o princípio de solução ao nível de módulo.
- Planejamento e esclarecimento da tarefa (Sistema de produção): o objetivo é identificar os elementos do sistema que precisam ser fabricados.
- Projeto conceitual ao nível de processo: o objetivo desta fase consiste em preparar a sequência do processo, as partes, montagens, processo de fabricação e montagens, que são necessários para a produção.
- Projeto conceitual ao nível de recursos: nesta fase os recursos do sistema de produção são determinados.
- Integração do conceito: os princípios de solução dos módulos do produto serão integrados a um princípio de solução detalhado de todo o sistema. Este é o ponto de partida para a concretização do produto subsequente

2.4.2. Modelo Projeto Axiomático

As pesquisas em projeto axiomático foram iniciadas em 1977, pelo professor Nam P. Suh, do *MIT - Massachusetts Institute of Technology*. Para Lee (2003) o projeto axiomático é centrado em torno do conceito de requisito funcional (RF), parâmetros de projeto (PP) e suas inter-relações quantitativas / qualitativas representado por a matriz do projeto (MP). Esta matriz é apresentada conforme a equação (2.1):

$$RF = [A] \times PP \quad (2.1)$$

Onde A é a matriz do projeto que caracteriza o projeto de produto.

Suh (1990) define dois axiomas de projeto: o axioma da independência e o axioma da informação.

1. Primeiro axioma (axioma da independência): “Manter a independência dos Requisitos Funcionais”. Em um projeto aceitável, os parâmetros do produto e os requisitos funcionais são relacionados de tal forma que um determinado parâmetro de produto pode ser ajustado para satisfazer seu correspondente requisito funcional, sem afetar os demais.

2. Segundo axioma (axioma da informação): “Minimizar o conteúdo de informações”. Entre todos os projetos que satisfaçam o primeiro axioma, aquele com menor conteúdo de informação é o melhor.

O processo de projeto axiomático proposto por Suh é sistematizado pelo uso de quatro domínios, apresentados na Figura 2.8:

- O domínio do usuário: indicando as necessidades do cliente.
- O domínio funcional: expressando as funções desejadas do projeto de produto.
- O domínio físico: representando as propriedades físicas do projeto de produto.
- O domínio de processo: ilustrando como conseguir o produzir o projeto de produto.

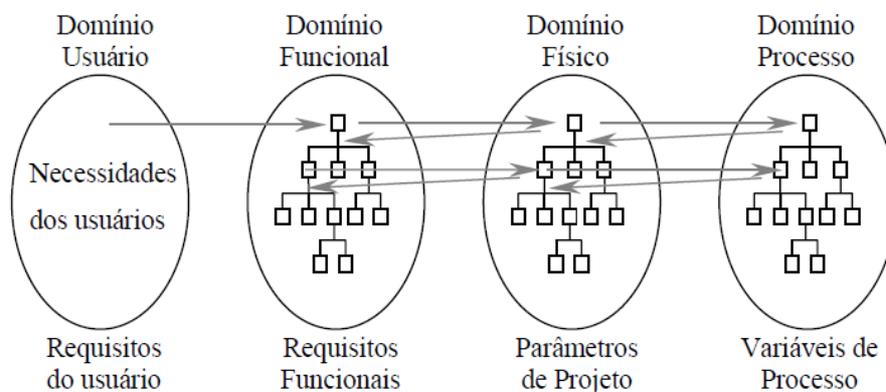


FIGURA 2.8: Projeto axiomático domínios e elementos. Fonte: Sozo, (2002).

2.4.3. Modelo V

Segundo Vasić & Lazarević (2008) o modelo V é uma proposta de solução industrial para o desenvolvimento de produto mecatrônico, com a orientação do processo industrial VDI-2206 que é dedicada especialmente ao projeto de sistemas mecatrônicos. Na Figura 2.9 mostra-se o modelo V. O modelo está composto de três partes principais: micro- ciclo, macro -ciclo e módulo do processo.

O modelo V consiste nos seguintes passos: primeiro analisa-se todos os requisitos do sistema total, as subfunções, e subsistemas, são definidos (parte esquerda do Modelo V). São desenvolvidos simultaneamente pelas equipes colaborativas de desenvolvimento. Segundo verificam-se as subfunções e testando os subsistemas, eles são integrados passo a passo (parte direita do Modelo V). Em seguida, o desempenho do sistema integrado é verificado, se houver necessidade de ser melhorada, a operação inicial da fase será repetido tornando-se assim um processo iterativo.

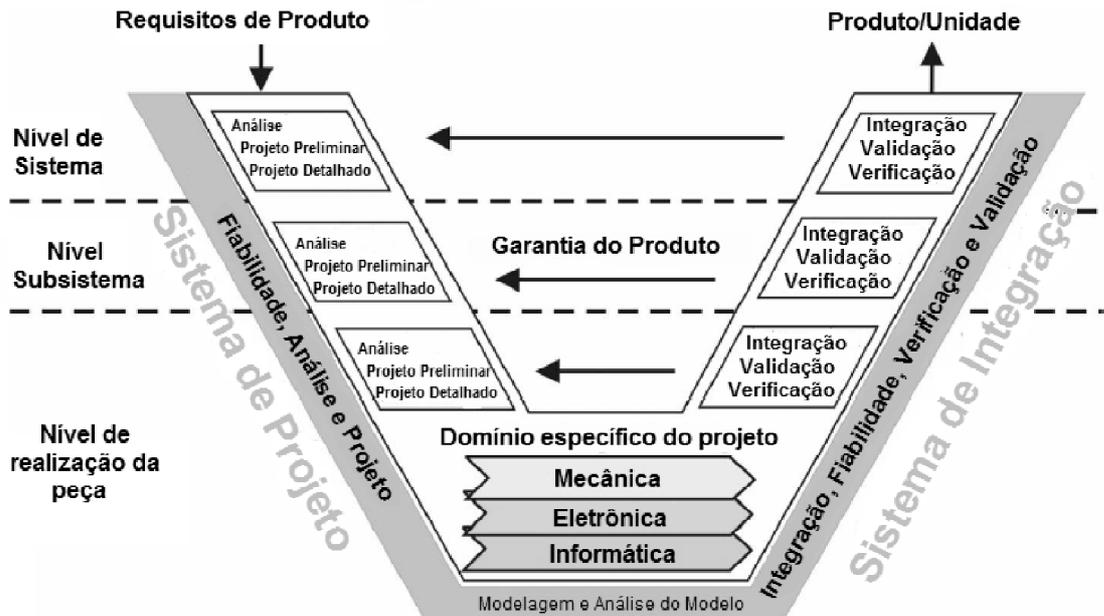


FIGURA 2.9: Princípio geral do modelo V para projeto mecânico. Fonte: Vasić & Lazarević (2008).

O objetivo é estabelecer um conceito de solução que descreva as principais características físicas e operacionais do futuro produto.

2.4.4. Modelo Hierárquico

A natureza complexa do projeto de engenharia, assim como as restrições de tempo e custo em este processo. Exigem alta eficiência e procedimentos flexíveis para configurar modelos de sistemas (modelos gerais) para simulações não rotineiras. O desafio da modelagem pode ser dirigida por um modelo de projeto modular ou integrativo (HEHENBERGER *et al.*, 2010).

Hehenberger *et al.* (2010) propõe o modelo de projeto hierárquico para sistemas mecânicos o qual consiste em:

1. Módulos mecânicos: o sistema mecânico pode ser descomposto em módulos de acordo a seus diferentes domínios (mecânico, elétrico, *software*) o pilar de cada módulo é estruturado em vários níveis hierárquicos correspondentes ao grau de detalhamento de processo (Figura 2.10).
2. Modelos hierárquicos para projeto conceitual: cada modelo é único e possui um propósito específico, e o objetivo do mesmo é servir como ferramenta para encontrar uma resposta do projeto em questão. Os modelos consistem em um conjunto de parâmetros, bem como um conjunto lógico e quantitativo nas relações entre eles. A

modelagem é o processo de estabelecimento de um modelo, que é um grande desafio e exige trabalho criativo.

3. Projeto hierárquico de parâmetros: a hierarquia de parâmetros de projeto é investigada separadamente para cada domínio, assim a fase de concepção através é feita através de vários estágios do projeto intermediário, o qual tem como saída à documentação completa do produto.

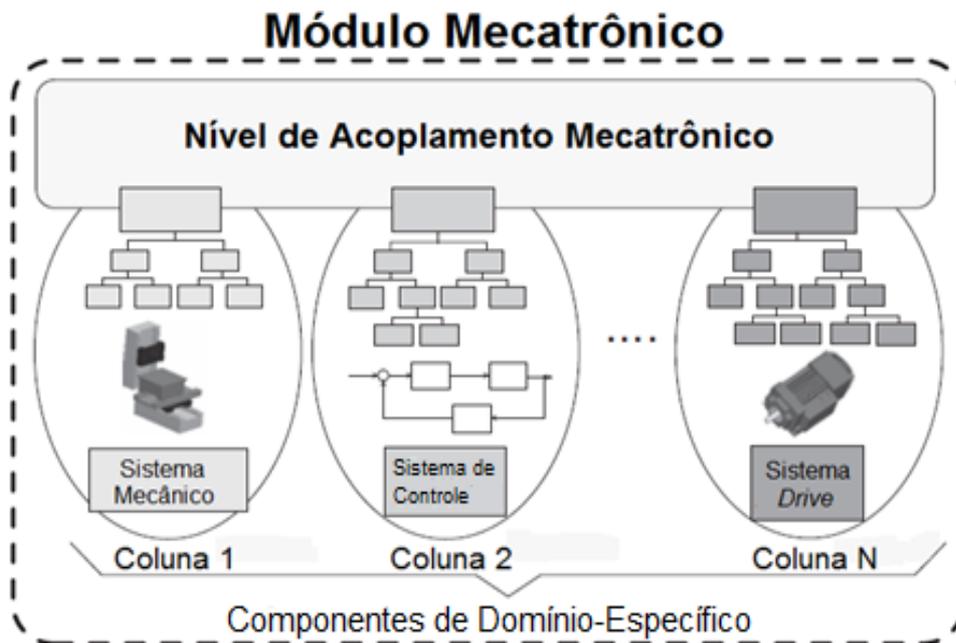


FIGURA 2.10: Módulo mecatrônico. Fonte: Hehenberger *et al.* (2010)

2.5. COMENTÁRIOS FINAIS

O desenvolvimento de sistemas mecatrônicos é um desafio multidisciplinar. Buur e Myrup (1989) afirmam que uma comunicação deficiente entre os engenheiros ou projetistas de cada área pode levar a empresa a dividir o produto em partes independentes, gerando o risco de cada parte ser otimizada referente apenas ao seu escopo, não havendo uma otimização global para o produto.

Além disso, os sistemas mecatrônicos são caracterizados como sistemas complexos, tendo como foco a integração de diversas áreas de engenharia (mecânica, eletrônica, controle e *software*). Logo, a complexidade envolvida no desenvolvimento de produtos mecatrônicos, conduz a necessidade de um processo de desenvolvimento sistematizado.

Os modelos de Back *et al.* (2008), Rozenfeld *et al.* (2006), Pahal & Beitz (2005), Pugh (1990) fundamentaram a base da pesquisa o escopo, abrangência, conceitos fundamentais sobre o processo de desenvolvimento de produto. A importância destas referências são a indicação de métodos, técnicas e ferramentas para apoiar o processo de desenvolvimento de produtos. No entanto, os mesmos são focados no desenvolvimento de produtos/sistemas mecânicos.

A partir da revisão da literatura foram encontrados 4 abordagens para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos, os quais apresentam a integração, da eletrônica, mecânica e software. Os modelos de 3-Ciclos (GAUSEMEIER *et al.*, 2011), modelo Axiomático (SUH, 1990), modelo V (VASIĆ & LAZAREVIĆ, 2008) e modelo hierárquico (HEHENBERGER *et al.*, 2010). Estes apresentam a integração da eletrônica, mecânica e software desde fase de planejamento de projeto. A Tabela 2.1 apresenta a síntese das principais contribuições das referências estudadas para o processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos e para o processo de estimativas de estimativas de custos de produtos mecatrônicos.

TABELA 2.1: Contribuições das referências para o desenvolvimento de sistemas mecatrônicos.

MODELO	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	PROCESSO DE ESTIMATIVAS DE CUSTOS	
3-Ciclos (GAUSEMEIER <i>et al.</i> , 2011)	- Modelo de projeto modular ou integrativo. - Abordagem do projeto conceitual integrativo.	- Visão aprofundada para solução do sistema. - Hierarquia de funções. - Inclui o modelo V.	Não apresenta informações do processo de estimativa de custo do produto.
Hierárquico (HEHENBERGER <i>et al.</i> , 2010)	- Modelo de projeto modular ou integrativo. - Estruturado em níveis hierárquicos.	- Detalhamento do processo em níveis hierárquicos. - Cada modelo é único e possui um propósito específico.	Não apresenta informações do processo de estimativa de custo do produto.
Modelo V (VASIĆ & LAZAREVIĆ, 2008)	- Orientação da metodologia VDI-2206 que é dedicada especialmente ao projeto de sistemas mecatrônico.	- Integração atividades, e tarefas que compõem o PDP mecatrônico. - Verificação do sistema.	Não apresenta informações do processo de estimativa de custo do produto.
Axiomático (SUH, 1990)	- Centrado no conceito de requisito funcional, parâmetros de projeto e suas relações.	- Permite rastreabilidade das mudanças. - Projeto de sistemas complexos.	Não apresenta informações do processo de estimativa de custo do produto.

Entre os modelos estudados destaca-se o modelo V (VASIĆ & LAZAREVIĆ, 2008) o qual descreve a integração das atividades, tarefas que compõem o PDP mecatrônico. O modelo de 3 -Ciclos (GAUSEMEIER *et al.*, 2011) integra o modelo V na sua proposição. Contudo, o modelo de 3-Ciclos sincroniza as atividades do projeto do produto com o projeto do processo na fase de conceitual, denomina de fase de projeto conceitual integrativo. Esta abordagem de projeto conceitual integrativo representa uma vantagem em relação aos demais modelos, além

de considerar a integração entre as partes mecânicas, eletrônica e software considera também o projeto do processo de fabricação.

Os modelos anteriormente estudados (BACK *et al.*, 2008; ROZENFELD *et al.*, 2006; PAHAL e BEITZ, 2005; PUGH, 1990) apresentam dificuldades de representação da integração entre o projeto do produto e o projeto do processo de fabricação.

Os modelos de 3-Ciclos (GAUSEMEIER *et al.*, 2011), modelo Axiomático (SUH, 1990), modelo V (VASIĆ & LAZAREVIĆ, 2008) e modelo hierárquico (HEHENBERGER *et al.*, 2010), estudados neste capítulo apresentam uma lacuna, os mesmos não abordam o processo de estimativas de custos para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos.

O próximo capítulo apresenta os métodos de estimativas de custos para o processo de desenvolvimento de produtos.

3. PROCESSO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS NO CONTEXTO DO PDP

Este capítulo tem por objetivo estudar e identificar os principais métodos de estimativa de custo para o processo de desenvolvimento de produtos. Nos tópicos a seguir são abordados: o conceito de custo de ciclo de vida e os conceitos gerais e classificação de custo. Também o processo de estimativa de custo, os métodos de estimativas de custo e os modelos de estimativa de custos de desenvolvimento de *software* e *hardware*.

3.1. CUSTO DE CICLO DE VIDA

O Ciclo de Vida do Produto (*PLC – Product Life cycle*) é a sequência de todas as fases através das quais o produto ou sistema vai desde seu projeto até a sua disposição (FINKELSTEIN & FINKELSTEIN, 1991). A Figura 3.1 mostra a evolução do projeto/produto em termos dos recursos financeiros associados com as diferentes fases ou estágios do ciclo de vida comercial do produto.

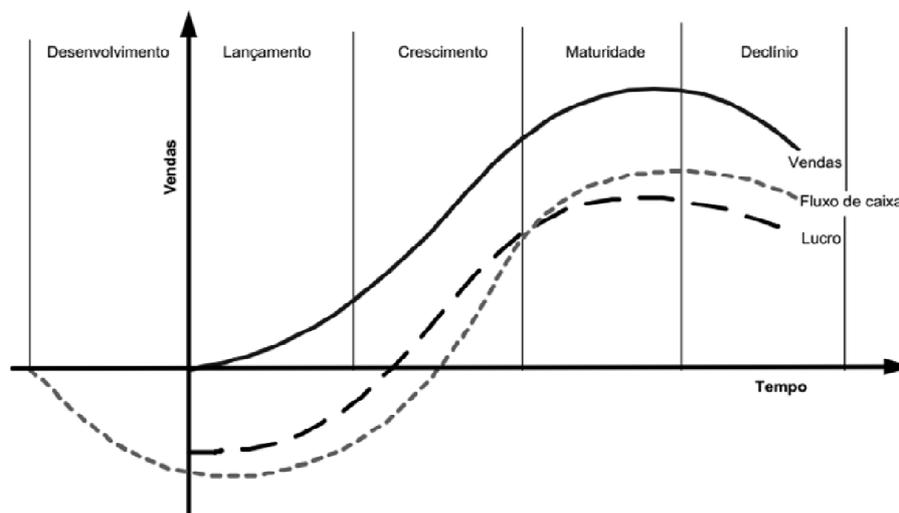


FIGURA 3.1: Ciclo de vida segundo a evolução das vendas do produto. Fonte: Rozenfeld *et al.*, (2006).

A fase de desenvolvimento, que compreende o planejamento, projeto e produção, é caracterizada por um investimento crescente até o lançamento do produto no mercado. Nas fases de lançamento e crescimento, os custos de pesquisa e desenvolvimento, bem como os custos adicionais de promoção e penetração no mercado, fazem com que os lucros sejam

negativos ou baixos. Na fase de maturidade, tem-se uma estabilidade. A maior parte dos lucros com o produto é obtida nesta fase. Na fase seguinte, de declínio, ocorre uma diminuição nas vendas causadas por fatores como aumento da concorrência com novos produtos, por inovações que levam o produto à obsolescência e a mudanças de hábitos nos consumidores (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Conforme Pahl *et al.* (2005), a duração do ciclo de vida varia muito em função do tipo de produto e da especialidade.

Farr (2011) define o Custo do Ciclo de Vida (*LCC – Life cycle cost*) como o custo total de propriedade de um produto durante todo seu ciclo de vida. O custo do ciclo de vida são todos os custos previstos associados desde a fase de projeto até o descarte do produto, em síntese, envolve todas as fases do processo de desenvolvimento de produto apresentadas por Rozenfeld *et al.* (2006).

O custo total segundo Farr (2011) é a soma total dos custos diretos, indiretos, periódicos, não periódicos e outros custos incorridos e estimados durante: o projeto do produto, a pesquisa e desenvolvimento (P&D), nas operações de produção, manutenção, serviços pós-vendas e atividades de suporte até o descarte do produto.

Para Jeziorek (2005) o custo do ciclo de vida é o custo total do desenvolvimento inicial de um sistema até a retirada. Ele inclui todos os custos devido ao desenvolvimento, produção e operação. Desta forma o custo de ciclo de vida pode ser estimado empregando-se a Equação (3.1):

$$\text{Custo de Ciclo de Vida} = R\$ \text{ Desenvolvimento} + R\$ \text{ Produção} + R\$ \text{ Operação} \quad (3.1)$$

O custo de desenvolvimento inclui o projeto, teste e avaliação, é estimado conforme a Equação (3.2):

$$R\$ \text{ Desenvolvimento} = R\$ \text{ Trabalho} + R\$ \text{ Materiais} \quad (3.2)$$

O custo de produção inclui o custo de fabricar um número de componentes, conforme Equação (3.3) inclui o trabalho, materiais, e custo de instalações e manutenção.

$$R\$ \text{ Produção} = R\$ \text{ Trabalho} + R\$ \text{ Materiais} + R\$ \text{ Instalações} + R\$ \text{ Manutenção} \quad (3.3)$$

O custo de operação é pago pelo usuário final, este custo conforme Equação (3.4) inclui manutenção, energia, tempo e disposição.

$$R\$ \textit{Operação} = R\$ \textit{Trabalho} + R\$ \textit{Consumíveis} + R\$ \textit{Instalações} + R\$ \textit{Manutenção} + R\$ \textit{Disposição} \quad (3.4)$$

As atividades de operação e manutenção são responsáveis por uma parcela significativa do custo do ciclo de vida de um sistema e estas decorrem de relações de causa e efeito de decisões tomadas nas fases iniciais de planejamento e concepção do projeto (SAGE & ROUSE, 2008).

Leung & Fan (2002) listam a importância das estimativas de custo durante o ciclo de vida do produto:

1. Podem ajudar a priorizar e classificar os projetos de desenvolvimento em relação ao plano de negócios global, gerenciamento de portfólio de projetos.
2. Pode ser utilizado para determinar quais recursos comprometer com o projeto e como esses recursos serão utilizados.
3. Podem ser usadas para avaliar o impacto de mudanças e replanejamento das atividades suporte.
4. Os projetos podem ser mais fáceis de gerenciar e controlar quando os recursos são mais adequados às necessidades reais.
5. Os clientes esperam que os custos de desenvolvimento estejam em conformidade com os custos estimados.

Engenharia de custo pode ser definida como o processo de identificar, atribuir, gerenciar e controlar os recursos necessários para satisfazer as necessidades das partes envolvidas.

Segundo Ehrlenspiel *et al.* (2007), Gestão de Custo pode ser definida como:

“Orientação sistemática dos custos. O objetivo é influenciar os custos de produtos, processos e recursos através de medidas concretas, de tal forma que um sucesso da empresa é alcançado, e suas vantagens competitivas são melhoradas por um longo período de tempo”.

3.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS E CLASSIFICAÇÃO DOS CUSTOS

Em todas as fases do processo de projeto, a identificação dos custos de forma correta e em tempo hábil, desempenha papel relevante (PAHL *et al.*, 2005).

A literatura não apresenta um conceito universal para a palavra custo. Kopittke (1995, *apud* FERREIRA *et al.*, 2000) define custo como o valor dos bens e serviços consumidos na

produção de outros bens e serviços. Ferreira (2002) observa que os custos do produto podem ser classificados em quatro grupos. Sendo eles:

1. Grau de Média: de acordo com a quantidade de produtos relacionados a um determinado custo, são definidos os seguintes custos:
 - Custo Total: é o valor dos esforços (bens e/ou serviços) consumidos para fabricar um conjunto de unidades do produto.
 - Custo Unitário: é o valor dos esforços (bens e/ou serviços) consumidos para fabricar uma unidade do produto. Este custo é obtido dividindo o custo total pelo número de unidades produzidas em um determinado período.
2. Critério de Proporcionalidade com a Quantidade Produzida: são classificados de acordo com o seu comportamento, em face aos diferentes volumes de produção (PAHL e BEITZ, 1996). Os custos são classificados em função da sua variação em relação à quantidade de produtos manufaturados.
 - Custo Variável: é aquele que é constante por unidade produzida, mas que varia no seu total, em forma proporcional às variações do volume de atividades.
 - Custo Fixo: permanece constante e indiferente, no curto prazo, aos diferentes volumes de unidades produzidas. Em valores unitários por produto, o custo fixo varia de maneira inversa ao volume de produção.
3. Facilidade de Atribuição: são classificados considerando se um determinado custo pertence ou não ao produto.
 - Custo Direto: é aquele que é facilmente atribuível a um determinado produto.
 - Custo Indireto: é aquele que não é atribuído diretamente a um determinado produto.
4. Momento do Cálculo: são classificados de acordo com o momento de sua contabilidade ou cálculo.
 - Custo Histórico: É aquele calculado após ter ocorrido, ou seja, quando um determinado recurso foi consumido. Tem por objetivo avaliar inventários, os produtos fabricados, os produtos vendidos e apurar o resultado obtido pela empresa num determinado período.
 - Custo Pré-determinado: É estabelecido antes da sua ocorrência e objetiva auxiliar a administração no planejamento e controle das atividades empresariais.

Segundo Ferreira *et al.* (2000), além destes conceitos, define-se custos de *overhead*, como aqueles que incluem todos os custos indiretos alocados na manufatura, diferentes dos custos de mão de obra direta e de matéria-prima.

Entretanto, com relação ao processo do projeto de produto deve-se ter em mente, ainda os seguintes conceitos (FERREIRA *et al.*, 2000):

1. Custo-Meta: é o valor do custo unitário do ciclo de vida do produto, determinado no início do processo de projeto.
2. Custo Unitário do Ciclo de Vida: é o custo unitário do produto durante todas as etapas do seu ciclo de vida, ou seja, é a soma dos custos de projeto, produção, construção, operação, manutenção, retirada e descarte. Portanto, compreende o custo unitário de aquisição e utilização.
3. Custo da Unidade de Aquisição ou Custo de Aquisição: é o custo unitário do produto dado pela soma dos custos de pesquisa, projeto, produção e construção.
4. Custo da Unidade de Utilização ou Custo de Utilização: é o custo unitário do produto dado pela soma dos custos de operação, manutenção, retirada e descarte.
5. Preço: é o valor do custo acrescido do lucro necessário para remunerar o capital da empresa

A composição destes custos está ilustrada na Figura 3.2.

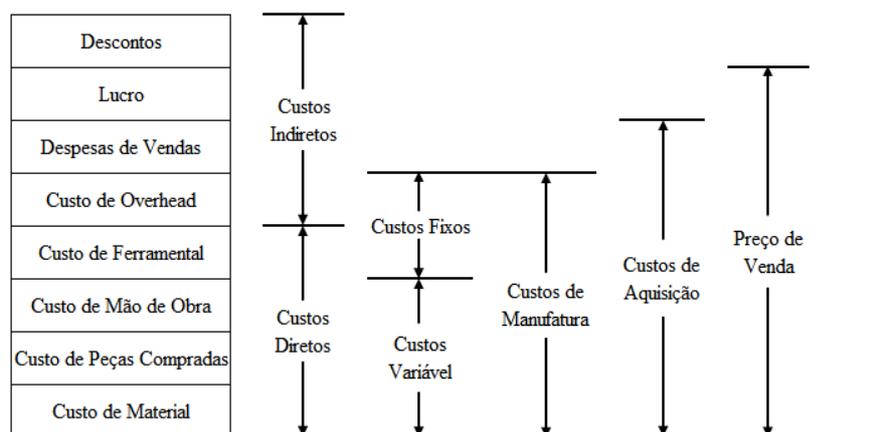


FIGURA 3.2: Composição dos custos dos produtos/componentes. Fonte: Ullman (1992, *apud* Ferreira *et al.*, 2000).

O custo de um processo de manufatura normalmente é a variável mais importante. É afetado pelos atributos: tamanho, forma, taxa de produção tolerâncias e acabamento superficial. O custo das ferramentas, o tempo de desenvolvimento necessário para começar a produção e o

efeito do material da peça sobre o ferramental são considerações bastante importantes (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Conforme Pahl *et al.* (2005), o preço de custo de um produto serve de base para determinação do preço do mercado. Por isso, influencia decisivamente o sucesso do produto. Além dos custos de produção, o preço de custo ainda é influenciado pelo custo do projeto de produto.

3.3. O PROCESSO DE ESTIMATIVAS DE CUSTO

A estimativa de custo do produto é o processo de predição de um esforço necessário para desenvolver um produto. A estimativa de custos de produtos permite às empresas tomarem decisões estratégicas e, assim, estabelecer caminhos a serem seguidos ao longo do processo de desenvolvimento de produto (FERREIRA, 2002). Realiza-se a estimativa de custos empregando-se métodos matemáticos, o fator chave na escolha de um modelo de estimativa de custo é a precisão das suas estimativas (GIDO & CLEMENTS, 2007).

É importante resaltar que o emprego destes métodos, principalmente na fase de projeto conceitual é uma atividade difícil e complexa, devido ao elevado grau de abstração das informações disponíveis (FERREIRA *et al.*, 2000).

Todo processo de estimativa de custos esta sujeito a uma margem de erro provável e associável as estimativas. Ferreira *et al.* (2000), apresenta na Tabela 3.1, o resultado de um estudo sobre erro no processo de estimativas de custo, de acordo com a fase de projeto de produto, segundo critérios da Associação Americana de Engenheiros de Custos.

TABELA 3.1: Erro “admissível” na estimativa de custos conforme a etapa de projeto (Dieter 1993, *apud* Ferreira *et al.*, 2000).

Etapa do Processo de Projeto		Grau de Detalhamento	Erro (%)
Planejamento do Produto	Etapas de Planejamento	Relação de Magnitude	±40
	Ordem de Desenvolvimento		
Desenvolvimento de Produto	Clarificação da Tarefa		±30
	Concepção	Esboços preliminares de Componentes e processos	±20
	Projeto Preliminar	Fluxo de processo, detalhe de equipamento e componentes	±10
	Projeto Detalhado	Dados definidos	±5

Como podem ser observados, os valores elevados de erros para as etapas iniciais do processo de desenvolvimento, decorrem do alto nível de abstração das informações sobre o produto e da falta de ferramentas adequadas para avaliar o custo de produto nestas etapas (FERREIRA *et al.*, 2000).

Ullman (1992, *apud* Ferreira *et al.*, 2000), colocam que as estimativas de custo nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produto devem possuir uma precisão suficiente, para que as decisões, sobre quais alternativas de projeto devam ser eliminadas e quais devam ser refinadas, sejam tomadas coerentemente.

Os métodos de estimativas de custos são divididos em três categorias: paramétrico (PCE), por analogia e engenharia detalhada (FARR, 2011).

1. Na **Estimativa Paramétrica** (cima para baixo) são basicamente relações matemáticas entre custos e alguns produtos e processos relacionados com os parâmetros. O método paramétrico não é necessariamente mais preciso que o método análogo. Não entanto, ele é o único meio disponível quando não existe um banco de dados com suficiente informação. Baseiam-se em relações entre custos e alguns produtos-e-processos relacionados com parâmetros. As estimativas paramétricas são construídas usando dados empíricos que tomam forma de uma equação linear multiplicado por vários fatores desenvolvidos para captar a complexidade, o tamanho, a maturidade e outros dos sistemas.

Essas estimativas podem variar significativamente em termos de complexidade de uso e precisão dos resultados, e atingirão melhores desempenhos à medida que forem utilizando modelos mais próximos da realidade do projeto de desenvolvimento de produto (DP) da empresa, alimentados por parâmetros precisos e confiáveis, e com certa flexibilidade para moldar as diferentes características que cada projeto de DP da empresa normalmente possui.

2. **Estimativa Análoga** (cima para baixo) é estimativa baseada em resultados históricos a partir de produtos similares. O desenvolvimento de analogias no início do ciclo de vida é frequentemente a única ordem aproximadamente de magnitude. Exige ampla experiência para desenvolver qualquer tipo de previsões para determinar as variáveis independentes e dependentes adequadas.

A estimativa análoga possui a vantagem de ser mais rápidas e simples do que outros procedimentos, porém tendo menor precisão e sendo mais dependentes de pessoas com

experiência e especialização para comparar custos entre projetos de diferentes momentos (e contextos) da empresa.

3. **Estimativa pela Engenharia Detalhada** (baixo para cima) é uma estimativa direta acumula as estimativas para cada elemento, item, ou componente para uma estimativa de custo global. É o método mais desejado para o cálculo do custo é uma estimativa direta no nível de componente e é o meio mais preciso de avaliação de custo de um sistema. Obviamente, deve-se conhecer a arquitetura do sistema antes de poder custea-lo.

Esse procedimento, se, de um lado permite resultados com certa precisão pelo detalhamento específico “item a item”, por outro pode ser dispendioso e demorado para um planejamento, especialmente em projetos com muitas e complexas atividades, e recursos.

Este método consiste em três categorias nos níveis mais altos: hardware, software e integração. Os custos de *hardware* de tecnologia madura são bem conhecidos, e os custos para *softwares* desenvolvidos possuem modelos paramétricos. O elemento mais difícil de custo no início de ciclo de vida do produto são os custos relacionados aos aspectos de integração.

A Figura 3.3 ilustra os métodos de estimativa de custo e sua aplicabilidade ao longo do ciclo de vida de desenvolvimento de produto.

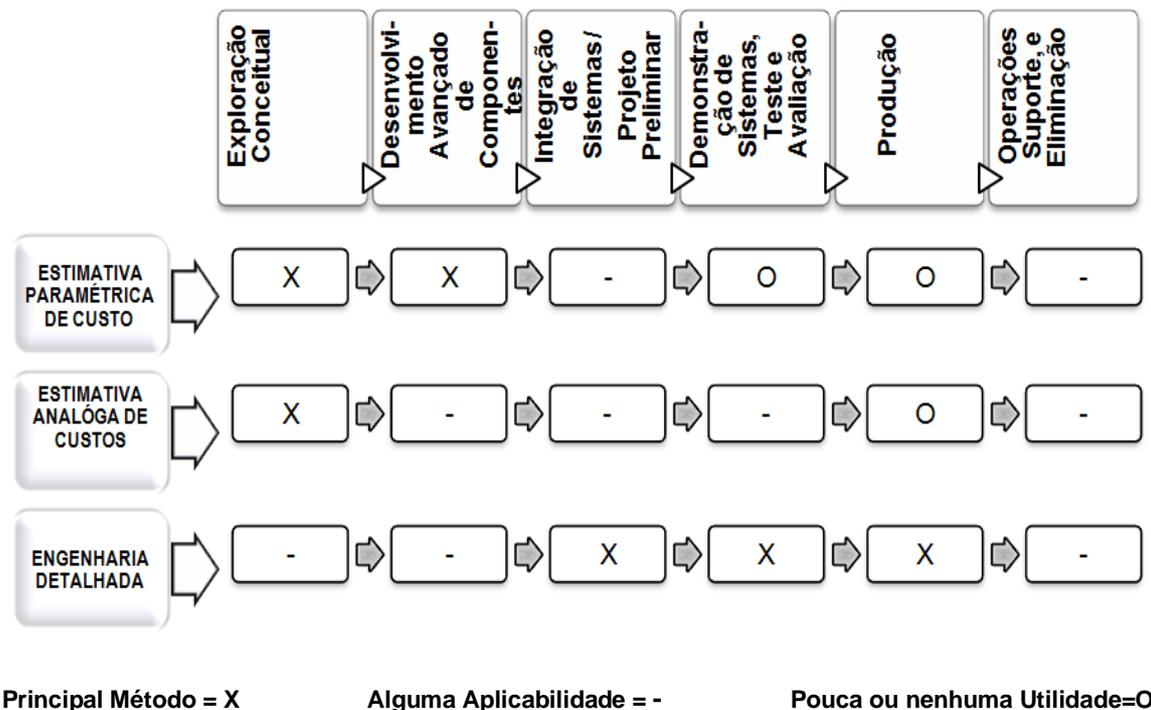


FIGURA 3.3: Métodos de Estimação Custos em todo o Ciclo de Vida. Fonte: Farr (2011).

Na Figura 3.4 são apresentados os problemas que enfrenta a equipe de projeto no momento de estimar os custos e as formas de mitigá-los.



FIGURA 3.4: Desafios que enfrentam nas estimativas de custos. Fonte: Adaptado Farr (2011).

Stewart (1991, *apud* Ferreira, 2002) aponta cinco elementos básicos necessários para propor um processo de estimativa de custo de produtos:

1. A equipe de estimadores de custo deve ser composta por especialistas de diversos campos de conhecimentos envolvidos nesta atividade.
2. O resultado da estimativa de custo deve ser preciso e confiável, faz-se necessário a existência de ferramentas adequadas.
3. Os conhecimentos e informações sobre o projeto, o processo e sobre o produto, podem ser captados com base a informações provenientes de manuais, catálogos, regras de projeto e também da experiência de especialistas.
4. O custo pode ser calculado manualmente, entretanto, sua automatização é fundamental. A utilização de softwares possibilita a manipulação de um maior número de informações e a obtenção de resultados mais rapidamente.
5. Capacidade de obter e registrar informações fidedignas. Os processos administrativos e produtivos de uma empresa que geram custos diretos e indiretos ao produto devem ser contabilizados. Para auxiliar a obtenção e o registro destas informações podem ser empregados os sistemas de gerenciamento de custos. Como consequência, as atividades requeridas para prover o produto, assim como, os respectivos custos destas atividades

podem ser registrados a fim de criar dados históricos, facilitando a estimativa do custo de produtos em desenvolvimento.

3.3.1. Estimativas de custo para sistemas mecatrônicos

Os sistemas mecatrônicos são a integração entre os componentes (*hardware*) e as funções baseadas nas informações (*software*) (ISERMANN, 2008).

É possível para um projetista calcular com alguma confiança o custo de *software* e *hardware* separadamente, o desafio é quando eles são integrados.

3.3.2. Estimativas de custo para *software*

Segundo Attarzadesh & Ow (2010) estimativa de custos de *software* refere-se às previsões da quantidade provável de esforço, tempo e dos níveis requeridos de pessoal para construir um sistema de software. A necessidade de uma confiável e precisa estimativa de custos em engenharia de software foi um desafio permanente para os engenheiros de software nas últimas décadas.

Da mesma maneira Leung & Fan (2002), indicam que existem dois tipos de métodos de estimativas de custo: algorítmicos e não algorítmicos. Sendo que os algorítmicos são divididos em analíticos e empíricos.

3.3.2.1. Métodos não algorítmicos

1. Analogia de Custo: O método requer um ou mais projetos concluídos que sejam semelhantes ao novo projeto e se obtém a estimativa por meio de analogias com os custos reais de projetos anteriores. A vantagem deste método é que a estimativa se baseia na experiência atual do projeto. No entanto, não é claro até que ponto o projeto anterior é realmente representativo das restrições, ambiente e funções a serem executadas pelo novo sistema.
2. Julgamento de Especialistas: O método consiste em fazer consulta a um ou mais especialistas. Os especialistas fornecem estimativas usando seus próprios métodos e experiências.
3. Parkinson: Usando o princípio de Parkinson “O trabalho se expande para preencher o volume disponível”, o custo é determinado (não estimado) pelos recursos disponíveis, e não baseados em uma avaliação objetiva. Embora às vezes dá uma boa estimativa, este método não é recomendado, pois pode fornecer estimativas muito irrealistas.

4. Preço-a-Ganhar (Price-to-Win): O custo de *software* é estimado para ganhar o projeto. A estimativa é baseada no orçamento do cliente, em vez de a funcionalidade do software. Este método não é recomendado já que é muito susceptível de causar um atraso de entrega ou força a equipe de desenvolvimento a trabalhar horas extras.

3.3.2.2. Métodos algorítmicos

Os métodos algorítmicos são baseados em modelos matemáticos que produzem estimativa de custo como uma função de um número de variáveis, os quais são considerados os principais fatores de custo. Qualquer modelo algorítmico tem a forma como se mostra na Equação (3.5):

$$Esforço = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.5)$$

Onde $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ denotam os fatores de custo.

O tamanho do *software* é o fator mais importante que afeta o custo de software. As métricas mais comuns para medir o tamanho de software são as linhas de código e os pontos de função.

Além do tamanho do *software*, existem muitos fatores de custo. O conjunto mais abrangente de fatores de custo são os propostos e utilizados por Boehm *et al.* (1998), propõe que os fatores de custo possam ser divididos em quatro tipos:

- Fatores de Produto: confiabilidade requerida; complexidade do produto; tamanho do banco de dados utilizado; reutilização exigida; documentação que corresponda e à necessidade do ciclo de vida.
- Fatores de Informática: restrição de tempo de execução; restrições de armazenamento principal; restrições de resposta de computador; volatilidade da plataforma.
- Fatores de Pessoal: capacidade do analista; experiência de aplicação; capacidade de programação; experiência da plataforma, da linguagem, e experiência das ferramentas; continuidade do pessoal.
- Fatores do Projeto: vários locais de desenvolvimento; uso de ferramenta de software; programação de desenvolvimento requerido.

1. Modelo Linear: Os modelos lineares são apresentados conforme a Equação (3.6):

$$Esforço = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (3.6)$$

Onde os coeficientes $\{a_1, \dots, a_i\}$ são escolhidos ajustar melhor os dados do projeto terminado.

2. Modelo Multiplicativo: Os modelos multiplicativos são apresentados conforme a Equação (3.7):

$$Esforço = a_0 \prod_{i=1}^n a_i^{x_i} \quad (3.7)$$

Onde novamente os coeficientes $\{a_1, \dots, a_i\}$ são escolhidos ajustar melhor os dados do projeto terminado.

3. Modelo de Função de Potência: Os modelos de função de potencia são apresentados conforme a Equação (3.8):

$$Esforço = a \times S^b \quad (3.8)$$

Onde S é o tamanho de código, b são geralmente funções (simples) de outros fatores de custo.

4. Modelo de Calibração por meio de Regressão Linear: Se podem ajustar os fatores de custo, usando dados locais e método de regressão linear. Utilizando o modelo geral de função de potencia $Esforço = a \times S^b$ se mostra a calibração tomando o logaritmo de ambos lados e deixar $Y = \log(Esforço)$, $A = \log(a)$, $X = \log(S)$. A fórmula é transformado em uma equação linear apresentada na Equação (3.9):

$$Y = A + b \times X \quad (3.9)$$

5. Modelo Discreto: Os modelos discretos têm forma tabular, que geralmente está relacionado ao esforço, duração, dificuldade e outros custos. Esses modelos ganharam alguma popularidade nos primeiros dias de estimativa de custo, já que eram fáceis de usar.

Os métodos algorítmicos podem ser agrupados como se mostra na Tabela 3.2.

TABELA 3.2: Classificação de Modelos Algorítmicos (LEUNG & FAN, 2002).

	Lineares	Multiplicativos	Função de Potencia	Discretos	Outros
Empíricos	Nelson(1966)	Walston-Felix(1977); Herd <i>et al.</i> (1977)	COCOMO	Aron(1969); Wolverton (1974)	Price-S
Analíticos			Putnam		SoftCost

A Tabela 3.3 ilustra os pontos fortes e fracos dos diferentes métodos de estimativas de custos.

Leung & Fan (2002) colocam que a partir do estudo dos métodos de estimativas de custos para software, que nenhum método é o melhor para todos os projetos, que se deve utilizar uma combinação de métodos para poder fornecer uma melhor estimativa.

TABELA 3.3: Resumo das vantagens e desvantagens dos diferentes métodos (LEUNG & FAN, 2002).

Métodos	Vantagens	Desvantagens
Não Algorítmicos		
Julgamento de Especialistas	Especialistas com experiência na matéria pode fornecer uma boa estimativa; Estimativa rápida.	Depende do "especialista"; Pode ser tendência.
Analogia	Com base em dados reais do projeto e de experiência passada.	Projetos similares pode não existir; Os dados históricos podem não ser precisos.
Parkinson Preço-a-Ganhar	Frequentemente ganha o contrato.	Má prática; Pode ter grandes excedentes.
Cima para Baixo	Foco ao nível do sistema; Mais rápido e mais fácil que o método de baixo para cima; Requer detalhes mínimos do projeto.	Fornecer poucos detalhes para justificar as estimativas; Menos precisos do que outros métodos.
Baixo para Cima	Com base na análise detalhada; Projeto de apoio de monitoramento melhor que outros métodos, suas estimativas abordam tarefas de baixo nível.	Podem ignorar fatores do sistema ao nível de custo; Exigem maior esforço em comparação com estimativa de cima para baixo; Difícil executar estimativa no início do ciclo de vida.
Algorítmicos		
	Objetivo, resultados repetíveis; Obter uma melhor compreensão do método de estimação.	Entradas subjetivas; Calibrado para projetos anteriores e podem não refletir o ambiente atual; Algoritmos podem ser específicos da empresa e não ser adequado para o desenvolvimento de software em geral.

3.3.2.3. Novas abordagens de estimativas de custo para software

A estimativa de custos continua a ser um problema complexo, que continua atraindo a atenção considerável para pesquisa. Segundo Leung & Fan (2002), os pesquisadores têm tentado diferentes abordagens. Recentemente, os modelos baseados em técnicas de inteligência artificial têm sido desenvolvidos. Finnie & Wittig (1996) aplicam redes neurais artificiais (RNA) e raciocínio baseado em casos (CBR) para estimativa de esforço. Em um estudo separado Mukhopadhyay *et al.* (1992) descobriram que um sistema especialista baseado em raciocínio analógico superou outros métodos. Srinivasan & Fisher (1995) utilizam abordagens de máquinas de aprendizagem baseadas em árvores de regressão e redes neurais para estimar custo.

3.3.2.4. COCOMO

Attarzadesh & Ow (2010) e Farr (2011) colocam que o COCOMO (Modelo de Custo Construtivo - *CO*nstrutive *CO*st *MO*del) é o modelo mais citado na literatura de estimativa de custo para *software*, sendo o mais reconhecido e o mais plausível de todos os modelos de predição tradicionais de custo para *software*.

O modelo de Custos Construtivo ou família COCOMO é um modelo baseado em método algorítmico que foi desenvolvido por Boehm (1981) e é utilizado para prever esforço e cronograma para o desenvolvimento de um produto de software (FARR, 2011).

O COCOMO original consiste em uma hierarquia de três versões cada vez mais detalhados (Farr, 2011):

1. COCOMO Básico também é referido como COCOMO 81, é um modelo estático que utiliza uma equação de entrada não linear de valor único para calcular o esforço (e custo) de desenvolvimento de software como uma função do tamanho do programa de software. A entrada principal para o modelo é estimada em milhares de linhas de código (*KLC - Thousands of lines of code*). O modelo é apresentado conforme a equação (3.10):

$$E = a \times S^b \quad (3.10)$$

Onde E é esforço (pessoas-mês), S é tamanho do software (KLOC) e a , b são valores que dependem do modo de desenvolvimento. Os modos de desenvolvimento podem ser simples, intermédios e complexos.

2. COCOMO Intermediário toma o COCOMO básico como ponto de partida, e depois calcula o esforço de desenvolvimento de software como uma função do tamanho do programa e um conjunto de “fatores de custo” que incluem avaliação subjetiva do produto, hardware, pessoal e atributos do projeto. A equação (3.11) da COCOMO intermediário é:

$$E = a * S^b * EAF \quad (3.11)$$

Onde E é esforço (pessoas-mês), S é tamanho do software (KLOC) e a , b são valores que dependem do modo de desenvolvimento os mesmos do COCOMO Básico. O EAF (Ajuste de Fatores de Esforço) é calculado utilizando 15 fatores de custo (BOEHM et al., 2000). Os fatores de custo são agrupados em quatro categorias: produto, computador, pessoal e do projeto. Cada fator de custo é classificado numa escala de seis pontos ordinal que varia de baixa a alta importância. O produto de todos os multiplicadores de esforço é o EAF. Assim, a expressão matemática correta é apresentada na equação (3.12):

$$E = aS^b \prod_{1}^{15} EAF \quad (3.12)$$

Existem duas razões pelas quais o modelo intermediário produz melhores resultados que o modelo básico. Primeiro, ele tem maior fidelidade, pois considera o efeito de mais fatores de

custo. Em segundo lugar, é aplicável para uso em sistemas que pode ser divididos em componentes.

3. COCOMO Detalhado ou avançado incorpora todas as características da versão intermediária com uma melhoria já que usa o impacto dos fatores de custo em cada etapa (análise, projeto, etc.) do processo de engenharia de software. As quatro fases utilizadas no modelo avançado são: os requisitos de planejamento e projeto de produto, projeto detalhado, código e teste da unidade, e integração e teste.

Boehm (1995) desenvolveu o COCOMO II, o modelo usa pontos de função e/ou linhas de código fonte como base para medir o tamanho para o projeto inicial e post-arquitetura de modelos de estimação. O COCOMO II constituído por três submodelos: composição de aplicações; projeto no início; pós-arquitetura, que podem ser combinadas de varias maneiras, para lidar com atuais e futuras estimativas de software.

Yang *et al.* (2006) propuseram uma extensão para o COCOMO II, denominada COCOMO-U, em que acrescentam as incertezas aos fatores de custo, bem como estimam uma distribuição para o resultado do esforço calculado, o COCOMO-U adota uma análise probabilística ao invés de adotar um modelo determinístico.

O COCOMO-U pode auxiliar a melhor entender as incertezas nas previsões de custos e seus resultados podem ser usados para previsão de orçamento, reconhecimento de risco e controle de custo (YANG *et al.*, 2006).

3.3.3. Estimativas de custo para *hardware*

Para *hardware* os métodos paramétricos e analógicos são as mais usadas. Utiliza o desdobramento de estrutura do trabalho (WBS – *Work Breakdown Structure*) como melhor prática para as estimativas de custos tanto de hardware quanto de software. Boehm et al. (2000), coloca que o WBS é uma forma de organizar os elementos do projeto em uma hierarquia que simplifica as tarefas de estimativa de orçamento e controle. Isso ajuda a determinar exatamente o que custos estão sendo estimados.

Axelsson (2000) propõe um modelo de custos baseados em UML (*Unified Modeling Language* – Linguagem de Modelagem Unificada) para *hardware*, especificamente para sistemas eletrônicos embarcados. As arquiteturas eletrônicas podem ter uma estrutura muito diferente, e é importante ter um modelo que possa ser facilmente composto de várias maneiras, sem ter que refazê-lo a partir de zero. Geralmente, as arquiteturas são construídas a

partir de componentes eletrônicos padrão, e se pode simplificar a análise dos modelos se esses componentes estiverem em uma biblioteca.

Axelsson (2006) enfoca seu trabalho em fazer uso de um modelo comum para muitas finalidades. São utilizadas técnicas orientadas a objetos para estruturação de informações complexas e que mostram diferentes aspectos de interesse. Com as informações presentes no modelo UML do sistema, pode-se extrair as informações necessárias para estimativa de custos. Isso fornece um modelo matemático com parâmetros de entrada e saída, onde os parâmetros de entrada estão associados com os atributos de menor nível de projeto (peças, componentes) e os parâmetros de saída são as principais medidas de desempenho ao nível do sistema. A metodologia básica é:

1. Identificar os atributos críticos necessários para as decisões de projeto.
2. Criar um modelo que realiza uma conexão desses atributos com outros atributos num nível inferior do projeto, para a qual os valores podem ser estimados diretamente com mais facilidade.
3. Estimar os valores para os atributos de mais baixo nível, incluindo incerteza.

Segundo Axelsson (2000), as peças são organizadas hierarquicamente em uma divisão da estrutura do sistema (*SBS – System Breakdown Structure*), que forma a base para o modelo de custo. Uma visão geral da SBS é dada na Figura 3.5.

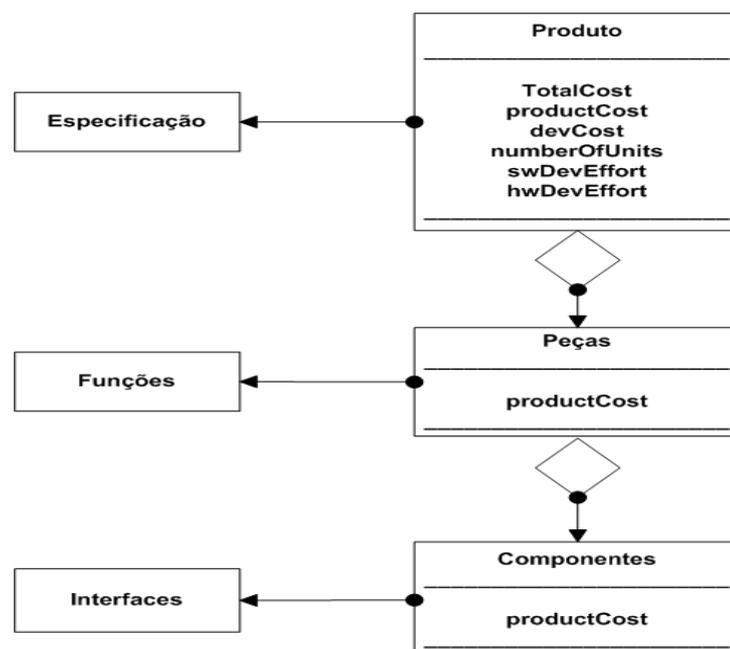


FIGURA 3.5: A SBS e sua relação com a especificação. Fonte: Axelsson (2000).

Três níveis são abordados: o produto; as peças que compõem o produto; e os componentes que compõem as peças.

1. Produto: O nó superior no SBS é o produto a ser desenvolvido (arquitetura eletrônica). Ela está relacionada a uma especificação, a qual implementa, e consiste em um número arbitrário de peças.
2. Peças: é uma parte de equipamento a ser interligado durante a montagem. É constituída por um número arbitrário de componentes. Ela é relacionada com um número arbitrário de funções que elas são atribuídas como peça e de um número arbitrário de interfaces que são utilizados por ela.
3. Componente: é a menor parte do equipamento que é necessário para realizar a análise.

3.4. COMENTÁRIOS FINAIS

Destaca-se a importância das fases iniciais do projeto de produto especialmente a fase de projeto conceitual, no qual um grande volume de decisões estratégicas sobre os produtos são tomadas, sendo que estas têm influência muito grande sobre os custos em todas as outras fases posteriores do processo de desenvolvimento de produtos. Dentro deste contexto, destaca-se a importância dos modelos de estimativas de custos, que têm como propósito principal fornecer subsídios para a tomada de decisão em todo o PDP. A carência natural de informações no início do projeto e os recursos limitados do projeto e a complexidade do produto, exigem que o modelo de estimativa de custo envolva uma visão integrada, sistêmica, para que subsidie as tomadas decisões nas fases iniciais do PDP.

Atualmente, existe pouco referencial teórico sobre como estimar os custos de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos. A literatura referente à estimativa de custos está focada em métodos para estimar os custos de software e hardware independentemente.

Os métodos de estimativa de custo paramétricos são os mais usados nas fases iniciais do PDP, já que requer detalhes mínimos do projeto, é rápida e fácil de implementar. Dentro de esta abordagem o método COCOMO é o mais reconhecido para estimativa de *software*, ele está baseado em métodos algorítmicos os quais têm a vantagem de ser objetivos e são baseados em variáveis para medir o custo. Para o modelo de estimativa de custo para sistemas mecatrônicos selecionou-se o método COCOMO além das vantagens apresentadas anteriormente tem a diferença realizar a estimativa de custo para *software* embarcado que é o tipo de *software* que vai ser estudado na pesquisa de campo.

4. PESQUISA DE CAMPO

O objetivo deste capítulo é apresentar o estado da prática do desenvolvimento de produtos mecatrônicos em Brasília-DF, por meio de pesquisa de campo em empresas de produtos mecatrônicos, ou seja, como as empresas objetos do estudo determinam os custos durante o processo de desenvolvimento de produtos.

A pesquisa de campo tem por objetivo complementar as informações obtidas por meio da revisão da literatura. Para isso inicialmente foi elaborado um roteiro com objetivo de captar estas informações. Outro aspecto importante é a seleção das empresas objetos de análise. Para isso, além de ser uma empresa que se desenvolve um produto mecatrônico, a mesma deveria possuir um processo de desenvolvimento de produtos.

4.1. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO ROTEIRO DE ENTREVISTA

Existem diversas técnicas ou ferramentas que são utilizadas para levantar informações. Segundo Valle & Babará (2011) a entrevista é a técnica mais utilizada para o levantamento de dados. As entrevistas requerem uma preparação cuidadosa para melhorar o aproveitamento do tempo destinado a elas. Valle e Babará (2011) considerando o estudo de Borysowich (2006) sugerem os seguintes passos para o preparo da entrevista:

- Determinar os objetivos da entrevista;
- Revisar o material disponível;
- Identificar as pessoas a serem entrevistadas;
- Preparar as perguntas e questões;
- Marcar a entrevista.

Para auxiliar a coleta de informações foi elaborado um roteiro de entrevista, o qual foi usado para identificar e levantar as informações do processo de desenvolvimento produtos e como a empresa determina os custos durante o PDP.

O roteiro está formatado em questões semiabertas, permitindo que o entrevistado possa expressar seus conhecimentos de forma livre e ordenado, com intuito de coletar informações

sobre os métodos de estimativas de custos utilizados, formação de preço de venda do produto, e o tipo de projeto de produto.

No que se refere à aplicação do roteiro no início de cada entrevista foi apresentado o objetivo da pesquisa e o porquê do estudo de estimativas de custo no início do processo de desenvolvimento de produtos. O roteiro adaptado para entrevista encontra-se no Anexo A.

4.2. SELEÇÃO DAS EMPRESAS

Para este trabalho foram pesquisadas duas empresas, isto devido a duas restrições: a primeira o pouco tempo para desenvolvimento desta dissertação e a segunda é que em Brasília-DF são poucas as empresas de desenvolvimento de produto mecatrônico. A escolha destas duas empresas foi baseada nos seguintes critérios: possuir ambiente de desenvolvimento de produtos, possuir uma equipe de desenvolvimento de produto e que o produto desenvolvido possuir tecnologia de integração *hardware* e *software*.

Para responder as questões buscou-se nas empresas profissionais que possuíssem experiência no PDP, e interesse para participar também em outro momento, desta pesquisa na etapa de avaliação do modelo.

4.3. EMPRESAS PESQUISADAS

Em relação às empresas pesquisadas a Tabela 4.1 apresenta o perfil geral das empresas pesquisadas, descrevendo as características gerais, com intuito de fornecer uma visão geral da origem dos dados. A pesquisa foi conduzida em duas empresas que são empresas de pequeno porte de origem nacional, e desenvolvem produtos *hardware/software* de segurança de diferentes tipos, por este motivo dados mais específicos sobre as empresas foram subtraídos deste trabalho.

TABELA 4.1: Perfil geral das empresas pesquisadas.

Empresa	Numero de Produtos desenvolvidos por ano.	Tipo de Produto.	Entrevistado.
A	3	<i>Hardware e Software de Segurança.</i>	Engenheiro de <i>Software</i> .
B	3	<i>Hardware e Software de redes de comunicação.</i>	Gerente de Produto.

4.4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados da pesquisa estão baseados nas declarações dadas. As informações coletadas são apresentadas em forma de resumo com o intuito de mostrar um pouco mais sobre as empresas. Uma das dificuldades foi o fato que as empresas têm desconfiança de falar sobre os seus custos. Devido a isto foram fornecidas respostas vagas e sem aprofundar. Também foi percebida uma falta de domínio sobre os aspectos discutidos na revisão bibliográfica.

As entrevistas têm como objetivo buscar na prática o que fazem as empresas no desenvolvimento de produto, principalmente em relação à estimativa de custo, e saber como são realizadas estas atividades. Os casos das duas empresas pesquisadas formalizam a experiência de campo. Os levantamentos feitos e as seguintes análises realizadas contribuíram na estruturação e validação do modelo proposto.

4.4.1. Empresa A

A empresa A atua em mercados de sistemas seguros de voz e dados atendendo as necessidades dos clientes desenvolvendo produtos *software/hardware* com soluções inovadoras.

O processo de desenvolvimento de um produto na empresa A se inicia com uma ideia ou uma demanda do cliente interno (pode ser a equipe comercial, algum engenheiro, ou outra parte interessada no portfólio da empresa). Depois desta ideia, a equipe comercial inicia uma fase de prospecção e sondagem com clientes externos ou possíveis interessados no mercado, para poder alimentar o processo de desenvolvimento.

Após a prospecção, um primeiro documento ou solicitação contendo os requisitos mínimos é elaborado. Nesta etapa se identificam os requisitos do cliente e se transformam em especificações de produto.

Posteriormente é passado para avaliação da engenharia. Nesta fase de avaliação da engenharia, a Diretoria Técnica, em acordo com a situação do PMO, define o líder ou gerente deste novo projeto, que é responsável por conduzir a avaliação e emitir o parecer técnico e econômico sobre o desenvolvimento do produto. Neste momento é feita uma primeira estimativa de custo. Começa com a definição do custo meta que pode ser de duas maneiras: baseado no mercado, ou baseado no custo. Quando já existe um produto similar o custo meta é calculado com base no mercado. Neste caso o departamento comercial está a cargo de levantar os dados. Quando não existe um produto similar no mercado o custo meta é baseado

no custo, e definido pelo departamento financeiro. Em seguida é realizada a estimativa de custo. A empresa utiliza inicialmente com o método analógico: é coletada informação por meio de especialistas e projetos anteriores, onde se estima a duração e o número de engenheiros envolvidos. Após isto é definido o custo de engenheiro/mês com o método paramétrico.

Uma vez estabelecido que exista mercado para o produto e que é realizável em tempo hábil com os recursos disponíveis, o termo de abertura é emitido e o projeto entra em fase de definição de escopo e especificação técnica do produto. Porém, esta especificação ainda é submetida novamente ao departamento comercial em reunião conjunta com engenharia, para aprovação, para possíveis alterações e principalmente alinhamento de expectativas quanto ao produto. Nesta fase, é realizada a segunda estimativa de custo para verificar que o custo estimado é menor que o custo meta. Se o custo estimado é maior são feitas as alterações técnicas necessárias para atingir o custo meta.

Com a definição do produto em pleno acordo, o líder ou gerente do projeto, em reunião com o PMO, define a equipe do projeto, baseando-se nas habilidades que serão necessárias para a realização do mesmo. Em seguida, ocorre uma reunião onde o projeto é apresentado de maneira formal para a equipe e ocorre um alinhamento dos papéis de cada membro dentro do projeto.

Se for necessário, a equipe passa por uma fase de treinamento (pode ser assistido ou um auto-treinamento), buscando habilidades que serão necessárias para o início do projeto (estudo e aprendizagem ainda ocorreram ao longo de todo o projeto, tendo em vista que o foco da empresa é inovação).

No entanto, alguns pontos do escopo se mostram cercados de grande incerteza, o que dificulta as estimativas do projeto, então ocorre um momento de prototipagem de algumas partes, onde são definidas as alternativas de concepção e após é realizada a validação de conceito, onde se implementam pequenos conceitos envolvidos para trazer mais certeza ao processo de planejamento e reduzir riscos durante o planejamento.

A produção depende da quantidade solicitada pelo cliente e pode ser feita por eles mesmos ou terceirizada para uma empresa parceira.

Na Figura 4.1 está representado o modelo de fases do processo de desenvolvimento de produto da empresa A.

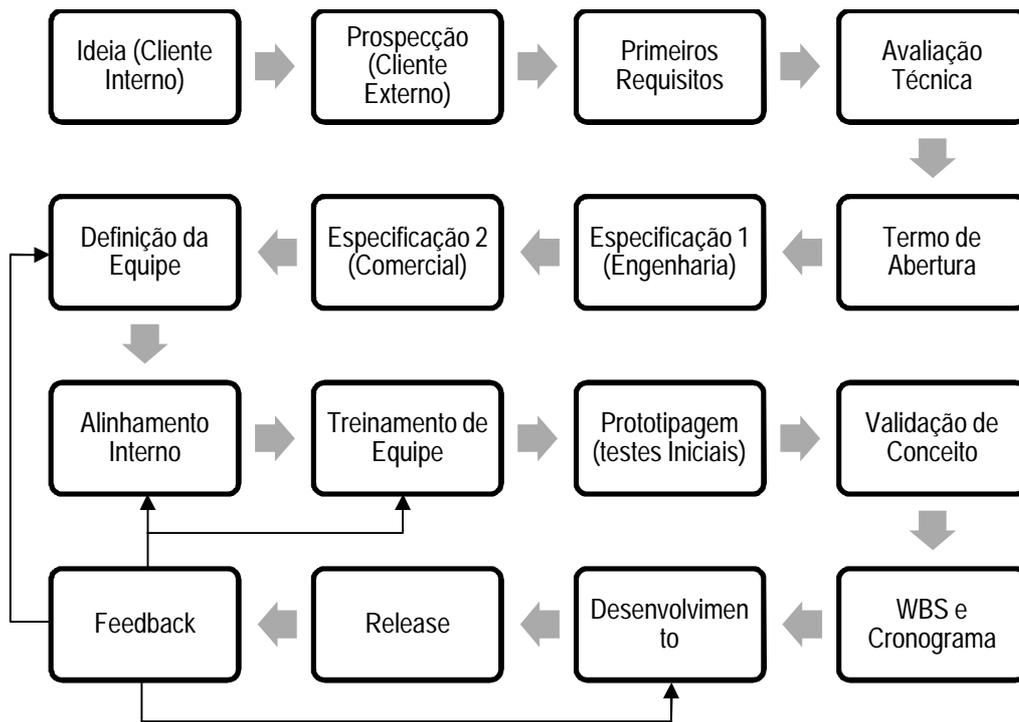


FIGURA 4.1: Etapas do processo de desenvolvimento de produto da empresa A.

4.4.2. Empresa B

Esta empresa atua no segmento de redes de computadores, desenvolvendo produtos *software/hardware* relacionados à *cloud computing* e segurança. O processo de desenvolvimento de produtos na empresa B segue uma metodologia *startup* enxuta, como se ilustra na Figura 4.2.

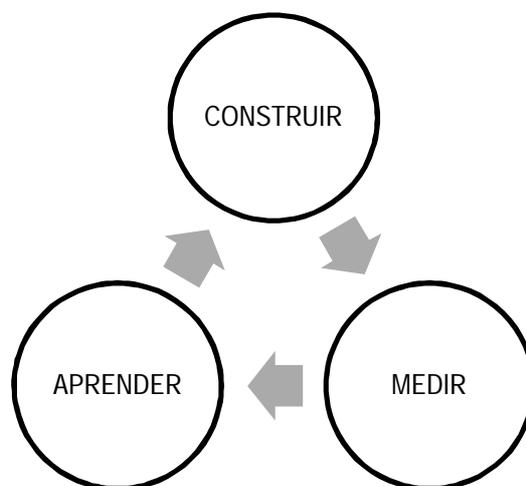


FIGURA 4.2: Ciclo de feedback construir-medir-aprender. Fonte: Reis (2012).

O processo de desenvolvimento de produtos inicia a partir dos dados do departamento de vendas (marketing) o qual leva uma ideia ou necessidade dos clientes ou consumidores. A equipe de projeto formado por representantes dos departamentos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e o departamento de vendas realiza uma pesquisa com objetivo de desenvolver uma hipótese de solução para aquela necessidade. Esta hipótese leva a construção de um produto que permite coletar a quantidade máxima de aprendizagem validada sobre clientes com um mínimo de esforço ou que Reis (2012) define como produto viável mínimo (*MVP – Minimum viable product*). O MVP é aquela versão do produto que permite uma volta completa do ciclo construir-medir-aprender, com um mínimo esforço e o menor tempo de desenvolvimento.

Depois a equipe de projeto em conjunto com os clientes realizam vários testes ao produto e são observadas as mudanças no comportamento. Neste momento são coletadas informações que possam auxiliar na sua adequação às necessidades dos clientes. Em relação aos custos nesta etapa é utilizado o método paramétrico para determinar o esforço (Horas/Homem) de desenvolvimento do produto e é avaliado se estão dentro do orçamento e prazo. Neste momento também é realizada uma reunião para determinar o preço de venda. A equipe de projeto em conjunto com os departamentos de vendas e gestão calcula o preço de venda baseado no mercado.

Posteriormente se avalia o progresso o que cria uma aprendizagem para a equipe se tiram as hipótese falsas e é o momento de realizar as mudanças. Em seguida um novo ciclo inicia-se. O tempo de três meses aproximadamente é o que dura o desenvolvimento. Por outro lado a produção é terceirizada para uma empresa parceira.

4.4.3. Comparação do desenvolvimento de produto entre a teoria e as empresas pesquisadas

Nesta seção faz-se uma comparação entre os modelos de desenvolvimento das empresas pesquisadas e os modelos teóricos apresentados na revisão da literatura.

O modelo de desenvolvimento da empresa A tem muitas similitudes com o modelo 3-Ciclos apresentado por Gausemeier *et al.* (2011). Este modelo consiste em três fases principais: planejamento estratégico do produto, desenvolvimento de produto e desenvolvimento de sistemas de produção.

A fase de planejamento estratégico do produto de Gausemeier pode ser associada com as fases de: ideia, prospecção, primeiros requisitos, avaliação técnica, termo de abertura, especificações de engenharia e especificações comerciais. Nesta fase, o objetivo principal para ambos os modelos é transformar as ideias provenientes do mercado em princípios de solução do produto.

A fase de desenvolvimento de produto é representada na empresa pesquisada pelas fases de: definição da equipe, alinhamento interno, treinamento da equipe, prototipagem e validação do conceito. Nesta segunda fase os dois modelos realizam a concepção do produto, geram as alternativas de solução e preparam-se para a produção.

O processo de desenvolvimento de produtos na empresa B segue a metodologia proposta por Reis (2011) de *startup* enxuta, como foi descrito anteriormente. A empresa B segue passo a passo o ciclo construir-medir-aprender proposto por esta metodologia.

Nenhum dos dois modelos pesquisados é um processo linear. Mesmo assim, eles são um ciclo marcado por numerosas iterações que depende da complexidade do produto, da estratégia da empresa e da equipe de projeto.

Das duas empresas pesquisadas, nenhuma tem um processo de desenvolvimento de produto diferente do apresentado na literatura existente, mas sim uma variação destes, adaptados às suas necessidades.

4.5. COMENTÁRIOS FINAIS

Neste capítulo foram apresentados os resultados da pesquisa de campo realizada em duas empresas brasileiras de desenvolvimento de produto mecatrônico. Em ambos casos foi mapeado o processo de desenvolvimento de produto em suas fases iniciais desde a ideia até a concepção do produto. O mapeamento das atividades vai ser utilizado no modelo proposto para o desdobramento da estrutura de custo das atividades.

Observou-se que as equipes de projeto são formadas pelos representantes do departamento de marketing (comercial, vendas), o departamento financeiro (gestão), e o departamento de P&D (projeto). A área de marketing é a fonte de entrada de dados para o desenvolvimento de produto. A prototipagem do produto define as alternativas de concepção e após são realizados testes e a validação do conceito.

Alem disso, foi apresentada a relação dos custos dentro do projeto de produto. É importante destacar que tanto as estimativas de custo, como o preço de venda e a gestão de custo são informações necessárias nesta fase inicial do projeto. Foi confirmado, conforme a revisão da literatura, que o método de estimativa paramétrico é o mais usado nas empresas. No entanto as mesmas estão baseadas no conhecimento dos profissionais e não em parâmetros do produto.

Através das entrevistas confirmou-se que existe uma carência de um processo sistematizado que conduza a estimativa de custos referente ao projeto de produtos mecatrônicos. Também foram identificados o momento em que a estimativa de custo deve ser realizada para empresa A depois do alinhamento interno e para empresa B durante a fase de medir. Sendo assim, o próximo capítulo apresentara o modelo proposto para estimativa de custo para projeto de produto mecatrônico.

5. PROPOSTA DE MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA PRODUTOS MECATRÔNICOS.

Neste capítulo apresenta-se o modelo de estimativa de custos para produtos mecatrônicos. Este modelo permite avaliar os custos ainda nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto.

A proposta está baseada nos métodos e ferramentas dos estudos realizados no PDP, nas estimativas de custo, e outras áreas de conhecimentos. Além do referencial teórico, foi realizada uma pesquisa de campo com o objetivo de levantar informações da prática do PDP.

Para proposição do modelo inicialmente as diretrizes para modelagem e a visão geral do modelo. Em seguida apresenta-se o modelo desenvolvido.

5.1. DIRETRIZES PARA MODELAGEM DA ESTIMATIVA DE CUSTO DE PRODUTOS MECATRÔNICOS

A apresentação do modelo de estimativa de custos para produtos mecatrônicos será baseando-se nas diretrizes de modelagem apresentada por Vernadat (1996):

- 1º Diretriz: Estabelecer as limitações em relação à explicitação dos conhecimentos envolvidos na modelagem.
- 2º Diretriz: Estabelecer os objetivos da modelagem.
- 3º Diretriz: Definir os usuários do modelo.
- 4º Diretriz: Definir a abrangência do modelo.
- 5º Diretriz: Forma de representação do modelo.

5.1.1. 1ª Diretriz: Limitações dos conhecimentos envolvidos na modelagem

O modelo para estimativa de custo de produtos mecatrônicos está enfatizado nas fases iniciais do PDP pelas seguintes razões:

- Nas fases iniciais do PDP são feitas as escolhas de alternativas, que são responsáveis por cerca de 85% do custo final (FARR, 2011).

- São definidas as principais soluções construtivas do produto. Nesse momento são determinados os materiais e as tecnologias a serem utilizados, os processos de fabricação e a arquitetura final do produto.
- Calculando o custo nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto é feita uma melhor escolha das suas características ao comparar o valor do custo estimado com o custo meta. Por exemplo, modificações podem ser feitas no caso em que o custo estimado seja maior do que o custo meta ou funções podem ser acrescentados se o custo estimado é menor que o custo meta.

Em síntese, qualquer melhoria nas fases iniciais do processo de desenvolvimento vai ter um impacto direto no custo do produto.

Para iniciar o desenvolvimento do modelo sobre estimativas de custos aplicadas no processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos, é importante fornecer uma base de conhecimento. A fundamentação teórica compreendeu diversas áreas de conhecimento. As áreas pesquisadas estão sintetizadas na Figura 5.1.

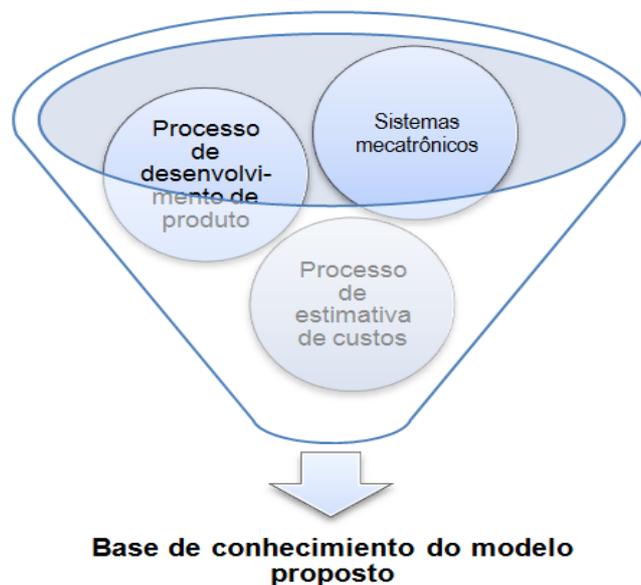


FIGURA 5.1: Área de conhecimento para desenvolvimento do modelo proposto.

Esta base de conhecimentos é ainda bastante ampla em relação aos conhecimentos envolvidos na modelagem, por tanto definiu-se quatro elementos básicos: sistemas mecatrônicos automáticos, projeto conceitual integrativo, sistemas de produção e os métodos de estimativa de custos. Esta série de conhecimentos ilustra-se na Figura 5.2.

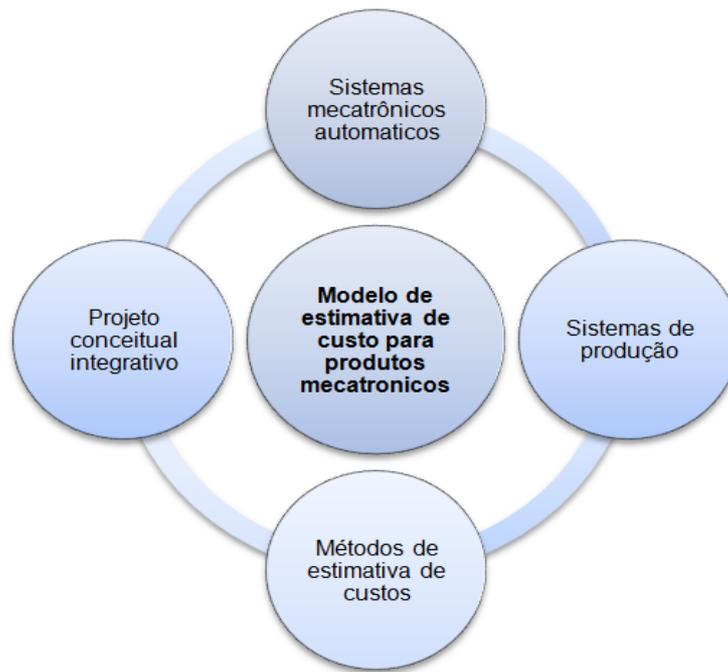


FIGURA 5.2: Limitações dos conhecimentos envolvidos na modelagem.

O modelo desenvolvido no presente trabalho tem o propósito de atender aos sistemas mecatrônicos automáticos que são os mais comuns e capazes de manusear materiais e energia, comunicarem-se com seu ambiente e apresentar comportamentos de auto-regulação, ou seja, de resposta pré-programada a mudanças previstas em seu ambiente (RZEVSKI, 2003). Todas as aplicações se enfocam em esse tipo de produto.

O modelo também se limitou a as fases iniciais do projeto de produto, a fase de projeto conceitual, um das fases mais importantes do desenvolvimento de produto. Os parâmetros principais, os custos e os princípios de solução, assim como o sucesso do produto são definidos nesta fase.

Um dos aspectos chaves desta fase é a integração dos diferentes domínios: mecânico, eletrônico, software e controle (HEHENBERGER & ZEMAN, 2007).

Também limita-se pelos sistemas de produção devido a que eles encontram-se ligados fortemente a concepção dos sistemas mecatrônicos (GAUSEMEIER *et al.*, 2011).

5.1.2. 2ª Diretriz: Objetivos da modelagem de estimativa de custo para produtos mecatrônicos

A relevância de definir o objetivo da modelagem esta relacionada com o escopo do modelo. Assim, os objetivos gerais da modelagem são os seguintes:

- Apresentação do que deve ser feito ao longo do processo, ou seja, as atividades e tarefas.
- Definir os conceitos, informações e conhecimentos das estimativas de custo, em relação à PDP.
- Apresentar os métodos, técnicas e ferramentas para realizar a estimativa de custo do projeto.
- Fornecer subsídios de custo aos profissionais para a tomada de decisões quanto à viabilidade econômica do projeto.
- Calcular os custos relacionados ao desenvolvimento do produto mecatrônico.
- Estabelecer o subsidio para o desenvolvimento de programas computacionais para auxiliar a operacionalização da estimativa de custo.

5.1.3. 3ª Diretriz: Usuários do modelo de estimativa de custo para produtos mecatrônicos

O modelo proposto é uma base para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional, como também, para o desenvolvimento ou avaliação de modelos particulares de empresas. Desta forma, o modelo proposto se destina à formação de estudantes que sejam capazes de realizar novas pesquisas sobre estimativas de custo para produtos mecatrônicos e na formação de profissionais que trabalham na área. Além deste aspecto, o modelo tem como objetivo ajudar os profissionais para realizar a melhor seleção de recursos e sejam capazes de minimizar custos.

5.1.4. 4ª Diretriz: Abrangência do modelo (Visão geral)

A finalidade aqui não é apresentar um novo modelo de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos e sim inserir e organizar os conhecimentos (pontos chaves) do processo de estimativa de custo num modelo já existente. O modelo já existente adotado neste trabalho para a inserção do processo de estimativas de custos é fundamentado no modelo de 3-Ciclos proposto por Gausemeier *et al.* (2011), e engloba as fases de projeto conceitual integrativo e sistemas de produção. Ao modelo de 3-ciclos se vai inserir um novo ciclo que é o processo de estimativa de custo.

O modelo de 3 -Ciclos (GAUSEMEIER *et al.*, 2011) integra o modelo V na sua proposição. Este modelo sincroniza as atividades do projeto do produto com o projeto do processo na fase de conceitual, denomina de fase de projeto conceitual integrativo. Esta abordagem de projeto conceitual integrativo representa uma vantagem em relação aos demais modelos, além de

considerar a integração entre as partes mecânicas, eletrônica e software considera também o projeto do processo de fabricação.

O ciclo do processo de estimativa de custo baseado em Ferreira (2002) pode ser dividido em três atividades: preparação das informações de custo, estimativa de custo das alternativas do produto mecatrônico e revisar o custo das alternativas do produto mecatrônico para atingir o custo meta.

A Figura 5.3 ilustra as atividades de estimativas de custos inseridas no modelo de 3-Ciclos.

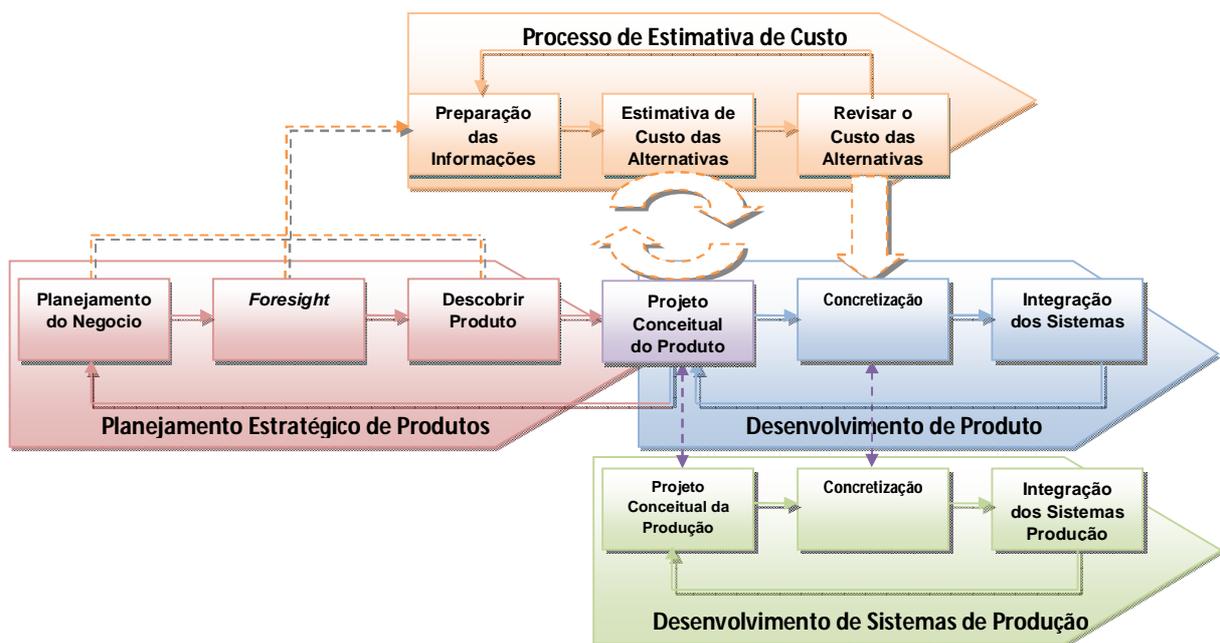


FIGURA 5.3: Visão geral do modelo de estimativa de custos para produtos mecatrônicos. Fonte: adaptado Gausemeier *et al.* (2011).

Segundo Santos (2008) as fases e as etapas podem ser descritas:

- Atividades: processo de transformação das entradas em saídas. Cada atividade apresenta uma entrega principal para dar continuidade ao processo.
- Tarefas: O que precisa ser executado, o desdobramento das atividades, apresentando diferentes níveis de abstração e semântica.
- Entradas: informações, documentos, materiais ou outros serviços necessários para execução da atividade/tarefa.
- Saída: são as entregas de informações e/ou recursos físicos, executado nas atividades ou tarefas.

- Ferramentas, métodos e técnicas: sugestão de um meio de como executar uma tarefa, por meio de metodologias, métodos ou técnicas.

5.1.5. 5ª Diretriz: Forma de representação do modelo

A apresentação do modelo proposto será realizada através da descrição das tarefas, ferramentas, métodos, entradas e saídas. Para apoiar a representação do modelo será utilizado o método IDEF0. Conforme Valle e Babará (2011), o IDEF0 permite a decomposição das atividades em tarefas, em diagramas bem detalhados de forma a facilitar a visualização de um maior nível de detalhes na medida em que se “desce” na estrutura hierárquica dessas atividades. É considerada uma potente ferramenta de modelagem especialmente quando é necessário especificar os elementos fundamentais como: entradas, processamento, saídas controle e mecanismo de apoio.

O IDEF0 é um modelo composto por caixas e setas que podem representar um processo ou atividade. As caixas simbolizam a processo ou atividade, dependendo do nível hierárquico que estejam representando naquele momento. As setas representam a relações entre processo ou atividades. Foi escolhido o IDEF0 por que se obtém uma visão hierárquica e estratégica do processo. Além disso, é fácil de analisar e identificar pontos de melhora.

Os objetos da notação IDF0 chamam-se ICOMs – Inputs (entradas), Control (controles), Output (saídas), Mechanismos (recursos). (VALLE & BABARÁ, 2011). O processo apresentado na Figura 5.4 mostra a simplicidade da representação do IDF0.

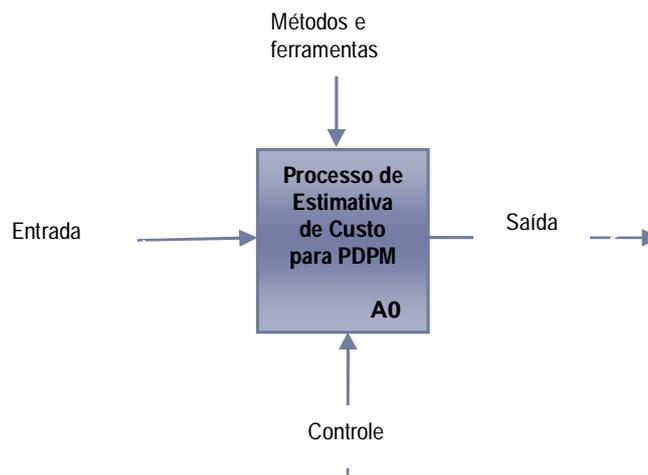


FIGURA 5.4: Representação de um processo no IDF0. Fonte: Valle e Babará, (2011).

5.2. O MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTO PARA PRODUTOS MECATRÔNICOS

Com base nas diretrizes descritas anteriormente foi proposto o seguinte modelo de estimativa de custo para o projeto de produtos mecatrônicos (PDPM), apresentado na Figura 5.5.

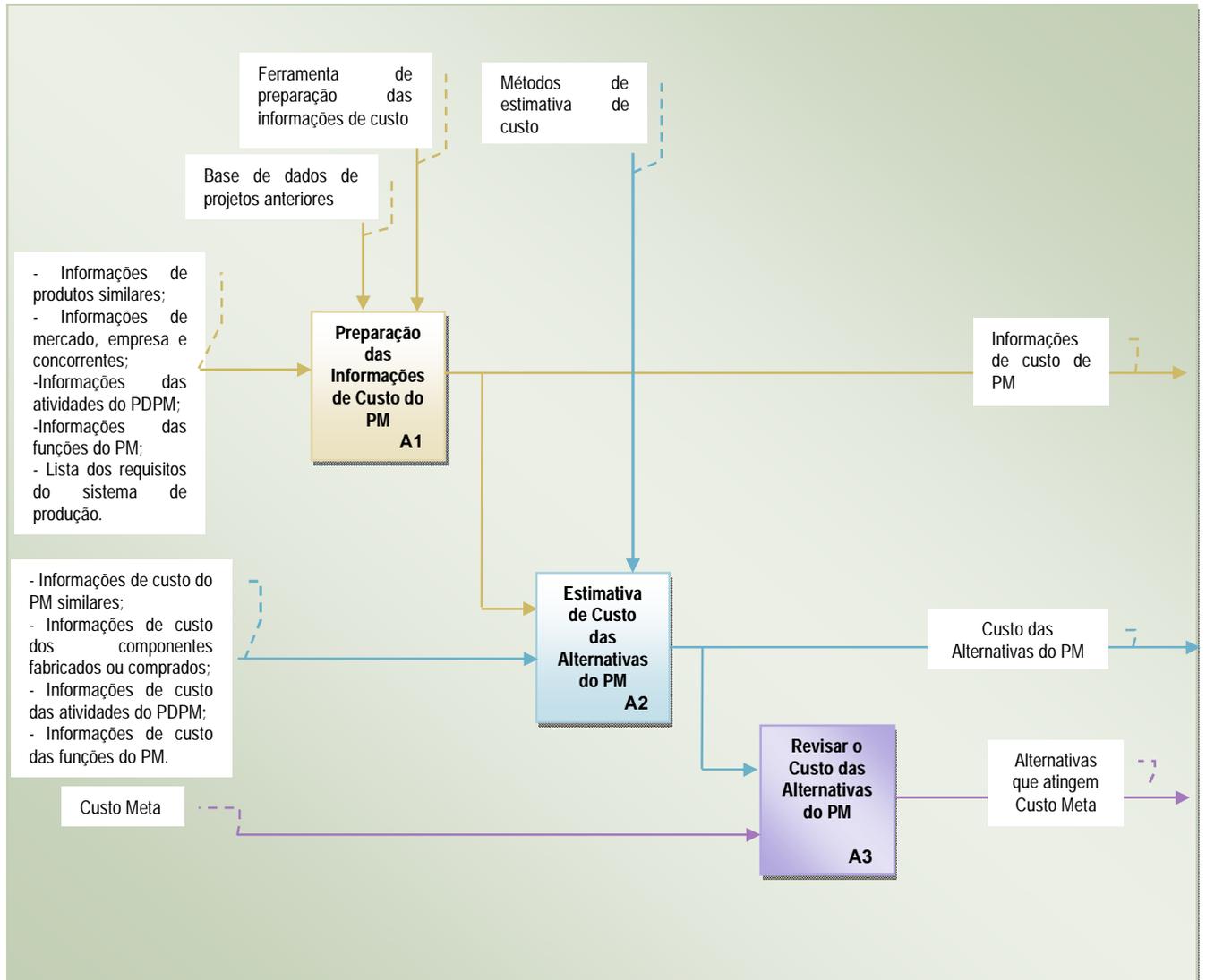


FIGURA 5.5: Representação do modelo do processo de estimativa de custos para produtos mecatrônicos. (Modelagem segundo IDEF0).

O modelo de estimativa de custo desenvolvido é baseado no modelo de projeto conceitual integrativo de Gausemeier *et al.* (2011).

O modelo proposto é sincronizado para que as atividades do processo de estimativa de custo e as atividades do modelo de 3-Ciclos de desenvolvimento de produto mecatrônico sejam executadas em forma integrada e simultânea.

O modelo de estimativa de custo para as fases iniciais do projeto de produto mecatrônico consiste em: preparação das informações de custo, a estimativa de custo das alternativas de concepção do produto mecatrônico e revisar o custo das alternativas do produto mecatrônico para atingir o custo meta.

5.2.1. Preparação das informações de custo (A1)

No início do processo de desenvolvimento devem ser preparadas e disponibilizadas informações de custos para ser empregada na análise e estimativa durante o projeto do produto mecatrônico. Esta atividade deve ser executada simultaneamente com as atividades da fase de projeto conceitual do produto (GAUSEMEIER *et al.*, 2011) que incluem as atividades: planejamento e esclarecimento da tarefa de produto; projeto conceitual ao nível de sistema; e planejamento e esclarecimento da tarefa de sistemas de produção.

A equipe de projeto deve procurar levantar as informações de custos necessárias sobre as funções do produto. As funções do produto são importantes porque seu adequado desdobramento virá ser a base para a estimativa de custo do produto. Nesta atividade busca-se levantar e identificar informações dos diferentes domínios do produto mecatrônico.

Como foi descrito nos capítulos anteriores os sistemas mecatrônicos são produtos multidisciplinares, portanto as partes envolvidas na preparação das informações de custo têm diferentes domínios. A Figura 5.6 mostra as diferentes origens das informações de custo.

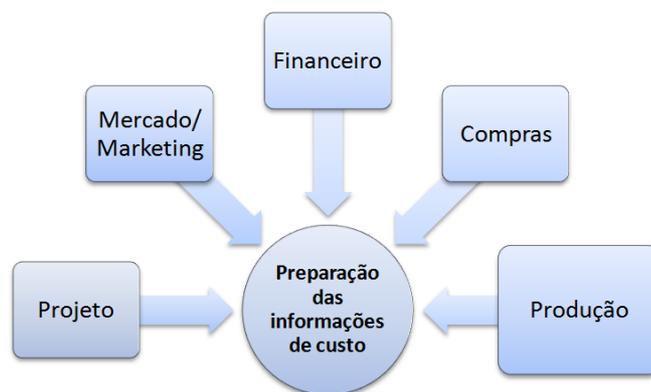


FIGURA 5.6: Origem das informações para preparação das informações de custo.

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006) na preparação das informações sobre custos, é importante que a equipe de projeto tenha uma visão das diversas áreas e fatores que afetam o custo do produto. Com o objetivo de auxiliar esta atividade foi desenvolvido um questionário de preparação das informações de custo. Esta ferramenta é descrita no Anexo B.

A atividade de preparação das informações de custo tem quatro tarefas principais: levantar informações de produtos mecatrônicos similares, definir o custo meta, desdobrar o custo do sistema mecatrônico e levantar informações de manufatura ou compra. Na Figura 5.7 são detalhadas as tarefas propostas.

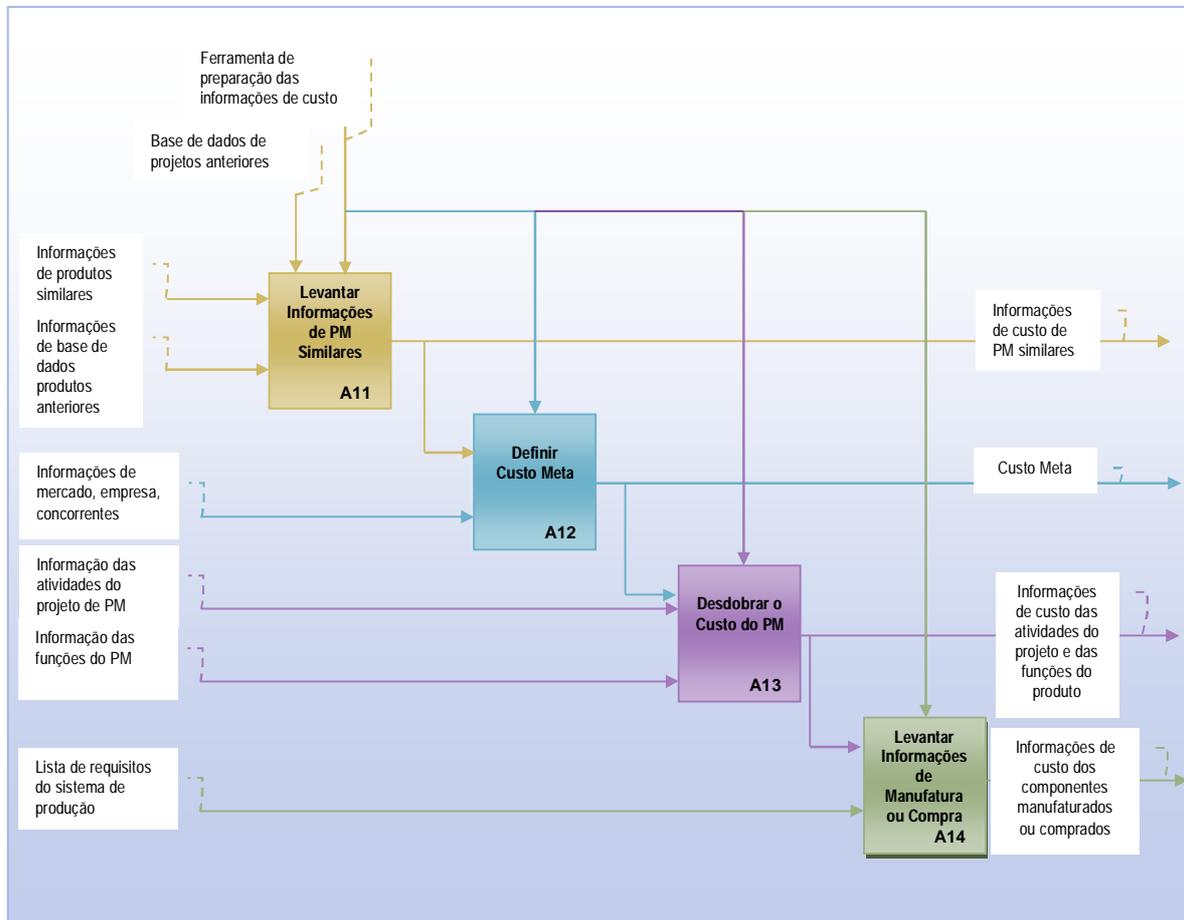


FIGURA 5.7: Atividade de preparação das informações de custo.

1. **Levantar informações de produtos mecatrônicos similares:** Na tarefa de levantar informações de produtos mecatrônicos similares a equipe de projeto em conjunto com o departamento de marketing analisa as informações provenientes do mercado. Visando assim gerar uma base consistente de informações sobre as funções de produtos similares aquele em desenvolvimento. Estas informações ajudam à estimativa de custo das alternativas do produto mecatrônico em desenvolvimento, caso seja empregado o método analógico. Além disto, contribuem para definir o custo meta do produto mecatrônico. Algumas das informações levantadas sobre os produtos similares são: características do produto como: tipo de processador, tipo de alimentação, número de interface, ciclo de vida; propriedades do tipo de material do *housing* (carcaça): especificações, temperatura;

para a parte de *software* é difícil levantar informação de produto similar já que por o perfil do produto tem muitas restrições de segurança, mas é possível conhecer algumas características e funções (linguagem de programação, algumas bibliotecas) realizando violações ao sistema de proteção. Além disso, os processos de fabricação. Também é necessário levantar informações de custo que nos ajudem na definição do custo meta como: o preço de venda do produto ou o custo unitário do mesmo.

2. **Definir o custo meta:** A tarefa definir o custo meta tem por objetivo considerando as informações relacionadas ao preço de mercado do produto e ao lucro da empresa, determinar o custo meta do produto mecatrônico. A tarefa envolve a consideração de um grande numero de variáveis relacionadas ao mercado, às empresas envolvidas no seu desenvolvimento e a estratégia da empresa.

Ferreira (2002) descreve o procedimento para determinar o custo meta: primeiro é realizada uma pesquisa de mercado com o objetivo de compreender as necessidades do usuário, analisar a tendência entre concorrentes e identificar questões relacionadas com a qualidade baseada no *feedback* do mercado. Depois faz-se o planejamento do lucro, neste momento o departamento financeiro de acordo com a estratégia da empresa determina a margem de lucro. Após é determinado o preço de venda, a equipe de projeto em coordenação com o departamento financeiro e de acordo ao mercado, estuda os preços reais de produtos similares, dos concorrentes assim como as funções destes produtos. Para ser determinado o preço de venda, podem ser empregados dois métodos, descritos na Tabela 5.1.

TABELA 5.1: Métodos para determinar o preço de venda.

Método baseado no mercado	Método baseado no custo
O preço de venda é determinado considerando que, o preço de mercado é o máximo que o cliente paga pelo produto.	O preço de venda é determinado acrescentando-se uma margem de lucro estabelecida sobre o custo direto do produto.

Para finalizar é estabelecido o custo meta que corresponde ao custo que o novo produto deve atingir para alcançar o lucro-alvo. Consideraram-se os métodos propostos para determinar o preço de venda, a determinação do custo meta pode ser realizada empregando-se estes dois métodos. O custo meta baseado no mercado é determinado conforme a Equação (5.1):

$$Custo\ Meta = Preço - Lucro\ da\ empresa \quad (5.1)$$

E para determinar o custo meta baseado no custo emprega-se a Equação (5.2):

$$\text{Custo Meta} = \text{Custo direto} + \text{Lucro da empresa} \quad (5.2)$$

O custo direto é determinado com base em produtos similares.

3. **Desdobrar o custo do produto mecatrônico:** A equipe de projeto busca na tarefa de desdobrar o custo do produto mecatrônico estabelecer a estrutura de custo do produto. Esta estrutura vai fornecer as informações que apoiem a tomada de decisão do projeto de produto mecatrônico em relação aos aspectos econômicos. As informações fornecidas irão compor a base para estimar os custos do produto mecatrônico.

Esta base será estabelecida por meio do desdobramento das atividades executadas no processo de desenvolvimento e das funções desempenhadas pelo produto. A estrutura de custos vai oferecer assim, uma visão global das atividades e das funções que influenciam os custos diretos e indiretos do produto mecatrônico.

Inicia-se com o mapeamento das atividades para logo realizar as estimativas de custo. O nível de detalhamento das atividades dependerá das funções do produto e do modelo de desenvolvimento implementado pela empresa. Nesta dissertação vai ser estimado o custo das atividades do modelo de desenvolvimento da empresa A. O detalhamento das atividades dependerá da sua importância para o desenvolvimento do produto, por exemplo, a Figura 5.8 apresenta as atividades genéricas do projeto mecânico, eletrônico e de *software* segundo Bernardi *et al.* (2004).



FIGURA 5.8: Exemplo das atividades principais do projeto mecânico, eletrônico e de *software*. Fonte: Bernardi *et al.* (2004).

Não basta conhecer unicamente o custo das atividades e tarefas envolvidas no projeto do produto. Além disso, é necessário o desdobramento a partir das suas funções. A determinação das funções é um ponto crítico não só para a estimativa de custo de produto, mais também para rastrear e identificar as concepções e os custos que são afetados devidos às mudanças em sua estrutura funcional. Esta tarefa é feita em sincronia com a atividade de projeto conceitual ao nível de sistema onde se estabelece uma hierarquia de função. O produto deve ser desdobrado em funções e sub-funções como se ilustra na Figura 5.9 até que o desdobramento não cause mais variação no processo.

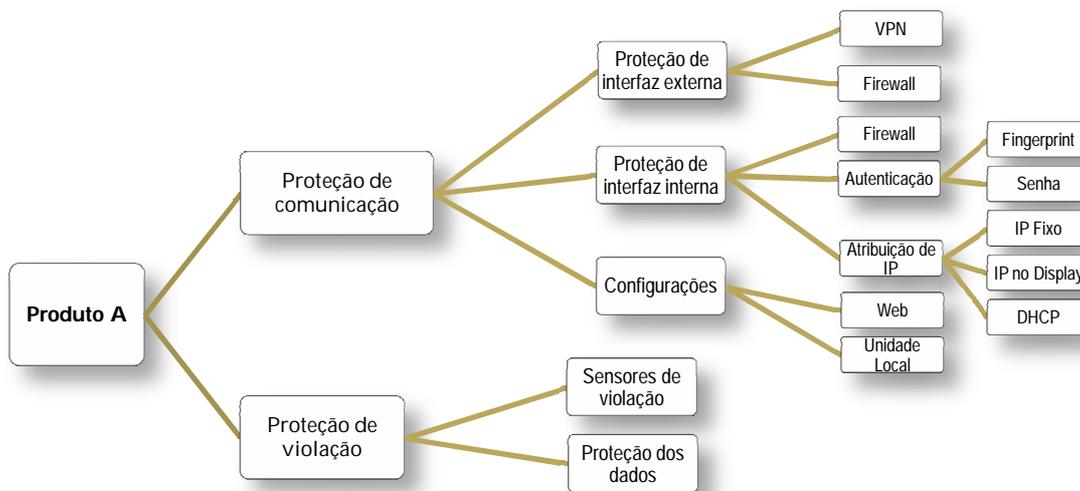


FIGURA 5.9: Desdobramento das funções do produto mecatrônico.

Ao final desta tarefa tem-se como resultado uma lista de custos que compõem as funções do sistema mecatrônico e uma lista de custo das atividades do processo de desenvolvimento. Posteriormente são estimados os custos de todas as alternativas de concepção do produto.

4. **Levantar informações de manufatura ou compra:** O objetivo desta tarefa é que a equipe de projeto em simultaneidade com os departamentos de produção e de compras colem as informações de custo do processo de fabricação. A entrada de esta tarefa é a lista de requisitos do sistema de produção que determina todos os componentes do sistema que precisam ser fabricados. A partir daqui são definidos os componentes que se ajustam ao sistema de produção e os componentes que precisam ser comprados. A saída desta tarefa é uma lista dos custos dos componentes fabricados e comprados.

5.2.2. Estimativa de custo das alternativas do produto mecatrônico (A2)

A estimativa de custo é a atividade pelo qual a equipe de projeto realiza uma previsão, medindo antecipadamente os esforços necessários para desenvolver um produto. Esta atividade deve ser feita de preferência em paralelo com a etapa do projeto conceitual ao nível de modulo para que a seleção da solução do produto seja realizada atendendo, ao mesmo tempo, aspectos técnicos e econômicos.

Nesta atividade a equipe de projeto tem por o objetivo estimar os custos diretos associados ao esforço de desenvolvimento do produto e à incorporação do produto à empresa, assim como estimar o custo das alternativas de solução e os custos de materiais e fabricação.

No modelo proposto, semelhante ao trabalho realizado por Ferreira (2002) são consideradas informações de entrada os dados de custos de produtos similares aos do produto em desenvolvimento, e as funções das próprias alternativas de solução, obtidas na fase de preparação de informações de custo. Estas informações são transformadas empregando-se métodos e ferramentas de estimativa de custo para determinados os custos das alternativas de concepção. Na Figura 5.10 são ilustrados como os métodos de estimativa de custo transformam as informações de entrada em estimativas de custo.

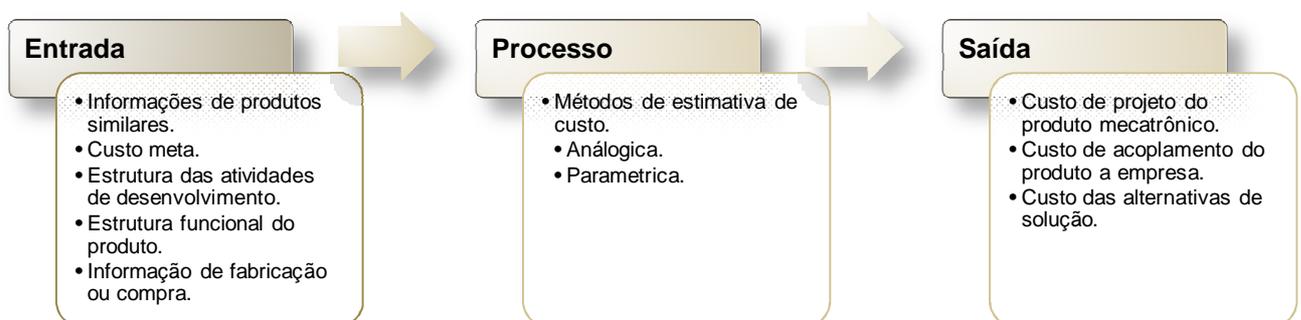


FIGURA 5.10: Fluxo da informação através do processo de estimativa de custo. Adaptado: Ferreira (2002).

Atendendo estes aspectos é proposto um processo de estimativa de custo para apoio na tomada de decisões no projeto de produto mecatrônico. Esta atividade consiste em três tarefas principais: estimar o custo de desenvolvimento, estimar o custo de incorporação do produto à empresa e estimar o custo das alternativas de concepção do produto. Na Figura 5.11 descrevem-se as tarefas propostas.

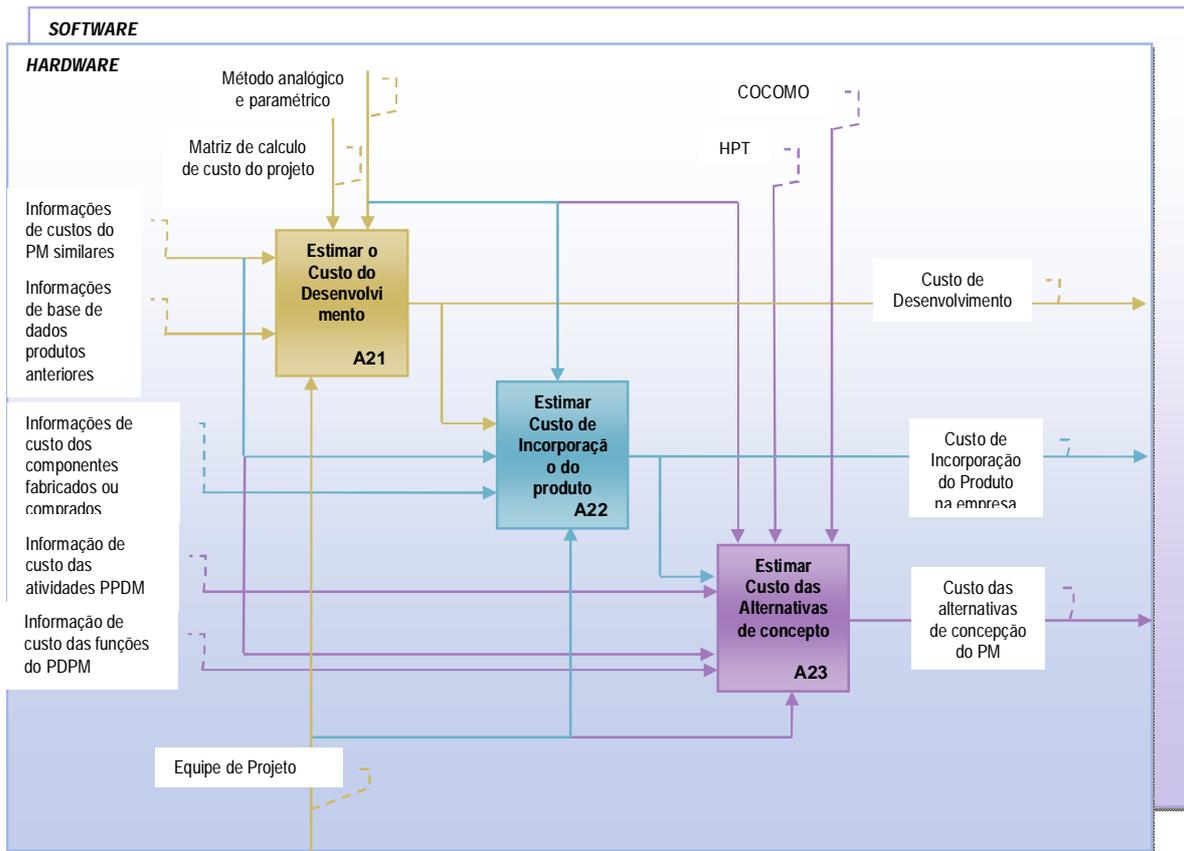


FIGURA 5.11: Atividade de estimativa de custo do PM.

1. **Estimar o custo de desenvolvimento:** o objetivo desta tarefa é calcular o custo de desenvolvimento do produto mecatrônico baseado no esforço e os recursos utilizados nas atividades de projeto de produto mecatrônico. O custo das atividades relacionadas ao desenvolvimento influencia o 5% do custo do produto (Bruen & Launsby, 2003). A entrada desta tarefa é o desdobramento das atividades do projeto de produto. Cada função é constituída por um conjunto de atividades interdependentes. Para o sistema mecatrônico que tem um grande número de funções pode se tornar complexo identificar todas as atividades e interações entre elas. Com o fim de ter detalhamento mais preciso da solução, as funções são categorizadas em módulos: *hardware* (consiste em mecânico e eletrônico) e *software*. Cada módulo terá um conjunto diferente de atividades. Como o exemplo da Figura 5.8. Esta tarefa pode ser resumida utilizando a Equação 5.1 adaptada do estudo de Jeziorek (2005):

$$CT_{Projeto} = C_{Atividade} \times T_{Horas} \quad (5.1)$$

A equação 5.1 estima o custo total de desenvolvimento: $CT_{Projeto}$ (R\$); $C_{Atividade}$ que é o custo de cada atividade por hr (R\$/Hr); e T_{Horas} é o total de número de horas por

atividade (h). A Tabela 5.2 mostra o exemplo do cálculo do custo total de desenvolvimento realizado pela equação 5.1.

TABELA 5.2: Matriz de cálculo de custo de desenvolvimento.

Função	Atividade	$C_{Atividade}$ – Custo por hora da atividade (R\$/Hr)	T_{Horas} – Total de numero de horas por atividade (Hr)	$CT_{Projeto}$ – Custo Total do projeto (R\$/Hr)
F1 <i>Software</i>	Projeto Conceitual	500	150	75000
	Prototipagem	...	...	...
	Validação	...	...	...
F1 <i>Hardware</i>	Projeto Conceitual	...	...	...
	Prototipagem	...	...	...
	Validação	...	...	...
Custo Total de Desenvolvimento				540000

2. **Estimar o custo de incorporação do produto na empresa:** nesta tarefa a equipe de projeto determina o custo de incorporação do produto na empresa, o seja, qual é o impacto que o produto vai ter na estrutura da empresa. A incorporação é o conjunto de fatores para admissão ou integração do produto à empresa. Isto esta relacionado ao desenvolvimento e aos sistemas de produção. A lista de componentes manufaturados ou comprados é a entrada desta tarefa. A análise de fabricar ou comprar (*make or buy*) é uma das técnicas introduzidas nesta tarefa. Ela visa determinar se é mais vantajoso a manufatura dos componentes ou a compra dos mesmos. Este tipo de avaliação está baseado na comparação dos níveis de desempenho da organização contra os níveis oferecidos pelo mercado. No estudo realizado no capítulo 4 os dados obtidos foram que as duas empresas terceirizam a fabricação do produto. A complexidade do projeto mecatrônico, a equipe responsável e a tecnologia empregada, são fatores que dificultam a incorporação do produto à empresa. Segundo estudo de caso realizado no capítulo 4 outros fatores podem ser comprovadas ao analisar os seguintes pontos:

- O produto apresenta características de baixa complexidade ou possuem atributos que exigem conhecimentos específicos.
- A equipe de projeto possui conhecimento na área de negócio que será atendida pelo produto.
- A equipe de projeto possui as ferramentas para a conclusão do projeto.
- A equipe de projeto possui a experiência para a conclusão do projeto.
- A tecnologia já faz parte da estrutura da empresa;
- A tecnologia pode ser absorvida por novos integrantes da equipe de projeto;
- Aplicação da tecnologia exige pessoal especializado;
- Tem-se material de apoio para aprendizagem da tecnologia.

Estes fatores e outras particularidades de cada projeto e cada empresa afetam a precisão da estimativa de custo. É por isso que devem ser tomadas em conta na hora de realizar a mesma.

Além disso, existem dois aspectos importantes que influenciam o custo de incorporação do produto na empresa que são: o custo da mudança no projeto e a relação com o fornecedor.

Em primeiro lugar definamos que é mudança no projeto. A mudança no projeto geralmente é introduzida por um projetista, seja por que as necessidades ou restrições do cliente mudaram, ou por que a estrutura funcional do produto foi alterada (Jeziorek, 2005). O esforço de realizar esta alteração ou o impacto que esta alteração tem é o custo da mudança.

O relacionamento com o fornecedor envolve as parcerias entre fornecedores e clientes, geralmente os elementos básicos são instigados em contratos firmados entre as empresas envolvidas, os quais não costuma ser divulgado em forma restrita (Santos, 2008). O envolvimento dos fornecedores no projeto de produto é um dos fatores responsáveis pela melhora do desempenho desse processo em termos de produtividade, velocidade e qualidade do produto. Nas empresas pesquisadas um ponto chave é se o fornecedor é capaz de auxiliar aos projetistas gerando a base de conhecimento para utilizar a tecnologia que eles estão disponibilizando. O tempo de aprendizagem desta nova tecnologia origina um esforço que influencia à estimativa de custo.

3. **Estimar o custo das alternativas de concepção de produto:** Nesta tarefa a equipe de projeto deve gerenciar o 80% de influencia no custo do produto realizando a estimativa de

custo das alternativas de concepção geradas para o produto mecatrônico a fim de apoiar na tomada de decisão de seleção da melhor solução. No capítulo 3 são apresentados os métodos de estimativa de custo, destes são propostos o método analógico e o paramétrico para realizar a estimativa de custo de produtos mecatrônicos.

- O método analógico tem por objetivo determinar o custo direto do produto mecatrônico baseado em resultados históricos de produtos similares. A entrada é a lista de informações sobre as funções de produtos similares, e se obtém a estimativa por meio de analogias com os custos reais.
- O método paramétrico determina o custo direto do produto mecatrônico baseado em relações matemáticas e alguns parâmetros relacionados ao produto e processo. Os parâmetros serão baseados na estrutura funcional do produto, o que originam padrões de custo que são relacionados com o método de estimativa.

Para viabilizar a estimativa do custo das alternativas de concepção de produtos, Pahl & Beitz (2005) colocam que é necessário levantar sobre os princípios de solução que a compõem. Na Tabela 5.3 mostra-se um o desdobramento das funções até os princípios de solução.

Para cada um destes princípios de solução deve ser estimado seu custo. Assim pode ser feita a avaliação econômica do produto. Tomando em conta o mercado e a estratégia da empresa.

TABELA 5.3: Desdobramento das funções básicas até os princípios de soluções.

Função Básica	Função Parcial/Elementar	Princípio de solução
Proteção de comunicação	Proteção de interface externa/VPN	PPTP, L2TIP, IPSec, OpenVPN.
	Proteção de interface externa/Firewall	IPTables, SELinux.
	Proteção de interface interna/Firewall	IPTables, SELinux.
	Proteção de interface interna/Autenticação/Fingerprint	Óptico, capacitivo
	Configurações/Web	PHP, Java, HTML.
	Configurações/Unidade local	Volume Seguro, Tar.gz
Proteção de violação	Sensores de violação	Sensor óptico, sensor de toque.
	Proteção dos dados	Volume físico, Volume virtual.

Neste momento em sincronia com a etapa de projeto conceitual ao nível de módulo do sistema mecatrônico é dividido em dois módulos principais: o primeiro é responsável por

o desenvolvimento de software e o segundo é responsável por o desenvolvimento de hardware.

1. Estimativa de *Software*: Segundo Vasquez *et al.* (2012) o processo de estimativa de *software* envolve, basicamente quatro atividades: estimar o tamanho do produto a ser gerado; estimar o esforço empregado na execução do projeto; estimar a duração do projeto; e estimar o custo do projeto. O tamanho do *software* é o fator mais importante que afeta o custo de *software*. As métricas mais comuns para medir o tamanho de *software* são as linhas de código e os pontos de função. Para estimar o módulo de *software* será utilizado o método COCOMO estudado no capítulo 3.

COCOMO é um modelo estático que utiliza uma equação de entrada não linear de valor único para calcular o esforço (e custo) de desenvolvimento de software como uma função do tamanho do programa de *software*. A entrada principal para o modelo é estimada em milhares de linhas de código (*KLC - Thousands of lines of code*). O modelo é apresentado conforme a equação (5.2):

$$E = a \times S^b \quad (5.2)$$

Onde E é esforço (pessoas-mês), S é tamanho do *software* (KLOC) e a , b são valores que dependem do modo de desenvolvimento. Os modos de desenvolvimento podem ser simples, intermédios e complexos.

2. Estimativa de *Hardware*: para estimar o este módulo será utilizada a técnica de pontos de *hardware* (*HPT – Hardware Points Technique*) proposta por Monteiro *et al.* (2009). Esta técnica consiste em cinco passos:

- Pontos de *hardware* não ajustados (UHP): o valor é calculado com base nos requisitos de hardware classificados de acordo com a sua complexidade.
- Fator *hardware* (HF): é calculado com base nos 11 fatores identificados e previamente elaborados.
- Fator *hardware* de complexidade (HCF): este valor é calculado conforme a equação (5.3):

$$HCF = HF * 0,01 \quad (5.3)$$

- Pontos de *hardware* ajustados (AHP): este valor é obtido como mostrado na equação (5.4):

$$AHP = UHP * HCF \quad (5.4)$$

- Pessoas-Hora/Pontos de *hardware* (SHHP): este valor é obtido como mostra-se na equação (5.5):

$$SHHP = AHP * Pessoa * Hora \quad (5.5)$$

5.2.3. Revisar o custo das alternativas do produto mecatrônico (A3)

Esta atividade revisa o custo das alternativas do produto mecatrônico para verificar quais alternativas e quais não atingem o custo meta. Na Figura 5.12 ilustra a atividade.

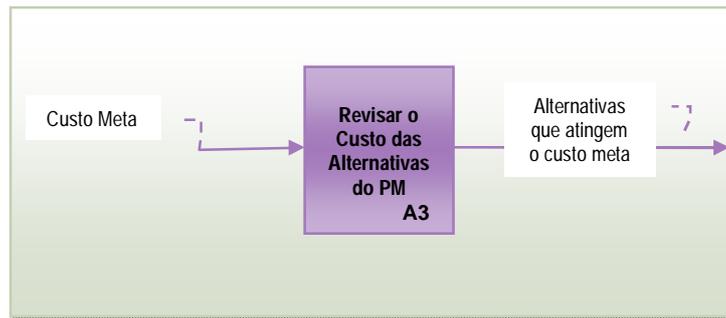


FIGURA 5.12: Atividade de revisar o custo das alternativas do PM.

Esta atividade apoia a tomada de decisão da obter a alternativa mais próxima do custo meta. Auxilia na decisão sobre quais alternativas devem ser revisadas e modificadas. Realiza-se a comparação entre o custo estimado das alternativas e o custo meta. Se o custo estimado da alternativa é maior que o custo meta pode realizar uma modificação buscando atingir o custo meta. No caso em que o custo estimado da alternativa seja menor que o custo meta pode acrescentar funções ou fazer outras modificações da alternativa. Ao finalizar esta atividade a equipe de projeto tem disponível a fundamentação sobre os custos de produto para apoio da seleção da concepção do produto mecatrônico.

5.3. COMENTÁRIOS FINAIS

O modelo de estimativa de custos proposto para as fases iniciais do projeto de produto mecatrônico é a base para a tomada das decisões realizadas na fase de projeto conceitual, que moldam o custo e o escopo de todo o projeto. Afirmando ainda que, dada a complexidade dos custos, dos parâmetros de custos e as não-linearidades dos modelos em produtos mecatrônicos, pode ser muito difícil o processo de estimativa, mas ainda assim é fundamental para guiar os projetistas durante o desenvolvimento.

O modelo proposto permite que os estudantes e os profissionais sem experiência em custos, possam de uma forma inicial, ter uma orientação para calcular os custos na fase de projeto conceitual do produto mecatrônico.

No seguinte capítulo será realizada a avaliação do modelo envolvendo profissionais e especialistas.

6. AVALIAÇÃO DO MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA PDPM

Este capítulo tem por objetivo avaliar o modelo proposto e sua possível aplicação em empresas, o emprego de métodos e ferramentas, sua aplicação na formação de estudante e treinamento de profissionais, referente às seguintes características: conteúdo, profundidade, clareza, generalidade, simultaneidade, multidisciplinaridade, orientativo e ensino.

O modelo de estimativa de custo para projeto de produto mecatrônico foi submetido à avaliação de profissionais de empresas com experiência no desenvolvimento de produto, por meio de *workshop*.

Santos (2008) coloca a importância e a dificuldade envolvida na avaliação de modelos envolvendo empresas. A avaliação do modelo em empresas envolve a transferência de conhecimentos para os avaliadores. Neste trabalho as barreiras encontradas foram o tempo disponível de aplicação do modelo (neste caso em questão em discussão com uma das empresas o tempo seria em torno de seis meses) e a resistência em fornecer dados de custos dos projetos em desenvolvimento nas empresas. Em função destas barreiras optou-se por coletar informações por meio da realização de um *workshop*.

Para isso, foi elaborado um questionário com o qual foram coletadas as informações necessárias para avaliação do modelo.

6.1. ELABORAÇÃO DA QUESTIONARIO DE AVALIAÇÃO

A elaboração do questionário para avaliar o modelo de estimativa de custos para produtos mecatrônicos será baseando-se nas características que um modelo deve conter. As características avaliadas no modelo foram propostas a partir do trabalho de Santos (2004) e estão descritas abaixo:

- Conteúdo: relacionado com domínio de conhecimento do projeto do produto mecatrônico e o processo de estimativa de custo.
- Profundidade: o nível de detalhamento e decomposição do modelo.
- Clareza: capacidade de o modelo ser facilmente entendido.

- Generalidade: grande amplitude de aplicações em diferentes tipos de produtos.
- Simultaneidade: estimativa de custo simultâneo do projeto de produto.
- Multidisciplinaridade: envolver diferentes áreas de conhecimento.
- Aplicabilidade: aplicável em diferentes tipos de empresa de desenvolvimento de produtos mecatrônicos.
- Orientativo: relacionado ao uso de métodos e ferramentas para auxiliar na execução das atividades.
- Ensino: Capacitação de pessoal e como ferramenta educacional.

Foram elaboradas dez questões baseadas nessas características. Para cada questão foi estabelecido um conjunto de quatro alternativas de respostas: pouco, satisfatório, bom e excelente, além de um espaço para comentários. Desta forma buscou-se registrar as sugestões e críticas para o modelo desenvolvido. O questionário aplicado encontra-se no Anexo C.

6.2. PERFIL DOS AVALIADORES

Para a avaliação do modelo foram contatadas duas empresas de pequeno porte de origem nacional. Uma dessas participou na pesquisa de campo. A escolha foi baseada nos mesmos critérios descritos no capítulo 4: possuir ambiente de desenvolvimento de produtos, possuir uma equipe de desenvolvimento de produto, o produto desenvolvido possui tecnologia de integração *hardware* e *software*. A Tabela 6.1 apresenta o perfil geral dos especialistas que avaliaram o modelo.

TABELA 6.1: Perfil dos avaliadores.

Avaliador	Formação	Função	Tempo de Experiência
1	Engenheiro de Automação	Gerente de Projeto	15 anos
2	Engenheiro Mecânico	Engenheiro de Projeto	10 anos
3	Engenheiro de Automação	Gerente de Projeto	3 anos
4 ¹	Engenheiro Eletricista	Diretor de P&D	22 anos

Para execução da avaliação foram estabelecidos os seguintes passos:

- Convite e agendamento do *workshop*.
- Encaminhamento do modelo para leitura e compreensão.

¹ Participou do *workshop*, teve uma participação bastante ativa, com muito interesse na implementação, contudo não entregou o questionário dentro do prazo.

- Realização de *workshop* com apresentação e discussão do modelo
- Preenchimento e devolução do questionário.

6.3. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO MODELO

Foram avaliadas dez questões sobre as características do modelo, por três especialistas gerando o total de 30 julgamentos. Para cada questão sobre o modelo proposto os avaliadores classificaram em: pouco (P), satisfatório (S), bom (B) e excelente (E). Como os resultados são de natureza qualitativa. Para o tratamento dos dados foram atribuídos os seguintes pesos com intuitivo de ter uma melhor visualização dos resultados: 1 (um) para pouco; 2 (dois) para satisfatório; 3 (três) para bom; e 5 (cinco) para excelente. A Tabela 6.2 mostra a avaliação realizada e uma síntese dos comentários realizados.

TABELA 6.2: Avaliação do modelo pelos especialistas e profissionais.

Questão	1	2	3	4	Comentário dos avaliadores
1- A compreensão dos conteúdos referente ao projeto do produto e a estimativa de custo.	B	B	B	-	"Gostei de ver os conteúdos mapeados"
2- O desdobramento em atividades (preparação das informações, estimativa de custo, seleção do conceito) é adequado para descrever o processo de estimativa de custo no início do projeto de produtos mecatrônicos.	E	B	S	-	"Creio que esta seja a maior dificuldade das empresas"
3- O nível de detalhamento (desdobramento em atividades, tarefas, entradas e saídas) é adequado para descrever o processo de estimativa de custo no projeto de produto.	E	B	B	-	"A estimativa apresentada é bem aplicada para fase de projeto conceitual"
4- As estruturas de representação (Figuras) são adequadas para a representação do modelo.	E	B	E	-	"Poderia ter sido utilizado a modelagem BPMN"
5- As figuras facilitam a compreensão do modelo.	E	B	B	-	"O IDEF0 talvez não tenha sido a melhor ferramenta para representar as entradas e saídas"
6- O emprego dos métodos, ferramentas e documentos de apoio sugeridos no modelo são adequados para execução das atividades e tarefas.	E	E	E	-	"Creio que a contribuição do modelo esta na identificação do método COCOMO e o outro para Hardware que são novidades"
7- O modelo pode ser aplicado na empresa.	B	B	E	-	"Creio que pode servir de guia, algumas adaptações ainda são necessárias, como o vocabulário"
8- O modelo proposto contribui ao gerenciamento do projeto.	E	E	E	-	
9- O modelo auxilia na tomada de decisão para seleção das alternativas de concepção do produto.	E	E	E	-	"Creio que esta seja a principal contribuição do modelo, mas precisa de uma ferramenta automatiza para acelerar este processo"
10- O modelo proposto contribui na formação de estudantes e atualização (treinamento) de equipes de desenvolvimento de produto.	E	E	E	-	"A proposta é bem interessante. Podemos conversar para testar nos produtos da empresa. Para isso creio que teremos que treinar as pessoas inicialmente"

A Tabela 6.3 ilustra o resultado de cada questão e o resultado por avaliador.

TABELA 6.3: Resultado da avaliação, média por questão e por avaliador.

Avaliadores	Questões										Média avaliadores
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Avaliador 1	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	4,6
Avaliador 2	3	3	3	3	3	5	3	5	5	5	3,8
Avaliador 3	3	2	3	5	3	5	5	5	5	5	4,1
Avaliador 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média das questões	3	3,3	3,6	4,3	3,6	5	3,6	5	5	5	

Legenda: 1- Pouco; 2-Satisfatório; 3-Bom; 5-Excelente.

Conforme ilustrado, na Tabela 6.3, a maioria das questões teve avaliação de bom a excelente (83,3%), avaliando as características do modelo. Considerando as médias obtidas por questões e as médias dos avaliadores os resultados obtidos demonstram que o modelo proposto de estimativa de custo para o projeto de produto mecatrônico atende aos critérios de avaliação, sendo o resultado final do modelo proposto de bom para excelente.

A questão seis, oito, nove e dez (6, 8, 9 e 10), apresentam os maiores pesos relacionados ao emprego de métodos e ferramentas e documentos de apoio, gerenciamento do projeto, tomada de decisões, formação acadêmica e profissional.

O emprego dos métodos COCOMO e HPT foi identificado pelos avaliadores como as novidades e que podem ser as fontes de sucesso do modelo proposto, devido ao direcionamento para tomada de decisões.

A questão um (1), apresenta o menor peso relacionado à compreensão de conteúdo e aplicação na empresa. O fato da compreensão de conteúdo pode ser explicado pela adaptação de alguns termos do idioma inglês. Também pela dificuldade em encontrar pessoas que dominem a profundidade os termos discutidos na revisão da literatura.

6.4. COMENTÁRIOS FINAIS

Este capítulo apresentou a avaliação do modelo de estimativa de custos desenvolvido para as primeiras fases do projeto de produto mecatrônico, as críticas e as sugestões para melhoria do modelo foram registradas com intuito de serem consideradas para continuidade da pesquisa.

Os resultados da avaliação do modelo de estimativa de custo nas fases iniciais do projeto de produto mecatrônico avaliam o modelo proposto de bom a excelente para as características estudadas. O modelo proposto levantou interesse das empresas com respeito aos métodos

COCOMO e HPT os quais foram considerados importantes. Também foi ressaltada a importância na formação e treinamento de profissionais.

A avaliação sendo realizado por meio do *workshop* despertou o interesse das empresas pela sua implementação, abrindo espaço para continuidade da pesquisa.

As dificuldades de avaliação já eram esperadas no início do trabalho, principalmente devido à carência de métodos e técnicas de apoio para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos em empresas.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de sistemas mecatrônicos, incluindo produtos mecatrônicos, ainda é um desafio tanto para academia quanto para as empresas. Neste trabalho foi enfatizada a importância da estimativa de custos nas fases iniciais do projeto de produto mecatrônico.

A importância das fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto para o sucesso dos projetos de novos produtos é um tema bastante ressaltado na literatura. Destacando-se a fase de projeto conceitual, no qual um grande volume de decisões estratégicas sobre os produtos são tomadas nesta fase, com uma forte influência sobre os custos em todas as outras fases posteriores do processo de desenvolvimento de produtos. Contudo, por meio da revisão da literatura sobre o projeto de produto mecatrônico foi constatado que as estimativas de custos nas fases iniciais não são exploradas em profundidade.

Entre os modelos estudados para o processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos destaca-se o modelo Gausemeier *et al.* (2011), este serviu de base para proposição do processo de estimativas de custo nas fases iniciais do projeto de produto mecatrônico. O modelo de Gausemeier *et al.* (2011) é um modelo que envolve os diferentes domínios: mecânico, eletrônico, controle e *software*, que participam no projeto de produto mecatrônico. Auxiliando a comunicação e coordenação das atividades desenvolvidas do produto mecatrônico. Além disso, os autores ressaltam a integração do projeto conceitual do produto e com o projeto conceitual do processo de manufatura. Os parâmetros do produto tem uma forte influência sobre o processo de manufatura influenciando nos custos do projeto de produto mecatrônico.

Com base na revisão da literatura sobre estimativas de custos foi identificado que o método de estimativa de custo paramétrico é o mais utilizado nas fases iniciais do PDP. Este requer poucos detalhes do projeto sendo facilitada sua implementação. Além do método paramétrico, o método análogo é utilizado quando não existem informações suficientes sobre o produto.

O estudo de campo foi realizado em duas empresas localizadas em Brasília-DF, as quais desenvolvem produtos mecatrônicos automáticos. Nestas empresas observou-se que existe uma carência de um processo sistematizado de estimativa de custo em relação ao PDP. Nas empresas estudadas foi identificado o método paramétrico como o utilizado para estimar custo. Além disso, foi necessário mapear e organizar as atividades do PDP das empresas pesquisadas, com o qual se observou que os processos de desenvolvimento de produtos das empresas não são lineares. O PDP das empresas estudadas é cíclico, caracterizado por muitas iterações, este depende da complexidade do produto sendo similares aos modelos do PDP teóricos. O estudo de campo auxiliou na identificação das atividades do PDP que possuem influência direta sobre os custos diretos envolvidos no desenvolvimento de produtos mecatrônicos.

Na proposta do modelo de estimativa de custo para as fases iniciais do projeto de produto mecatrônico foi integrado o processo de estimativa de custo no processo de desenvolvimento de produto mecatrônico. A representação do modelo foi realizada através do IDEF0 o qual facilita a visualização das atividades. O modelo consiste em três atividades: preparação das informações de custo; estimativa de custo das alternativas de concepção do produto mecatrônico; e revisar o custo das alternativas do produto mecatrônico para atingir o custo meta. Estas atividades foram integradas e sincronizadas com o modelo de 3-Ciclos de Gausemeier *et al.* (2011).

Na avaliação do modelo se destaca a importância dos métodos COCOMO e HPT. O emprego destes métodos constitui um dos pontos fortes do modelo, assim como a ferramenta de preparação de informações e a integração das diferentes áreas das empresas.

Por tanto a principal contribuição do modelo de estimativa de custo para projeto de produtos mecatrônicos é sua utilização nas empresas como um meio de apoio as tomada de decisões na fase de projeto conceitual. Pelo qual as decisões estratégicas sobre o produto serão baseadas tanto em aspectos técnicos quanto econômicos referentes ao conceito do produto mecatrônico. Além disso, o modelo apresentado pode servir na formação de estudantes e como ponto de partida para novas pesquisas na área de estimativa de custo para PDPM.

7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Existem muitas possibilidades de pesquisas a serem desenvolvidas em termos de estimativa de custo e o impacto que este tem no projeto de produto mecatrônico

- Desenvolvimento de um sistema computacional para o processo de estimativas de custos para produtos mecatrônicos.
- Desenvolvimento de uma base de dados para apoio na preparação das informações de custo de produtos anteriores e similares.
- Desenvolvimento de um modelo de maturidade para implementação das estimativas de custos nas fases iniciais do PDPM.
- Estudo do custo do ciclo de vida de produto mecatrônico.
- Estudo de outras áreas de conhecimento como o custo da relação com fornecedor e custo das mudanças.
- Aplicação do modelo proposto em uma empresa ou projeto.
- Estudo de outras formas de representação do modelo, de maneira que as informações sejam mais facilmente visualizadas.
- Aprofundar estudo sobre o método COCOMO.

Referências Bibliográficas

- ATTARZADEH, I. & OW, S. (2010). Proposing a new software cost estimation model based on artificial neural networks. En Computer Engineering and Technology (ICCET), 2nd International Conference on. IEEE. p. V3-487-V3-491.
- AXELSSON, J. (2000). Cost models for electronic architecture trade studies. In Proc. 6th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems, Tokyo, pp. 229-239.
- AXELSSON, J. (2006). Cost models with explicit uncertainties for electronic architecture trade-off and risk analysis. International Council on Systems Engineer (INCOSE).
- BACK, N. *et al.* (2008). Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem. Manole, Barueri, SP, 601 p.
- BAXTER, M. (2004) Projeto de Produto: Guia prático para o desing de novos produtos. Blucher: São Paulo, SP, 260 P.
- BARBALHO, S. (2006). Modelo de Referência para o Desenvolvimento de Produtos Mecatrônicos: Proposta e Aplicações. Tese Doutorado, USP, São Carlos, SP, 257 p.
- BERNARDI, M. *et al.* (2004). Integrating a mechatronics-oriented development process into a development department. Proceedings of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Budapest, pp. 265-270.
- BLANCHARD, B. & FABRYCKY, W. (1990). System Engineering and Analysis. Prentice-Hall, London, Second Edition, 788p.
- BOEHM, B. *et al.* (1995). Cost models for future software life cycle processes: COCOMO 2.0. Annals of Software Engineering, Amsterdam, vol. 1, no 1, p. 57-94.
- BOEHM, B. *et al.* (2000). Software development cost estimation approaches – A survey. Annals of Software Engineering, USA, vol. 10, no 1-4, p. 177-205.
- BOEHM, B. *et al.* (1998). The COCOMO 2.0 software cost estimation model. International Conference on Software Engineering, USA.
- BRADLEY, D. *et al.* (1991). Mechatronics: Electronics in Products and Process. Chapman and Hall, London. United Kingdom, 510 p.
- BRUE, G. & LAUNSBY R. (2003). Design for Six Sigma. McGraw-Hill, New York, 193 p.
- BUUR, J. & MYRUP, M. (1989). Design models in mechatronic product development. Design Studies, vol. 10, no 3, p. 155-162.

- CALLAHAN, S. (2006). Extended generic product structure: an information model for representing product families. *Journal of computing and information science in engineering*, vol. 6, no 3, p. 263.
- DE VRIES, T. & BREUNESE, A. (1995). Structuring product models to facilitate design manipulations. En *International Conference on Engineering Design*, Praha, p 1430-1436.
- EHRENSPIEL, K. *et al.* (2007). *Economical Develop and Design Cost Management in Integrated Product Development* Springer, London, 497 p.
- FARR, J. (2011). *System Life Cycle Costing Economic Analysis, Estimation, and Management*. CRC Press, Florida, 294 p.
- FERREIRA, C. *et al.* (2000). *Custo no Processo de Projeto de Produtos*. Apostila, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 38 p.
- FERREIRA, C. (2002). *Metodologia para as Fases de Projeto Informacional e Conceptual de Componentes de Plástico Injetados Integrando os Processos de Projeto de Estimativa de Custos*. Tese Doutorado, PPGEM. CTC. UFSC, 228 p.
- FINKELSTEIN, L. & FINKELSTEIN, A. (1991). The life cycle of engineering products – and analysis of concepts. *Engineering Management Journal*, vol. 1, no 3, p. 115-121.
- GAUSEMEIER, J. *et al.* (2011). Integrative development of product and production system for mechatronic products. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. N. 27, p. 772-778.
- GIDO, J. & CLEMENTS, J. (2007). *Gestão de Projetos*. Cengage Learning. São Paulo, 3ª edição, 472 p.
- HEHENBERGER, P. & ZEMAN, K. (2007). Design activities in the development process of mechatronic systems. En *Advanced intelligent mechatronics, IEEE/ASME international conference on*. IEEE, p. 1-6.
- HEHENBERGER, P. *et al.* (2010). Hierarchical design models in the mechatronic product development process of synchronous machines. *Mechatronics*, vl. 20, p. 864-875.
- HOOVER, S. *et al.* (1991). Models and abstractions in design. *Design Studies*. Vol. 12, N. 4, p. 237-245.
- ISERMANN, R. (2008). Mechatronic systems-innovative products with embedded control. *Control Engineering Practice*, vol. 16, no 1, p. 14-29.
- JEZIOREK, P. (2005). *Cost Estimation of Functional and Physical Changes Made to Complex System*. Thesis Master of Science, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology (MIT), 63 p.

- LEE, T. (2003). Complexity Theory in Axiomatic Design. Thesis Doctor of Philosophy, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology (MIT), 182 p.
- LEUNG, H. & FAN, Z. (2002). Software cost estimation. Handbook of Software Engineering, Hong Kong.
- MONTEIRO, B. *et al.* (2009). An estimation model to measure computer systems development based on hardware and software. En Digital Avionics Systems Conference, DASC'09. IEEE/AIAA 28th. IEEE, p. 6. C. 2-1-6. C. 2-12.
- PAHL, G. *et al.* (2005). Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações. Edgard Blucher, São Paulo, 412 p.
- PUGH, S. (1990). Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison Wesley, London, United Kingdom.
- ROZENFELD, H. *et al.* (2006). Gestão de Desenvolvimento de Produtos. Saravia, São Paulo, 542 p.
- REIS, E. (2012). A Startup Enxuta: Como os Empreendedores Atuais Utilizam a Inovação para Criar Empresas Extremamente Bem-Sucedidas. Lua de Papel, São Paulo, 274 p.
- RZEVSKI, G. (2003). On conceptual design of intelligent mechatronic systems. Mechatronics, vol. 13, no 10, p. 1029-1044.
- SAGE, A. & ROUSE, W. (2008). Handbook of Systems Engineering and Management. John Wiley & Son, New Jersey, 2nd Ed, 1476 p.
- SANTOS, A. Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Produtos Alimentícios-PDPA com Ênfase no Projeto do Processo. Dissertação Mestrado, PPGEM. CTC. UFSC, 164 p.
- SANTOS, A. Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Produtos em um Ambiente de SCM. Tese Doutorado, PPGEM. CTC. UFSC, 408 p.
- SOZO, V. (2002). Utilização da Abordagem Axiomática no Processo de Tomada de Decisões Pertinentes ao Projeto Conceitual de Produtos. Dissertação de Mestrado, PPGEM, UFSC, 120 p.
- SUH, N. (1990). The Principles of Design. Oxford Press, New York, 418p.
- VALLE, R. & BARBARÁ, S. (2011). Análise e Modelagem de Processos de Negócio: Foco na Notação BPMN (*Business Process Modeling Notation*). Atlas, São Paulo, 207p.
- VASIĆ, V. & LAZAREVIĆ, M. (2008). Standard industrial guideline for mechatronic product design. FME Transactions, vol. 36, no 3, p. 103-108.

- VAZQUEZ, C. *et al.* (2012). *Análise de Pontos de Função: Medição, Estimativas e Gerenciamento de Projetos de Software*. Erica, São Paulo, 230 p.
- VERNADAT, F. (1996). *Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications*. Chapman & Hall, London, 514 p.
- YANG, D. *et al.* (2006). COCOMO-U: An extension of COCOMO II for cost estimation with uncertainty. SPW/ProSim, LNCS 3966, pp. 132 – 141.

ANEXOS



ANEXO A - ROTEIRO DE ENTREVISTA

Levantamento de Informações do processo de desenvolvimento de produtos e como as empresas determinam os custos.

1. Dados do Entrevistado

Formação Acadêmica		Tempo na Empresa	
Tempo de Atividade no Desenvolvimento		Numero de Projetos Desenvolvidos	

2. Dados da Empresa

Numero de Funcionários		Tem Estimador de Custo	
Numero de Produtos Desenvolvidos		Tipo de Produto	

Projeto de Produto	Custo Estimado

3. Estrutura Organizacional

3.1 Faça uma breve descrição de como sua empresa está organizada em termos de níveis administrativos/ desenvolvimento/ em termos de funções internas. (Organograma - principais processos/funções)

Função	Função Existe (sim ou não)	Departamento Existe (sim ou não)	Realizada em outro depto (qual)
Marketing			
Desenvolvimento			
Produção			
Vendas			
SAC			
Manutenção			
Outras:			

4. Estrutura do Processo de Desenvolvimento

4.1 Existe algum setor dentro da empresa voltado especificamente para o processo de desenvolvimento de produto? Em caso afirmativo, como se posiciona no organograma?

4.2 Como a empresa elabora as especificações para novo produto – (como transforma as informações vindas do mercado em características de um novo produto)

4.3 Qual é a sequencia de fases e principais atividades para o processo de desenvolvimento do produto? Descreva

Macro-fases	Fases	Atividades	Quem realiza (ver legenda)	
Pré-desenvolvimento				
Desenvolvimento				
Pós-desenvolvimento				

5. Gestão do Processo de Desenvolvimento

5.1 Como o projeto é conduzido? Escolha entre as alternativas “a” e “b”.

a. Conduzido por uma equipe

Quais departamentos estão representados na equipe? _____

Existe a indicação de um líder de equipe? _____

Quem define o preço final do produto a equipe ou o líder? _____

b. Não é conduzido por uma equipe

Quem conduz o desenvolvimento?

() Uma pessoa (identificar quem)

() Um departamento (especificar qual)

() Uma equipe de desenvolvimento externa à empresa.

Quem define o preço final do produto? _____

5.2 Que método é utilizado para estimar custos?

a. Analogia

b. Paramétrico

c. Outros _____

5.3 A empresa possui um banco de dados com as informações de projetos anteriores?

ANEXO B - FERRAMENTA DE PREPARAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE CUSTO

Ferramenta para preparação das informações de custo do projeto constituída por os formulários de: levantamento de informações de produtos similares, definição do custo meta, e estrutura de desdobramento de custo do produto mecatrônico.

1. Informações sobre os produtos similares:

- 1.1. Tipo de Processador? _____
- 1.2. Quantidade de interfaces que o hardware possui? _____
- 1.3. Tipo de interfaces? _____
- 1.4. Custo de processador? _____
- 1.5. Tipo de sistema de alimentação? _____
- 1.6. O sistema de alimentação necessita ser recarregado? _____
- 1.7. Ciclo de vida? _____
- 1.8. Especificações da carcaça (*housing*)? _____
- 1.9. Tipo de material da carcaça? _____
- 1.10. Especificações de temperatura? _____
- 1.11. Processo de fabricação? _____
- 1.12. Sistema resfriamento? _____
- 1.13. Custo da carcaça? _____
- 1.14. Funções do Hardware? _____
- 1.15. Sistema operacional? _____
- 1.16. Linguagem de programação? _____
- 1.17. Ambiente de desenvolvimento? _____
- 1.18. Quantidade de Linhas de código? _____
- 1.19. Bibliotecas? _____
- 1.20. Custo de Software? _____
- 1.21. Funções de software? _____
- 1.22. Proteção do sistema? _____

2. Definição do custo meta:

Características do Produto Mecatrônico

Complexidade Técnica	Poder aquisitivo do cliente	Estilo de Produto
• Simples	• Baixo	• Comum
• Médio	• Meio	• Inovador
• Complexo	• Elevado	•

Comentários: _____

Lucro do produto mecatrônico

Análise da concorrência.

Concorrentes	Preço de Venda	Características e Diferenciação do Produto
•	•	•
•	•	•
•	•	•

Análise da empresa.

Produtos Similares	Preço Unitário	Lucro Unitário	Custo Unitário	Características e Diferenciação do Produto
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•

Comentários: _____

Preço de venda do produto mecatrônico.

Método baseado no mercado	Método baseado no custo
O preço de venda é determinado considerando que, o preço de mercado é o máximo que o cliente paga pelo produto.	O preço de venda é determinado acrescentando-se uma margem de lucro estabelecida sobre o custo direto do produto.

Preço de venda estimado para novo produto mecatrônico: _____

Comentários: _____

Custo meta do produto mecatrônico.

Método baseado no mercado	Método baseado no custo
$Custo\ Meta = Preço - Lucro\ da\ empresa$	$Custo\ Meta = Custo\ direto + Lucro\ da\ empresa$
Custo meta para produto mecatrônico: _____	

Comentários: _____

ANEXO C - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO MODELO DE ESTIMATIVA DE CUSTO PARA PDPM

Avaliação do Modelo de Estimativa de Custo para as fases iniciais do Projeto de Produto Mecatrônico (PDPM)

Dados do Entrevistado

Formação Acadêmica:	Tempo na Empresa	
Tempo de Atividade no Desenvolvimento	Função na Empresa	

De sua opinião sobre o modelo proposto para estimativa de custo nas fases iniciais do PDPM considerando os seguintes aspectos e classificando em Pouco (P), Satisfatório (S), Bom (B), Excelente (E):

1. A compreensão dos conteúdos referente ao projeto do produto e a estimativa de custo : (P) (S) (B) (E)

Comentários:

2. O desdobramento em atividades (preparação das informações, estimativa de custo, seleção do conceito) é adequado para descrever o processo de estimativa de custo no início do projeto de produtos mecatrônicos: (P) (S) (B) (E)

Comentários:

3. O nível de detalhamento (desdobramento em atividades, tarefas, entradas e saídas) é adequado para descrever o processo de estimativa de custo no projeto de produto: (P) (S) (B) (E)

Comentários:

4. As estruturas de representação (Figuras) são adequadas para a representação do modelo: (P) (S) (B) (E)

Comentários:



5. As figuras facilitam a compreensão do modelo: (P) (S) (B) (E)

Comentários:

6. O emprego dos métodos, ferramentas e documentos de apoio sugeridos no modelo são adequados para execução das atividades e tarefas: (P) (S) (B) (E)

Comentários:

7. O modelo pode ser aplicado na empresa. (P) (S) (B) (E)

Comentários:

8. O modelo proposto contribui ao gerenciamento do projeto: (P) (S) (B) (E)

Comentários:

9. O modelo auxilia na tomada de decisão para seleção das alternativas de concepção do produto: (P) (S) (B) (E)

Comentários:

10. O modelo proposto contribui na formação de estudantes e atualização (treinamento) de equipes de desenvolvimento de produto: (P) (S) (B) (E)

Comentários:
