

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DESIGN FOR COST APLICADO NO PROJETO DE PRODUTOS
MECATRÔNICOS

DANIEL CARDOSO VILLANO

ORIENTADORA: ANDRÉA CRISTINA DOS SANTOS, Dr(a)
Eng.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SISTEMAS
MECATRÔNICOS
PUBLICAÇÃO: ENM. DM – XX/XX
BRASÍLIA/DF: AGOSTO - 2017

BRASÍLIA / DF: XX – XX
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DESIGN FOR COST APLICADO NO PROJETO DE PRODUTOS
MECATRÔNICOS

DANIEL CARDOSO VILLANO

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:

ANDRÉA CRISTINA DOS SANTOS, Dr(a). Eng. (UnB/EPR)
(ORIENTADOR)

SUÉLIA DE SIQUEIRA RODRIGUES FLEURY ROSA, Dr(a). Eng. (UnB/FGA)
(EXAMINADOR EXTERNO)

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

DATA: BRASÍLIA/DF, mes dia DE ano.

FICHA CATALOGRÁFICA

VILLANO, DANIEL CARDOSO.

Design for cost aplicado no projeto de produtos mecatrônicos. [Distrito Federal] 2017

xv, 144 p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Mestre, Sistemas Mecatrônicos, 2017)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Projeto de Produto Mecatrônico

2. Estimativa de custo

3. Análise econômica

I. ENM/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VILLANO, D. C. (2017). Design for cost aplicado no projeto de produtos mecatrônicos. Publicação ENM.DM-xx/17, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 144 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daniel Cardoso Villano

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Design for cost aplicado no projeto de produtos mecatrônicos.

GRAU: Mestre

ANO: 2017.

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.

Daniel Cardoso Villano.

Av. Flamboyant, 18 apt. 605, Águas Claras

CEP: 70.917-000 – Brasília/DF – BRASIL

e-mail: cardosovillano@yahoo.com.br

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus pela saúde, força e determinação nos meus objetivos. Ao meu filho Bernardo por ser a fonte de inspiração de cada dia. À minha família pela educação e apoio de sempre.

À professora Andrea Cristina dos Santos, minha orientadora, pela sua paciência, disposição e ensino. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos da Universidade de Brasília.

Resumo

O processo de desenvolvimento de produto é fundamental para a competitividade de toda empresa. Os fatores custo, tempo e qualidade devem ser controlados de forma ótima, durante toda a vida útil do produto. Os produtos mecatrônicos adicionam complexidade ao processo de desenvolvimento, dado os diferentes domínios de engenharia envolvidos. No contexto do processo de estimativa de custo e análise econômica de projetos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos verificam-se lacunas quanto à análise conjunta do processo, que integre todos os domínios envolvidos. Dentro do contexto do custo no projeto de produto, o *design for cost* explora todas as fases de um projeto, desde a seleção conceitual do produto até a sua utilização. Esta técnica busca capturar as atividades de planejamento e projeto, desenvolvendo atividades ou resultados de acordo com as restrições financeiras, provendo as ferramentas, técnicas e dados para se atingir as metas de custo de forma satisfatória. No presente trabalho foram estudados os principais métodos de estimativa de custo e análise econômico-financeira aplicados no processo de desenvolvimento de produtos. Com objetivo de superar a dificuldade na integração no processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos, essa pesquisa propõe uma sistematização para o processo de estimativa de custo e análise econômica para novos produtos mecatrônicos, com base nos modelos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos. A pesquisa compreende três etapas: (1) Aquisição de conhecimentos, (2) Sistematização do processo de estimativa de custo e avaliação econômica, com base na revisão bibliográfica, (3) Validação por meio da aplicação das ferramentas em projetos de protótipos de produtos/sistemas mecatrônicos. A validação da proposta se deu por meio da aplicação em dois estudos de caso em projetos de concepção de protótipos mecatrônicos, um sistema de medição do nível de compactação do solo (penetrômetro); e um equipamento médico assistencial (EMA). Foram analisadas duas concepções para cada caso. A sistematização proposta foi então comparada com um modelo de custo para a engenharia de sistemas, e os resultados obtidos apresentaram uma estimativa de custo próxima ao modelo da engenharia de sistemas. Verificou-se que a metodologia aplicada atende às necessidades de integração do custo no projeto de produto, de forma a preencher as lacunas existentes.

Palavras chaves: projeto de produto mecatrônico, métodos e técnicas de apoio, estimativa de custo, avaliação econômica, metodologia de projeto de produto.

Abstract

The product development project encompasses a series of stages and indicators needed to be controlled during all development process. One of the main criteria for decision making during this process is cost. Success in a new product launch is usually measured in terms of financial results. Related to all cost management models, the design for cost explores all project phases, from the conceptual selection to the product utilization. It aims to capture all the planning activities, executing the activities with the budget constraints, providing tools, techniques and data to reach the goals with satisfactory results. In the context of cost estimation process and economic analysis of mechatronic product development is verified a gap for an integrated analysis of cost. There is a need for an integrated cost analysis that involves all mechatronic product domains. In the context of cost in the product development, the design for cost integrates tools and methods from the conceptual phase until all the product life cycle. In the research the main cost estimation methods and financial analysis metrics were investigate with the aim to be applied in the product development process. To resolve the gap issue of an integrate analysis of cost, the present work proposes a systematization and analysis for the cost estimation and economic analysis for the mechatronic product development in the context of design for cost. The research has three main phases: (1) knowledge acquisition, (2) systematization and analysis of cost estimation process and economic analysis based on the bibliographic review, (3) application of the systematization proposed on mechatronic prototypes to obtain the costs and the financial metrics. The validation of the research occurred by the application of the method in two case studies conceptual product development, a soil measurement equipment and a medical assistance equipment. Then the method developed was compared with a cost model for systems engineering and estimates were very similar with this professional model. It was verifies that the methodology developed fits the integration necessity in the product development and fill the gaps verified in the research.

Key words: mechatronic product project, design for cost, cost estimation, economic analysis, project product methodology.

Índice

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Metodologia.....	3
1.3 Organização	4
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 Modelos para o desenvolvimento de sistemas mecatrônicos	7
2.1.1 Abordagem tradicional	8
2.1.2 Modelo V.....	8
2.1.3 Método Hierárquico.....	10
2.1.4 Modelo de Três Ciclos.....	11
2.2 As decisões econômicas no <i>Stage-gates</i>	12
2.3 Arquitetura do produto no projeto conceitual.....	13
2.4 Avaliação econômico-financeira	15
2.5 Estratégia de precificação de novos produtos	17
2.6 Conceitos fundamentais de custos.....	20
2.7 Técnicas de apoio às estimativas de custo.....	24
2.8 Estimativa de custo de software	28
2.8.1 Métodos algorítmicos	28
2.8.2 Métodos não algorítmicos	31
2.8.3 COCOMO.....	36
2.8.4 Novas abordagens de estimativa de custo para software.....	40
2.9 Estimativa de custo para hardware	43
2.9.1 Novas abordagens de Estimativa de Custo para Hardware	51
2.10 Comentários finais.....	53
CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E SISTEMATIZAÇÃO PARA O PROCESSO DE EC E ANÁLISE ECONÔMICA NO PDPM	57
3.1 Sistematização	57
3.2 Comentários finais	67
CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DA SISTEMATIZAÇÃO PROPOSTA	70
4.1 Penetrômetro.....	71
4.2 Equipamento médico assistencial.....	81
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	89
5.1 Conclusões.....	89
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
APÊNDICES	99

APÊNDICE 1 – SISTEMATIZAÇÃO PARA ESTIMATIVA DE CUSTO	100
APÊNDICE 2 – FERRAMENTA PROPOSTA	101
APÊNDICE 3 – APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA NA CONCEPÇÃO 1 DO PENETRÔMETRO	107
APÊNDICE 4 – APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA CONCEPÇÃO 2 DO PENETRÔMETRO	112
ANEXOS	117
ANEXO 1 – CONCEPÇÃO 1 DO PENETRÔMETRO.	118
ANEXO 2 – CONCEPÇÃO 2 DO PENETRÔMETRO.	121
ANEXO 3 – LISTA DE COMPONENTES – CONCEPÇÃO 1 DO EQUIPAMENTO DE ABLAÇÃO HEPÁTICA.....	124
ANEXO 4 – LISTA DE COMPONENTES – CONCEPÇÃO 2 DO EQUIPAMENTO DE ABLAÇÃO HEPÁTICA.....	125
ANEXO 5 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS UTILIZADOS NA FERRAMENTA PROPOSTA	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

Lista de Figuras

Figura 1: Lógica da fundamentação teórica – parte II.....	6
Figura 2: Princípio macro do modelo V para projeto mecatrônico.....	10
Figura 3: Módulo mecatrônico.....	11
Figura 4: Modelo de 3-Ciclos de engenharia de produto.....	12
Figura 5: Componentes de custo, despesa e lucro.....	18
Figura 6: Técnicas de estimativa de custo por fase do ciclo de vida.....	27
Figura 7: Técnicas de estimativa de software.....	33
Figura 8: Modelo de estimativa de custo para hardware.....	44
Figura 9: Principais parâmetros na estimativa paramétrica.....	45
Figura 10: Framework para projeto mecatrônico.....	47
Figura 11: Modelo de System Breakdown Structure.....	48
Figura 12: Segundo nível de System Breakdown Structure.....	50
Figura 13: Terceiro nível de System Breakdown Structure.....	51
Figura 14: Representação da entidade de custo.....	52
Figura 15: Sistematização de EC e análise econômica para o projeto de produtos mecatrônicos.....	58
Figura 16: Modelo para estimativa de custo e análise econômica.....	59
Figura 17: Preparação das informações de custo.....	61
Figura 18: Elaboração das EC.....	62
Figura 19: Precificação.....	62
Figura 20: Avaliação econômico-financeira.....	63
Figura 21: Simulação.....	63
Figura 22: Revisão e validação.....	64
Figura 23: Processo de EC do produto mecatrônico.....	65
Figura 24: Resultado da concepção 1 do penetrômetro no Cosysmo.....	75
Figura 25: Interface gráfica do EMA.....	81
Figura 26: Tela de verificação do EMA.....	82
Figura 27: Modo automático do EMA.....	82
Figura 28: Tela de monitoramento do EMA.....	83
Figura 29: Modelo para estimativa de custo e análise econômica.....	100
Figura 30: Instruções de preenchimento do modelo.....	102
Figura 31: Concepção 1 do penetrômetro.....	118
Figura 32: SBS da concepção 1 do penetrômetro.....	120
Figura 33: Concepção 2 do penetrômetro.....	121
Figura 34: SBS da concepção 2 do penetrômetro.....	123
Figura 35: O conceito do VPL.....	126
Figura 36: O conceito da TIR.....	128
Figura 37: O conceito da simulação.....	131

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resumo dos principais métodos de avaliação de investimentos.	Erro!
Indicador não definido.	
Tabela 2: Processo de EC.	22
Tabela 3: Vantagens e desvantagens das técnicas de EC.	26
Tabela 4: Principais modelos de EC de software.	34
Tabela 5: Coeficientes das equações de COCOMO.	37
Tabela 6: Direcionadores de custo de COCOMO.	38
Tabela 7: Valores dos atributos do COCOMO intermediário.	38
Tabela 8: Valores dos expoentes por tipo de projeto.	39
Tabela 9: Atividades do projeto mecatrônico.	46
Tabela 10: Premissas básicas utilizadas na análise.	72
Tabela 11: Parâmetros de entrada no modelo COSYSMO.	74
Tabela 12: Premissas básicas utilizadas na análise.	84
Tabela 13: Lista de materiais.	119
Tabela 14: Lista de materiais.	122
Tabela 15: Lista de materiais.	124
Tabela 16: Lista de materiais.	125

Lista de Quadros

Quadro 1: Resumo da análise da primeira concepção do penetrômetro.....	73
Quadro 2: Resumo da análise da segunda concepção do penetrômetro.....	77
Quadro 3: Comparação das duas concepções do penetrômetro.	78
Quadro 4: Priorização dos diferentes cenários.	80
Quadro 5: Resumo da análise da primeira concepção do equipamento de ablação.	85
Quadro 6: Resumo da análise da primeira concepção do equipamento de ablação.	86
Quadro 7: Resumo da análise da segunda concepção do equipamento de ablação.....	87
Quadro 8: Resumo da análise da segunda concepção do equipamento de ablação.....	88
Quadro 9: Resumo do projeto.....	102
Quadro 10: Estimativa de custo de desenvolvimento de software.	103
Quadro 11: Estimativa de custo de desenvolvimento de hardware.	103
Quadro 12: Estimativa de custo das partes e componentes do produto.....	104
Quadro 13: Custo total do produto.	104
Quadro 14: Precificação.	105
Quadro 15: Análise econômica.....	106
Quadro 16: Simulação Monte Carlo.....	106
Quadro 17: Resumo do projeto.....	107
Quadro 18: Custo de desenvolvimento de software.	108
Quadro 19: Custo de desenvolvimento de hardware.	108
Quadro 20: Estimativa de custo das partes e componentes do produto.....	109
Quadro 21: Custo total do produto.	109
Quadro 22: Precificação.	110
Quadro 23: Análise econômica.....	111
Quadro 24: Simulação Monte Carlo.....	111
Quadro 25: Resumo do projeto.....	112
Quadro 26: Custo de desenvolvimento de software.	113
Quadro 27: Custo de desenvolvimento de hardware.	113
Quadro 28: Custo das partes e componentes do produto.....	114
Quadro 29: Custo total do produto mecatrônico.	114
Quadro 30: Precificação.	115
Quadro 31: Análise Econômica.....	116
Quadro 32: Simulação Monte Carlo.....	116

Lista de gráficos

Gráfico 1: Comparação dos custos modelo Autor x Cosysmo.....	75
Gráfico 2: Comparação dos custos de desenvolvimento.....	79
Gráfico 3: Comparação dos custos das partes e componentes.....	79

Lista de símbolos e abreviações

A	Consta de calibração de projetos passados
COCOMO	Modelo Construtivo de Custo
COSYSMO	Modelo de Custo Construtivo da Engenharia de Sistemas
COSOSIMO	Modelo de Custo Construtivo para integração de Sistemas
Cust	Custo hora da atividade
CustDes	Custo de desenvolvimento do produto
CUst.Hom	Custo de um home-mês
CustProd	Custo de fabricação de uma unidade adicional do produto
CustTOT	Custo total de cada unidade de produto
D	Tempo de desenvolvimento
DesHW	Custo de desenvolvimento de hardware
DesSW	Custo de desenvolvimento do software
DFC	Design for cost
E	Esforço
EAF	Fator de ajuste de esforço
EC	Estimativa de Custo
EM	Multiplicador de esforço para o direcionador de custo
EMA	Equipamento médico assistencial
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IL	Índice de Lucratividade
ISPA	International Society of Parametric Analysts
KLOC	Milhares de linhas de código
LC	Linhas de código
N	Número de direcionadores de custo
NASA	National Aeronautics and Space Administration
P	Pessoal
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PDPM	Processo de Desenvolvimento de Produto Mecatrônico
PM	Esforço em pessoas-mês
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PPF	Pontos por função
ROI	Retorno sobre o investimento
S	Tamanho do software
SBS	System Breakdown Structure
Sistema ABC	Modelo de custo baseado em atividades
T	Horas
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
WBS	Work Breakdown Structure

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produto não é uma área nova, tendo sido objeto de intensa pesquisa por décadas. Um dos principais critérios que influenciam a tomada de decisão no processo de desenvolvimento de produto (PDP) continua sendo o custo. O sucesso do projeto de novos produtos é normalmente mensurado em termos do resultado financeiro (TYAGI *et al.*, 2015). Conseqüentemente, novas concepções de produtos devem ser selecionadas, além do aspecto técnico, baseando-se nos resultados financeiros esperados.

As empresas determinam um limite superior de custo para o desenvolvimento de novos produtos e consideram novas propostas de projeto aquelas que possuem um custo menor do que o teto especificado. Desta forma, a lucratividade para cada ideia de novo produto deve ser analisada. A parte mais difícil é avaliar os custos futuros, dada a grande quantidade de informação incerta, o que torna a análise subjetiva (CHWASTYK; KOLOSOWKI, 2014). Mesmo com todos os desafios, a estimativa de custo (EC) é importante em cada fase do processo de desenvolvimento de produto. Na fase de planejamento, permite avaliar as oportunidades de financiamento. Na fase de projeto, permite ajustar os parâmetros do futuro produto e do seu processo de fabricação, e na fase de manufatura permite decidir a seleção dos recursos (CHWASTYK; KOLOSOWKI, 2014). Na fase de projeto conceitual são definidas as principais soluções construtivas do produto, definidos os materiais e a tecnologia, definida a arquitetura final do produto. Resumindo, qualquer mudança técnica no projeto terá um impacto direto no custo final do produto.

Dentre os modelos de gestão de custos, o *design for cost* (DFC) explora todas as fases de um projeto, desde a seleção conceitual do produto até a sua utilização. Esta técnica busca capturar as atividades de planejamento e projeto, desenvolvendo atividades ou resultados de acordo com as restrições financeiras, provendo as ferramentas, técnicas e dados para se atingir as metas de custo de forma satisfatória (MICHAELS; WOOD, 1989). Recentemente, Perry (2002) coloca que o DFC é um termo utilizado para designar a gestão de custo total de um produto durante todo o seu ciclo de vida.

Dentro do contexto de produto mecatrônico, coloca-se que um sistema/produto mecatrônico pode ser definido como um conjunto de subsistemas, componentes de hardware, software e pessoas, projetados para desempenhar uma série de tarefas de modo a satisfazer as necessidades e restrições específicas (HEHENBERGER *et al.*, 2010). O projeto de produto mecatrônico difere dos demais produtos devido à abordagem multidisciplinar, trazendo desafios de integração tanto funcional quanto espacial (HEHENBERGER *et al.*, 2010; ZHENG *et al.*, 2014) .

Há duas tendências no processo de projeto de produtos mecatrônicos, integração física e integração funcional. A integração física foca na otimização do espaço e peso. Busca-se responder à pergunta sobre como os componentes de diferentes domínios serão integrados. A integração funcional não é simplesmente uma superposição de diferentes funcionalidades. Buscam-se novas funcionalidades por meio da integração das funcionalidades já existentes (ZHENG *et al.*, 2014).

A importância da pesquisa nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produto mecatrônico (PDPM) ocorre pela influência dos custos no processo de decisão na análise funcional e física do projeto do novo produto (BARBALHO, 2006; CARRASCO; SANTOS, 2014; WEHRMEISTER *et al.*, 2014).

Por meio de revisão da literatura, foram identificados os métodos e técnicas de EC para *software e hardware* (AXELSSON, 2000; BERNARDI *et al.*, 2004; BOEHM *et al.*, 2000). Verifica-se que os métodos e técnicas de apoio à elaboração das EC de software e hardware não apresentam uma abordagem integrada para apoiar o processo de projeto de produto mecatrônico, apesar de alguns estudos evidenciarem um esforço nessa direção (VALERDI, 2010).

Retornando aos aspectos econômicos, há na literatura vários trabalhos que descrevem os métodos e técnicas de estimativa de custos para o PDP. No entanto por meio da revisão verifica-se que há uma necessidade de consolidação destas técnicas no PDPM.

1.1 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é a análise dos métodos e técnicas de apoio às EC e à análise econômica, buscando-se propor uma sistematização que possa ser

integrada ao PDPM na fase conceitual do projeto de produto mecatrônico, e aplicada em protótipos de sistemas mecatrônicos, para avaliação de custo e retorno financeiro.

Para se atingir o objetivo geral, buscam-se os seguintes objetivos específicos:

- Selecionar um modelo de PDPM existente que será a base para o desenvolvimento do trabalho.
- Identificar e analisar os principais métodos e técnicas de EC e análise econômica.
- Aplicar a sistematização elaborada em projetos de protótipos de produtos e sistemas mecatrônicos.

1.2 Metodologia

Quanto às técnicas escolhidas neste trabalho, foram utilizadas a pesquisa bibliográfica, a pesquisa documental e a aplicação em casos práticos (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Desta forma, a pesquisa apresenta três etapas principais. A primeira etapa é referente à aquisição de conhecimentos, que compreende o estudo da literatura de forma sistemática, com o objetivo de verificar os trabalhos recentes mais importantes do tema em questão e para se formar o arcabouço teórico da dissertação. Na segunda etapa, com base na revisão bibliográfica e pesquisa documental, é realizada uma análise dos conhecimentos adquiridos e proposta uma sistematização dos métodos e técnicas para EC e análise econômica de produtos mecatrônicos. Por fim, na terceira etapa, os métodos e técnicas são avaliados em protótipos de sistemas e produtos mecatrônicos.

Na primeira etapa, aquisição de conhecimentos, buscou-se por meio da revisão de literatura obter os trabalhos relativos ao tema para a construção do universo da pesquisa. A pesquisa bibliográfica é um apanhado geral a respeito dos principais trabalhos realizados na área e que são revestidos de importância, acreditando serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes (MARCONI; LAKATOS, 2003). A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio da combinação das palavras chave: *cost estimation, product design, mechatronic and software* na plataforma *ISI Web Knowledge* no período entre os anos 2000 e 2017, foram encontrados os artigos mais citados na área e os mais recentes. Estes foram acessados via bases disponíveis no site do Periódico da CAPES. Após a busca pelos trabalhos relativos ao tema, procedeu-se à

etapa de classificação e priorização dos trabalhos mais importantes para servirem de referência da pesquisa, e para prover meios de se proceder à etapa de sistematização na segunda etapa.

Na segunda etapa, é realizada uma análise da revisão da literatura e proposta uma sistematização dos métodos e técnicas de EC e avaliação econômica, com base na teoria e modelos estudados na pesquisa bibliográfica e pesquisa documental. O método utilizado na sistematização da pesquisa é o método indutivo, pois se partiu de casos particulares encontrados na literatura para se chegar à integração dos métodos e técnicas de EC e avaliação econômica. O processo se inicia com a seleção de um dos modelos de PDPM alinhado à pesquisa e segue com o desdobramento de um *framework* de EC e análise econômica que busque preencher os *gaps* e avaliar o processo de EC e análise econômica de forma integrada.

Na terceira etapa, a sistematização proposta é avaliada por meio da aplicação em projetos de protótipos de sistemas mecatrônicos. Os testes de aplicação são o principal meio para avaliar a sistematização proposta e verificar se os resultados são satisfatórios em relação às EC para protótipos de produtos e sistemas mecatrônicos realizados na prática. Na sistematização proposta, busca-se preencher a lacuna quanto a modelos de EC que levem em conta a abordagem integrada do PDPM.

1.3 Organização

A Figura 1 apresenta a forma lógica de ligação dos capítulos da pesquisa, que se apresenta da seguinte forma.

CAPÍTULO 1 – Apresenta a contextualização do problema da pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, bem como a metodologia utilizada.

CAPÍTULO 2 – **“Fundamentação Teórica – Parte 1”**, apresenta os principais modelos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos, o processo de *stage-gates* e as decisões econômicas, e também o custo da arquitetura do produto, que impacta fortemente no aspecto econômico do desenvolvimento. **“Fundamentação Teórica – Parte 2”**, apresenta conceitos fundamentais na gestão de custos, as principais técnicas de EC e avaliação econômica de projetos para software e hardware e as estratégias de precificação de novos produtos.

CAPÍTULO 3 – “**Análise e sistematização**”, é apresentada a sistematização elaborada pelo autor, principal objetivo da pesquisa.

CAPÍTULO 4 – “**Avaliação da sistematização proposta**”, busca-se a aplicação da ferramenta por meio da aplicação em dois projetos de concepção de sistema mecatrônicos.

CAPÍTULO 5 – “**Conclusões e sugestões para trabalhos futuros**”, busca-se a validação da ferramenta por meio da aplicação em dois projetos de concepção de um sistema mecatrônico.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica do trabalho. Em um primeiro momento são apresentados os principais modelos de referência de PDPM, o processo de *stage-gates* e as decisões econômicas, bem como a influência da arquitetura do produto no projeto conceitual e no custo de produto. O objetivo da primeira parte é evidenciar que, após definido o modelo de referência para o desenvolvimento do produto mecatrônico, durante todo o PDPM as decisões técnicas serão acompanhadas por decisões econômicas, nos chamados *gates*.

Posteriormente, será tratada a avaliação econômico-financeira, as estratégias de precificação de novos produtos e as EC de software e hardware. O objetivo da segunda parte é apresentar, de forma *top-down*, os conceitos que permeiam todo o processo de decisão econômica, como os indicadores financeiros, os principais conceitos relativos à gestão de custos e as técnicas de EC. A Figura 1 apresenta a lógica dos conceitos da segunda parte da fundamentação teórica.

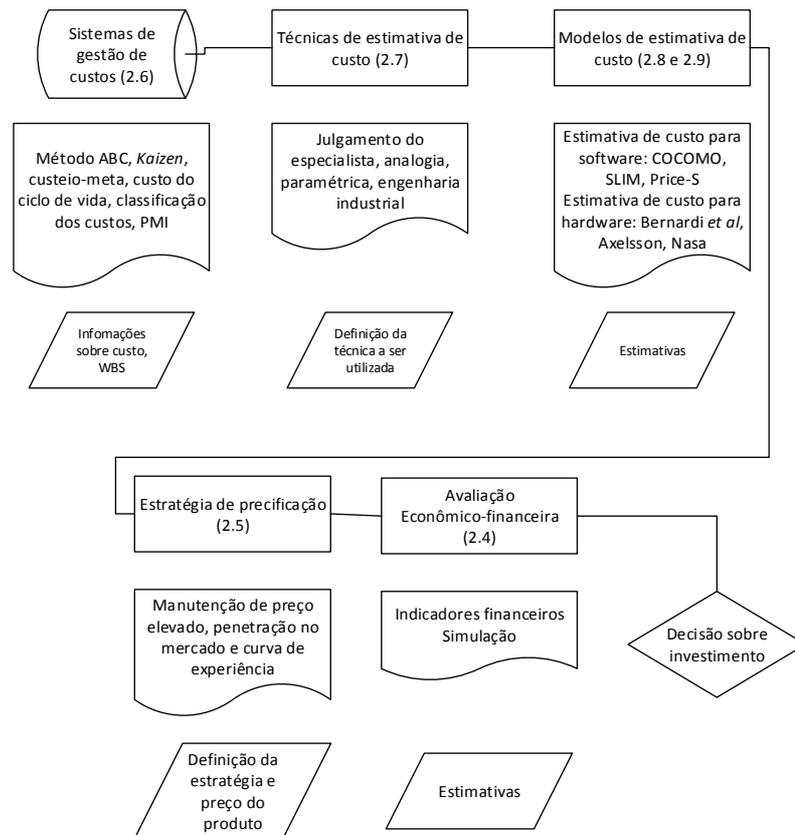


Figura 1: Lógica da fundamentação teórica – parte II.

Fonte: Autor, (2017).

2.1 Modelos para o desenvolvimento de sistemas mecatrônicos

Nesta etapa são apresentados modelos de PDP que buscam romper com a abordagem tradicional e se alinham melhor ao PDPM, com o intuito de serem referências ao processo de sistematização e integração das técnicas de EC.

Segundo Rozenfeld, *et al.* (2006), desenvolvimento de produto é o processo de negócio, isto é, o conjunto de atividades capaz de transformar informações tecnológicas e de mercado em produtos/serviços de acordo com as estratégias da empresa e atendendo às necessidades de mercado, por meio da criação de bens e informações para a produção, acompanhamento e retirada de um produto do mercado.

Quando se desenvolve sistemas mecatrônicos, em geral, o que pode ser notado é uma tendência de ruptura com os modelos tradicionais de desenvolvimento de produtos, mais focados em apenas uma disciplina, partindo-se para uma busca de integração entre os diferentes domínios dos sistemas mecatrônicos (HEHENBERGER *et al.*, 2010).

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), tendo em vista a importância do PDP, é essencial que se adote um modelo de referência, mais adequado às atividades e ao tipo de empresa, que oriente a estruturação e gestão desse processo.

Há duas tendências no PDPM, integração física e integração funcional (ZHENG *et al.*, 2014):

- A integração física foca na otimização do espaço e do peso. Busca-se responder à pergunta sobre como os componentes de diferentes domínios serão integrados.
- A integração funcional não é simplesmente uma superposição de diferentes funcionalidades. Buscam-se novas funcionalidades por meio da integração das funções já existentes.

A importância da pesquisa em relação aos aspectos econômicos nos estágios iniciais do PDPM se dá pela influência dos custos no processo de decisão na análise funcional e física do projeto do novo produto (BARBALHO, 2006; CARRASCO; SANTOS, 2014; WEHRMEISTER *et al.*, 2014).

Somando-se a isso, sistemas mecatrônicos são classificados como sistemas complexos, com foco na integração de diferentes áreas da engenharia: mecânica, eletrônica, software e controle. Devido à complexidade envolvida no desenvolvimento de produtos mecatrônicos, torna-se necessário um processo de desenvolvimento sistêmico.

A seguir, será apresentada uma lista não exaustiva de modelos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos.

2.1.1 Abordagem tradicional

A abordagem tradicional para o projeto de sistemas mecatrônicos é a do processo de projeto sequencial. Neste processo, os principais itens de atenção são a confiabilidade e o desempenho técnico do sistema. No desenvolvimento sequencial, cada nova atividade do projeto começa após o término da atividade precedente (SHETTY; KOLK, 2011). No decorrer do tempo, os sistemas mecânicos começaram a integrar funções de controle, tornando-se sistemas mecatrônicos, e desde então várias mudanças têm sido observadas na forma de desenvolvimento.

Uma das desvantagens do desenvolvimento sequencial é a falta de compatibilidade entre os subsistemas, o que resulta em esforços e custos adicionais para se atender ao sistema como um todo. Outra desvantagem é que durante o projeto deve ser decidido pela opção de se utilizar uma solução mecatrônica ou uma solução mecânica. Logo, os projetistas devem balancear a solução mecânica, elétrica e de software. A falta de coordenação entre os diferentes domínios implica na dificuldade de se encontrar uma solução ótima (HEHENBERGER *et al.*, 2010). Essa necessidade de coordenação não influencia apenas os fatores técnicos, mas também outros fatores relacionados ao projeto, como o custo, objetivo da pesquisa.

2.1.2 Modelo V

A norma VDI 2206 – “*Design Methodology for Mechatronic Systems*” surgiu na Alemanha e apresenta uma metodologia para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos, o chamado modelo V (GAUSEMEIER; MOEHRINGER, 2003). O modelo V apresenta um fluxo geral para o PDP. Ele parte da identificação das necessidades dos usuários. As necessidades identificadas são inseridas no projeto e controladas até a validação do sistema pelo próprio usuário. Para se chegar ao produto

final, cada etapa de definição do produto deve ser avaliada e testada (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008).

Essa metodologia proposta possui, entre outros objetivos:

- Apoiar o projeto de sistemas mecatrônicos pela integração de procedimentos específicos, métodos e ferramentas por meio da estruturação das variáveis do campo mecatrônico.
- Propor um modelo flexível que possa ser adaptado para as tarefas individuais.
- Complementar as normas já existentes.

Segundo a norma VDI 2206, as necessidades específicas dos sistemas mecatrônicos são categorizadas quanto aos seguintes fatores de impacto:

- Impacto na complexidade: causado pelo elevado número de elementos conectados; e novas funções que são criadas pelos sistemas mecatrônicos.
- Impacto na heterogeneidade: as soluções e componentes vêm de diferentes áreas de domínio da engenharia, como mecânica, eletrônica e ciência da computação. Assim, a integração é um grande desafio.

Esses impactos levam a um modelo de desenvolvimento em dois níveis: o micro e o macro. O nível micro apoia o projetista em uma ação orientada, baseada na engenharia de sistemas para a solução de problemas.

O nível macro aborda o processo de *total design*, enfatizando marcos, planejamento e controle do processo de projeto como um todo. O princípio geral do modelo V no nível macro está ilustrado na Figura 2.

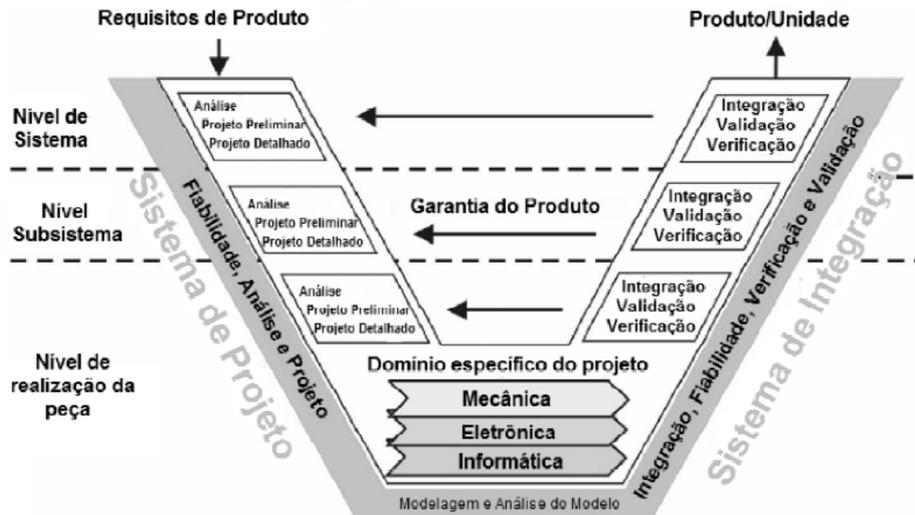


Figura 2: Princípio macro do modelo V para projeto mecânico.

Fonte: Vasić, Lazarević (2008).

Considera-se o modelo V uma forma viável de desenvolvimento de produto mecânico. Várias atividades desenvolvidas no PDP, como o processo de EC podem utilizar esse modelo como referência, com foco na integração dos diferentes domínios.

2.1.3 Método Hierárquico

Um sistema pode ter uma estrutura hierárquica com muitas camadas de subsistemas e subcomponentes. O Método Hierárquico de Projeto (HEHENBERGER *et al.*, 2010) utiliza o conceito de integração mecânica, elétrica, software e controle eletrônico desde as fases iniciais de projeto. O sistema mecânico é dividido em subsistemas e cada subsistema possui um modelo específico.

O método utiliza o conceito de módulo mecânico, estrutura formada pelos vários domínios das diferentes disciplinas da mecânica. No módulo mecânico, apenas componentes de um domínio específico são combinados, o que significa que um módulo mecânico pode ser decomposto em domínios específicos (não mecânicos), conforme a Figura 3. Cada módulo mecânico (domínio específico) é estruturado em vários níveis hierárquicos com o específico grau de detalhe. Como resultado, apenas o nível mais alto possui interface com os outros módulos, chamado de acoplamento mecânico. Os módulos consistem em uma série de parâmetros bem como relações lógicas e quantitativas. Deste modo, a hierarquia dos parâmetros do projeto é investigada de forma independente para cada domínio.

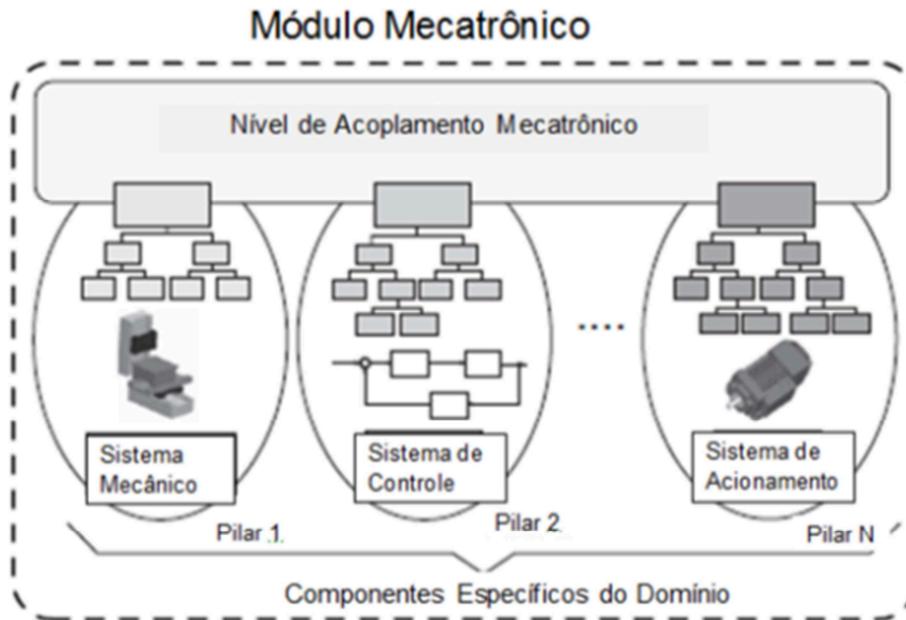


Figura 3: Módulo mecatrônico.

Fonte: Hehenberger *et al.* (2010).

2.1.4 Modelo de Três Ciclos

O modelo de três ciclos de engenharia de produto (GAUSEMEIER *et al.*, 2011) consiste em três principais atividades: planejamento estratégico do produto; desenvolvimento do produto; e desenvolvimento do sistema de produção. Em referência à abordagem da engenharia simultânea, as três principais atividades não podem ser vistas como um processo rígido de fases e *milestones*. É um processo de atividades interconectadas, que podem ser divididas em três ciclos.

O desenvolvimento do produto e do sistema de produção precisa ser executado de forma incremental e de maneira alternada, pois o conceito de produto é influenciado pela tecnologia de manufatura, de forma paralela e vice-versa. Este arranjo em paralelo corresponde à abordagem da engenharia simultânea. Mas, diferentemente desta última, uma relação próxima entre desenvolvimento de produto e de sistema de produção é aplicada já no projeto conceitual. A Figura 4 apresenta o modelo de três ciclos.

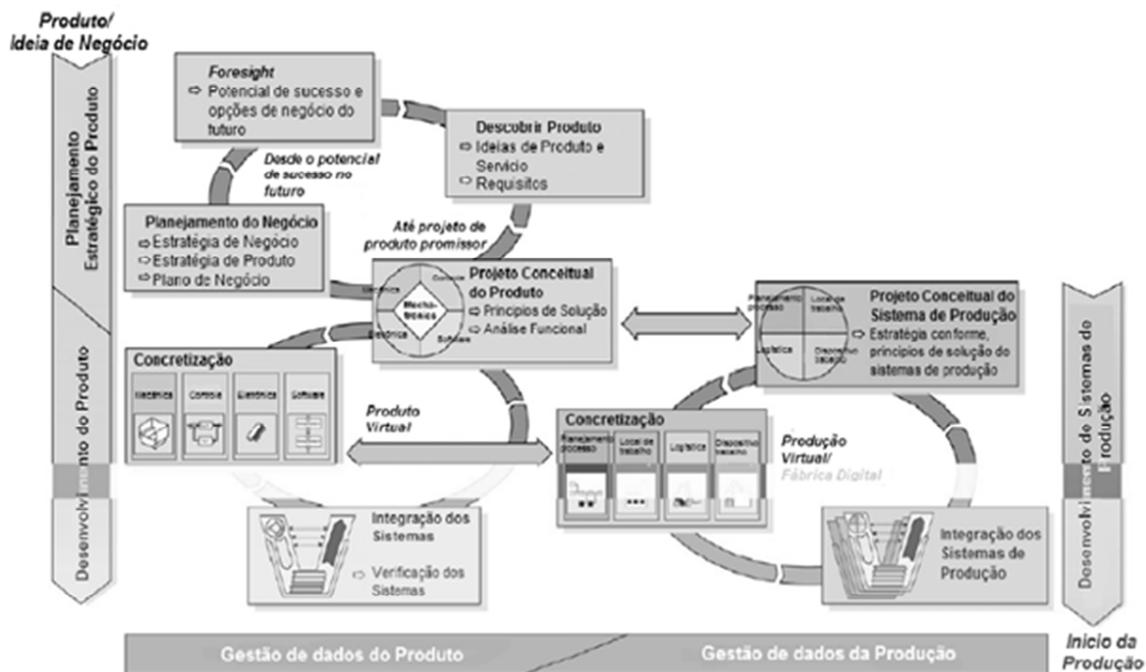


Figura 4: Modelo de 3-Ciclos de engenharia de produto.

Fonte: Gausemeier *et al.* (2011).

Os modelos de desenvolvimento de produtos evoluíram no decorrer do tempo, da abordagem tradicional e sequencial aos modelos mais complexos, como o modelo de três ciclos e o modelo V, que buscam incorporar ao processo de desenvolvimento as necessidades dos produtos mecatrônicos.

No próximo tópico será apresentado o sistema *stage-gates* e como as decisões financeiras são tomadas no PDP.

2.2 As decisões econômicas no *Stage-gates*

De acordo com Cooper (1990), o sistema *stage-gates* é um sistema de auxílio estruturado ao processo de tomada de decisão, tanto técnica quanto financeiramente, em que decisões importantes do projeto são tomadas em determinadas etapas. Como vantagens desse sistema no PDP, podem-se citar o menor tempo de desenvolvimento, menos erros, menos retrabalho e um maior sucesso no esforço de desenvolvimento. Para exemplificar o processo de decisão, no *gate 3*, é tomada a decisão do caso de negócio. Utilizando o modelo V de desenvolvimento, nesta etapa, após a busca por soluções de desenvolvimento do produto, é tomada a decisão sobre qual solução técnica utilizar no desenvolvimento. Quanto a quesito financeiro, nesta etapa é realizada uma análise financeira detalhada, pois os valores comprometidos serão altos após esta etapa.

Sumarizando, as análises econômicas e financeiras ocorrem, de acordo com o modelo genérico proposto por Cooper (1990), nos seguintes *gates*:

- Segundo *gate*: é realizada uma avaliação financeira inicial, de forma rápida e simples, geralmente apenas uma análise de *payback*.
- Terceiro *gate*: tem como entrada uma análise financeira detalhada, tipicamente envolvendo fluxo de caixa descontado, complementado por análise de sensibilidade. Após o terceiro *gate*, caso o projeto prossiga, os valores financeiros comprometidos serão altos, pois dará início a fase de desenvolvimento.
- Quarto *gate*: esse é o *gate* de pós-desenvolvimento. Nesta etapa, a análise econômica é reavaliada com base em dados atuais e mais precisos do projeto, que alimentarão a fase de validação.
- Quinto *gate*: esse é o *gate* de pré-comercialização. Nesta etapa a análise financeira é reavaliada, verificando-se a viabilidade econômica do produto, utilizando-se dados de vendas e informações atualizadas de custo. As projeções financeiras são críticas para se iniciar a etapa de comercialização do produto.

Após o lançamento do produto, as últimas informações de vendas, custos, gastos e lucros são comparados com o projetado, com foco na melhoria do desempenho do produto e dos futuros lançamentos. A decisão técnica e econômica deve levar em consideração todos os produtos dentro do portfólio de desenvolvimento da empresa. Outra decisão importante tomada na etapa de projeto conceitual é o tipo de arquitetura do produto, que será descrito no próximo tópico.

2.3 Arquitetura do produto no projeto conceitual

A definição da arquitetura do produto tem um grande impacto na satisfação do cliente, na estratégia empresarial e nos custos do produto. Apesar de os efeitos aparecerem nos estágios mais avançados do desenvolvimento, a maior parte das decisões da arquitetura do produto é tomada na fase de projeto conceitual, em que a alocação de funções para a solução do problema é realizada. Para auxiliar esse processo de decisão, várias abordagens são utilizadas (RICHTER *et al.*, 2017).

A seleção de alternativas de concepção de produto, ou seja, a arquitetura do produto, com base no modelo de PDPM, ocorre na fase de projeto conceitual, e pode ser descrita pelo seguinte processo de tomada de decisão (ROZENFELD *et al.*, 2006):

- Estabelecer a estrutura funcional do produto: nesta etapa são analisadas as especificações-meta do produto, suas principais funções, as estruturas funcionais alternativas, finalizando pela definição da estrutura funcional do produto.
- Busca por princípios de solução e geração de alternativas de concepção: busca localizar e gerar princípios de solução que atendam a cada uma das funções alternativas definidas na etapa anterior.
- Gerar e selecionar alternativas de projeto: são geradas alternativas de projeto para os produtos em desenvolvimento. Então, seleciona-se dentre as alternativas propostas aquelas que melhor atendam aos objetivos do projeto.
- Selecionar a concepção do produto: nesta etapa ocorre a análise das concepções alternativas, bem como a valoração de cada uma. Finaliza-se com a seleção da concepção mais adequada dentro dos critérios de avaliação definido.

Segundo Ulrich e Eppinger (1995), um produto pode ter arquitetura modular e/ou integral. Um produto possui arquitetura integral quando os elementos funcionais são executados usando mais de um módulo, ou um módulo executa várias funções. As interações entre os módulos na arquitetura integral não são bem definidas. O projeto de um produto integral visa alto desempenho e a fronteira entre os módulos é de difícil identificação, sendo muitas vezes inexistente. A mudança de um componente pode exigir um novo projeto de produto. Um produto possui arquitetura modular quando seus módulos físicos executam um ou poucos elementos funcionais e suas interações são bem definidas e geralmente fundamentais para as funções principais do produto. A arquitetura modular permite a mudança de projeto de um módulo de forma independente, ou seja, sem a necessidade de mudança em outros módulos.

A decisão sobre o tipo de arquitetura de um produto, integral ou modular, e o grau de modularização, irá subsidiar o projeto conceitual do produto e também influenciar no custo do produto durante todo o seu ciclo de vida. Vários estudos

realizados indicam que a seleção certa de uma arquitetura para um produto ou família de produtos, pode implicar em grandes economias de custo e tempo de desenvolvimento (DAHMUS; OTTO, 2001). A escolha pelo tipo de arquitetura do produto também depende de outros fatores, além da própria arquitetura. Geralmente os requisitos são hierarquizados em uma matriz de decisão, em que cada requisito possui um peso e uma nota lhe é atribuída. Cada alternativa de concepção é então analisada de acordo com as notas e ocorre o processo de decisão da alternativa melhor colocada em relação à estratégia empresarial (ROZENFELD *et al.*, 2006). Nos produtos mecatrônicos, as análises relativas à arquitetura do produto devem levar em consideração os diferentes domínios envolvidos, bem como os custos de desenvolvimento, fabricação, montagem e inventário.

No próximo tópico serão apresentados os principais métodos e indicadores utilizados na avaliação econômico-financeira de projetos.

2.4 Avaliação econômico-financeira

Nesta seção é apresentada uma síntese dos principais métodos de avaliação de investimentos que buscam apoiar a priorização e seleção de projetos de desenvolvimentos de produtos. Esses métodos servirão como base para a etapa de avaliação econômico-financeira na sistematização proposta. A avaliação econômico-financeira pode ser definida como uma abordagem sistemática para o problema de se escolher o melhor método de alocação de recursos escassos para se atingir um dado objetivo. Em uma avaliação precisa está implícito que há diferentes alternativas para se atingir um determinado objetivo e cada alternativa necessita de recursos e produz certos resultados (NASA, 2015).

De acordo com Rodrigues (2014), os métodos de análise econômica de projetos podem ser organizados em três categorias: os métodos tradicionais; os métodos probabilísticos e o método opções reais.

Os métodos tradicionais calculam indicadores, baseados no fluxo de caixa tradicional, como por exemplo, o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), o retorno sobre o investimento (ROI) e o payback. Geralmente utiliza-se como parâmetro a taxa mínima de atratividade (TMA), que é utilizada como parâmetro de aceitação ou rejeição do projeto. Os métodos probabilísticos envolvem a estimativa de

probabilidades para o cálculo do valor esperado, como por exemplo, a árvore de decisão e o valor comercial esperado. O método de opções reais engloba o modelo *Black-Scholes*, avaliação usando árvore binomial, teoria do “*option pricing*” e a sua variante “*options thinking*”. A Tabela 1 apresenta um resumo dos principais métodos de avaliação de investimentos.

Tabela 1: Resumo dos principais métodos de avaliação de investimentos.

continua...

Método	Descrição
Valor Presente Líquido	Reflete a riqueza em valores monetários do investimento, medida pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, a uma determinada taxa, frequentemente chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo do capital.
Payback	Corresponde ao período no qual os resultados líquidos acumulados da operação do empreendimento equivalem ao investimento. Período de recuperação descontado: período no qual os resultados líquidos da operação do empreendimento, descontados a uma determinada taxa, equivalem financeiramente ao investimento.
Taxa Interna de Retorno	Corresponde a taxa de desconto que iguala o valor presente líquido (VPL) de uma oportunidade de investimento a R\$ 0,00 porque o valor presente das entradas de caixa se iguala ao investimento inicial.
Retorno sobre Investimento	Mede o desempenho da empresa na utilização dos seus investimentos.
Índice de Lucratividade	Mede a relação entre valor presente dos fluxos de caixa gerados por um projeto e o valor presente das saídas de caixa.
Opções reais	Tem como objetivo considerar o valor da flexibilidade gerencial do projeto, à medida que novas informações chegam e que a incerteza diminui. Existem diferentes formas de aplicar a abordagem das opções reais: Modelo Black-Scholes; avaliação usando árvore binomial; teoria do “option pricing” e a sua variante “options thinking”.
Valor Comercial Esperado	Utiliza os conceitos da árvore de decisão, e considera as probabilidades de sucesso técnico e comercial, custos de comercialização e de desenvolvimento, para determinar o valor esperado do projeto.
Árvore de Decisão	Corresponde a uma forma de visualizar as consequências de decisões atuais e futuras e os eventos aleatórios relacionados. Em geral, a geração de uma árvore de decisão requer as seguintes etapas: 1) Dividir a análise em possíveis fases que desdobrarão no futuro; 2) Estimar as probabilidades em cada fase; 3) Definir os pontos de decisão; 4) Calcular os fluxos de caixa e os valores esperados nos nós de fim; e 5) Executar o caminho inverso da árvore para calcular os valores esperados. Por fim, o valor esperado é calculado para cada ramo e é escolhido o maior (como decisão ótima).
Cenários	Tem como objetivo considerar diferentes situações (possíveis situações futuras), alterando-se as hipóteses para as variáveis, de tal forma que é possível estimar os fluxos de caixas para as variáveis de interesse.

Tabela 1: Resumo dos principais métodos de avaliação de investimentos.

conclusão...

Simulação de Monte Carlo	Tem como objetivo considerar um conjunto de fatores de riscos, como, por exemplo, preços, quantidades vendidas, custos e despesas, no cálculo da variabilidade do VPL de um projeto
Análise de Sensibilidade	Tem como objetivo utilizar diversos valores possíveis de uma variável (preço, volume de vendas, taxa de atratividade, dentre outros), como as entradas de caixa, para avaliar o seu impacto sobre o retorno de um ativo, que pode ser medido pelo VPL ou outros indicadores.
Racionamento de Capital	Tem como objetivo selecionar o grupo de projetos que oferece o maior valor presente global e não exige mais dinheiro que o disponível. Ou seja, busca contribuir para que sejam isolados e selecionados os melhores projetos aceitáveis dentro da restrição orçamentária estabelecida pela administração.
Análise de Capacidade de Recursos	Tem como objetivo quantificar as necessidades dos projetos por recursos contra a disponibilidade destes.
Modelo de Pontuação	Tem como objetivo priorizar projetos conforme critérios propostos. Exemplos de critérios são: alinhamento estratégico; vantagens do produto; atratividade para o mercado; capacidade de alavancar “core competencies”; viabilidade técnica; e risco versus recompensa. Os seguintes procedimentos podem ser realizados: utilizar uma planilha para listar os projetos; ranquear os projetos conforme algum critério (por exemplo, atratividade do projeto ou VPL); incluir projetos até que existam recursos disponíveis.
Diagrama de Bolhas	Tem como objetivo posicionar os projetos em um gráfico com dois eixos. Normalmente o tamanho das bolhas é um indicativo do volume de recursos alocados ao projeto, sendo que um dos eixos indica aspectos de retorno financeiro como o VPL, enquanto o outro eixo indica aspectos referentes a risco técnico, comercial ou outro fator.

Fonte: Rodrigues, (2014).

Segundo um estudo realizado por Alkaraan e Northcott (2006), os métodos tradicionais, principalmente o VPL, são os mais utilizados nos projetos. Com relação ao método de opções reais, os autores afirmam que poucos casos práticos existem, sendo mais utilizados no meio acadêmico. Desta forma, no presente trabalho, dada a maior facilidade e casos de aplicação dos métodos tradicionais e à dificuldade de aplicação do método opções reais, optou-se por utilizar os métodos tradicionais de avaliação de projetos de investimentos e a simulação Monte Carlo para se calcular a variabilidade do VPL e da TIR. Esses métodos estão descritos com mais detalhes no Anexo 5.

2.5 Estratégia de precificação de novos produtos

Uma boa estratégia de precificação de novos produtos é crucial para bons retornos sobre o investimento no PDP. Os produtos mecatrônicos, por possuírem, na maioria dos casos, alto grau de tecnologia envolvido, adicionam ainda mais complexidade na estratégia de precificação.

Produtos e serviços com alta tecnologia são os dispositivos, procedimentos, processos, técnicas ou ciências caracterizadas pelo desenvolvimento no estado-da-arte e por possuírem ciclo de vida curto e volátil (GRUNENWALD; VERNON, 1988). A Figura 5, proposta por Dieter (2000), apresenta, de forma genérica, os componentes de custo e despesa, que, adicionando-se o lucro esperado, chega-se ao preço de venda de um produto. Ou seja, o preço de venda deve ser determinado de forma a cobrir todos os custos relativos à produção do produto, bem como as despesas indiretas relativas ao funcionamento da empresa, e garantir um lucro na venda, que irá remunerar o capital empregado.

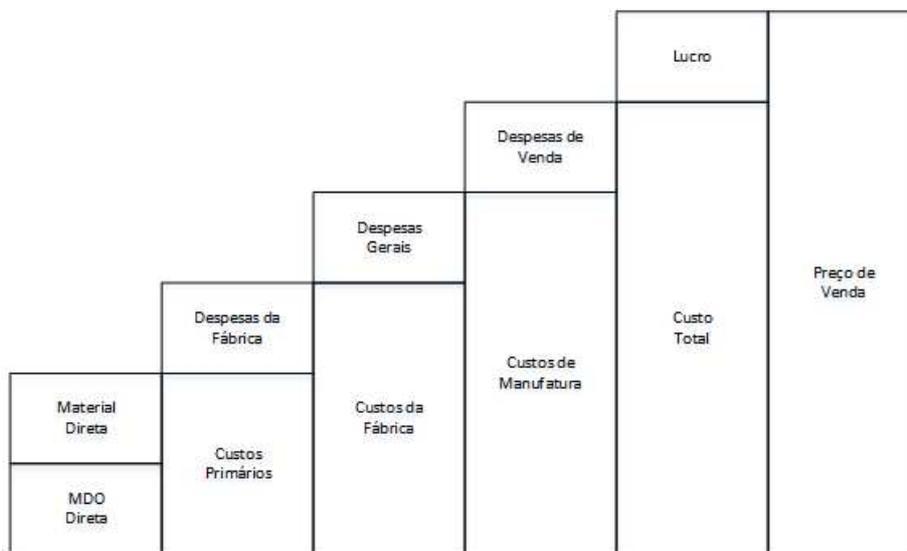


Figura 5: Componentes de custo, despesa e lucro.

Fonte: Dieter, (2000).

Segundo Noble e Gruca (1999), há três opções para se precificar um novo produto: manutenção de preço elevado, penetração no mercado e curva de experiência. A manutenção de preço elevado, como o termo indica, consiste em colocar um preço alto no início do lançamento do produto, e descontá-lo no decorrer do tempo. O propósito desta prática é discriminar os consumidores que são insensíveis a preços elevados devido a funcionalidades especiais do produto. Conforme o mercado vai sendo saturado, o preço do produto diminui para se atingir novos nichos. Esta prática é recomendada quando há um elevado grau de diferenciação do produto. A estratégia de penetração no mercado é utilizada para se acelerar a adoção de um novo produto ou estabelecê-lo como o padrão no mercado. É apropriado para empresas com vantagem de custo e economia de escala sobre seus pares. Na estratégia curva de experiência, os

custos diminuem com o volume de produção acumulado devido ao aumento da familiaridade com o processo de montagem e outros fatores inerentes ao produto sendo produzido.

Ainda segundo Grunenwald e Vernon (1988), os fatores do ambiente de mercado em que o produto será inserido, econômicos e tecnológicos, devem ser particularmente avaliados quando se trata de produtos com alta tecnologia.

Como este trabalho direciona-se a pequenas empresas de base tecnológica, que não possuem grandes vantagens de custo nem economia de escala para competir na estratégia de penetração no mercado, e também não possuem um produto altamente diferenciado para utilizarem a estratégia de manutenção de preços elevados, como os grandes *players*, considera-se adequada a estratégia da curva de experiência na precificação de produtos. A operacionalização desta estratégia será descrita a seguir.

O fenômeno da curva de experiência foi inicialmente observado por Wright, em 1936, quando observou que a quantidade de homem-hora necessária para se produzir um determinado modelo de avião da Boeing diminuía sistematicamente com cada unidade produzida (YEH; RUBIN, 2012). A equação proposta por Wright, que ele denominou de curva de progresso, tem a seguinte forma:

$$Y = aX^b \quad (1)$$

Em que Y representa a média de homem-hora por unidade produzida de X, a é a quantidade de homem-hora necessária para se produzir a primeira unidade e b ($b < 0$) é chamada de porcentagem de aprendizagem. O valor da constante b geralmente é determinado por análise estatística de dados de custo de produtos similares. Quando não há informações disponíveis, podem ser utilizados manuais de referência de custo, como o proposto por Stewart *et al.* (1995). Para equipamentos eletrônicos com processo de manufatura repetitivo, a porcentagem de aprendizagem gira em torno de 90-95%. A análise para custo de produto utiliza a mesma equação acima, com os valores de homem-hora sendo substituídos pelo custo de produção.

A equação acima pode ser reescrita por:

$$\log(Y) = b\log(x) + \log(a) \quad (2)$$

A equação na forma logarítmica é a equação mais popular utilizada para representar as melhorias no custo de uma determinada tecnologia.

2.6 Conceitos fundamentais de custos

Nesta etapa, antes de apresentar as técnicas de EC, serão apresentados alguns conceitos fundamentais e as principais classificações dos custos. De acordo com a moderna contabilidade de custos, é comum se classificar os custos sob dois pontos de vista (H'MIDA *et al.*, 2006). A primeira classificação é a econômica e divide os custos em:

- Custo direto: são diretamente alocados a um objeto de custo, como um componente de um produto.
- Custo indireto: são os custos que não podem ser diretamente alocados a um objeto de custo.

A segunda classificação é a morfológica e divide os custos em:

- Custo de material: ocorre por meio do consumo de materiais.
- Custo de mão-de-obra: ocorre por meio da utilização da força de trabalho.
- Custo de *overhead*: ocorre pelo consumo de elementos de custo diferentes dos citados acima.

Os modernos sistemas de gestão de custo devem ser adequados para a dinâmica do ambiente de atuação do negócio. Um dos métodos mais adotados pelas empresas é o sistema ABC. O sistema ABC é uma poderosa ferramenta para medir o desempenho de uma empresa, o qual associa os custos aos produtos/serviços baseados nos recursos que os mesmos consomem (KAPLAN; COOPER, 1998). Outros métodos de custeio utilizados em sistemas de gestão de custos são: custo *kaizen*, custeio-meta e o custo do ciclo de vida.

O custo *kaizen* é uma técnica de custo que reflete continuamente o esforço para se reduzir o custo do produto, melhorar a qualidade e/ou o processo de produção (BARFIELD *et al.*, 2000).

O custeio-meta foi criado no Japão como resultado da necessidade de se criar um conceito orientado ao mercado na perspectiva econômica global, crescimento da concorrência, novas tecnologias, inovações e menor ciclo de vida do produto (GRAHOVAC; DEVEDZIC, 2010). De acordo com Monden e Hamada (1991), o custeio-meta, *Genkakikaku* em japonês, pode ser definido como um sistema de apoio ao processo de redução de custo nas fases de desenvolvimento e projeto de um novo modelo de produto, de mudanças em um modelo existente ou de mudanças incrementais.

O custo do ciclo de vida representa a soma dos custos incorridos das atividades de todo o ciclo de vida do produto, desde a concepção até o descarte (ASIEDU; GU, 1998). De acordo com Jeziorek (2005), o custo do ciclo de vida pode ser traduzido por meio da seguinte equação:

$$\text{Custo do ciclo de vida} = \text{R\$Desenvolvimento} + \text{R\$Produção} + \text{R\$Operação} \quad (3)$$

Em que o custo de desenvolvimento inclui o custo de projeto, testes e validação, e pode ser traduzido por meio da equação:

$$\text{R\$Desenvolvimento} = \text{R\$Mão - de - Obra} + \text{R\$Material} \quad (4)$$

Já o custo de produção inclui o custo de manufatura dos componentes, mão-de-obra, materiais, custos de fábrica e manutenção:

$$\text{R\$Produção} = \text{R\$Mão - de - obra} + \text{R\$Materiais} + \text{R\$Fábrica} + \text{R\$Manutenção} \quad (5)$$

O custo de operação inclui os custos com manutenção, energia, tempo e disposição:

$$\text{R\$Operação} = \text{R\$Mão - de - obra} + \text{R\$Consumíveis} + \text{R\$Fábrica} + \text{R\$Manunção} + \text{R\$Disposição} \quad (6)$$

Quando se analisa o custo do ciclo de vida, decisões econômicas sobre *trade-offs* são realizadas, como por exemplo: investir na compra de um produto mais caro, mas com um menor custo de operação e manutenção; ou investir em um produto mais barato, mas com maiores custos operacionais e de manutenção (DIETER, 2000).

O PMI (2013) apresenta um modelo para a gestão de custos. Os quatro principais processos da gestão de custos são:

- Planejamento dos recursos: determinação de quais recursos (pessoas, equipamentos, materiais) e em quais quantidades serão utilizados para a execução das atividades.
- Estimativa de custo: desenvolvimento de uma aproximação (estimativa) dos custos dos recursos necessários para se completar as atividades do projeto.
- Orçamento: alocação da estimativa geral de custo para as atividades individuais.
- Controle do custo: controlar as mudanças no orçamento do projeto.

A Tabela 2 apresenta os itens de gestão de custos em projetos que tratam do processo de EC presentes no PMBOK (PMI, 2013).

Tabela 2: Processo de EC.

continua...

Gestão de Custo em Projetos

7.1 Planejamento dos Recursos

...

7.2 Estimativa de Custo

.1 Entradas

- .1 WBS
- .2 Necessidade de recursos
- .3 Proporção dos recursos
- .4 Estimativa da duração das atividades
- .5 Publicações de estimativas
- .6 Informações históricas
- .7 Plano de contas
- .8 Riscos

.2 Ferramentas e Técnicas

- .1 Estimativa por analogia
- .2 Modelagem paramétrica
- .3 Estimativa bottom-up
- .4 Ferramentas computacionais
- .5 Outros métodos de estimativa

Tabela 2: Processo de EC.

conclusão...

.3 Saídas

- .1 Estimativas de custo
- .2 Detalhes dos apoios
- .3 Plano de gestão de custos

7.3 Orçamento

...

7.4 Controle de Custo

...

Fonte: PMI, (2000).

Esses principais processos interagem entre si e com outras áreas do projeto. Cada processo principal é representado por entradas; ferramentas e técnicas; e saídas. A seguir será detalhado o processo de EC, um dos quatro principais processos, de acordo com o PMI. O processo de estimativa de custo possui como entradas:

- *Work Breakdown Structure* (WBS): é utilizada para organizar as estimativas de custo e garantir que todo o trabalho necessário tenha sido identificado.
- Necessidade de recursos: descrição de quais tipos de recursos será necessário para cada elemento mais baixo da WBS e em quais quantidades.
- Taxa dos recursos: as taxas de utilização para cada recurso (e.g. custo de mão-de-obra por hora) devem ser reconhecidas ou estimadas.
- Estimativa de duração das atividades: a duração das atividades afeta o custo de qualquer projeto.
- Publicações: publicação técnica sobre EC.
- Informação histórica: informação de custos das categorias de recursos de projetos anteriores, publicações técnicas e do conhecimento do time do projeto.
- Plano de contas: a estrutura de contas da organização utilizada nos relatórios financeiros, onde serão alocados os objetos de custo.
- Riscos: consideração das informações sobre riscos na produção das EC, pois os riscos podem ter um significativo impacto nos custos.

Quanto às ferramentas e técnicas, o PMI (2013) cita como abordagens de EC a analogia, a modelagem paramétrica, a engenharia industrial e as ferramentas computacionais, que serão descritas em um tópico posterior. Como saídas, após a elaboração das EC, têm-se os seguintes itens:

- EC: avaliações quantitativas dos prováveis recursos necessários para completar as atividades, que serão refinadas durante o desenvolvimento do projeto.
- Informações de suporte: informações que darão suporte às estimativas realizadas, como por exemplo, a descrição do escopo do trabalho estimado, documentação base da estimativa, considerações utilizadas e uma indicação da faixa dos possíveis resultados, e.g. margem de erro.
- Plano de gestão dos custos: elaboração de um plano que descreva como as variações de custo serão gerenciadas.

De acordo com Kwak e Watson (2005), alguns dos fatores que afetam o crescimento dos custos em um projeto são:

- Introdução de novas tecnologias.
- Mudanças no escopo do projeto.
- Mudanças na especificação ou funções.
- Flutuações no mercado.
- Mudanças políticas.
- Mudanças no prazo do projeto.

No próximo tópico serão apresentadas as principais técnicas de apoio à EC.

2.7 Técnicas de apoio às estimativas de custo

Nesta seção serão apresentadas as principais técnicas utilizadas no processo de estimativa de custos. O termo técnica pode ser definido como um procedimento sistemático definido e empregado por um recurso humano para realizar uma atividade a fim de produzir um produto ou resultado ou entregar um serviço, podendo utilizar uma ou várias ferramentas (PMI, 2013). O processo de EC consiste no desenvolvimento de uma estimativa dos custos dos recursos para completar as atividades de um projeto, levando-se em consideração as causas de variação da estimativa final para um melhor

gerenciamento do projeto. Também é importante a diferenciação de custo do conceito de preço, sendo este último uma decisão de negócio, ou seja, a organização decidirá quanto irá cobrar pelo produto ou serviço entregue. Segundo Dieter (2000), EC são elaboradas, dentre outros objetivos:

- Estabelecer o preço de venda de um produto ou para uma cotação de uma mercadoria ou serviço.
- Estabelecer o método mais econômico, processo ou material para se manufaturar um produto.
- Ser usada em um programa de redução de custo.
- Determinar padrões de desempenho da produção que podem ser usados para se controlar os custos.
- Prover informações iniciais sobre a lucratividade de um novo produto.

Dieter (2000) argumenta que as informações sobre custos raramente são publicadas pelas empresas, não porque o assunto seja tedioso, mas porque custos é um tipo de informação altamente sigilosa e influencia a competitividade da organização. De acordo com Brown (2002), quatro técnicas são bastante utilizadas como apoio para se chegar à EC do produto:

- Julgamento do especialista: consiste na consulta com um ou mais especialistas, que têm experiência passada em projetos similares ao proposto e que possui a capacidade de propor uma EC.
- Analogia: é similar ao julgamento do especialista, mas baseia-se em dados. Dados reais de projetos passados são utilizados como base e ajustados por especialistas para o tipo de tecnologia, aplicação e diferenças em complexidade do produto.
- Paramétrica: é uma metodologia que utiliza técnicas analíticas, custos históricos e outras variáveis do projeto como as características físicas e de desempenho do sistema para se gerar uma EC. O objetivo é obter dados de projetos passados e por meio de técnicas matemáticas definir um modelo de entrada de dados (parâmetros) que será utilizado para se estimar os custos.
- Engenharia industrial: é uma abordagem de EC *bottom-up* que utiliza detalhadas estimativas dos níveis mais simples de um sistema, como por

exemplo, o nível de componentes, que vão sendo consolidadas até o nível do sistema como um todo.

As vantagens e desvantagens de cada técnica de EC estão sumarizadas na Tabela 3. Kwak e Watson (2005) sugerem que ferramentas tecnológicas que melhoram os métodos de EC devem focar nos seguintes aspectos:

- Captura e retenção de informação histórica.
- Facilidade na manipulação da base de dados de custo.
- Aplicação de algoritmos.
- Validação estatística.
- Tempo de execução e geração de relatórios.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens das técnicas de EC.

continua...

Técnica	Vantagens	Desvantagens
Julgamento do especialista	Julgamento baseado em diferenças técnicas, aplicações ou complexidade para se chegar a uma estimativa plausível. Obtenção de estimativas com dados escassos e quando prazo é curto.	Essa abordagem baseia-se demais na objetividade e conhecimento do especialista.
Analogia	É relativamente simples e rápida de se executar. Precisão pode melhorar, pois é baseada em dados históricos reais. De fácil entendimento e precisão com pequenos desvios do parâmetro usado como analogia.	Qualidade dos dados pode ser questionável. Dados podem não representar bem projetos futuros. Pode ser difícil identificar análogo apropriado. Requer normalização dos dados para garantir precisão. Utiliza extrapolação e/ou julgamento do especialista para ajustar os fatores.
Paramétrica	Após o desenvolvimento do modelo, o tempo para se produzir uma estimativa é mínimo. Estimativas desenvolvidas com dados reais e com foco nos direcionadores de custo. Resultados são repetíveis. Elimina confiança da opinião, uma vez que os dados são reais. Baseia-se em correlação lógica e completa.	Os dados podem não acompanhar a rápida evolução tecnológica, não sendo uma boa representação do futuro. Depende de um especialista para suprir as informações de entrada. Deve atender a todos os requisitos para validação e aceitação. Coleta de dados e geração de relações de custo é difícil. Perde credibilidade fora da faixa de dados relevante para análise.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens das técnicas de EC.

conclusão...

Engenharia Industrial	Quando a informação e tempo estão disponíveis, essa é a melhor abordagem, pois apresenta a melhor estimativa de custos de cada componente do sistema, tornando fácil gerenciá-lo. É intuitiva e defensível. Credibilidade garantida pela visibilidade de cada base de EC. Robusta, pois a estimativa completa não é comprometida por um custo individual errado. Reutilizável e de fácil transferência para outros projetos.	Consome tempo e o número de colaboradores é alto. Por analisar o nível de componentes, a integração é negligenciada. Muitas vezes a informação detalhada não está disponível. Maior custo. Suscetível a erros por omissão/dupla contagem. Não está prontamente disponível para testes “e-se”. Novas estimativas devem ser construídas para cada cenário. Não pode prover nível estatístico de confiança. Relacionamentos entre os elementos de custo devem ser programados pelo analista.
------------------------------	--	---

Fonte: Adaptado de Brown, (2002) e NASA, (2015).

Cada abordagem de EC é melhor aplicável em uma etapa do ciclo de vida do produto, conforme ilustra a Figura 6. Nas etapas iniciais, em que a incerteza é maior e a quantidade de informação é menor, as abordagens mais utilizadas são a ordem de magnitude grosseira, a analogia ampla e a modelagem paramétrica. Na medida em que o projeto vai se desenvolvendo e a quantidade de informações aumenta, a EC paramétrica perde importância e a engenharia industrial e a analogia estrita tornam-se as técnicas mais importantes. Também se pode verificar que o julgamento do especialista acompanha o processo de EC durante todas as fases do ciclo de vida, sendo importante, sempre que possível, ter um *expert* no assunto na equipe de desenvolvimento responsável pela EC (NASA, 2015).

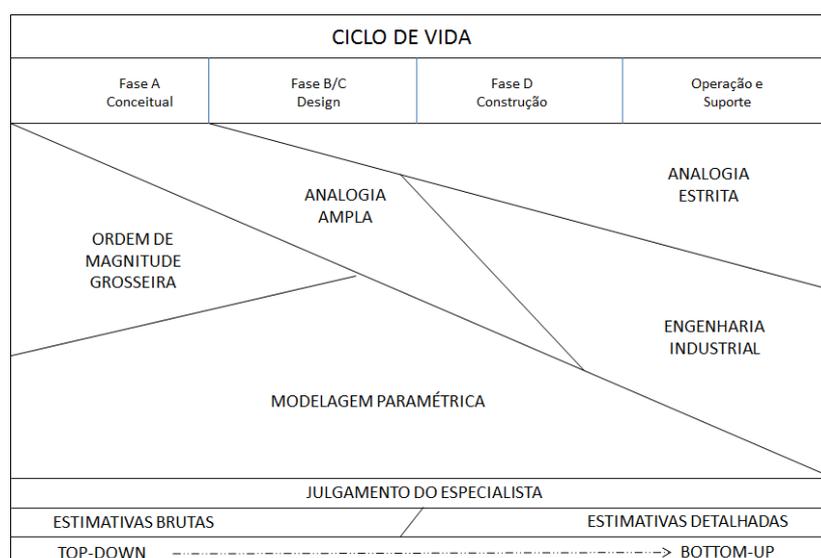


Figura 6: Técnicas de estimativa de custo por fase do ciclo de vida.

Fonte: Adaptado de Brown, (2002) e NASA, (2015).

Para o desenvolvimento de uma boa EC para produtos mecatrônicos, é importante levar em consideração os custos de software e de hardware (componentes mecânicos, eletrônicos e de controle). Em cada domínio específico de engenharia há técnicas já consagradas na literatura e na prática. O grande desafio remete à capacidade de integração das diferentes técnicas de EC para cada domínio específico do produto mecatrônico e a inserção destas técnicas dentro do PDP para serem utilizadas como apoio à tomada de decisão. A seguir serão apresentadas as técnicas de EC para software e hardware, procurando-se verificar as lacunas quanto à aplicação na EC de produto mecatrônico.

2.8 Estimativa de custo de software

A EC para software é um processo de difícil solução na gestão do desenvolvimento de software. Diferentemente dos produtos tradicionais, que incluem o custo de matéria-prima e consumo energético, por exemplo, o custo de software inclui basicamente o custo de mão-de-obra, ou seja, o *know-how* do desenvolvedor (QIN; FANG, 2011). Geralmente, o custo de software é estimado por linhas de código (LC) ou por pontos por função (PPF), sendo a última abordagem a mais aceita. Os métodos de EC para software podem ser divididos em dois grandes grupos: algorítmicos e não algorítmicos (KHATIBI; JAWAWI, 2011).

2.8.1 Métodos algorítmicos

Os métodos algorítmicos fazem uso de um algoritmo especial. Utilizam dados e geram resultados que se baseiam em relações matemáticas por meio de uma equação:

$$\text{Esforço} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7)$$

Em que a função $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ se baseia em um vetor de custos, definido de acordo com as características do sistema sendo desenvolvido. Os vetores de custo usados nos modelos são relacionados ao produto, aos recursos computacionais, aos fatores da equipe e às características do projeto.

De acordo com Khatibi e Jawawi (2011), os principais métodos algorítmicos são descritos a seguir:

- LC: é um parâmetro de estimativa que ilustra o número de todos os comandos e as definições de dados, mas deixa de fora algumas instruções como comentários, espaços, etc. É geralmente utilizado como uma analogia, em que é realizada uma comparação com outros projetos. É um método de aplicação complexa nos estágios iniciais do projeto devido à falta de informação. Também é difícil comparar projetos realizados em linguagens de programação diferentes. O LC é geralmente computado de acordo com a fórmula:

$$S = \frac{S_L + 4S_M + S_H}{6} \quad (8)$$

Em que:

S_L é o menor tamanho provável.

S_H é o maior tamanho provável.

S_M é o tamanho mais provável.

- PPF: métrica utilizada inicialmente para medir a funcionalidade do projeto. A estimativa é realizada por meio de uma série de indicadores: entradas, saídas, arquivos lógicos, execução e interfaces. Um grau de complexidade e um peso são definidos para cada indicador e utilizados em uma função. Este método é útil para EC, pois pode ser utilizado nos estágios iniciais do projeto (KHATIBI; JAWAWI, 2011).
- Seer-Sem: modelo proposto em 1980 pela corporação Galorath. A maior parte dos parâmetros deste método são comerciais. O tamanho do software é o mais importante fator utilizado neste método, e um parâmetro definido como tamanho efetivo (S_E) é computado por meio de cinco indicadores:

$$S_E = \text{Newsize} + \text{ExistingSize}(0.4\text{Redesign} + 0.25\text{reimp} + 0.35\text{Retest}) \quad (9)$$

Depois de calculado o parâmetro S_E , o esforço estimado é calculado por meio da equação:

$$\text{Esforço} = t_d = D^{-0.2} \left(\frac{S_e}{C_{te}} \right)^{0.4} \quad (10)$$

Em q D relaciona-se aos aspectos de equipe e C_{te} é computado de acordo com a produtividade e eficiência do projeto.

- Modelos lineares: possuem uma estrutura simples e são calculados por meio de equações, como a abaixo:

$$\text{Esforço} = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (11)$$

Em que os parâmetros são definidos de acordo com as informações do projeto.

- Métodos multiplicativos: estes modelos têm a forma da equação abaixo:

$$\text{Esforço} = a_0 \prod_{i=1}^n a_i^{x_i} \quad (12)$$

Em que os parâmetros são definidos de acordo com as informações do projeto, e os valores permitidos para x_i são -1, 0 e +1.

- COCOMO: COCOMO 81 é o mais popular método da categoria de métodos algorítmicos. Utiliza algumas equações e parâmetros, que são derivados de experiências anteriores sobre EC de software. COCOMO II é a última versão. Projeta a quantidade de esforço baseando-se em pessoas-mês, utilizando-se de PPF ou LC como métrica e é composto por dezessete multiplicadores de esforço e cinco fatores de escala. O COCOMO II possui alguns recursos especiais e os resultados possuem boa acurácia (KHATIBI; JAWAWI, 2011). O modelo COCOMO será descrito em um maior nível de detalhe em uma seção posterior.
- Modelo de Putnam: Método foi proposto utilizando-se a distribuição de mão-de-obra e a análise de uma série de projetos de software. A principal equação do modelo é dada por:

$$S = E(\text{Esforço})^{1/3} \cdot t_d^{4/3} \quad (13)$$

Em que E é um indicador do ambiente e demonstra sua habilidade, t_d é o tempo de entrega. Esforço e S são expressos em pessoa-ano e linhas de código, respectivamente. Putnam apresenta outra fórmula para esforço:

$$\text{Esforço} = D_0 \times t_d^3 \quad (14)$$

Em que D_0 , é um fator referente à mão-de-obra e varia de 8 (novo software) até 27 (software reconstruído). Pela combinação das equações acima, chega-se à equação final:

$$\text{Esforço} = (D_0^{4/7} \times E^{-9/7}) \times S^{9/7} \quad (15)$$

$$t_d = (D_0^{-1/7} \times E^{-3/7}) \times S^{3/7} \quad (16)$$

A ferramenta SLIM (Gerenciamento do ciclo de vida de Software) segue o modelo proposto por Putnam (KHATIBI; JAWAWI, 2011).

2.8.2 Métodos não algorítmicos

Os métodos não algorítmicos se baseiam em comparações analíticas e inferências. Três dos mais populares métodos desta categoria são descritos a seguir, de acordo com Khatibi e Jawawi (2011).

- Analogia: neste método, vários projetos de software finalizados são utilizados para os custos e esforço do projeto sendo desenvolvido. Os passos deste método se resumem: i) escolha da analogia, ii) investigação das similaridades e diferenças, iii) verificação da qualidade da analogia e iv) estimativa.
- Julgamento do especialista: é realizado por meio de consultas a especialistas que possuem experiência em projetos similares. É recomendado a sua utilização quando há falta de dados e falta de definição dos requisitos.
- Métodos baseados em sistemas de aprendizagem: podem aumentar a acurácia da estimativa por meio de regras e ciclos repetitivos de iteração. São divididos em dois grandes métodos: redes neurais e lógica *fuzzy*. Redes neurais se caracterizam por três entidades: neurônios; estrutura de interconexão e algoritmos de aprendizagem. As redes neurais incluem várias camadas em que cada camada é composta de vários elementos chamados neurônios. Após a construção da rede, o algoritmo é treinado por meio de uma base de dados, que tende à convergência após várias iterações do modelo. Esses elementos, investigando os pesos definidos para os *inputs*, produzem os *outputs*,

que serão o esforço necessário para o projeto. Com o treinamento finalizado, uma nova base de dados pode ser utilizada para a previsão do nível de esforço do projeto.

Os métodos que trabalham com a lógica *fuzzy* buscam simular o comportamento e forma de pensar humanos. São métodos usados em casos em que a tomada de decisão é difícil e as condições são vagas. Possuem quatro estágios: i) fuzzyficação: produzir números trapezoidais para os termos linguísticos, ii) desenvolver a matriz de complexidade para os novos termos linguísticos, iii) determinar a taxa de produtividade e as tentativas para os novos termos linguísticos, iv) defuzzyficação: determinar o esforço necessário para se completar uma tarefa e comparar com o método existente.

Khatibi e Jawawi (2011) concluem que para se utilizar os métodos não algorítmicos é necessário possuir informação suficiente sobre os mesmos projetos porque esses métodos se baseiam em dados históricos. Eles também são de fácil aprendizagem, pois segue o comportamento humano. Por outro lado, os métodos algorítmicos baseiam-se em matemática e equações experimentais. Eles são de difícil aprendizagem e precisam de uma maior quantidade de dados sobre o estágio atual do projeto. Mas se a informação está disponível, são muito precisos e os diferentes métodos se complementam.

De acordo com Boehm *et al.* (2000), modelos e técnicas de EC para software são utilizadas para uma série de propósitos:

- Orçamento: O propósito primário, mas não o único uso importante. Acurácia da estimativa geral é a mais requerida capacidade.
- *Tradeoff* e análise de risco: Uma importante capacidade adicional é auxiliar nas análises de sensibilidade e nas decisões de projeto.
- Planejamento e controle do projeto: Prover informações de custo e tempo por componente do projeto, etapa ou atividade.
- Análise de investimento para melhorias de software: Auxiliar nas EC, bem como nos benefícios das estratégias de utilização de ferramentas, reuso e maturidade do processo.

O autor propõe outra classificação que possui seis grandes categorias de técnicas para EC para software, que são baseados (as), conforme apresentado na Figura 7:

- Em modelos: boas para orçamento, análise de *tradeoff*, planejamento e controle, e análise de investimento.
- No conhecimento: são úteis na falta de dados quantificáveis e empíricos, utilizando-se da experiência do especialista.
- Na aprendizagem: incluem técnicas tradicionais, como estudo de caso, com técnicas mais recentes, como redes neurais, que buscam aprender de experiências passadas.
- Na dinâmica: levam em conta que os esforços do projeto e fatores de custo mudam durante o desenvolvimento do sistema.
- Na regressão: é a maneira mais popular de se construir modelos.
- Na combinação de técnicas: utilizam duas ou mais técnicas na formulação da estimativa mais apropriada funcionalmente.

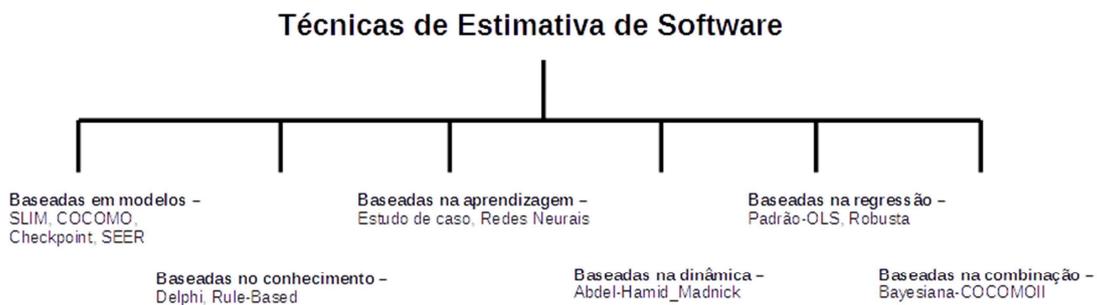


Figura 7: Técnicas de estimativa de software.

Fonte: Boehm *et al.* (2000).

A Tabela 4 sumariza as características de cada técnica e os principais modelos de cada categoria.

Tabela 4: Principais modelos de EC de software.

continua...

Técnica	Tipo	Características
Baseadas em modelos	SLIM	Baseia-se na análise do ciclo de vida utilizando-se da distribuição estatística Rayleigh da mão-de-obra utilizada no projeto x tempo. Suporta vários tipos de métodos de estimativa de dimensionamento. A estimativa é refinada por meio de índices de produtividade e tecnologia.
	Checkpoint	Modelo baseado no conhecimento. Utiliza pontos por função. Possui uma base de dados proprietária de 8000 projetos de software e foca em quatro áreas de gerenciamento para melhoria da qualidade e produtividade (tecnologia, processo de desenvolvimento, ambiente e gestão de pessoas). Foca em três recursos para apoiar o ciclo de vida do software: estimativa, medida e avaliação.
	Price-S	Modelo proprietário. As estimativas baseiam-se em três submodelos, que permitem a estimativa de custos e prazos para o desenvolvimento e suporte de sistemas computacionais: aquisição, dimensionamento do software e ciclo de vida.
	Estimacs	Foca na fase de desenvolvimento do ciclo de vida, sendo a parte de suporte do sistema deixada para análise em outras extensões da ferramenta. Estimativas baseadas em termos do negócio, realizando análise de sensibilidade e trade-off no início do desenvolvimento. As dimensões críticas de estimativa são: horas, tamanho da equipe e desenvolvimento, custo, necessidade de recursos de hardware, risco e impacto no portfólio.
	SEER-SEM	Sofisticada ferramenta que realiza análises de cima para baixo e de baixo para cima. As equações do modelo são proprietárias e as estimativas são paramétricas. Cobre todo o ciclo de vida. Adicionalmente, oferece pacotes de ferramentas que direcionam problemas de hardware e software.
	SELECT estimator	Ferramenta desenvolvida para projetos de grande escala. As estimativas são baseadas no conceito de objetos e componentes do negócio, que vão sendo incrementadas no processo. Possui dois módulos: arquitetura do projeto (define o escopo e qualifica os principais elementos do projeto de software) e estimador (utiliza o output da arquitetura do projeto para calcular prazos e custo).
	COCOMO II	Originou-se do COCOMO de 1981 e 1987 como uma experiência das dificuldades passadas. Busca direcionar problemas, como por exemplo, desenvolvimento não sequencial, desenvolvimento rápido, reengenharia. Possui três submodelos: aplicações, projeto inicial e pós arquitetura.
Baseadas no conhecimento	Delphi	Técnica utilizada para guiar um grupo a atingir consenso na opinião em um problema a ser resolvido, que vai sendo refinado e delimitado rodada após rodada.
	WBS	Utilizada tanto em hardware quanto em software. É um método para organizar os elementos do projeto em uma forma de hierarquia que simplifica as atividades, a estimativa e o controle.

Tabela 4: Principais modelos de EC de software.

conclusão...

Baseadas na aprendizagem	Estudo de caso	Processo indutivo, em que os analistas buscam aprender por exemplos gerais e heurísticas e extrapolam para projetos específicos.
	Redes neurais	Modelo de estimativa que pode ser treinado utilizando-se de dados históricos para produzir melhores resultados, pelo ajuste automático dos parâmetros do algoritmo para reduzir o delta dos projetos conhecidos e dos projetos a serem estimados.
Baseadas na dinâmica	Técnica Dinâmica	Diferentemente das outras estimativas, que são estáticas, levam em consideração as flutuações das variáveis do desenvolvimento de produto, como mão-de-obra, prazos e necessidades.
	Dinâmica do sistema	Baseada na contínua modelagem simultânea em que os resultados e comportamento do modelo são apresentados como gráficos de informação que mudam com o tempo.
Baseadas na regressão	Regressão padrão	Técnica clássica da análise de regressão que utiliza o método dos quadrados mínimos para estimar os coeficientes e formular uma equação a ser usada na estimativa de custo.
	Regressão robusta	É uma melhoria da regressão padrão que busca amenizar o problema dos pontos fora da curva e discordâncias no processo de desenvolvimento de software.
Baseadas na combinação	Abordagem bayesiana	Abordagem provê um processo formal em que o conhecimento a priori do especialista é combinado com amostra de dados para produzir um modelo a posteriori mais robusto.

Fonte: Adaptado de Boehm *et al.* (2000).

Boehm *et al.* (2000) concluem que nenhum método ou modelo único deve ser preferível sobre os demais. A chave para se chegar a uma boa EC é usar uma variedade de métodos e ferramentas e fazer uma comparação sobre qual o melhor método a ser aplicado.

Observando-se as características das técnicas de EC para software da Tabela 5, nota-se que a maioria das técnicas não aborda o custo para hardware, com algumas exceções, descritas a seguir. O modelo ESTIMACS possui um submodelo que dimensiona as necessidades de recursos de hardware para o sistema que está sendo desenvolvido. Esse submodelo recebe uma série de parâmetros de entrada e tem como saída informações como a capacidade do processador necessário e necessidade de armazenamento, que podem ser utilizadas na EC para hardware. No modelo SEER-SEM, podem ser adicionados módulos que são utilizados na resolução de problemas na estimativa de hardware e software.

2.8.3 COCOMO

O modelo COCOMO (Modelo de Custo Construtivo – COConstructive COSt MOdel) é o modelo mais citado na literatura de EC para software, sendo o mais reconhecido e o mais plausível de todos os modelos de predição tradicionais de custo para software (ATTARZADESH; OW, 2010, FARR, 2011).

É um modelo de EC algorítmico, desenvolvido por Boehm (1984). O modelo utiliza uma fórmula básica de regressão com parâmetros derivados de projetos históricos e correntes bem como características do projeto futuro. O modelo é utilizado para estimativa de esforço, custo e programação para projetos de software. Foi derivado de 63 projetos de software, com tamanho entre 2.000 e 100.000 LC e diferentes níveis de linguagem de programação.

COCOMO II foi o sucessor do COCOMO 81 e é melhor aplicável para estimativa de modernos projetos de software, com suporte à base de dados atualizada. O desenvolvimento do modelo acompanhou a evolução dos computadores. COCOMO consiste em três níveis de hierarquia com crescente nível de detalhamento: COCOMO básico, COCOMO intermediário e COCOMO detalhado.

COCOMO BÁSICO

O primeiro nível é utilizado para uma estimativa rápida, prematura e de ordem de magnitude, mas a acurácia é limitada devido à falta de fatores que levam em conta as diferenças nos atributos de projeto. O COCOMO básico computa o esforço (e custo) como uma função do tamanho do programa. O tamanho do programa é expresso em milhares de linhas de código estimadas (KLOC).

O modelo se aplica para três classes de projeto:

- Projetos orgânicos: projetos que envolvam pequenos times com boa experiência com requisitos de projeto não rígidos.
- Projetos semi-desacoplados: times médios com média experiência e requisitos de projeto rígidos e não rígidos.
- Projetos embarcados: desenvolvidos com um conjunto de restrições. É também uma combinação de projetos orgânicos e semi-desacoplados (hardware, software e operacionais).

As equações básicas são:

$$\text{Esforço aplicado (E)} = a_b(\text{KLOC})^{b_b} \text{ (pessoa – meses)} \quad (17)$$

$$\text{Tempo de desenvolvimento (D)} = c_b E^{d_b} \text{ (meses)} \quad (18)$$

$$\text{Pessoal (P)} = \frac{E}{D} \text{ (número)} \quad (19)$$

Onde, KLOC é o número estimado de linhas (em milhares) de código do projeto. Os coeficientes a_b , b_b , c_b e d_b seguem a Tabela 5:

Tabela 5: Coeficientes das equações de COCOMO.

Projeto de software	a_b	b_b	c_b	d_b
Orgânico	2.4	1.05	2.5	0.38
Semi-desacoplado	3	1.12	2.5	0.35
Embarcado	3.6	1.2	2.5	0.32

Fonte: Boehm (1984).

O COCOMO básico é ideal para estimativas rápidas, porém não leva em consideração as restrições de hardware, qualidade e experiência da equipe, utilização de modernas ferramentas e técnicas e outros fatores.

COCOMO INTERMEDIÁRIO

O segundo nível do modelo COCOMO computa o desenvolvimento de software como uma função do tamanho do programa e um conjunto de direcionadores de custo que incluem avaliação subjetiva do produto, hardware, equipe e atributos do projeto. Possui um conjunto de quatro direcionadores de custo, conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Direcionadores de custo de COCOMO.

Atributo
Produto
Confiabilidade requisitada do software
Tamanho da base de dados da aplicação
Complexidade do produto
Hardware
Restrições de desempenho de execução
Restrições de memória
Volatilidade do ambiente da máquina virtual
Tempo de renovação necessário
Equipe
Capacidade do analista
Capacidade do engenheiro de software
Experiência com as aplicações
Experiência com a máquina virtual
Experiência na linguagem de programação
Projeto
Utilização de ferramentas de software
Aplicação dos métodos de engenharia de software
Tempo de desenvolvimento necessário

Fonte: Boehm (1984).

Cada um dos quinze atributos apresentados acima recebe uma nota baseando-se em uma escala com seis notas, de “muito baixo” a “extremamente alto”. Um multiplicador de esforço aplica-se à nota, conforme a Tabela 7. O produto de todos os multiplicadores de esforço resulta em um fator de ajuste de esforço (EAF). Os valores típicos para EAF variam de 0.9 a 1.4.

Tabela 7: Valores dos atributos do COCOMO intermediário.

continua...

Direcionadores de custo	Classificação					
	Muito Baixo	Baixo	Nominal	Alto	Muito Alto	Ext. Alto
Atributos do Produto						
Confiabilidade requisitada do software	0.75	0.88	1	1.15	1.4	
Tamanho da base de dados da aplicação		0.94	1	1.08	1.16	
Complexidade do produto	0.7	0.85	1	1.15	1.3	1.65
Atributos do hardware						
Restrições de desempenho de execução			1	1.11	1.3	1.66
Restrições de memória			1	1.06	1.21	1.56

Tabela 7: Valores dos atributos do COCOMO intermediário.

					conclusão...
Volatilidade do ambiente da máquina virtual	0.87	1	1.15	1.3	
Tempo de renovação necessário	0.87	1	1.07	1.15	
Atributos da equipe					
Capacidade do analista	1.46	1.19	1	0.86	0.71
Experiência com as aplicações	1.29	1.13	1	0.91	0.82
Capacidade do engenheiro de software	1.42	1.17	1	0.86	0.7
Experiência com a máquina virtual	1.21	1.1	1	0.9	
Experiência na linguagem de programação	1.14	1.07	1	0.95	
Atributos do projeto					
Aplicação dos métodos de eng. de software	1.24	1.1	1	0.91	0.82
Utilização de ferramentas de software	1.24	1.1	1	0.91	0.83
Tempo de desenvolvimento necessário	1.23	1.08	1	1.04	1.1

Fonte: Boehm (1984).

A equação para o COCOMO intermediário é a seguinte:

$$\text{Esforço (E)} = a_i(\text{KLOC})^{b_i} \text{EAF} \quad (20)$$

Onde:

E representa o esforço aplicado em pessoa-meses, KLOC é o número estimado de linhas de código para o projeto e EAF é o fator calculado pela Tabela acima. O coeficiente a_i e o expoente b_i são dados pela Tabela 8.

Tabela 8: Valores dos expoentes por tipo de projeto.

Projeto de software	a_i	b_i
Orgânico	3.2	1.05
Semi-desacoplado	3	1.12
Embarcado	2.8	1.2

Fonte: Boehm, (1984).

As equações para o tempo de desenvolvimento (D) utiliza E da mesma forma utilizada no COCOMO básico.

COCOMO DETALHADO

O terceiro nível incorpora todas as características da versão intermediária com uma avaliação dos direcionadores de custo em cada fase do processo de engenharia de software. O modelo detalhado usa diferentes multiplicadores de esforço para cada atributo do direcionador de custo. Esses multiplicadores de esforço sensíveis têm o objetivo de determinar a quantidade de esforço necessário para completar cada fase. Nesta etapa, o software é dividido em diferentes módulos e aplica-se o COCOMO em cada módulo para se estimar o esforço e então se soma o esforço.

No COCOMO detalhado, o esforço é calculado como uma função do tamanho do programa e um conjunto de direcionadores de custo de acordo com cada fase do ciclo de vida do projeto. A programação do projeto detalhado nunca é estática.

O COCOMO detalhado se divide em cinco fases:

- planejamento e necessidades.
- projeto do sistema.
- projeto detalhado.
- codificação dos módulos e teste.
- integração e teste.

2.8.4 Novas abordagens de estimativa de custo para software

Conforme verificados na literatura, as novas abordagens de EC de software buscam o desenvolvimento e calibração dos métodos e ferramentas já consagrados. Busca-se melhorias e otimização das estimativas por meio da combinação de uma ou mais técnicas (MAGAZINIUS *et al.*, 2012), como os trabalhos citados a seguir.

Dillibabu e Krishnaiah (2005) aplicaram o modelo COCOMO II.2000 calibrado para o ambiente de desenvolvimento local por meio de função logarítmica natural e aproximação da curva. O modelo é validado por um critério de escolha dos autores. Foi utilizada a base de dados de 10 projetos para se estimar o nível de esforço real x lógico dos projetos. Os autores concluem que a calibração do modelo é importante e tende a apresentar melhores resultados, pois os projetos variam de empresa para empresa, tanto na escala quanto no ciclo de vida das atividades.

Huang *et al.*(2007) apresentam uma melhoria do modelo COCOMO utilizando a abordagem neuro-*fuzzy*. De acordo com os autores, o modelo desenvolvido se distingue pelas seguintes características: habilidade de aprendizagem, robustez quanto à incerteza e imprecisão, boa interpretação, integração do conhecimento do especialista, boa generalização e reduzido número de funções, e busca de calibração local. A calibração local geralmente melhora as previsões, pois: a escala geralmente é subjetiva, as atividades do ciclo de vida geralmente são diferentes e as definições usadas podem diferir das usadas por uma organização em particular (BOEHM *et al.*, 2000). A técnica neuro-*fuzzy* permite a integração de dados numéricos e o julgamento do especialista e pode ser uma importante ferramenta em problemas de engenharia de software com relação a custo e qualidade da previsão.

Em Mittas *et al.* (2008), busca-se melhorar a estimativa por analogia combinando-a com uma técnica estatística de re-amostragem. Os autores baseiam-se no fato de que a estimativa por analogia é um procedimento proximamente relacionado à regressão não paramétrica, e por meio da técnica de re-amostragem, busca-se uma melhoria da estimativa. Para validação, são utilizados dados reais e artificiais e os resultados mostram melhoria em vários aspectos de acurácia quando comparados.

Azzeh *et al.* (2011) propõe um modelo que integra a estimativa por analogia com números *fuzzy* para melhorar a estimativa nas fases iniciais do projeto. O objetivo é reduzir o erro por medição, inerente ao julgamento humano, e o erro do modelo, devido à inabilidade do modelo em capturar todos dos detalhes do problema. Busca-se, dentro da base de dados, o projeto mais similar ao projeto sendo desenvolvido.

O modelo COSYSMO, Modelo de Custo Construtivo para a Engenharia de Sistemas, (VALERDI *et al.*, 2005,2010) é um método para estimar custo e tempo na engenharia de sistemas que leva em consideração as entradas do projeto de engenharia, e tem como saída pessoas-mês. Este modelo possui uma extensa participação da indústria e da INCOSE (Conselho Internacional da Engenharia de Sistemas). É representado pela seguinte situação:

$$PM_{NS} = Ax(SIZE)^E \times \sum_{i=1}^n EM_i \quad (21)$$

Em que:

PM = esforço em pessoas-mês

A = constante de calibração de projetos passados

Size = determinado pela soma de quatro direcionadores de tamanho

E = representa economia/deseconomia de escala; default é 1.0

N = número de direcionadores de custo (14)

EM = multiplicadores de esforço para o direcionador de custo i th. Nominal é 1.0

Os multiplicadores de esforço são: entendimento dos requisitos, entendimento da arquitetura, nível de serviço, complexidade da migração, risco tecnológico, documentação, quantidade e variedade de instalações/plataformas, quantidade de níveis recursivos no projeto, coesão do time de *stakeholders*, capacidade dos membros/time, experiência dos membros, capacidade do processo, coordenação multi-site e ferramentas de suporte. O modelo leva em consideração a deseconomia de escala, ou seja, grandes sistemas necessitam proporcionalmente mais esforço da engenharia de sistemas para completa-lo do que pequenos sistemas.

Os direcionadores de tamanho têm o objetivo de capturar o tamanho da funcionalidade do sistema pela perspectiva da engenharia de sistemas, e são representados por:

- quantidade de requisitos do sistema: são os requisitos contidos na especificação do sistema.
- quantidade de interfaces principais: é o número de fronteiras físicas e lógicas dentro dos componentes ou funções do sistema.
- quantidade de algoritmos críticos: é o número de novas funções algorítmicas necessários no sistema.
- quantidade de cenários operacionais: são os modos de operação desenvolvidos na arquitetura operacional do sistema.

Khadtare e Smith (2011) apresentam um modelo EC para desenvolvimento de sistemas complexos em larga escala, buscando-se uma otimização do modelo COSYSMO com a abordagem de estruturas fractais. A engenharia de sistemas envolve: 1) produtos e 2) processos. Como produtos, a engenharia de sistemas constrói estruturas de informação que imitam o sistema sendo desenvolvido. Essas estruturas complexas

dos projetos de engenharia são tratadas como fractais, e as EC são elaboradas no nível de cada substrato da estrutura. É uma forma de se organizar a informação de modo a se investigar no nível de detalhe os custos.

Em Mittas *et al.* (2015), analisa-se a melhoria na precisão da EC de software aplicando um componente linear em quatro técnicas de estimativa não paramétrica. O modelo resultante, considerado semi-paramétrico, pode ser utilizado como uma estratégia intermediária a ser utilizada quando certas características de independência das variáveis pode ser considerado um problema na utilização de técnicas paramétricas ou não paramétricas. Os autores ainda fazem as seguintes recomendações: 1) quando o conhecimento anterior do projeto indica apenas dependência linear entre os direcionadores de custo, todas as variáveis devem ser utilizadas no modelo, levando, por exemplo, à técnica básica de análise de regressão, 2) caso haja evidência de não linearidade entre os direcionadores de custo e o esforço gasto no desenvolvimento, então deve ser utilizado uma técnica não paramétrica, 3) quando as circunstâncias indicam a presença de linearidade e não linearidade, então uma abordagem semi-paramétrica deve ser utilizada, pois estabelece estimativas mais precisas e modelos mais robustos.

De acordo com o que foi verificado, observa-se que os trabalhos mais recentes buscam aperfeiçoar os métodos de estimativa existentes por meio da combinação de técnicas tradicionais com outras abordagens, como a lógica *fuzzy* e redes neurais.

2.9 Estimativa de custo para hardware

Nesta etapa serão apresentados alguns modelos de estimativa de custo para hardware. Quanto ao desenvolvimento de hardware, Axelsson (2000) coloca que aparentemente não há um modelo genérico que é seguido para se estabelecer o esforço no desenvolvimento. Cada empresa adapta e cria seus próprios modelos. Mas também a variabilidade no tempo de desenvolvimento geralmente é menor do que no desenvolvimento de software.

Ferreira (1997) apresenta o seguinte modelo para a EC de produtos, que se baseia na abordagem *Design to Minimum Cost*, com ênfase no projeto informacional e conceitual, conforme a Figura 8. No projeto informacional ocorrem as atividades de preparação das informações de custo. Essas informações servirão de base para a EC. O

projeto informacional caracteriza-se pelo levantamento das necessidades técnicas, de custo de aquisição e de custo de utilização dos clientes. Essas necessidades servem de base para o estabelecimento dos requisitos técnicos e de custo do produto, que determinarão as especificações técnicas e de custo.

Na etapa de projeto conceitual, após a definição da estrutura funcional na fase posterior, procede-se com a EC das alternativas de concepção, por meio dos métodos de estimativa de custo. A concepção do produto é então selecionada por meio de uma matriz de decisão. O modelo é aplicado a produtos mecânicos e segue o modelo de desenvolvimento de produtos sequencial.

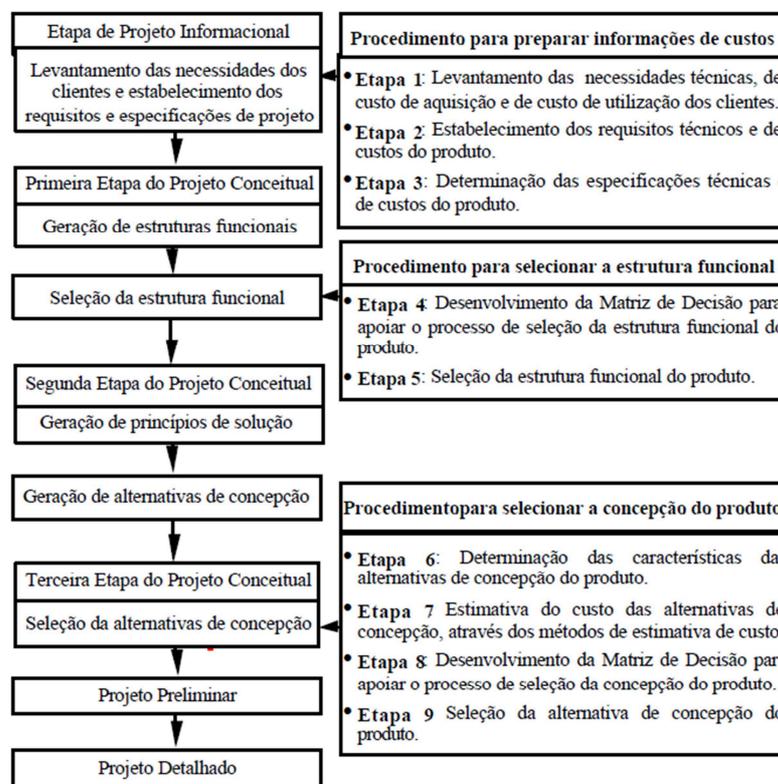


Figura 8: Modelo de estimativa de custo para hardware.

Fonte: Ferreira, (1997).

A estimativa paramétrica pode ser usada em todas as fases de aquisição de hardware (*International Society of Parametric Analysts*, 2008), e.g., desenvolvimento, produção e instalação. Os modelos paramétricos para hardware geralmente baseiam-se de extrapolações de projetos passados e estimam os custos de projetos futuros, utilizando-se de variáveis como peso e tamanho. Para componentes eletrônicos, a variável usada é o tipo de aplicação, enquanto componentes mecânicos e estruturais são

melhores descritos por variáveis como tipo de material, funcionalidade, maquinário e tipo de processo de manufatura.

Alguns dos parâmetros fundamentais utilizados nos modelos de EC para hardware incluem:

- Parâmetros de projeto funcional.
- Quantidade de equipamento a ser desenvolvido, produzido, modificado, subcontratado, integrado e testado.
- Aplicações (tecnologia dos materiais e processos) da estrutura mecânica e eletrônica do hardware.
- Dados da geometria do hardware, como tamanho, peso dos componentes mecânicos e eletrônicos.
- Quantidade de novo projeto necessário e a complexidade das tarefas de engenharia.
- Ambiente operacional e as especificações do hardware.
- Programação do desenvolvimento, produção, compras, modificações, integração e testes.
- Processo de fabricação a ser utilizado na produção.

Na Figura 9, como ilustração, são apresentados os principais parâmetros de entrada e de saída utilizados na abordagem paramétrica para hardware.

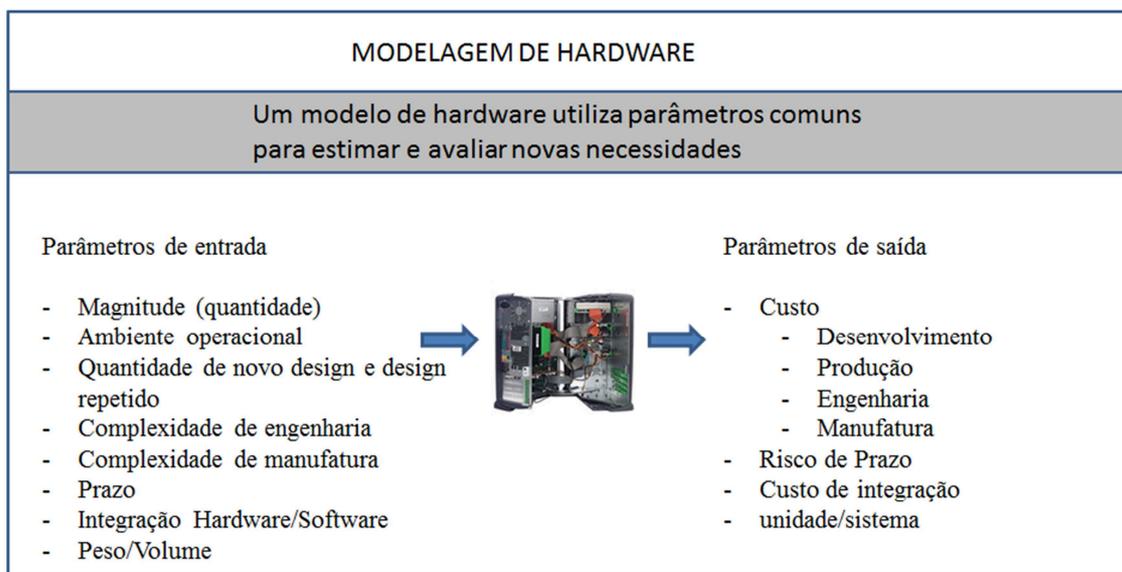


Figura 9: Principais parâmetros na estimativa paramétrica.

Fonte: *International Society of Parametric Analysts*, (2008).

Segundo Kwak e Watson (2005), a estimativa paramétrica é amplamente utilizada para EC para hardware, como por exemplo, em propostas de contrato, como parâmetro de entrada em análise de custo benefício ou como uma ferramenta de pré-planejamento para implementação de um projeto.

Na etapa de cálculo do custo de desenvolvimento do produto mecatrônico, leva-se em consideração o esforço e os recursos utilizados nas atividades de projeto. A entrada desta etapa é o conjunto de atividades do projeto de produto. Devido à complexidade do produto mecatrônico e a grande quantidade de atividades, geralmente as funções são categorizadas em módulos: hardware (mecânico e eletrônico) e software. Um exemplo é a equação básica proposta por Jeziorek (2005), em seu estudo:

$$desHW = \sum_{i \in \text{atividade}} C_{\text{atividade}}^{\text{st}} \cdot T_{\text{horas}} \quad (22)$$

Desta forma, o custo de cada atividade pode ser verificado e calculado, para cada fase de desenvolvimento: projeto conceitual, prototipagem e validação, conforme a Tabela 9:

Tabela 9: Atividades do projeto mecatrônico.

Função	Atividade	Custo por hora da atividade (R\$/Hr)	Total do número de horas por atividade (Hr)	Custo Total do projeto (R\$/Hr)
Software	Projeto Conceitual	500	150	75000
	Prototipagem	...	...	...
	Validação	...	...	...
Hardware	Projeto Conceitual	...	...	...
	Prototipagem	...	...	...
	Validação	...	...	...
Custo total de Desenvolvimento				540000

Fonte: Jeziorek, (2005).

Bernardi *et al.* (2004), apresenta um framework que busca ilustrar as principais atividades relacionados ao desenvolvimento de produtos mecatrônicos, dentro dos

domínios da mecânica, eletrônica e engenharia de software, conforme ilustrado na Figura 10.

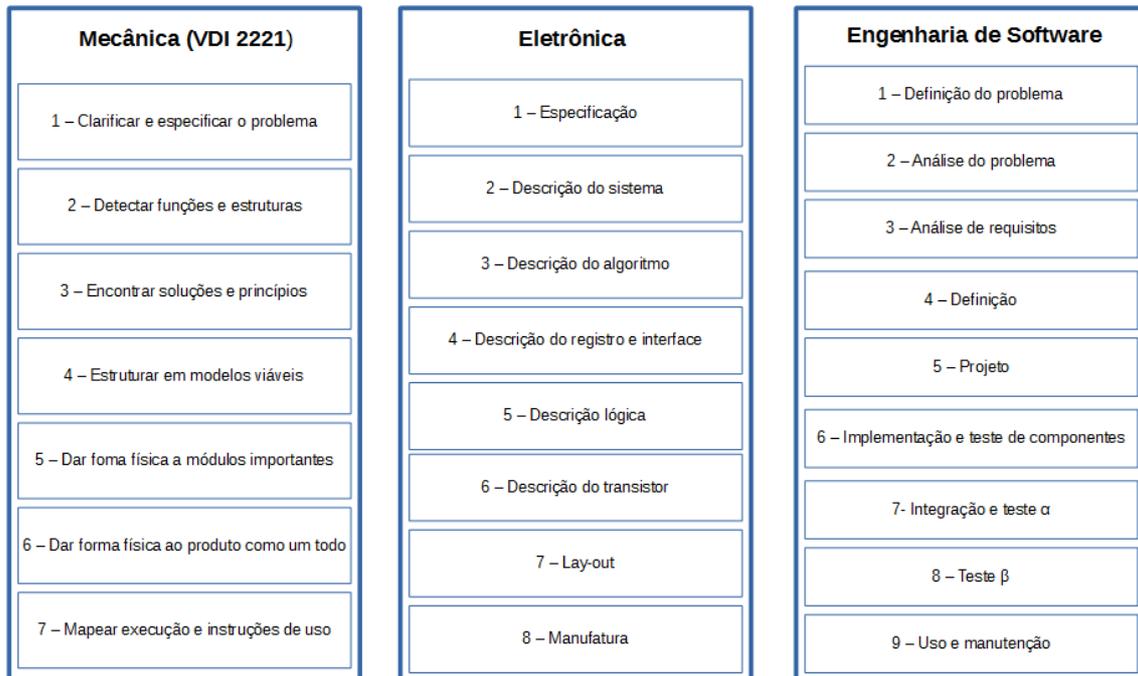


Figura 10: Framework para projeto mecatrônico.

Fonte: Bernardi, *et al.* (2004).

Axelsson (2000) propõe um modelo que possui uma modelagem orientada a objeto, que parte do princípio que o mesmo pode ser facilmente adaptado para várias concepções sem a necessidade de se partir do início a cada novo desenvolvimento de produto.

No desenvolvimento de um produto, várias características, como, por exemplo, especificação, funções, interfaces e desempenho devem ser definidos. A especificação descreve o sistema a ser construído, e consiste em um número de funções, interfaces, desempenho e restrições. As funções descrevem o que o produto deve executar, sendo descritas como uma sequência de interações com o ambiente que mudam os estados internos do produto. Também são relacionadas com as interfaces e com o desempenho do produto. As interfaces descrevem as interações entre o produto e o ambiente e incluem informações sobre o tipo de dado a ser manipulado e informações físicas. Relacionam-se com as funções. O desempenho descreve o quão bem o sistema executa as funções, e inclui o tempo de acesso e resposta do produto quanto às funções envolvidas nas tarefas reais. As restrições referem-se às limitações do projeto em si.

Para a EC das partes e componentes do produto, a ferramenta proposta por Axelsson (2000) parte de uma estrutura, chamada de “*System Breakdown Structure*” (SBS), que forma a base da estruturação do modelo de custo. A Figura 11 apresenta uma visão geral da SBS, que se divide em três níveis: o nível do produto como um todo; as partes que compõem o produto e os componentes que compõem as partes.

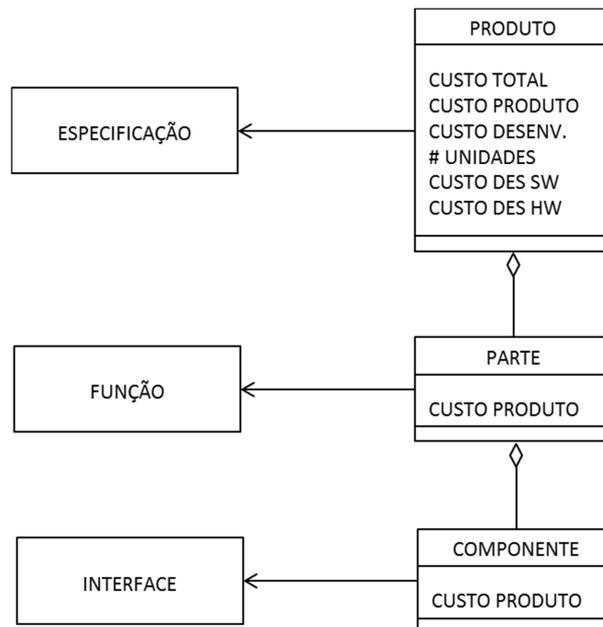


Figura 11: Modelo de System Breakdown Structure.

Fonte: Axelsson, (2000).

O primeiro nível representa o produto mecatrônico sendo desenvolvido, o qual busca executar as especificações definidas. O produto possui como atributos: custo total, custo do produto, custo de desenvolvimento, o número de unidades produzidas e o esforço no desenvolvimento do software e do hardware, explicados abaixo:

- Custo total (custTOT): custo total de cada unidade do produto [R\$].
- Custo do produto (custProd): custo de fabricação de uma unidade adicional do produto [R\$].
- Custo de desenvolvimento (custDes): custo de desenvolvimento do produto [R\$].
- Número de unidades (#): o número esperado de unidades fabricadas do produto.

- Desenvolvimento do software (desSW): o esforço em homem-mês necessário para desenvolver o software do produto [HM].
- Desenvolvimento do hardware (desHW): o esforço necessário para desenvolver o hardware do produto.

A equação de Custo total é dada por:

$$c_{\text{stTOT}} = c_{\text{stProd}} + \frac{\text{custDes}}{n^{\circ} \text{ unidades}} \cdot \text{tx desconto} \quad (23)$$

O custo de desenvolvimento é dado por:

$$c_{\text{stDes}} = (\text{desSW} + \text{desHW}) \cdot c_{\text{st.Hom}} \quad (24)$$

Em que $c_{\text{st.Hom}}$ é o custo de um homem-mês

O custo do produto é a soma do custo de todas as partes:

$$c_{\text{stProd}} = \sum_{p \in \text{parte}} p \cdot c_{\text{stProd}} \quad (25)$$

Em que p representa o custo de cada parte

Seguindo a abordagem de Axelsson (2000), no segundo nível, o produto é então decomposto em partes. O produto mecatrônico possui partes eletrônicas e partes mecânicas. Uma parte pode ser descrita como um pedaço de equipamento sendo conectado a outras partes durante a montagem. Uma parte também consiste em um número de componentes, sendo relacionada a um número de funções e interfaces. O custo do produto é a soma do custo de todas as partes que o compõe. A Figura 12 apresenta uma representação do segundo nível.

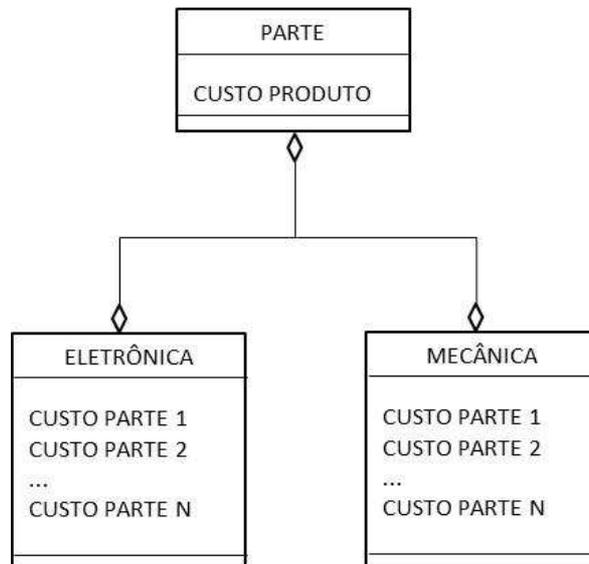


Figura 12: Segundo nível de System Breakdown Structure.

Fonte: Axelsson, (2000).

Desdobrando para o segundo nível, a equação para o custo do produto é dada por:

$$c_{\text{stProd}} = \sum_{c \in \text{componente}} c \cdot c_{\text{stProd}} \quad (26)$$

em que o c_{stProd} é a soma dos custos de todos os seus componentes.

No terceiro nível, as partes são decompostas em componentes. Uma unidade de controle, por exemplo, teria como componentes o processador, a placa de circuito e periféricos. Um componente seria a menor parte de um equipamento necessária para se realizar a análise de custo. O custo do produto seria então a soma do custo de todos os componentes que o compõe. A Figura 13 apresenta uma representação do terceiro nível.

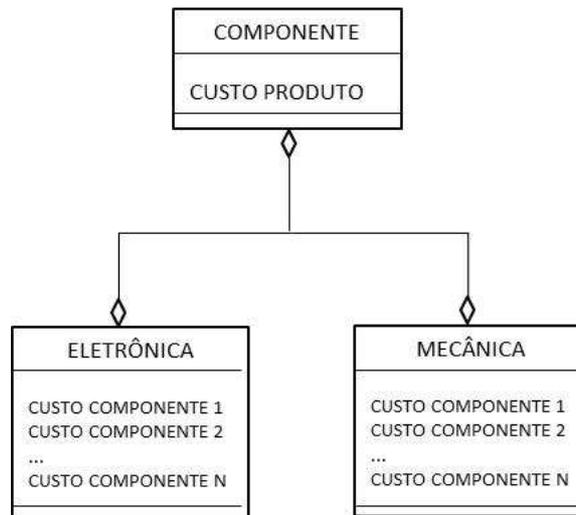


Figura 13: Terceiro nível de System Breakdown Structure.

Fonte: Axelsson, (2000).

Os modelos de EC para hardware apresentados buscam integrar os diferentes domínios da mecatrônica, de forma a se obter uma boa EC do produto. O modelo proposto por Axelsson (2000), dada a sua linguagem orientada a objetos, possui a vantagem de ser adaptado rapidamente para diferentes projetos, reduzindo-se o tempo para se obter a EC. Na próxima seção serão apresentadas novas abordagens de EC para hardware.

2.9.1 Novas abordagens de Estimativa de Custo para Hardware

Nesta seção, são apresentados alguns trabalhos em que foram aplicados diferentes modelos e técnicas para EC para hardware. Na maioria das pesquisas realizadas, buscou-se a melhoria na aplicação de uma técnica ou a combinação de técnicas com o objetivo de se melhorar a precisão da estimativa.

Kwak e Watson (2005) apresentam diversas aplicações da estimativa paramétrica em desenvolvimento de produtos baseado em tecnologia. A estimativa paramétrica é aplicada tanto nas fases iniciais do projeto, quanto nas fases mais avançadas como forma de comparação com outras estimativas.

Roy *et al.* (2005) apresenta um modelo de EC para a indústria de sistemas com alto conteúdo tecnológico, utilizando-se das técnicas paramétrica, analógica e engenharia industrial. É desenvolvido um *framework* que permite separar tecnologias maduras de novas tecnologias e aplicar a EC mais apropriada para cada categoria de tecnologia: novo para a humanidade, novo para a indústria, e novo para a organização.

H'mida *et al.* (2006) apresentam um modelo que utiliza o conceito de entidade de custo, que busca estabelecer um link entre variáveis técnicas e variáveis econômicas, levando em consideração os diferentes planos de processo de produto e resolvendo os problemas para as restrições. A entidade de custo é definida como uma agregação de custo associada com os recursos consumidos por uma atividade, conforme apresentado na Figura 14. As soluções são ranqueadas por ordem de preferência econômica. Apresenta a vantagem de auxiliar no levantamento de todos os itens relacionados ao custo de determinada entidade.

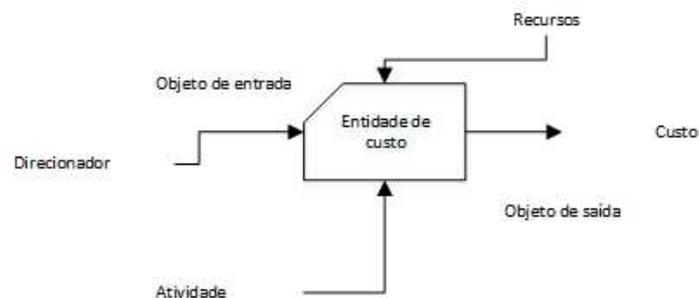


Figura 14: Representação da entidade de custo.

Fonte: H'mida *et al.*, (2006).

Qian e Ben-Arieh (2008) propõem um modelo de custo que integra o modelo baseado em atividades (Sistema ABC) com a estimativa paramétrica para se estimar o custo nas fases de projeto e desenvolvimento de equipamentos rotativos. O modelo ABC assume que o custo de cada atividade é proporcional à taxa de atividade do correspondente direcionador de custo. Desta forma, os direcionadores de custo das atividades tornam-se parâmetros no modelo linear de custo paramétrico. A implementação proposta da abordagem ABC em direção à análise de projeto e desenvolvimento geralmente segue os seguintes passos:

- Identificação dos centros de custo: os centros de custo são recursos utilizados diretamente para produzir o produto final, que incluem recursos humanos e principais equipamentos.
- Analisar os custos indiretos e calcular as taxas dos direcionadores de custo.
- Alocar recursos para cada centro de custo e determinar as taxas direcionadoras para os centros de custo.
- Identificação das atividades.

- Analisar cada atividade e encontrar o custo total para cada atividade.
- Definir os direcionadores das atividades e encontrar as taxas dos direcionadores de custo para cada atividade.
- Estimar via abordagem paramétrica o custo das partes novas por meio dos direcionadores de custo utilizados.
- Analisar a maior parte do custo no projeto e desenvolvimento para redução de custo.

2.10 Comentários finais

Na primeira parte da fundamentação teórica foram apresentados os principais modelos de PDPM, o processo de *stage-gates* e as decisões econômicas, e também o custo da arquitetura do produto. O objetivo da primeira parte é evidenciar que, após definido o modelo de referência para o desenvolvimento do produto mecatrônico, durante todo o PDPM as decisões técnicas serão acompanhadas por decisões econômicas, nos chamados *gates*.

Os modelos de desenvolvimento de produtos evoluíram no decorrer do tempo, da abordagem tradicional aos modelos mais complexos, como o modelo de três ciclos e o modelo V, que buscam incorporar ao processo de desenvolvimento as necessidades dos produtos mecatrônicos.

Com base na revisão da literatura dos modelos de PDPM (GAUSEMEIER; MOEHRINGER, 2003; HEHENBERGER *et al.*, 2010; VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008; ZHENG *et al.*, 2014) o modelo V, originado da norma VDI 2206, tem sido amplamente aceito para o PDPM e será usado como referência na pesquisa. Ressalta-se que a sistematização proposta no capítulo 3 é genérica e aplicável a qualquer modelo de PDP.

O sistema *Stage-gates* tem como vantagem permitir um menor tempo de desenvolvimento, menos retrabalho e um maior sucesso no esforço de desenvolvimento. É importante também ressaltar que as decisões econômicas são tomadas no decorrer do desenvolvimento, nos *gates* específicos. O custo do produto é fortemente impactado pelo tipo de arquitetura utilizada e essa decisão irá influenciar financeiramente todo o projeto. Nos produtos mecatrônicos, as análises relativas à arquitetura do produto devem levar em consideração os diferentes domínios envolvidos, bem como os custos de desenvolvimento, fabricação, montagem e inventário.

Na segunda parte da fundamentação teórica inicialmente foram apresentados alguns conceitos introdutórios à gestão de custos. Em seguida, foi apresentada a avaliação econômico-financeira, as estratégias de precificação de novos produtos e a EC de software e hardware.

Os métodos de avaliação econômico-financeira buscam apoiar a decisão quanto à melhor alternativa de investimento. No presente trabalho, optou-se por utilizar os métodos tradicionais de avaliação de projetos de investimentos e a simulação Monte Carlo para se calcular a variabilidade do VPL e da TIR.

Quanto à estratégia de precificação de produtos, a mesma é crucial para bons retornos sobre investimento no PDP. A estratégia de precificação escolhida para se aplicar no modelo é a curva de experiência. Nesta estratégia, os custos diminuem com o volume de produção acumulado devido à maior eficiência adquirida no decorrer do processo produtivo.

Na sequência, foram apresentados os principais métodos de EC para software e hardware. A EC de software é um processo de difícil solução na gestão de software. Na maioria dos casos, ocorre por meio de uma aproximação e parametrização de projetos anteriores e baseiam-se em grande parte na experiência do desenvolvedor. Vários modelos de EC de software apresentados na pesquisa são modelos proprietários. O modelo para estimar o desenvolvimento de software escolhido para ser utilizado na pesquisa é o COCOMO (BOEHM, 1984), modelo que é o mais reconhecido e o mais plausível de todos os modelos de predição tradicionais de custo para software. Quanto à EC de hardware, aparentemente não há um modelo genérico que é seguido para se estabelecer o esforço no desenvolvimento, com cada empresa criando e adaptando seus próprios modelos (AXELSSON, 2000). Para o desenvolvimento de hardware, optou-se pelo *framework* proposto por Bernardi *et al.* (2004), pelo mesmo ser genérico e adaptável a diferentes contextos de desenvolvimento.

Na parte de estimativa do custo das partes e componentes do produto, optou-se por utilizar a abordagem proposta por Axelsson (2000), que parte de uma estruturação que busca computar todos os custos da árvore de materiais do produto.

Apesar de todas as abordagens e ferramentas para EC, há ainda dificuldade na parte de harmonização e integração dos diferentes domínios, principalmente na integração da engenharia de software e engenharia de sistemas. Nesse contexto, Wang *et al.* (2012) fazem um investigação da sobreposição e lacunas da engenharia de

software e engenharia de sistemas e sugerem várias recomendações para minimizar os problemas, entre as quais:

- Superposição/lacunas: determinar em que elementos as engenharias de software e de sistemas estão considerando o mesmo esforço ou quando nenhum esforço é considerado.
- Análise dos direcionadores de custo: determinar se os modelos levam em consideração os direcionadores relevantes para sistemas e software.
- Padronização: garantir interpretação padronizada e habilidades para definição das estimativas e comunicação das necessidades.
- Dimensionadores comuns: utilizar um conjunto de dimensionadores em comum.
- Suposições básicas nos modelos: garantir que os modelos são construídos com consistência e válidas suposições.
- Compatibilidade na resolução de problemas: garantir que a solução de um determinado problema em um campo não cause impacto adverso em outro modelo.

Desta forma, verifica-se que, na literatura pesquisada, há uma carência de um *framework* para EC que leve em consideração os diferentes domínios dos sistemas mecatrônicos de maneira completa, endereçando tanto os custos de software quanto de hardware, e buscando-se uma otimização global da análise.

Valerdi *et al.* (2005) em seu trabalho apresentam o desenvolvimento do primeiro modelo não comercial, disponível para download, para EC da engenharia de sistemas, o Modelo de Custo Construtivo da Engenharia de Sistemas (COSYSMO). O modelo foi construído por um grupo de engenheiros de sistemas e modeladores de custo. O modelo utiliza uma metodologia parecida com o modelo COCOMO, mas foca em problemas fora do domínio do software. Segundo os autores, uma das chaves para o sucesso do modelo é a obtenção de dados de qualidade que são usados na calibragem do modelo.

Indo além, o modelo de custo construtivo para integração de sistemas de sistemas (COSOSIMO) foi adaptado do modelo COSYSMO e busca capturar os efeitos dos ambientes complexos do enfoque sistemas de sistemas e reduzir o tempo de desenvolvimento (BOEHM; LANE, 2007).

Conforme verificado na pesquisa, a engenharia de sistemas é mais desenvolvida nos campos militar e aeroespacial, dada a coexistência de diversos

domínios da engenharia e da complexidade dos recursos e esforços envolvidos nos programas. Também quanto a projetos com diversos domínios da engenharia, Braun e Lindemann (2007) apresentam uma abordagem para EC que considera a heterogeneidade dos sistemas mecatrônicos e integra os custos resultantes dos diversos domínios e interfaces dos processos em um único custo base de desenvolvimento. É também apresentada uma matriz de mapeamento que relaciona os custos com os elementos do sistema e as funções do produto, que ainda servem como guia para potenciais análises de redução de custo.

Pode-se considerar que os modelos de EC citados acima que buscam integração ainda estão em fase de desenvolvimento, carecendo de mais resultados para a validação de suas premissas. No próximo capítulo, será apresentada a sistematização proposta, fonte da pesquisa e análise do presente estudo.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E SISTEMATIZAÇÃO PARA O PROCESSO DE EC E ANÁLISE ECONÔMICA NO PDPM

Neste capítulo, após o estudo e análise dos modelos de PDPM e os principais métodos de EC e análise econômico-financeira, parte-se para a etapa de organização e sistematização das técnicas de apoio à EC e à análise econômico-financeira que foram consideradas melhores alinhadas ao objetivo inicial, visando sua integração ao PDPM nas fases iniciais de projeto.

Após o estudo e análise dos modelos de PDP para produtos mecatrônicos, considera-se o modelo V, da norma VDI 2206, apresenta um fluxo informacional adequado para a sistematização das EC e análise econômica do produto mecatrônico proposto no trabalho. O principal objetivo do modelo V, de acordo com a norma VDI 2206 é superar o modelo sequencial de projeto de produto isolado por domínios de engenharia, obtendo-se substancial redução de custo e tempo. Desta forma, busca-se a integração dos diferentes domínios de engenharia para produtos complexos de forma holística (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008). Ressalta-se que a sistematização proposta é aplicável a todos os modelos de PDPM existentes, e não apenas ao modelo V.

3.1 Sistematização

A Figura 15 apresenta a visão geral proposta para a elaboração das EC para o produto mecatrônico, que será detalhado a seguir, e segue o modelo V da norma VDI 2206. Ressalta-se que a sistematização proposta é aplicável a qualquer modelo de PDPM. Na Figura 18, busca-se uma forma de apresentação das etapas e processos de forma macro.

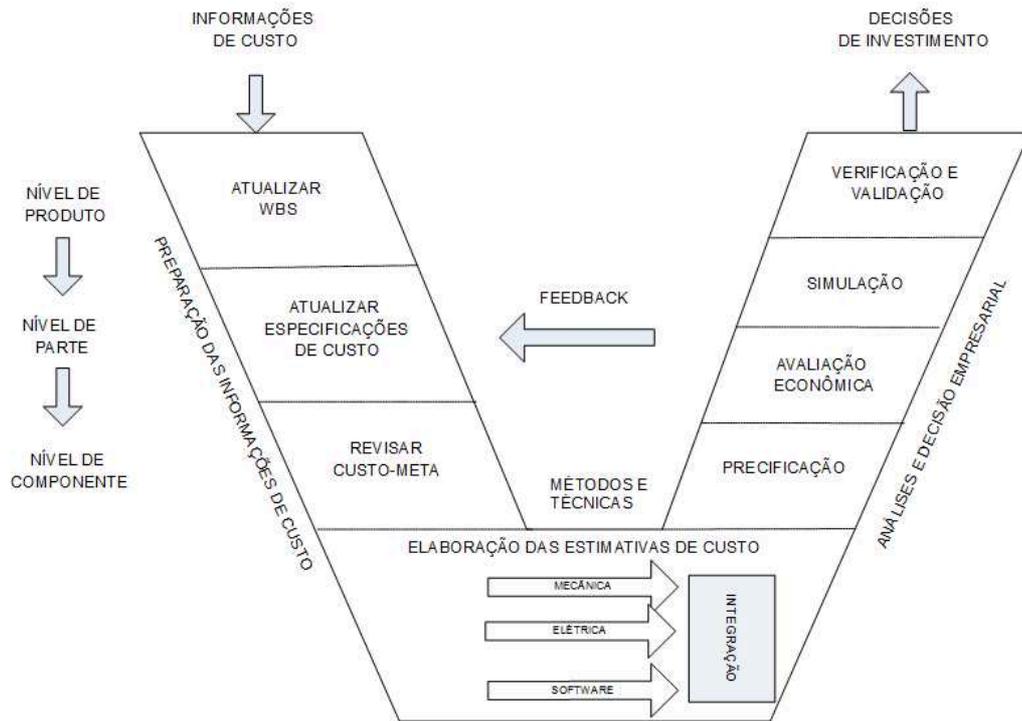


Figura 15: Sistematização de EC e análise econômica para o projeto de produtos mecatrônicos.

Fonte: Autor, (2017), baseado em (GAUSEMEIER; MOEHRINGER, 2003).

No desdobramento do modelo proposto para EC e análise econômica do produto mecatrônico, há seis etapas principais: preparação das informações de custo, elaboração das EC, precificação, avaliação econômica, simulação, e revisão e validação. As etapas foram definidas com base na revisão de literatura. O processo detalhado é apresentado na Figura 16.

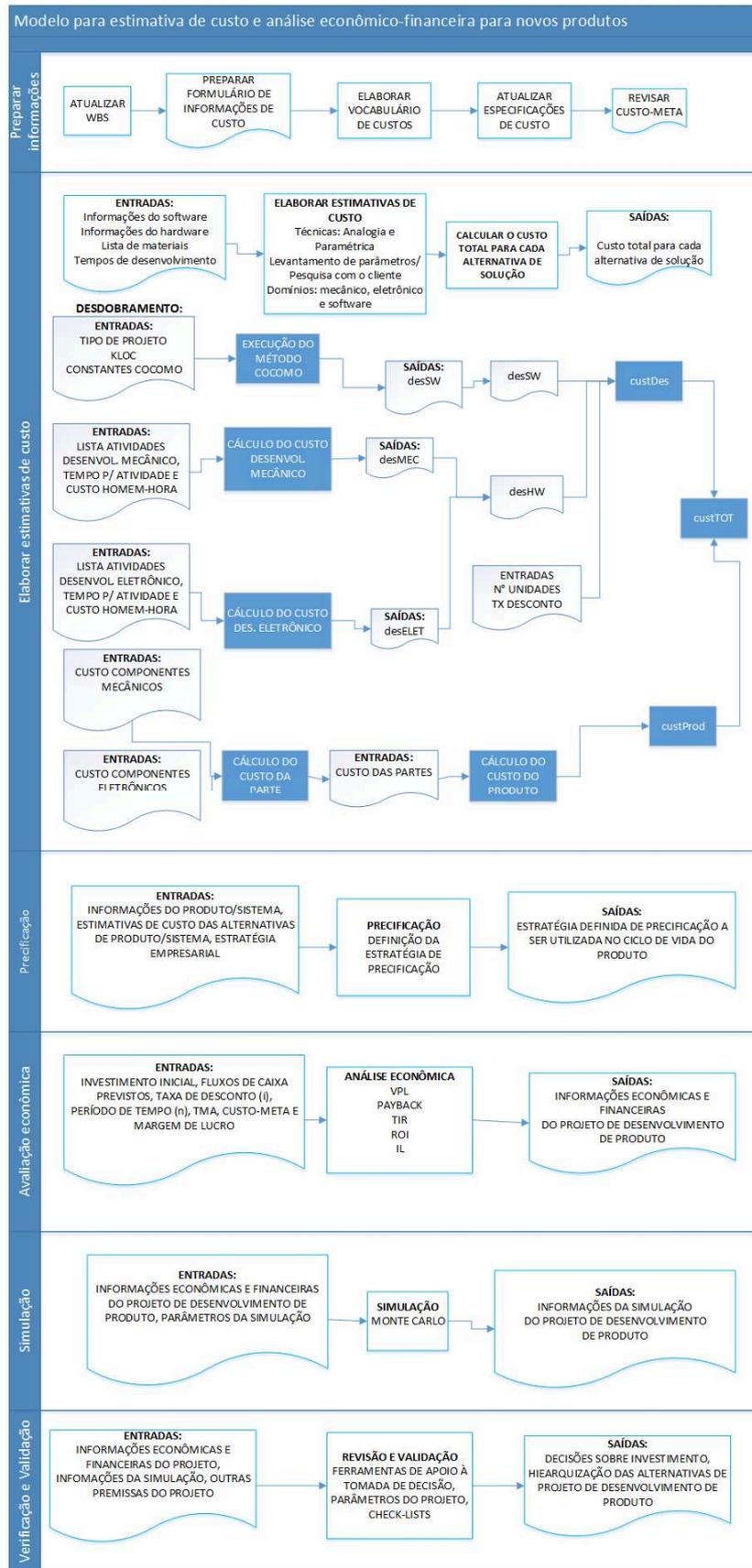


Figura 16: Modelo para estimativa de custo e análise econômica.

Fonte: Autor, (2017).

As etapas do modelo proposto estão descritas abaixo:

- Preparação das informações de custo do produto mecatrônico: Esta etapa foi definida com base no trabalho de Ferreira (1997). O custo é considerado um parâmetro ativo, não um fator resultante do projeto. Essa etapa consiste na preparação das informações de custo do produto mecatrônico com o objetivo de viabilizar a sua análise, estimativa e avaliação durante o projeto de produto. As informações de custo do produto podem ser desdobradas a nível de produto, partes e componentes do produto, conforme apresentado no modelo (AXELSSON, 2000). A seguir, são detalhadas as tarefas propostas para preparar as informações de custo, conforme a Figura 17:
 - Atualizar a *Work Breakdown Structure* (WBS): a equipe de projeto deve atualizar a WBS com as informações obtidas até o momento sobre o desenvolvimento do produto mecatrônico.
 - Preparar formulários de informações de custos: consiste em uma lista com todas as informações que estão sendo utilizadas na preparação dos custos.
 - Elaboração de um vocabulário de custos comum: a padronização dos termos de custo permite que os diferentes domínios envolvidos no desenvolvimento do produto mecatrônico (e.g. mecânica, software e eletrônica) troquem informações de forma padronizada no processo de desenvolvimento das EC (WANG *et al.*, 2012).
 - Atualizar especificações de custo: a atualização das especificações técnicas do produto mecatrônico implicará na atualização das especificações de custo, sendo que esse processo ocorre no decorrer do PDP.
 - Revisar custo-meta: a revisão e atualização do custo-meta definido também deve ocorrer antes da realização das EC, como forma de delimitar melhor o escopo de análise.

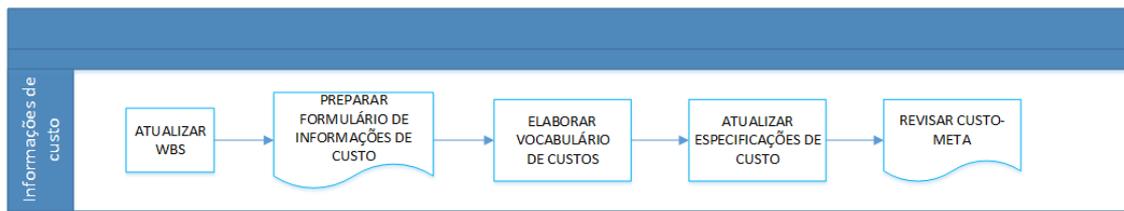


Figura 17: Preparação das informações de custo.

Fonte: Autor, (2017).

- Elaborar as EC do produto mecatrônico: nessa etapa são elaboradas as EC das alternativas de solução para o produto mecatrônico. As EC, conforme proposto na ferramenta, podem ser elaboradas ao nível de produto, partes e componentes (AXELSSON, 2000). Considera-se como técnicas de estimativa a serem aplicadas nesta etapa a analogia e a estimativa paramétrica. A analogia é uma técnica similar ao julgamento do especialista, mas baseia-se em dados. São utilizados dados reais de projetos passados como base, e são ajustados pelo especialista para o tipo de tecnologia do produto, tipo de aplicação e diferenças em complexidade. A técnica paramétrica utiliza análise analítica, custos históricos e outras variáveis do projeto como as características físicas e de desempenho do sistema (BROWN, 2002). Nesta fase, são realizadas as seguintes atividades, de acordo com a Figura 18:

- Realizar EC para hardware e software: são elaboradas estimativas dos diferentes tipos de custo do produto, ou seja, o custo de desenvolvimento, custo de fabricação, custo de montagem, custo de inventário e os custos do ciclo de vida (FIXSON, 2002). É importante ressaltar que o levantamento e a elaboração das estimativas devem levar em consideração os diferentes domínios do produto mecatrônico, ou seja, custos de software e de hardware.
- Calcular o custo total das alternativas de solução para o produto: neste momento busca-se consolidar as informações de cada domínio de engenharia e de cada fase do PDP em uma equação de custo total (AXELSSON, 2000). O objetivo desta etapa é verificar o custo total das alternativas do produto definidas,

incluindo o custo de pós-desenvolvimento. Então se compara o custo total de cada alternativa com o custo-meta definido na fase de planejamento. O desdobramento da etapa de elaboração das EC será apresentado após a visão geral das fases que compõem o modelo.

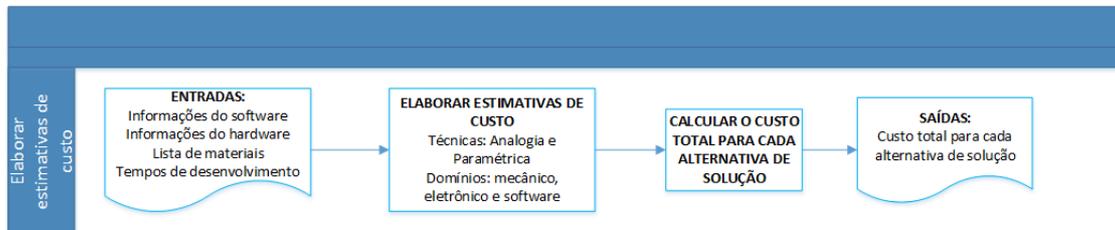


Figura 18: Elaboração das EC.

Fonte: Autor, (2017).

- **Precificação:** nesta etapa é definida a estratégia de precificação do novo produto ou sistema sendo desenvolvido. Como este trabalho direciona-se a pequenas empresas de base tecnológica, que não possuem grandes vantagens de custo nem economia de escala para competir na estratégia de penetração no mercado, e também não possuem um produto altamente diferenciado para utilizarem a estratégia de manutenção de preços elevados, como os grandes *players*, considera-se adequada a estratégia da curva de experiência na precificação de produtos. Os dados de entrada nesta etapa são as EC das alternativas de concepção do produto/sistema e a estratégia empresarial da empresa, conforme a Figura 19. No processo é definida qual estratégia de precificação será utilizada durante o ciclo de vida do produto (NOBLE; GRUCA, 1999). Os dados de precificação do novo produto serão utilizados como entrada na etapa de avaliação econômica.

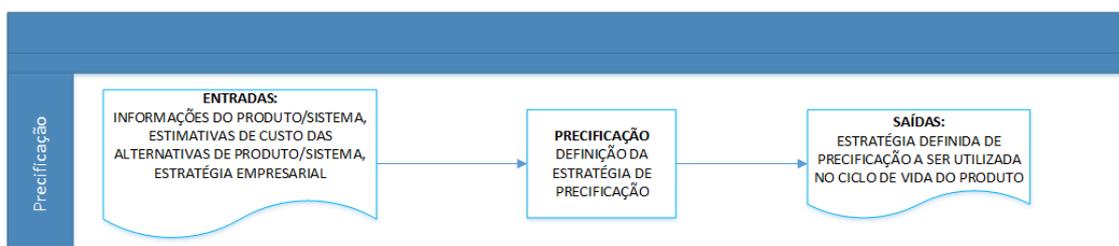


Figura 19: Precificação.

Fonte: Autor, (2017).

- Avaliação econômico-financeira: nesta fase são utilizados métodos de avaliação econômica de projetos para auxiliar no processo decisório e na decisão de continuar ou não o desenvolvimento. No presente trabalho, são utilizados os métodos tradicionais de avaliação econômica de projetos: VPL, *Payback*, TIR, ROI e IL (RODRIGUES, 2014). A Figura 20 apresenta as principais entradas e saídas desta etapa.

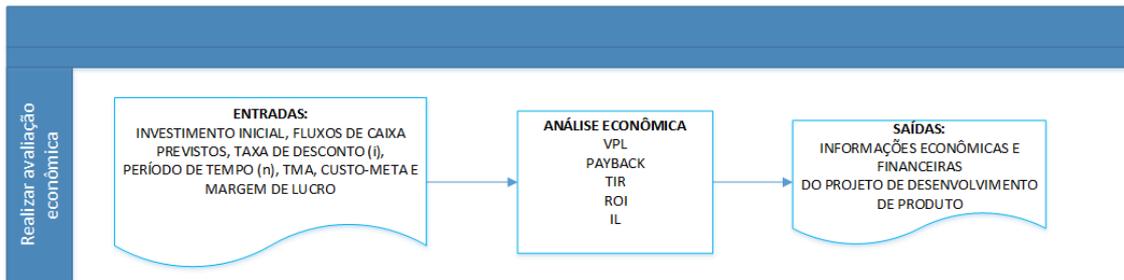


Figura 20: Avaliação econômico-financeira.

Fonte: Autor, (2017).

- Simulação: após a fase de avaliação econômica, considera-se importante simular diferentes cenários para os indicadores calculados na etapa anterior como forma de se antecipar possíveis perdas/ganhos, melhor e pior cenário do desenvolvimento do produto. A simulação também auxilia na tomada de decisão sobre qual projeto de produto desenvolver dentre o portfólio de produtos da empresa (BRUNI *et al.*, 1998). No presente trabalho, utiliza-se na simulação a distribuição normal, com valores definidos para média (μ) e desvio padrão (σ) e um número de dez mil iterações. Busca-se simular os indicadores VPL e TIR. A Figura 21 ilustra os principais parâmetros de entrada e saída.

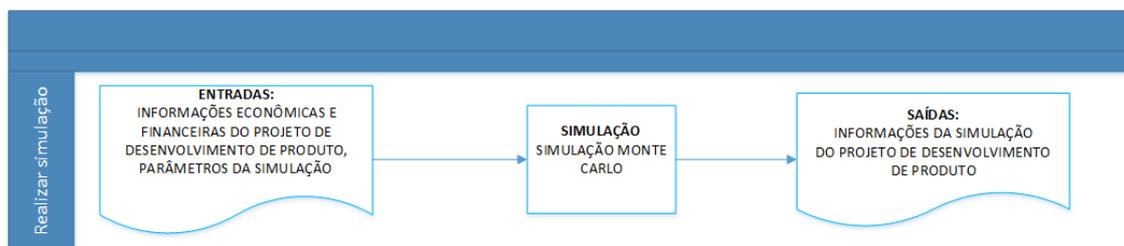


Figura 21: Simulação.

Fonte: Autor, (2017).

- Verificar e validar os custos das alternativas do produto mecatrônico: nesta fase os custos das alternativas de solução para o produto mecatrônico são então revisados e validados para se verificar inconsistências. Ferramentas de apoio à tomada de decisão e *checklists* podem ser utilizadas para auxiliar na escolha da melhor alternativa (FERREIRA, 1997). É importante ressaltar que o custo é apenas um dos fatores a se levar em consideração. Outros fatores do produto sendo desenvolvido, como desempenho, serão analisados na escolha final sobre qual solução deve ser desenvolvida. Como saída desta etapa têm-se as decisões sobre investimento e uma hierarquização das alternativas de projeto de desenvolvimento de produto. A Figura 22 ilustra os principais parâmetros de entrada e saída.

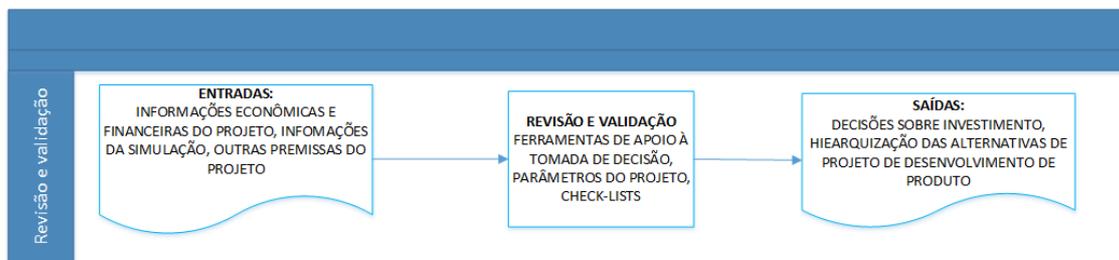


Figura 22: Revisão e validação.

Fonte: Autor, (2017).

Neste momento o processo de EC, a segunda etapa da sistematização, será detalhado. O processo de EC é dinâmico e retroalimenta as fases anteriores. Caso alguma etapa possua inconsistência, novas análises são realizadas. Nesta etapa busca-se sistematizar o processo de EC, de forma que as estimativas sejam desenvolvidas integrando-se todos os domínios do produto mecatrônico.

O modelo utilizado como base para se realizar as EC do produto mecatrônico, é o proposto por Axelsson (2000), desenvolvido para realizar EC para arquitetura eletrônica. O modelo possui uma modelagem orientada a objeto, que parte do princípio que o mesmo pode ser facilmente adaptado para várias concepções sem a necessidade de se partir do início a cada novo desenvolvimento de produto.

A Figura 23 apresenta o fluxo geral para a etapa de elaboração da EC do produto mecatrônico, adaptado da abordagem proposta por Axelsson, já apresentada no capítulo anterior.

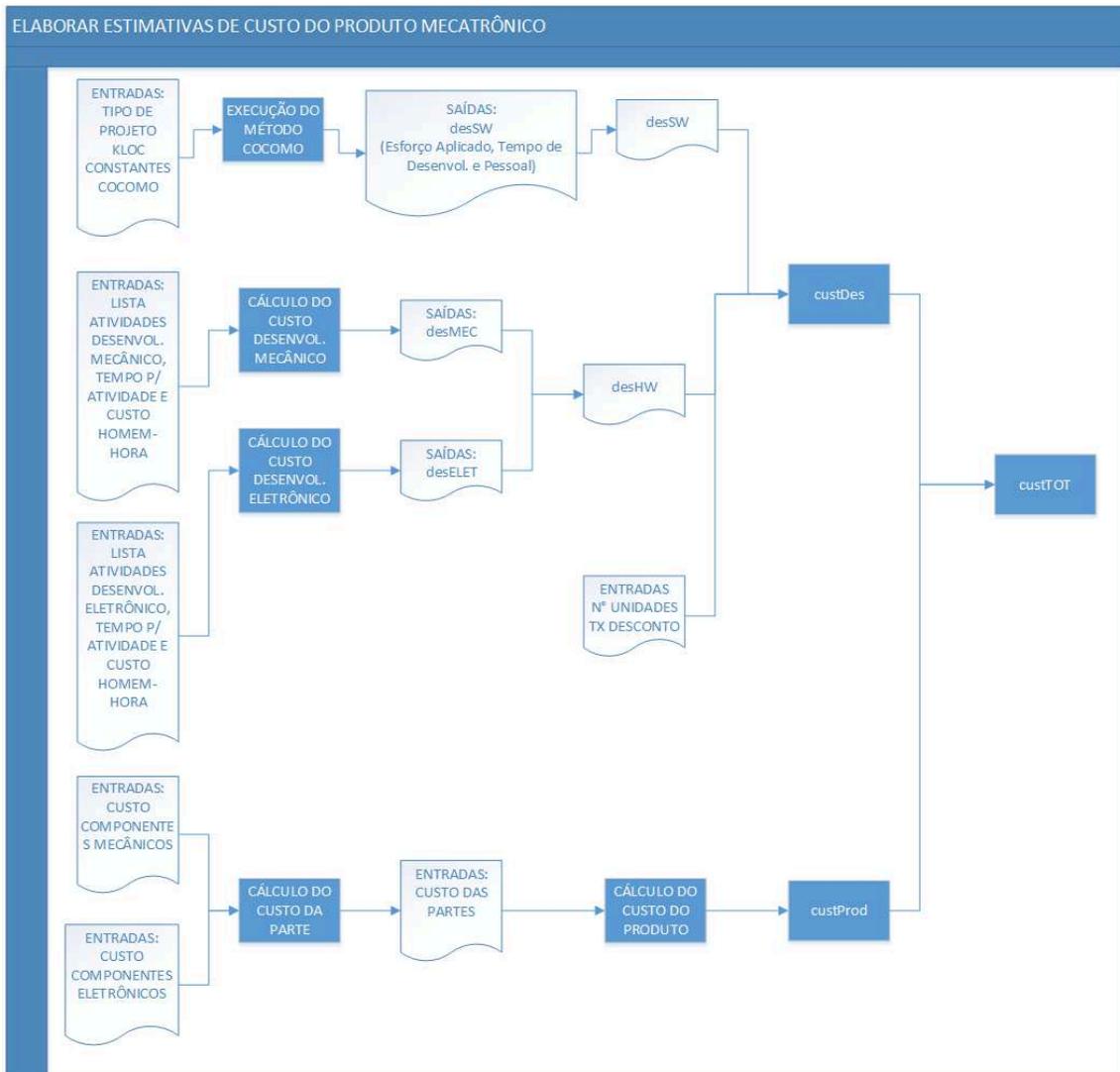


Figura 23: Processo de EC do produto mecatrônico.

Fonte: Autor, (2017).

De acordo com a Figura 23, o custo total do produto mecatrônico (custTOT) é formado pelo custo de desenvolvimento (custDes) e pelo custo do produto (custProd), que são as partes e componentes. No desenvolvimento do produto mecatrônico, devem ser levados em consideração o esforço no desenvolvimento do software e no desenvolvimento do hardware (mecânica e eletrônica). O custo de desenvolvimento é rateado pelo número estimado de unidades do produto que será produzido. Há também uma taxa de desconto que é utilizada nas decisões de se realizar ou não determinado investimento, no caso em tela, o investimento no desenvolvimento do produto mecatrônico.

Para se computar o custo do desenvolvimento do software, utiliza-se o modelo COCOMO. Optou-se pelo modelo COCOMO pelo mesmo ser um modelo de grande aceitação no meio acadêmico, com vários casos de aplicação e resultados plausíveis, e também pela rápida implementação, dado o fato de utilizar a abordagem paramétrica. O modelo possui como principais parâmetros de entrada o tipo de projeto de software, o número em milhares de linhas de software (KLOC) e as constantes do modelo, que variam de acordo com o tipo de projeto de software que está sendo desenvolvido. Após o cálculo por meio das equações do modelo COCOMO, têm-se como saídas o grau de esforço aplicado, o tempo de desenvolvimento e o número de pessoas a ser utilizado no projeto.

Para se computar o custo de desenvolvimento de hardware, utiliza-se o modelo proposto por Bernardi *et al.* (2004) e por Jeziorek (2005). O custo de desenvolvimento do hardware é computado levando-se em consideração o custo e o tempo de desenvolvimento mecânico e eletrônico para cada atividade. No desenvolvimento mecânico, são consideradas as seguintes atividades: clarificar e especificar o problema, detectar funções e estruturas, encontrar soluções e princípios, estruturar em modelos viáveis, dar forma física a módulos importantes, dar forma física ao produto como um todo e mapear execução e instruções de uso. No desenvolvimento eletrônico, são consideradas as seguintes atividades: especificação, descrição do sistema, descrição do algoritmo, descrição do registro e interface, descrição da lógica, descrição do transistor, layout e manufatura. Para cada atividade de desenvolvimento de hardware, estima-se o tempo gasto, e utilizando-se o custo homem-hora, chega-se às EC de custo de desenvolvimento mecânico e eletrônico. As duas estimativas são então integradas, juntamente com a estimativa de custo de desenvolvimento de software, para se chegar ao custo de desenvolvimento total. Esse custo é rateado pelo número estimado de unidades do produto mecatrônico a serem produzidas no horizonte de tempo de vida do projeto.

Para se computar o custo dos componentes do produto, leva-se em consideração o custo das partes e componentes que compõem o produto. A ferramenta proposta por Axelsson (2000), SBS, auxilia na organização dos componentes e partes do produto mecatrônico. Com a lista, estima-se o custo de cada parte e componente, chegando-se ao custo dos componentes do produto mecatrônico.

O custo total é a soma do custo de desenvolvimento com o custo dos componentes do produto. Outros custos, como custo de manufatura e montagem, não estão sendo levados em consideração na abordagem, pois esses custos tendem a variar muito de acordo com a empresa, o tipo de tecnologia utilizada, o grau de automação do processo, entre outros fatores, e geralmente são avaliados na etapa de modelagem do sistema de produção. Porém, esses custos podem ser adicionados ao custo total do produto quando disponíveis.

A sistematização proposta foi elaborada utilizando-se o software Excel e programação Visual Basic, e encontra-se no apêndice 2.

3.2 Comentários finais

Buscou-se neste capítulo apresentar a análise e sistematização proposta para a elaboração de EC e análise econômica de novos produtos mecatrônicos. Utilizou-se como referência para o fluxo informacional o modelo V, proposto na norma VDI 2206. O modelo V busca a integração dos diferentes domínios de engenharia para produtos complexos de forma holística, sendo uma opção aos modelos tradicionais de desenvolvimento de produto.

A sistematização proposta é desdobrada em seis fases: preparação das informações de custo, elaboração das EC, precificação, avaliação econômica, simulação, e revisão e validação. Cada fase possui um conjunto de entradas, processos e saídas.

Na parte de desenvolvimento de produto, as EC seguem dois modelos principais: um modelo para software e um para hardware. No desenvolvimento de software, foi utilizado o modelo COCOMO. Optou-se por escolher esse modelo devido ao fato de vários casos de aplicação de sucesso disponíveis na literatura e pela sua grande utilização pelos desenvolvedores em geral. O modelo COCOMO utiliza a abordagem paramétrica, que possui a vantagem de, após o desenvolvimento do modelo, o tempo para se produzir uma estimativa ser mínimo. Ele também torna a opinião do especialista menos impactante, uma desvantagem da abordagem por analogia. Os outros modelos paramétricos para EC de software identificados são em sua grande maioria modelos proprietários, sendo, portanto, de difícil acesso e utilização.

No desenvolvimento de hardware, foi utilizado o modelo proposto por Bernardi *et al.* (2004), que lista as principais atividades relacionadas ao desenvolvimento de produtos mecatrônicos e o modelo proposto por Jeziorek (2005) que busca computar o custo do homem-hora e o total de horas utilizadas para cada atividade. Essa proposta apresenta a vantagem de ser um *framework* genérico de desenvolvimento, que pode ser utilizado e modificado para cada tipo de projeto de desenvolvimento. Como desvantagem, essa abordagem baseia-se excessivamente na subjetividade e julgamento do especialista, podendo apresentar um viés negativo na precisão da estimativa.

Quanto à EC do produto em si (partes e componentes), foi utilizado o modelo proposto por Axelsson (2000). Esse modelo tem a vantagem de permitir que sejam estimados os custos das partes e componentes que compõem o produto. A estrutura SBS também auxilia na organização e estruturação do produto mecatrônico, permitindo uma maior integração no projeto de desenvolvimento. As EC específicas são então integradas para se chegar ao custo total do produto mecatrônico.

A estratégia de precificação escolhida para se aplicar no modelo é a curva de experiência. Nesta estratégia, os custos diminuem com o volume de produção acumulado devido ao aumento da familiaridade com o processo de montagem e outros fatores inerentes ao produto produzido. Como o objetivo deste trabalho direciona-se a pequenas empresas de base tecnológica, que não possuem grandes vantagens de custo nem economia de escala para competir na estratégia de penetração no mercado, e também não possuem um produto altamente diferenciado para utilizarem a estratégia de manutenção de preços elevados, como os grandes *players*, considera-se adequada a estratégia da curva de experiência na precificação de produtos.

Os métodos de avaliação econômica de projetos auxiliam na priorização e seleção de projetos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos. Optou-se neste trabalho pela utilização dos métodos de avaliação mais tradicionais, como o VPL, a TIR e o *payback*. A simulação Monte Carlo foi utilizada como uma forma de se simular e testar diferentes cenários para os indicadores da avaliação econômico-financeira, desta forma avaliando-se os riscos do projeto.

A etapa de avaliação ocorrerá por meio da aplicação da sistematização em casos de protótipos de sistemas/produtos mecatrônicos, apresentados nos próximos capítulos.

A pesquisa contribui ao tema desenvolvimento de produtos mecatrônicos, sobretudo em relação às EC e à análise econômica. Buscou-se verificar na literatura os trabalhos mais relevantes e os *gaps* existentes. O modelo proposto para EC e análise econômica buscou diferentes abordagens oriundas de diversos trabalhos e visou à integração desses conceitos em um modelo que abrangesse os diferentes domínios dos projetos de produtos/sistemas mecatrônicos.

No próximo capítulo serão apresentados dois casos de aplicação em projetos de concepção de sistemas mecatrônicos.

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DA SISTEMATIZAÇÃO PROPOSTA

Neste capítulo, será apresentada a avaliação da sistematização de EC e análise econômica proposta. A presente pesquisa tem o caráter descritivo, buscando examinar um fenômeno para defini-lo mais acuradamente e captar a coleta de dados e posterior análise (BERTO; NAKANO, 1998).

Desta forma, a sistematização foi aplicada em dois projetos de protótipos de sistemas mecatrônicos: um projeto de concepção para um equipamento de medição de compactação do solo, e um equipamento médico assistencial (EMA) utilizado em um procedimento médico chamado ablação hepática. Antes de se iniciar a análise, será apresentada uma breve descrição de como ocorre a seleção da arquitetura do produto na fase de projeto conceitual.

A definição da arquitetura do produto tem um grande impacto na satisfação do cliente, na estratégia empresarial e nos custos do produto. Apesar de os efeitos aparecerem nos estágios mais avançados do desenvolvimento, a maior parte das decisões da arquitetura do produto é tomada na fase de projeto conceitual, em que a alocação de funções para a solução do problema é realizada. Para auxiliar esse processo de decisão, várias abordagens são utilizadas (RICHTER *et al.*, 2017).

A seleção de alternativas de concepção de produto, ou seja, a arquitetura do produto, com base no modelo de PDPM definido, ocorre na fase de projeto conceitual, e pode ser descrita pelo seguinte processo de tomada de decisão (ROZENFELD *et al.*, 2006):

- Estabelecer a estrutura funcional do produto: nesta etapa são analisadas as especificações-meta do produto, suas principais funções, as estruturas funcionais alternativas, finalizando pela definição da estrutura funcional do produto.
- Busca por princípios de solução e geração de alternativas de concepção: busca localizar e gerar princípios de solução que atendam a cada uma das funções alternativas definidas na etapa anterior.
- Gerar e selecionar alternativas de projeto: são geradas alternativas de projeto para os produtos em desenvolvimento. Então, seleciona-se

dentre as alternativas propostas aquelas que melhor atendam aos objetivos do projeto.

- Selecionar a concepção do produto: nesta etapa ocorre a análise das concepções alternativas, bem como a valoração de cada uma. Finaliza-se com a seleção da concepção mais adequada dentro dos critérios de avaliação definido.

Outro ponto importante na etapa de projeto conceitual, além das atividades genéricas de desenvolvimento, é a pesquisa de campo com o cliente, sobretudo no levantamento de parâmetros de projeto e do produto em si.

4.1 Penetrômetro

Nesta etapa são elaboradas EC para duas concepções de produto para um equipamento chamado penetrômetro, utilizando-se a sistematização proposta no capítulo 3. Também serão realizadas análises de *trade-off* com o intuito de se verificar qual a melhor concepção para o equipamento em termos de custo. As concepções foram extraídas do trabalho de Merino (2016) e a descrição de cada uma encontra-se nos Anexos 1 e 2.

O equipamento penetrômetro é um instrumento automatizado utilizado para qualificar e quantificar os reais efeitos da compactação do solo. O equipamento é utilizado em agricultura de precisão e conservacionista, em laboratório ou no campo. Possibilita a obtenção de medidas estatísticas e a transferência de dados de resistência à penetração para a geração de mapas em computador. Apresenta benefício econômico e social quanto ao diagnóstico e prognóstico de técnicas de manejo de solo, uma vez que a compactação de solos agrícolas constitui um dos maiores problemas e desafios a práticas sustentáveis, devido ao mau uso de máquinas agrícolas terem efeito cumulativo.

Conforme o trabalho de Merino (2016), o equipamento penetrômetro tem um custo-meta que se situa entre R\$ 3.000,00 e R\$ 8.000,00. Como é um equipamento muito especializado e utilizado em situações específicas, como por exemplo, em estudos de compactação do solo realizados pela EMBRAPA, considera-se como apropriado na análise que 50 unidades do equipamento serão produzidas. Os comentários a seguir aplicam-se a todas as concepções do penetrômetro que serão analisadas:

- O material estrutural mecânico escolhido é o alumínio, pois é um material leve e resistente. Possui uma boa resistência à corrosão e a ambientes agressivos, dado o ambiente operacional em que o penetrômetro é utilizado. Possui um bom custo-benefício quando comparado com outras ligas, como o aço inox.
- O custo das partes e componentes foi obtido mediante pesquisa de preços em sites de fornecedores especializados.
- Os custos de fabricação e montagem não foram considerados na análise.
- Na concepção que utiliza um notebook, este será considerado um acessório, e não entrará no custo do produto.

De acordo com a proposta apresentada, será realizada uma análise dos custos de concepção até o segundo nível, ou seja, o nível de partes que compõem o equipamento. Os dados e premissas básicas utilizados nas EC e análise econômica para as duas concepções do equipamento estão sumarizados na Tabela 10.

Tabela 10: Premissas básicas utilizadas na análise (Elaborado pelo autor).

Dados Gerais	
Custo-meta	R\$ 3.000,00 - R\$ 8.000,00
# Unidades produzidas	50
Horizonte de produção	10 anos
Dados relativos ao Software	
Tipo de projeto	Orgânico
Salário Analista Software	R\$ 3.000,00
Numero de linhas código (K)	3.5 a 5
Dados relativos ao Hardware	
Custo homem-hora mecânico	R\$ 18,75
Custo homem-hora eletrônico	R\$ 19,75
Dados da análise econômica	
Taxa de desconto	8%
TMA	10%

A primeira concepção, descrita no Anexo 1, consiste em um sistema de alavancagem (conjunto de desacople conformado por um tambor com rosca e um eixo de aço para retirar a haste do solo) que reduz o esforço físico do operador. Quanto à parte de desenvolvimento de software, devido ao uso do arduino, que já possui funções

pré-programadas, considerou-se na simulação um total de 5.000 linhas de código. A análise completa para a primeira concepção do penetrômetro encontra-se no Apêndice 3.

No Quadro 1 é apresentado um resumo para a análise do custo do produto e avaliação econômica para a primeira concepção do penetrômetro. De acordo com os dados, o custo total do produto ficou abaixo do custo-meta definido de R\$ 3.000,00 a R\$ 8.000,00 e apresentou VPL positivo e TIR > TMA. O payback simples, ou seja, o tempo para que o investimento seja pago, é de 4 anos e 10 meses.

Dessa forma, o projeto da primeira concepção do penetrômetro é atrativo em termos de investimento. A simulação Monte Carlo considerou como dados de entrada para a distribuição normal o valor de 80% do VPL calculado e como média 50% do VPL calculado. Ou seja, considera-se na simulação o valor de VPL será 80% do valor inicialmente calculado. Foram geradas 10.000 iterações. Como resultado da simulação, o VPL ficou 20,4% abaixo do valor calculado e TIR 1,4% acima do valor calculado, valores que ainda são aceitáveis em termos de investimento. O custo do produto ficou abaixo do custo-meta, e ainda permite uma boa margem no preço de venda, dado o mark-up de 50% definido.

Quadro 1: Resumo da análise da primeira concepção do penetrômetro (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software	R\$ 39,016.74
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 11,190.00
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 50,206.74
Custo do Produto Mecatrônico	R\$ 965.00
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 2,069.55
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 3,104.33
Preço de venda 50a unidade produzida	R\$ 2,985.23
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 15,201.38
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.8 ano(s) ou 4 ano(s) e 10 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 6.59 ano(s) ou 6 ano(s) e 7 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	16.08%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR > TMA - Aceita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 12,087.91
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	16.31%

Como forma de verificação da estimativa de custo gerada para a concepção 1 do penetrômetro, o custo de desenvolvimento mecatrônico desta concepção será simulado utilizando-se do modelo COSYSMO (VALERDI *et al*, 2005,2010). O modelo COSYSMO é um modelo que vai além da estimativa de custo de software, e busca estimar o custo do sistema como um todo. Ele utiliza-se de quatro direcionadores de tamanho e 14 direcionadores de custo, apresentados no capítulo 2.

Para a análise, as informações do projeto conceitual do penetrômetro foram traduzidas em dados de entrada para os direcionadores de tamanho do modelo COSYSMO, conforme a Tabela 11. Todos os direcionadores de tamanho de entrada no modelo foram considerados como “fácil” na escala de complexidade. Para rodar a simulação, os 14 direcionadores de custo foram considerados como nominais, conforme a Figura 29.

Tabela 11: Parâmetros de entrada no modelo COSYSMO (Elaborado pelo autor).

Direcionador	Descrição	Quantidade
# Requisitos do sistema	Penetrar haste	13
	Retirar haste	
	Detectar sinal	
	Converter grandeza de estados	
	Transmitir sinal	
	Configurar parâmetros	
	Filtrar sinal	
	Amplificar sinal	
	Analisar sinal	
	Transferir dados	
	Visualizar dados	
	Arquivar dados	
	Informar usuário	
	# Interfaces principais		Haste-solo	11
Solo-sensor		
Sensor-conversor		
Conversor-transmissor		
Transmissor-filtro		
Filtro-amplificador		
Amplificador-analisador		
Analisador-memória		
Memória-tela lcd		
Teclado-homem		
Bateria-Sistema		
# Algoritmos críticos	Detecção e transmissão do sinal	4
	Tratamento do sinal	
	Configurações	
	Arquivamento	
# Cenários operacionais	Equipamento movimentando	4
	Leitura de sinais	
	Tratamento dos sinais	
	Exibição e armazenamento	

O modelo COSYSMO pode ser acessado e simulado pelo endereço: <http://csse.usc.edu/tools/ExpertCOSYSMO.php>. A Figura 24 apresenta o resultado da EC gerada para a concepção 1 do penetrômetro, utilizando o modelo COSYSMO.

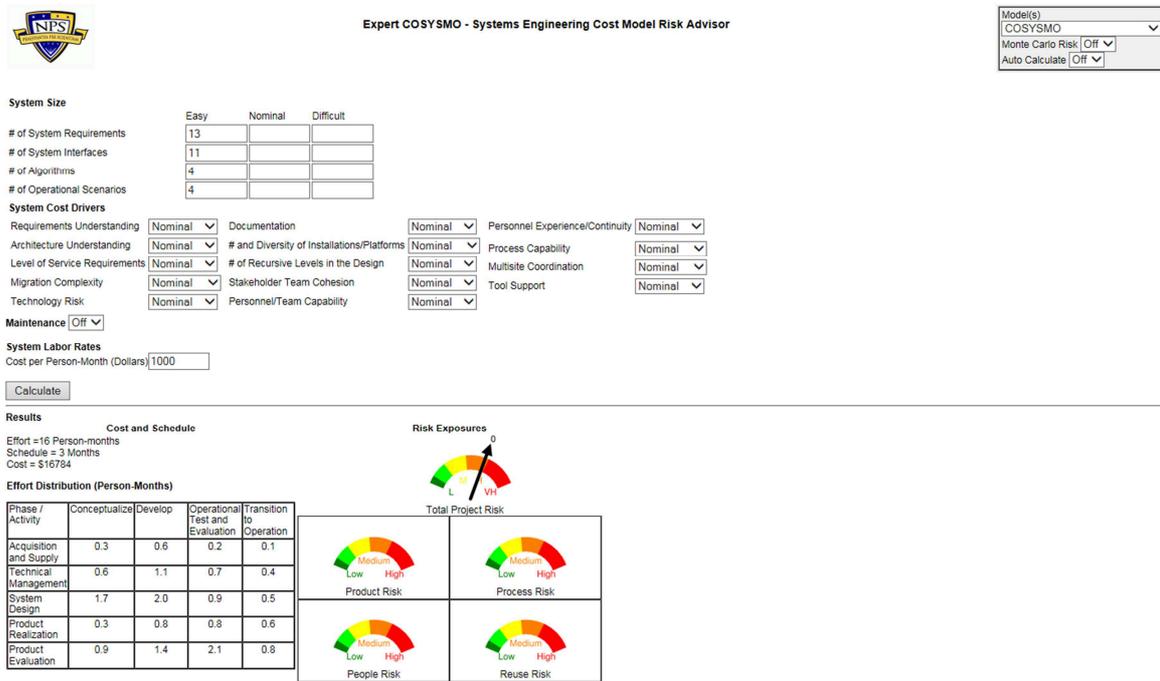


Figura 24: Resultado da concepção 1 do penetrômetro no Cosysmo.

Fonte: <http://csse.usc.edu/tools/ExpertCOSYSMO.php>.

A simulação utilizando o modelo COSYSMO apresentou um custo de desenvolvimento de U\$ 16,784. O gráfico 1 apresenta uma comparação de custo em reais entre o modelo proposto e o modelo COSYSMO. A diferença de custo entre os dois modelos foi de 0,29%, o que é bastante satisfatório em termos de comparação.

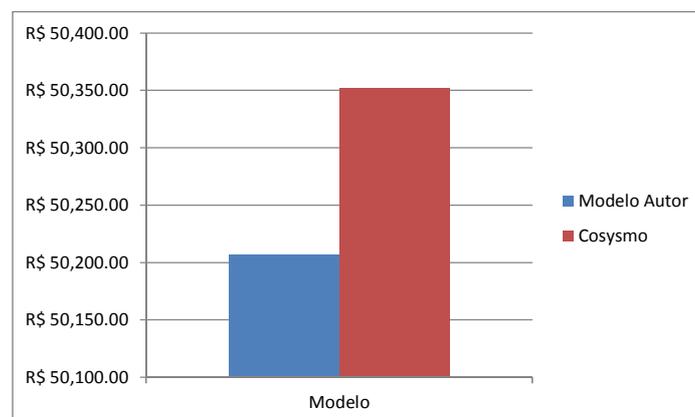


Gráfico 1: Comparação dos custos modelo Autor x Cosysmo (Elaborado pelo autor).

A segunda concepção, descrita no Anexo 2, destaca-se pela utilização de um sistema hidráulico para a operação de um êmbolo de efeito duplo, que é controlado através de uma interface gráfica de software. Essa arquitetura de produto utiliza o computador como parte acessória do sistema onde estão alocados diferentes componentes que atendem a diferentes funções elementares do sistema. Além disso, possui uma interface gráfica desenvolvida para o controle do sistema e uma melhor interação com o operador. No entanto, para a comunicação do computador com o sistema (sensores e circuito hidráulico) é necessário a utilização de um subsistema de amplificação e filtragem. Quanto à parte de desenvolvimento de software, devido ao uso do computador, um menor esforço de programação é necessário, logo na simulação serão consideradas 3.500 linhas de código.

No Quadro 2 é apresentado um resumo para a análise do custo do produto e avaliação econômica para a segunda concepção do penetrômetro. De acordo com os dados, o custo total do produto ficou abaixo do custo-meta definido de R\$ 3000,00 e R\$ 8000,00 e apresentou VPL positivo e $TIR > TMA$. O payback simples, ou seja, o tempo para que o investimento seja pago, é de 4 anos e 3 meses.

Dessa forma, o projeto da segunda concepção do penetrômetro também é atrativo em termos de investimento. A simulação Monte Carlo considerou como dados de entrada para a distribuição normal o valor de 80% do VPL calculado e como média 50% do VPL calculado. Ou seja, considera-se na simulação o valor de VPL será 80% do valor inicialmente calculado. Foram geradas 10.000 iterações. Como resultado da simulação, o VPL ficou 0,6% abaixo do valor calculado e TIR 36,7% abaixo do valor calculado, valores que ainda são aceitáveis em termos de investimento. O custo do produto ficou abaixo do custo-meta definido, e ainda permite uma boa margem no preço de venda, dado o mark-up de 50% definido.

Quadro 2: Resumo da análise da segunda concepção do penetrômetro (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software	R\$ 30,867.08
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 10,706.25
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 41,573.33
Custo do Produto Mecatrônico	R\$ 1,295.00
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 2,209.61
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 3,314.42
Preço de venda 50a unidade produzida	R\$ 3,187.26
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 19,688.15
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.21 ano(s) ou 4 ano(s) e 3 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 5.54 ano(s) ou 5 ano(s) e 6 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	19.78%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR > TMA - Aceita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 1,783.04
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	6.47%

Vários fatores devem ser levados em consideração para se rejeitar ou não o projeto, como o preço de venda, que no caso foi considerado um *mark-up* de 50% sobre o custo, o portfólio de projetos que está sendo desenvolvido, a estratégia definida pela empresa, se o produto é ou não estratégico, dentre outros. O custo estimado inicialmente tende a diminuir com o decorrer do tempo devido à estratégia curva de experiência adotada.

O Quadro 3 apresenta uma comparação entre as duas concepções do protótipo mecatrônico. Como pode ser observado, de acordo com as métricas financeiras, os dois projetos seriam aceitos, porém a segunda concepção, apesar de possuir um custo maior, apresenta métricas financeiras mais robustas em termos de VPL e TIR.

Quadro 3: Comparação das duas concepções do penetrômetro (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico		
	1a Concepção	2a Concepção
Custo do Desenvolvimento do Software	R\$ 39,016.74	R\$ 30,867.08
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 11,190.00	R\$ 10,706.25
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 50,206.74	R\$ 41,573.33
Custo do Produto Mecatrônico	R\$ 965.00	R\$ 1,295.00
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 2,069.55	R\$ 2,209.61
Precificação		
Preço de venda 1a unidade	R\$ 3,104.33	R\$ 3,314.42
Preço de venda 50a unidade	R\$ 2,985.23	R\$ 3,187.26
Análise Econômica		
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 15,201.38	R\$ 19,688.15
2) Payback Simples	4.8 anos	4.21 anos
3) Payback Descontado	6.6 anos	5.54 anos
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	16.08%	19.78%
Análise Econômica:		
	VPL > 0 - Aceita o projeto	VPL > 0 - Aceita o projeto
	TIR > TMA - Aceita o projeto	TIR > TMA - Aceita o projeto

O gráfico 2 apresenta uma comparação dos custos de desenvolvimento de software e hardware das duas concepções. Pode ser observado que no quesito custo de desenvolvimento, a segunda concepção apresenta custos menores, tanto para software quanto para hardware. Como a segunda concepção utiliza o notebook como acessório, o esforço no desenvolvimento do software e hardware é menor, em comparação com a primeira concepção, que faz uso de placas de circuito impresso e um maior número de interfaces, necessitando desta forma de maior esforço tanto no desenvolvimento de hardware quanto de software.

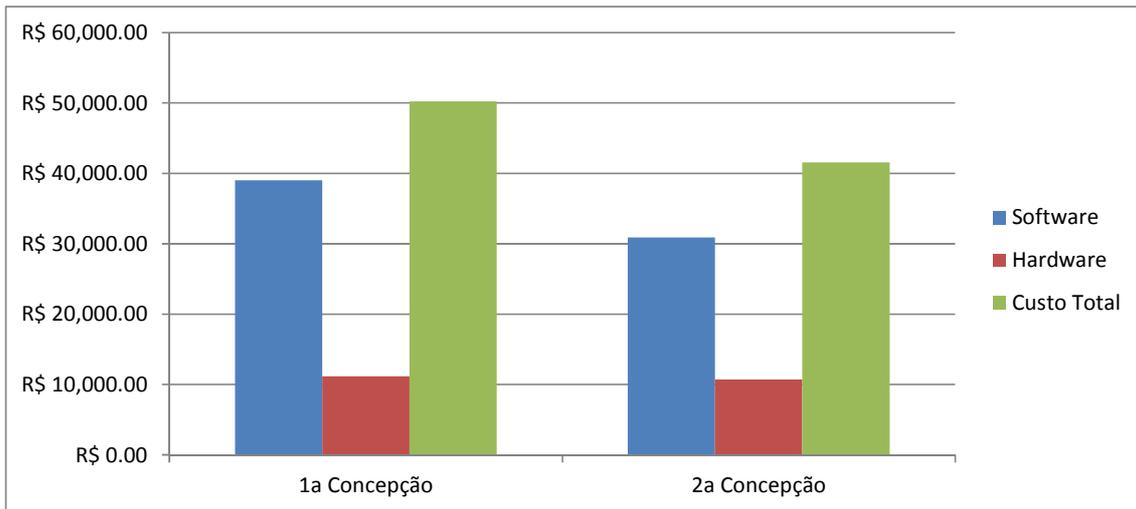


Gráfico 2: Comparação dos custos de desenvolvimento (Elaborado pelo autor).

O gráfico 3 apresenta uma comparação dos custos das partes e componentes das duas concepções. Como pode ser observado, a concepção dois apresenta um maior custo de partes e componentes. A concepção dois utiliza um sistema de acionamento hidráulico na parte mecânica, e necessita de um sistema de aquisição de dados, o que implica em maiores custos, enquanto a concepção um utiliza para acionamento um sistema de acionamento por alavanca e o arduino executa a função de aquisição de dados.

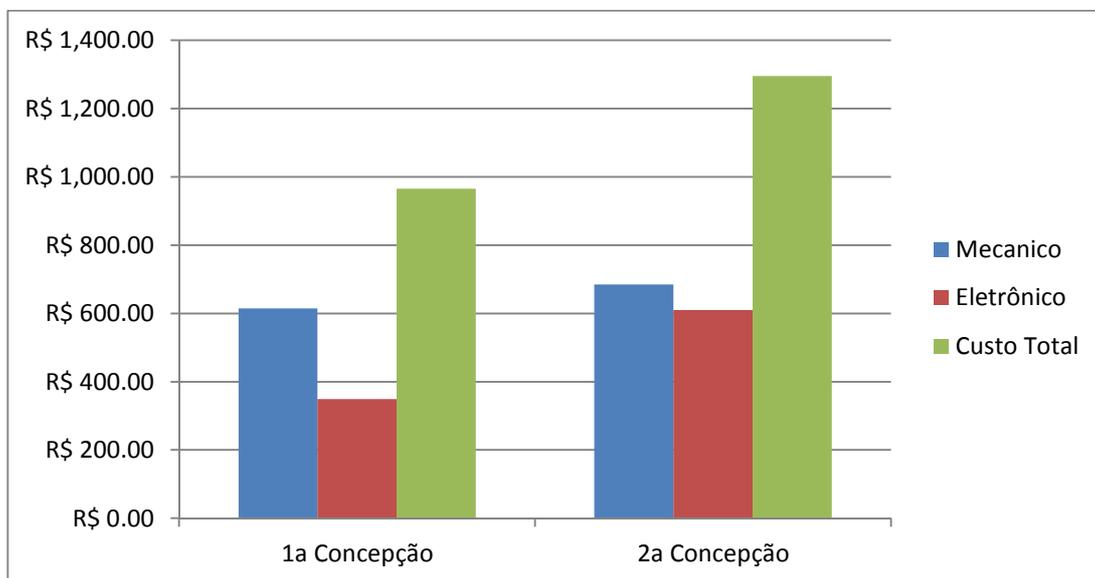


Gráfico 3: Comparação dos custos das partes e componentes (Elaborado pelo autor).

Nesta etapa será realizada uma análise de sensibilidade para as duas concepções com o intuito de se tratar o pior caso e o melhor caso. A análise de sensibilidade é uma técnica usada para se verificar variabilidade nas necessidades do

projeto, avaliando-se os efeitos de mudanças em parâmetros do sistema em relação ao custo (NASA, 2015).

Como pior caso, partindo do cenário base, será avaliado um aumento de 10% nos custos do projeto, incluindo-se mão-de-obra e componentes do produto, mantido o preço de venda inalterado. Como melhor caso, partindo do cenário base, será avaliado uma redução de 10% nos custos do projeto, mantido o preço de venda inalterado.

O Quadro 4 apresenta os principais resultados em termos das variáveis financeiras em análise, bem como a ordem de preferência dentre todos os casos. Conforme esperado, os dois melhores casos das duas concepções apresentam melhores retornos, seguidos pelos cenários base e pelos piores casos.

Quadro 4: Priorização dos diferentes cenários (Elaborado pelo autor).

Concepção	Cenário	VPL	Payback	TIR	Priorização
1	Base	R\$ 15,201.38	4.8 anos	16.08%	4
1	Pior Caso	R\$ 7,831.99	5.54 anos	12.42%	6
1	Melhor Caso	R\$ 22,571.06	4.13 anos	20.33%	2
2	Base	R\$ 19,688.15	4.21 anos	19.78%	3
2	Pior Caso	R\$ 12,165.81	4.95 anos	15.27%	5
2	Melhor Caso	R\$ 27,124.87	3.55 anos	24.97%	1

Nesta etapa buscou-se aplicar a sistematização proposta no capítulo 3 em duas concepções de um protótipo de produto mecatrônico. Considera-se o resultado satisfatório em termos do custo-meta definido e em termos dos preços de venda de produtos similares aos avaliados na simulação.

Todos os casos simulados foram atrativos em termos de investimento, porém outras variáveis devem ser levadas em conta antes de se tomar a decisão de investimento.

A comparação do modelo proposto com o modelo COSYSMO para a concepção 1 gerou resultados satisfatórios, e a diferença em custo entre os dois modelos ficou em 0,29%.

Na simulação da segunda concepção, o custo do notebook a ser utilizado não foi considerado nos cenários. Quando se considerou o custo de um notebook no valor de R\$1.500,00 no cenário base da segunda concepção, o projeto se tornou inviável, apresentado VPL e TIR negativos, sendo, portanto, rejeitado o investimento.

O máximo custo permitido para o projeto ainda ser viável para a primeira concepção é em torno de R\$ 2.599,55. Quanto à segunda concepção, o máximo custo permitido é em torno de R\$ 2.898,00. Acima desses valores, as métricas financeiras se tornam negativas e os projetos são rejeitados.

A seguir são apresentados os resultados da simulação dos custos do equipamento de ablação hepática.

4.2 Equipamento médico assistencial

Nesta etapa são apresentados os resultados da simulação do EMA. Primeiramente há uma breve descrição do software e hardware do protótipo e a seguir os resultados encontrados.

O software em questão possui a funcionalidade de gerar a interface gráfica de um equipamento de ablação hepática, fornecendo ao usuário opções de configuração e monitoramento do procedimento de ablação. Além disso, o software é responsável por realizar o controle do sistema de ablação através da potência enviada ao sistema no procedimento de queima, e também pelo monitoramento de alguns parâmetros, como a temperatura da região de operação e a corrente do sistema.

A interface gráfica do software, apresentada na Figura 25, possibilita ao usuário escolher entre os modos de operação Manual ou Automático, como também consultar os dados pré-clínicos do paciente.



Figura 25: Interface gráfica do EMA.

Fonte: Pesquisa e Desenvolvimento, (2013).¹

O modo manual permite que o usuário escolha os parâmetros de operação individualmente, sendo estes parâmetros o tempo de operação, as potências inicial e

final, os passos de operação e a temperatura máxima permitida na região de operação. Esses valores depois de escolhidos são apresentados em uma tela de verificação, Figura 26, onde o usuário pode confirmar os dados ou voltar para alterá-los.

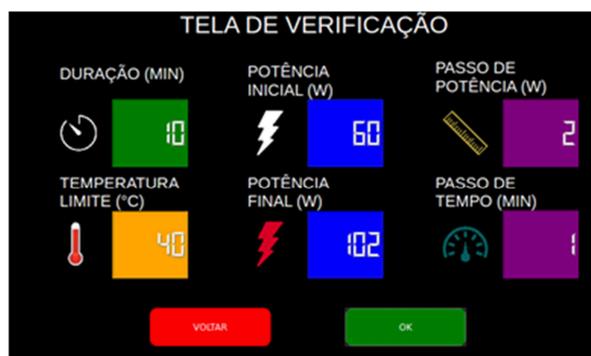


Figura 26: Tela de verificação do EMA.

Fonte: Pesquisa e Desenvolvimento, (2013).¹

O modo automático, Figura 27, apresenta ao usuário três módulos distintos, com os parâmetros de operação pré-fixados, permitindo que o usuário trabalhe com valores pré-definidos de operação.

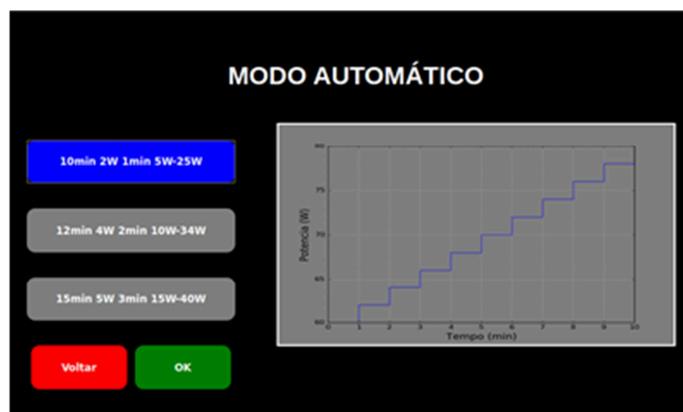


Figura 27: Modo automático do EMA.

Fonte: Pesquisa e Desenvolvimento, (2013).¹

O software realiza o monitoramento dos parâmetros de temperatura e impedância do fígado do paciente, como também a potência e o tempo de operação do procedimento. Estes valores são apresentados para o usuário durante o procedimento de operação, Figura 28.

¹ Projeto de P&D do Laboratório de Engenharia Biomédica da UnB, Projeto Sofia TC 122/2013.



Figura 28: Tela de monitoramento do EMA.

Fonte: Pesquisa e Desenvolvimento, (2013).¹

O software também realiza um controle e monitoramento de segurança a partir da temperatura na região de operação, da impedância do fígado, e da corrente fornecida ao equipamento, de modo que, quando algum destes parâmetros excede o limiar de segurança estabelecido, o procedimento de ablação é interrompido e uma mensagem de segurança é mostrada ao usuário.

Quanto ao hardware, o mesmo consiste nos componentes eletrônicos necessários para se atingir o objetivo proposto pelo protótipo. As listas de componentes de cada concepção analisada encontram-se nos anexos 3 e 4.

Em suma, o software de ablação hepática aqui apresentado, possui as funcionalidades de gerar uma interface gráfica amigável e intuitiva para o usuário final do equipamento, de forma que nesta interface são apresentadas as etapas de configuração e monitoramento necessárias para a realização de um adequado procedimento de ablação. O software realiza também um controle sobre determinados parâmetros considerados de essencial importância em uma operação de ablação, como potência, tempo do procedimento, temperatura e impedância da região de operação.

Os dados e premissas básicas utilizadas na análise da EC estão apresentados na Tabela 12. No desenvolvimento de software, serão consideradas duas metodologias para se apurar o custo. Na primeira será utilizada a metodologia do COCOMO (1984), e na segunda, a metodologia proposta por Jeziorek (2005).

Tabela 12: Premissas básicas utilizadas na análise (Elaborado pelo autor).

Dados Gerais	
Custo-meta	R\$ 5.000,00 - R\$ 10.000,00
# Unidades produzidas	500
Horizonte de tempo	10 anos
Tempo de desenvolvimento	1 ano e 8 meses
Dados relativos ao Software	
Tipo de projeto	Orgânico
Salário Analista Software	R\$ 10.000,00
Numero de linhas código (K)	3.0 a 5.0 (varia com a linguagem de programação)
Equipe	3 engenheiros
Dados relativos ao Hardware	
Custo homem-hora mecânico	R\$ 45,00
Custo homem-hora eletrônico	R\$ 50,00
Equipe	4 engenheiros
Dados da análise econômica	
Taxa de desconto	8%
TMA	10%

O Quadro 5 apresenta a EC para a primeira concepção do equipamento de ablação hepática, utilizada na estimativa do custo de desenvolvimento de software o modelo COCOMO. Como pode ser verificado, o custo total do produto é R\$ 4.218,00, sendo, portanto, abaixo do custo meta definido. O VPL é positivo, porém, a TIR é menor que a TMA. O payback simples do protótipo é de 3 anos e 11 meses. Com base na simulação, aceita-se o projeto de concepção 1 quando considera-se o VPL, mas rejeita-se o projeto quando considera-se a TIR.

Quadro 5: Resumo da análise da primeira concepção do equipamento de ablação (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software (COCOMO)	R\$ 76.065,65
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 608.225,00
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 684.290,65
Custo dos Componentes	R\$ 2.712,60
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 4.218,04
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 6.327,06
Preço de venda 500a unidade produzida	R\$ 6.084,32
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 434.210,58
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 3.94 ano(s) ou 3 ano(s) e 11 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 4.95 ano(s) ou 4 ano(s) e 11 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	8.33%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR < TMA - Rejeita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 429.606,22
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	8.41%
Voltar 	

O Quadro 6 apresenta a EC para a primeira concepção do equipamento de ablação hepática, utilizada na estimativa do custo de desenvolvimento de software o modelo proposto por Jeziorek (2005). Como pode ser verificado, o custo total do produto é R\$ 5.370,70, sendo, portanto, dentro do custo meta definido. O VPL é positivo, porém, a TIR é menor que a TMA. O payback simples do protótipo é de 4 anos e 9 meses. Com base na simulação, aceita-se o projeto de concepção 1 quando considera-se o VPL, mas rejeita-se o projeto quando considera-se a TIR.

Quadro 6: Resumo da análise da primeira concepção do equipamento de ablação (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software (Jeziorek, 2005)	R\$ 600,000.00
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 608,225.00
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 1,208,225.00
Custo dos Componentes	R\$ 2,712.60
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 5,370.70
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 8,056.05
Preço de venda 500a unidade produzida	R\$ 7,746.98
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 459,878.40
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.73 ano(s) ou 4 ano(s) e 9 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 6.19 ano(s) ou 6 ano(s) e 2 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	1.87%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR < TMA - Rejeita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 458,055.42
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	1.85%
Voltar 	

O Quadro 7 apresenta a EC para a segunda concepção do equipamento de ablação hepática, utilizada na estimativa do custo de desenvolvimento de software o modelo COCOMO. Como pode ser verificado, o custo total do produto é R\$ 3.610,34, sendo, portanto, abaixo do custo meta definido. O VPL é positivo, porém, a TIR é menor que a TMA. O payback simples do protótipo é de 4 anos e 6 meses. Com base na simulação, aceita-se o projeto de concepção 2 quando considera-se o VPL, mas rejeita-se o projeto quando se considera a TIR.

Quadro 7: Resumo da análise da segunda concepção do equipamento de ablação (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software (COCOMO)	R\$ 130,055.81
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 608,225.00
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 738,280.81
Custo dos Componentes	R\$ 1,986.12
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 3,610.34
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 5,415.51
Preço de venda 500a unidade produzida	R\$ 5,207.74
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 329,544.81
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.5 ano(s) ou 4 ano(s) e 6 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 5.82 ano(s) ou 5 ano(s) e 10 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	3.59%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR < TMA - Rejeita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 429,606.22
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	8.41%
<input type="button" value="Voltar"/> 	

O Quadro 8 apresenta a EC para a segunda concepção do equipamento de ablação hepática, utilizada na estimativa do custo de desenvolvimento de software o modelo proposto por Jeziorek (2005). Como pode ser verificado, o custo total do produto é R\$ 4.644,22, sendo, portanto, dentro do custo meta definido. O VPL é positivo, porém, a TIR é menor que a TMA. O payback simples do protótipo é de 5 anos e 1 mês. Com base na simulação, aceita-se o projeto de concepção 2 quando considera-se o VPL, mas rejeita-se o projeto quando se considera a TIR.

Quadro 8: Resumo da análise da segunda concepção do equipamento de ablação (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software (Jeziorek, 2005)	R\$ 600,000.00
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 608,225.00
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 1,208,225.00
Custo dos Componentes	R\$ 1,986.12
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 4,644.22
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 6,966.33
Preço de venda 500a unidade produzida	R\$ 6,699.07
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 352,567.10
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 5.08 ano(s) ou 5 ano(s) e 1 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 6.79 ano(s) ou 6 ano(s) e 9 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	-0.51%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR < TMA - Rejeita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 348,828.49
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	0.51%

Voltar 

Nas simulações do equipamento de ablação hepática, foram utilizadas duas abordagens de cálculo do custo de desenvolvimento de software, o modelo COCOMO (1984) e a metodologia proposta por Jeziorek (2005). Verificou-se uma grande diferença nos valores do custo de desenvolvimento de software. O modelo de COCOMO utilizado na análise foi o básico, sendo mais utilizado para gerar estimativas rápidas nas fases iniciais do PDP. Desta forma, no caso apresentado, considera-se a metodologia proposta por Jeziorek (2005) como a mais adequada à elaboração da EC do desenvolvimento de software.

Todos os casos simulados do equipamento de ablação hepática foram atrativos em termos de VPL, mas foram rejeitados em termos de TMA. Porém outras variáveis devem ser levadas em conta antes de se tomar a decisão de investimento. As simulações das concepções dos protótipos foram analisadas pela equipe desenvolvedora, e foram consideradas satisfatórias em termos dos custos estimados pela equipe e em termos dos custos de equipamentos similares do mercado.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

5.1 Conclusões

O PDPM ainda é um grande desafio, tanto no meio acadêmico quanto no meio empresarial. Neste trabalho, buscou-se desenvolver um modelo de EC e análise econômico-financeira que integre os diferentes domínios de engenharia envolvidos no PDPM.

Entre os modelos estudados para o PDP destaca-se o modelo V (GAUSEMEIER; MOEHRINGER, 2003), que serviu de base para o modelo de EC. O modelo V apresenta um fluxo geral para o PDP. Ele parte da identificação das necessidades dos usuários. As necessidades identificadas, que no presente trabalho é o custo, serão inseridas no projeto e serão controladas até a validação do sistema pelo próprio usuário. Para se chegar ao produto final, cada etapa de definição do produto deve ser avaliada e testada (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008). Buscou-se a integração da sistematização de EC desenvolvido ao modelo V. Na prática, o modelo de EC pode ser integrado a qualquer modelo de PDPM que esteja sendo utilizado, pois as fases propostas na sistematização são comuns a qualquer projeto de desenvolvimento mecatrônico e podem ser utilizados na análise financeira. Ressalta-se que a sistematização proposta no presente trabalho aplica-se a qualquer modelo de PDPM.

Outro ponto importante na etapa de projeto conceitual, além das atividades genéricas de desenvolvimento, é a pesquisa de campo com o cliente, sobretudo no levantamento de parâmetros de projeto e do produto em si.

A sistematização de EC e análise econômico-financeira proposta é desdobrada em seis fases: preparação das informações de custo, elaboração das EC, precificação, avaliação econômica, simulação, e revisão e validação. Cada fase possui um conjunto de entradas, processos e saídas.

Com base na revisão da literatura sobre EC, os métodos de estimativa por analogia e paramétrico foram considerados como base para se proceder no desenvolvimento das estimativas. O método por analogia é utilizado quando não existem informações suficientes sobre o produto, e se baseia na experiência dos

desenvolvedores. Já o método paramétrico requer poucos detalhes do projeto e também é executado de forma rápida, sendo, portanto, de fácil implementação.

Na parte de desenvolvimento de produto, as EC seguem dois modelos principais: um modelo para software e um para hardware. No desenvolvimento de software, foi utilizado o modelo COCOMO. Optou-se por escolher esse modelo devido ao fato de vários casos de aplicação de sucesso disponíveis na literatura e pela sua grande utilização pelos desenvolvedores em geral. O modelo COCOMO utiliza a abordagem paramétrica, que possui a vantagem de após o desenvolvimento do modelo, o tempo para se produzir uma estimativa ser mínimo. Ele também torna a opinião do especialista menos impactante, uma desvantagem da abordagem por analogia. Os outros modelos paramétricos para EC de desenvolvimento de software identificados são em sua grande maioria modelos proprietários, sendo, portanto, de difícil acesso e utilização.

No desenvolvimento de hardware, foi utilizado o modelo proposto por Bernardi *et al* (2004), que lista as principais atividades relacionadas ao desenvolvimento de produtos mecatrônicos e o modelo proposto por Jeziorek (2005) que busca computar o custo do homem-hora e o total de horas utilizadas para cada atividade. Essa proposta apresenta a vantagem de ser um *framework* genérico de desenvolvimento, que pode ser utilizado e modificado para cada tipo de projeto de desenvolvimento. Como desvantagem, essa abordagem baseia-se excessivamente na subjetividade e julgamento do especialista, podendo apresentar um viés negativo na precisão da estimativa.

Quanto à EC do produto em si (partes e componentes), foi utilizado o modelo proposto por Axelsson (2000). Esse modelo tem a vantagem de permitir que sejam estimados os custos das partes e componentes que compõem o produto. A estrutura SBS também auxilia na organização e estruturação do produto mecatrônico, permitindo uma maior integração no projeto de desenvolvimento. As EC específicas são então integradas para se chegar ao custo total do produto mecatrônico.

A estratégia de precificação escolhida para se aplicar no modelo é a curva de experiência. Nesta estratégia, os custos diminuem com o volume de produção acumulado devido ao aumento da familiaridade com o processo de montagem e outros fatores inerentes ao produto produzido. Como o objetivo deste trabalho direciona-se a pequenas empresas de base tecnológica, que não possuem grandes vantagens de custo nem economia de escala para competir na estratégia de penetração no mercado, e

também não possuem um produto altamente diferenciado para utilizarem a estratégia de manutenção de preços elevados, como os grandes *players*, considera-se adequada a estratégia da curva de experiência na precificação de produtos.

Os métodos de avaliação econômica de projetos auxiliam na priorização e seleção de projetos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos. Optou-se neste trabalho pela utilização dos métodos de avaliação mais tradicionais, como o VPL, a TIR e o *payback*. A simulação Monte Carlo foi utilizada como uma forma de se verificar e testar diferentes cenários para os indicadores da avaliação econômico-financeira.

A etapa de verificação e validação ocorreu por meio da aplicação da ferramenta em casos de protótipos de sistemas/produtos mecatrônicos, apresentados nos capítulos quatro e cinco.

Quanto à etapa de avaliação, a sistematização foi aplicada em projetos de concepção de protótipos de sistemas mecatrônicos. Os resultados da simulação foram considerados satisfatórios em termos de custo pelas equipes desenvolvedoras dos sistemas analisados. Os custos encontrados para as concepções dos protótipos foram considerados similares aos produtos existentes no mercado.

A pesquisa contribui ao tema desenvolvimento de produtos mecatrônicos, sobretudo em relação às EC e à análise econômica utilizadas de forma integrada no projeto de desenvolvimento de produto. Buscou-se verificar na literatura os trabalhos mais relevantes e os *gaps* existentes. A sistematização proposta para EC e análise econômica buscou diferentes abordagens oriundas de diversos trabalhos e visou à integração desses conceitos de uma forma que abrangesse os diferentes domínios dos projetos de produtos/sistemas mecatrônicos.

A proposta contribui para o desenvolvimento das atividades de custo no projeto de produto, alinhando-se às melhores práticas do DFC, buscando sistematizar o processo de análise de custo e avaliação econômico-financeira na fase de projeto conceitual.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

O presente trabalho buscou desenvolver um modelo de EC que possibilitasse a integração das análises de EC ao PDPM, mas o assunto aqui desenvolvido não se

encerra. Devido à importância do tema no mundo acadêmico e empresarial, muita pesquisa tem sido realizada e novos trabalhos têm surgido constantemente. Como sugestões para trabalhos futuros ligados ao estudo, sugerem-se as seguintes:

- Desenvolvimento de um sistema computacional para o processo de EC de produtos mecatrônicos.
- Desdobramento do modelo para a análise de todo o ciclo de vida do produto.
- Integração do modelo a outras técnicas de desenvolvimento de software.
- Aplicação do modelo em outros projetos de protótipos de sistemas mecatrônicos.
- Integração do modelo aos modelos de custo de engenharia de sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKARAAN, F.; NORTHCOTT, D. Strategic capital investment decision-making: A role for emergent analysis tools? **The British Accounting Review**, v. 38, n. 2, p. 149-173, 2006.

ASIEDU, Y.; GU, P. Product life cycle cost analysis: State of the art review. **International Journal of Production Research**, v. 36, issue 4, p. 883-908, 1998.

ASSAF, N., A. Os Métodos Quantitativos de Análise de Investimentos. **Caderno de Estudos (USP)**, São Paulo, v. s/v, p. 1-16, p. 1992.

AXELSSON, J. Cost Models for electronic architecture trade studies. **Proceeding of the 6th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems**, Tokyo, pp. 229-239, 2000.

AZZEH, M., *et al.* Analogy-based software effort estimation using fuzzy numbers. **The Journal of Systems and Software**, v. 84, pp. 270-284, 2011.

BARBALHO, S. **Reference model for mechatronic product development: proposal and applications**. Doctoral Thesis, USP, 275 p., 2006.

BARFIELD, J. T.; *et al.* **Cost Accounting: Traditions and Innovations**, 4th edition, South-Western College Pub, 960 p., 2000.

BERNARDI, M., *et al.* Integrating a mechatronics-oriented development process into a development department. **Proceeding of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems**, pp. 19-21, 2004.

BERTO, R., NAKANO, D. Metodologia da pesquisa e a engenharia de produção. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 1998.

BOEHM, B., Software Engineering Economics, **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 10, n° 1, 1984.

BOEHM, B., *et al.* Software development cost estimation approaches – A Survey. **Annals of Software Engineering**, v. 10, pp. 177-205, 2000.

BOEHM, B., LANE, J. Using the incremental commitment model to integrate system acquisition, systems engineering and software engineering. **CrossTalk**, p. 4-9, 2007.

BRAUN, S., LINDEMANN, U. A multilayer approach for early cost estimation of mechatronic products. **International Conference on Engineering Design**, v. 187, 2007.

BROWN, B. **Systems Engineering Cost Estimating: Approaches and Impacts - A Master of Engineering Report**, Texas Tech University, Texas, 98 p., 2002.

BRUNI, A., *et al.* Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 1, n. 6, 1998.

CARRASCO, A., SANTOS, A. Cost estimation model for early stages in the mechatronic product design. **XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2014.

CHWASTYK, P., KOLOSOWSKI, M. Estimating the cost of the new product in development process. **Procedia Engineering**, v. 69, pp. 351-360, 2014.

COOPER, R. Stage-Gate systems: a review tool for managing new products. **Business Horizons**, pp. 44-54, 1990.

DAHMUS, J. B., OTTO, K. N. Incorporating lifecycle costs into product architecture decisions. **Research Gate**, 2001.

DIETER, G. **Engineering Design: a materials and processing approach; 3rd edition**, McGraw Hill; 790 p., 2000.

DILLIBABU, R, KRISHNAIAH, K. Cost estimation of a software product using COCOMO II.2000 model – a case study. **International Journal of Project Management**, v. 23, pp. 297-307, 2005.

FARR, J. **System Life Cycle Costing Economic Analysis, Estimation, and Management**. Florida: CRC Press, 316 p., 2011.

FERREIRA, C. V. **Estimativa de Custos na Fase de Projeto Conceitual: Uma metodologia para Seleção da Estrutura Funcional e da Alternativa de Solução**. Florianópolis, SC. CPGEM. UFSC. Dissertação, 1997.

FIXSON, S. **Linking modularity and cost: A methodology to assess cost implications of product architecture differences to support product design**. Massachusetts Institute of Technology, 2002.

GAUSEMEIER, J., MOEHRINGER, S. New guideline VDI 2206 – A flexible procedure model for the design of mechatronic systems. **International Conference on Engineering Design**, 2003.

GAUSEMEIER, J., *et al.* Integrative development of product and production system for mechatronic products. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 27, pp. 772-778, 2011.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 10ª ed., São Paulo: Harbra. 2007.

GRAHOVAC, D., DEVEDZIC, V. (2010). COMEX: A cost management expert system. **Expert Systems with Applications**, v. 37(12), 2010.

GRUNENWALD, J., VERNON, T. Pricing decision making for high-technology products and services. **Journal of Business & Industrial Marketing**, v. 3, pp. 61-70, 1988.

HEHENBERGER, P., *et al.* Hierarchical design models in the mechatronic product development process of synchronous machines. **Mechatronics**, v. 20, pp. 864-875, 2010.

H'MIDA, F., *et al.* Cost estimating in mechanical production: The cost entity approach applied to integrated product engineering. **International Journal of Production Economics**, v. 103, pp. 17-35, 2006.

HOUAISS, I. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. 1ª edição. Editora Objetiva, 1986 p., 2009.

HUANG, X., *et al.* Improving COCOMO model using a neuro-fuzzy approach. **Applied Soft Computing**, v. 7, pp. 29-40, 2007.

INTERNATIONAL SOCIETY OF PARAMETRIC ANALYSTS (ISPA). **Parametric Estimating Handbook**, 4th edition. Vienna, VA, 237 p., 2008.

JEZIOREK, P. **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., 2005.

KAPLAN, Robert S., COOPER, Robin. **Custo e desempenho: administre seus custos para ser mais competitivo**. São Paulo: Ed. Futura. 1998.

KHADTARE, M., SMITH, E. Fractal-COSYSMO systems engineering cost estimation for complex projects. **Procedia Computer Science**, v. 6, pp. 88-93, 2001.

KHATIBI, V., JAWAWI, D. Software cost estimation methods: A review. **Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences**, v. 2, n. 1, pp. 21-29, 2011.

KWAK, Y. H., WATSON, R. J. Conceptual estimating tool for technology-driven projects: exploring parametric estimating technique. **Technovation**, v. 25, pp. 1430-1436, 2005.

MAGAZINIUS, A., *et al.* Investigating intentional distortions in software cost estimation – An exploratory study. **The Journal of Systems & Software**, v. 85, pp. 1770-1781, 2012.

MARCONI, M., LAKATOS, E. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 5ª ed., 310 p., 2003.

MARQUEZAN, L. H. F., BRONDANI, G.. Análise de Investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, v. 3, p. 1/5-15, 2006.

MERINO, M. **Modelagem conceitual de um instrumento de medição de humidade e resistência à penetração**. Dissertação de Mestrado, PPMEC. UNB, 179 p., 2016.

MICHAELS, J. V., WOOD, W. P. **A review of: "Design to cost"**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 413 pp., 1989.

MIKKOLA, J. H. Modularity, component, outsourcing, and inter-firm learning. **R&D Managing**, v. 33, n. 4, p. 439-454, 2003. ISSN: 0033-6807.

MITTAS, N., *et al.* Improving analogy-based software cost estimation by a resampling method. **Information and Software Technology**, v. 50, pp. 221-230, 2008.

MITTAS, N., *et al.* Integrating non-parametric models with linear components for producing software cost estimations. **The Journal of Systems and Software**, v. 99, pp. 120-134, 2015.

MONDEN, Y., HAMADA, K. (1991). Target costing and kaizen costing in japanese automobile companies. **Journal of Management and Accounting Research**, v. 3, pp. 16-34, 1991.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Nasa Cost Estimating Handbook**, version 4.0. Washington DC, 63 p., 2015.

NOBLE, P., GRUCA, T. Industrial Pricing: Theory and Managerial Practice. **Marketing Science**, v. 18, pp. 435-454, 1999.

PERRY, M. Design for cost. **Proceedings of the 2002 International Forum on Design for Manufacture Assembly**, v. 10, pp. 45-71, 2002.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge**, Project Management Institute, Newton Square, PA, 216 p., 2013.

QIAN, L., BEN-ARIEH, D. Parametric cost estimation based on activity-based costing: A case study for design and development of rotational parts. **International Journal of Production Economics**, v. 113, pp. 805-818, 2008.

QIN, X., FANG, M. Summarization of software cost estimation. **Procedia Engineering**, v. 15, pp. 3027-3031, 2011.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de Investimento**. 1ª ed. Barueri - SP: Editora Manole, 328 p., 2004.

RICHTER, T., *et al.* Representing the Effects of Product Architecture for Decision-Making in Conceptual Design. In: **International Conference on Research into Design**. Springer, Singapore, p. 543-553, 2017.

RODRIGUES, K. **Sistematização e análise da avaliação econômica de projetos de desenvolvimento de produtos e serviços**. Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos 347 p., 2014.

ROY, R. *Cost Engineering: Why, what and how?* **Decision Engineering Report Series**. Cranfield University, 2003.

ROY, R., *et al.* Estimating the cost of a new technology intensive automotive product: A case study approach. **International Journal of Production Economics**, pp. 210-226., 2005.

ROZENFELD, H., *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria de processos**. Saraiva, São Paulo, 542 p., 2006.

SANTOS, A. C. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos em um ambiente de SCM**. Tese Doutorado, PPGEM. CTC. UFSC, 408p., 2008.

SHETTY, D., KOLK, R. **Mechatronics System Design**, SI edition, 2nd edition, Cengage Learning, 525p., 2011.

STEWART, R., *et al.* **Cost Estimator's Reference Manual**, 2nd edition, John Wiley and Sons Ltd., 744 p., 1995.

TYAGI, S., *et al.* Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. **International Journal of Production Economics**, v. 160, pp. 202-212, 2015.

ULRICH, K., EPPINGER, S. **Product Design Development**. McGrawHill, 415 p., 1995.

VALERDI, R., **The Constructive Systems Engineering Cost Estimation Model (COSYSMO)**, University of Southern California, 2005.

VALERDI, R. Heuristics for Systems Engineering Cost Estimation. **IEEE Systems Journal**, 2010.

VASIĆ, V., LAZAREVIĆ, M. Standard industrial guideline for mechatronic product design. **FME Transactions**, 2008.

WANG, G., *et al.* (2012). Harmonising software engineering and systems engineering cost estimation. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 25, Nos. 4-5, 432-443, 2012.

WEHRMEISTER, M., *et al.* Combining aspects and object-orientation in model-driven engineering for distributed industrial mechatronics systems. **Mechatronics**, v. 24, pp. 844-865, 2014.

YEH, S., RUGIN, E. (2012). A review of uncertainties in technology experience curves. **Energy Economics**, v. 34, pp. 762-771, 2012.

ZHENG, C., et al. Survey on mechatronic engineering: A focus on design methods and product models. **Advanced Engineering Informatics**, v. 28, pp. 241-257, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – SISTEMATIZAÇÃO PARA ESTIMATIVA DE CUSTO

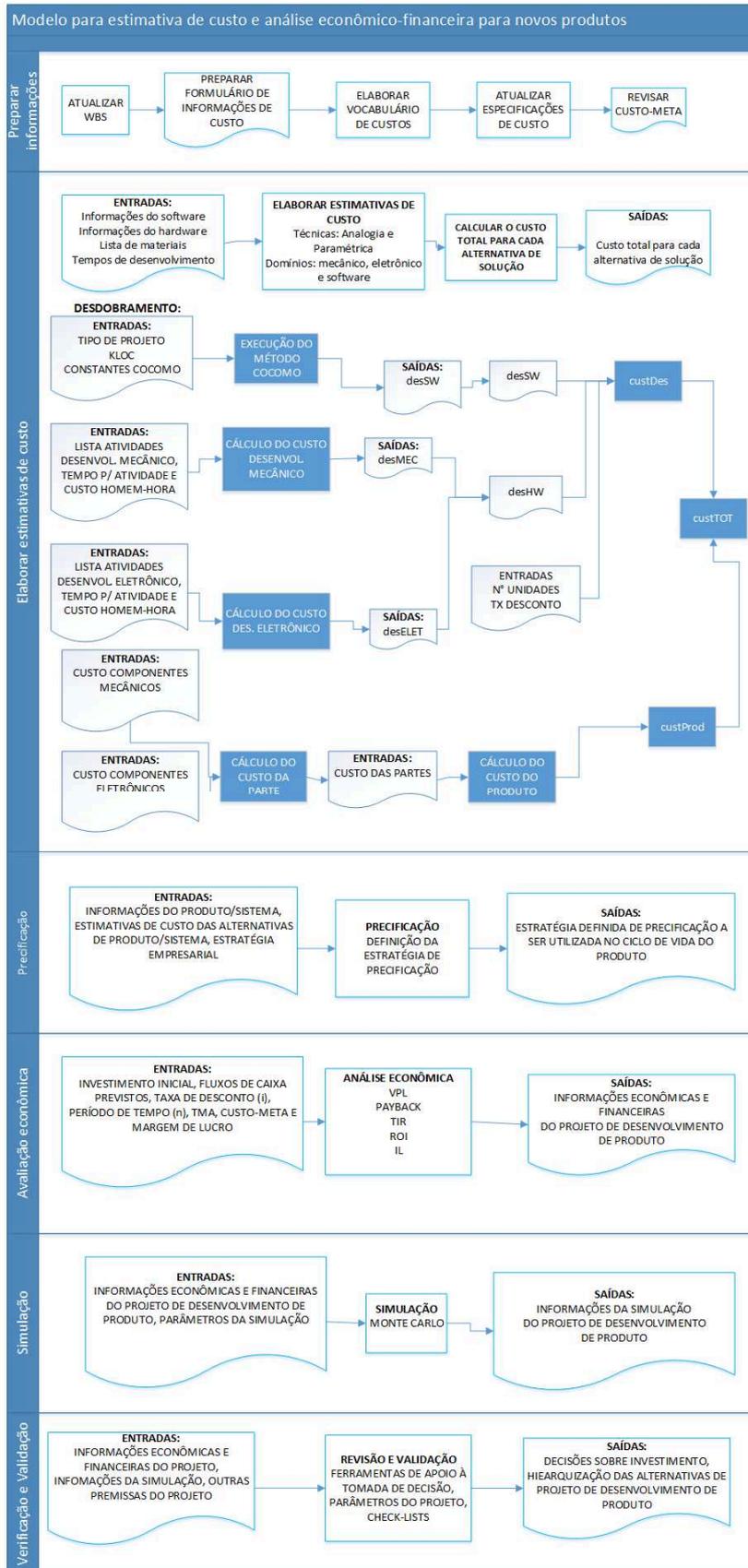


Figura 29: Modelo para estimativa de custo e análise econômica (Elaborado pelo autor).

APÊNDICE 2 – FERRAMENTA PROPOSTA

A ferramenta proposta para avaliação dos custos do produto mecatrônico foi desenvolvida em Excel e Visual Basic. O documento possui as seguintes abas:

- Instruções: contém informações básicas sobre a ferramenta, bem como o fluxograma de navegação entre as diversas abas.
- Resumo: contém informações sumarizadas dos custos do produto mecatrônico, da avaliação econômica do projeto e dados da simulação, bem como gráficos e outras informações importantes do projeto.
- Software: nesta aba, a estimativa de custo de desenvolvimento de software é calculada, utilizando como base o modelo COCOMO de estimativa de custo de software.
- Hardware: nesta aba, a estimativa de custo de desenvolvimento de hardware (mecânico e eletrônico) é calculada.
- Produto: nesta aba, a estimativa de custo de materiais do produto mecatrônico é calculada, utilizando-se do modelo proposto por Axelsson (2000).
- Custo Total: apresenta as informações do custo do produto mecatrônico por categoria (desenvolvimento e materiais), bem como compara a estimativa de custo com o custo-meta definido.
- Precificação: calcula o preço de cada unidade produzida, com base na equação da curva de experiência. Possui como parâmetros de entrada o custo da 1ª unidade produzida, a constante paramétrica de porcentagem de aprendizagem e o preço de venda da 1ª unidade produzida.
- Análise econômica: nesta aba, os indicadores econômicos do projeto (VPL, Payback e TIR) são calculados.
- Simulação: nesta aba, é realizada uma simulação de Monte Carlo dos indicadores econômicos calculados na etapa de Análise Econômica.

INSTRUÇÕES GERAIS

A ferramenta proposta para avaliação dos custos do produto mecatrônico foi desenvolvida em Excel e Visual Basic. O documento possui as seguintes abas:

- 1) **Resumo:** contém informações sumarizadas dos custos do produto mecatrônico, da avaliação econômica do projeto e dados da simulação, bem como gráficos e outras informações importantes do projeto.
- 2) **Software:** nesta aba, a estimativa de custo de desenvolvimento de software é calculada, utilizando como base o modelo COCOMO de estimativa de custo de software.
- 3) **Hardware:** nesta aba, a estimativa de custo de desenvolvimento de hardware (mecânico e eletrônico) é calculada.
- 4) **Produto:** nesta aba, a estimativa de custo de materiais do produto mecatrônico é calculada, utilizando-se do modelo proposto por Axelsson (2000).
- 5) **Custo Total:** apresenta as informações do custo do produto mecatrônico por categoria (desenvolvimento e materiais), bem como compara a estimativa de custo com o custo-meta definido.
- 6) **Precificação:** calcula o preço de cada unidade produzida, com base na equação da curva de experiência. Possui como parâmetros de entrada o custo da 1ª unidade produzida, a constante paramétrica de porcentagem de aprendizagem e o preço de venda da 1ª unidade produzida.
- 7) **Análise econômica:** nesta aba, os indicadores econômicos do projeto (VPL, Payback e TIR) são calculados.
- 8) **Simulação:** nesta aba, é realizada uma simulação de Monte Carlo dos indicadores econômicos calculados na etapa de Análise Econômica.

PREENCHIMENTO:
Os seguintes campos devem ser preenchidos nas respectivas planilhas:
Aba Software: Tipo de Projeto (Orgânico, Semi ou Embarcado), Salário mensal do analista e KLOC (# linhas de código em milhares).
Aba Hardware: Custo homem-hora (especialidades mecânica e eletrônica) e o tempo de cada atividade de desenvolvimento de hardware da planilha.
Aba Componentes: Listar as partes de cada produto, a quantidade e o custo de cada parte.
Aba Custo Total: Preencher o custo-meta, o # unidades produzidas e a taxa de desconto.
As outras abas serão preenchidas automaticamente.



PPMEC | Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

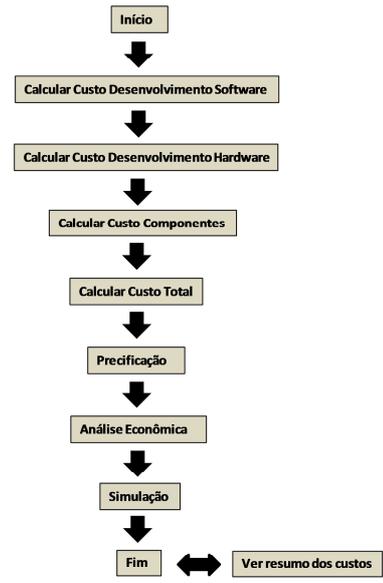


Figura 30: Instruções de preenchimento do modelo (Elaborado pelo autor).

Quadro 9: Resumo do projeto (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software	R\$ 0.00
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 0.00
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 0.00
Custo do Produto Mecatrônico	R\$ 0.00
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 0.00
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 0.00
2) Payback Simples	Sem payback
3) Payback Descontado	Sem payback
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	#NUM!
Análise Econômica:	
VPL = 0 - É indiferente investir ou não no projeto	
#NUM!	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 0.00
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	0.00%

Quadro 10: Estimativa de custo de desenvolvimento de software (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo de Desenvolvimento do Software																					
Entradas: (os campos em azul devem ser preenchidos) Tipo de projeto de Software : <input type="text"/> (Preencher o tipo de projeto: Orgânico, Semi ou Embarcado)																					
Salário do Analista: <input type="text"/>	Modelo COCOMO Equações: $\text{Esforço aplicado } (E) = a_b(KLOC)^{b_b} \text{ (pessoa - mês)}$ $\text{Tempo de desenvolvimento } (D) = c_b E^{d_b} \text{ (meses)}$ $\text{Pessoal } (P) = \frac{E}{D} \text{ (número)}$ Onde KLOC é o número de linhas (em milhares) de código do projeto. Coefficientes: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Projeto de software</th> <th>a_b</th> <th>b_b</th> <th>c_b</th> <th>d_b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Orgânico</td> <td>2.4</td> <td>1.05</td> <td>2.5</td> <td>0.38</td> </tr> <tr> <td>Semi-desacoplado</td> <td>3</td> <td>1.12</td> <td>2.5</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>Embarcado</td> <td>3.6</td> <td>1.2</td> <td>2.5</td> <td>0.32</td> </tr> </tbody> </table> Tipos de projeto: Projeto Orgânico: projetos que envolvam pequenos times com boa experiência com requisitos de projeto não rígidos. Projeto Semi-desacoplado: projetos que envolvam times médio com média experiência e requisitos de projeto rígidos e não rígidos. Projeto Embarcado: desenvolvidos com um conjunto de restrições. É também uma combinação de projetos orgânicos e semi-desacoplados.	Projeto de software	a_b	b_b	c_b	d_b	Orgânico	2.4	1.05	2.5	0.38	Semi-desacoplado	3	1.12	2.5	0.35	Embarcado	3.6	1.2	2.5	0.32
Projeto de software		a_b	b_b	c_b	d_b																
Orgânico		2.4	1.05	2.5	0.38																
Semi-desacoplado		3	1.12	2.5	0.35																
Embarcado	3.6	1.2	2.5	0.32																	
KLOC: <input type="text"/>																					
Cálculos: <input type="button" value="Calcular"/>																					
Saídas: E = <input type="text"/> pessoa-mês D = <input type="text"/> meses P = <input type="text"/>																					
Custo do Desenvolvimento do Software	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																				

Quadro 11: Estimativa de custo de desenvolvimento de hardware (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo de Desenvolvimento do Hardware																			
Entradas: (os campos em azul devem ser preenchidos) Custo homem-hora especialidade mecânica <input type="text"/> R\$/hr Custo homem-hora especialidade eletrônica <input type="text"/> R\$/hr																			
1. Lista de Atividades de Desenvolvimento Mecânico																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (hrs)</th> <th>Custo da atividade (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="text"/></td><td><input type="text" value="R\$ 0.00"/></td></tr> </tbody> </table>	Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)	<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>	1.1 Clarificar e especificar o problema 1.2 Detectar funções e estruturas 1.3 Encontrar soluções e princípios 1.4 Estruturar em modelos viáveis 1.5 Dar forma física a módulos importantes 1.6 Dar forma física ao produto como um todo 1.7 Mapear execução e instruções de uso														
Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
Custo do Desenvolvimento Mecânico <input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
2. Lista de Atividades de Desenvolvimento Eletrônico																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (hrs)</th> <th>Custo da atividade (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="text"/></td><td><input type="text" value="R\$ 0.00"/></td></tr> </tbody> </table>	Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)	<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>	2.1 Especificação 2.2 Descrição do sistema 2.3 Descrição do algoritmo 2.4 Descrição do registro e interface 2.5 Descrição da lógica 2.6 Descrição do transistor 2.7 Lay-out 2.8 Manufatura														
Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
<input type="text"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
Custo do Desenvolvimento Eletrônico <input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		
Custo do Desenvolvimento do Hardware	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>																		

Forma de cálculo:
 O custo de desenvolvimento mecânico e eletrônico é calculado por meio dos custos de atividades específicas de desenvolvimento de produtos mecânico e eletrônico. O o custo homem-hora da especialidade mecânica e eletrônica, bem como os tempos gastos em cada atividade devem ser inseridos no modelo para se chegar à estimativa de custo de desenvolvimento de hardware global, por meio da equação:

$$desHW = \sum_{i \in \text{atividade}} Cust_{atividade} \cdot Thoras$$

Quadro 12: Estimativa de custo das partes e componentes do produto (Elaborado pelo autor).

ESTIMATIVA DO CUSTO DO PRODUTO			
Entradas:			
Domínio:	<input type="text" value="Mecânico"/>		
Nome da Parte	Qtyd	Preço (R\$)	Custo Total Parte
Base retangular	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Suporte	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Acionamento	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Haste	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Alavanca	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Caixa Proteção	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Custo Produto Mecânico	<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>	
Domínio:	<input type="text" value="Eletrônico"/>		
Nome da Parte	Qtyd	Preço (R\$)	Custo Total Parte
Sensor umidade	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Sensor ultrassônico	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Sensor força	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Arduíno	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Memória	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Teclado	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Cabo USB	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Display 20x4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Cabo alimentação	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	R\$ 0.00
Custo Produto Eletrônico	<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>	
Custo do Produto Mecatrônico	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>		

Forma de cálculo:
 O custo do produto mecatrônico leva em consideração o custo das partes e componentes mecânicos e eletrônicos. Têm-se como entrada a lista de materiais e o preço unitário de cada item. A planilha calcula o custo total de cada parte, o custo do produto no mecânico e mecatrônico e o custo total. A equação é dada por:

$$custProd = \sum_{c \in parte} p.custProd$$

Quadro 13: Custo total do produto (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Entradas:	
Custo-meta	<input type="text"/>
# Unidades Produzidas	<input type="text"/>
Taxa de desconto	<input type="text"/>
Custo do Desenvolvimento do Software	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo do Desenvolvimento do Hardware	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo Total de Desenvolvimento	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo do Produto Mecatrônico	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo Total do Produto Mecatrônico	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="text"/>

Quadro 14: Precificação (Elaborado pelo autor).

Precificação			
Custo 1a unidade		R\$ 0.00	
Constante paramétrica (b)		-0.01	
Preço Venda 1a unidade		R\$ 0.00	
Unidade (*)	Preço Venda	Custo do Produto (partes)	
1	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
2	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
3	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
4	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
5	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
6	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
7	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
8	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
9	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
10	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
11	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
12	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
13	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
14	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
15	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
16	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
17	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
18	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
19	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
20	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
21	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
22	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
23	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
24	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
25	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
26	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
27	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
28	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
29	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
30	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
31	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
32	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
33	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
34	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
35	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
36	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
37	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
38	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
39	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
40	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
41	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
42	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
43	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
44	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
45	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
46	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
47	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
48	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
49	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
50	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00

Fórmula de Cálculo

O modelo considera a estratégia da curva de experiência, que considera que os custos para se produzir cada unidade extra produzida diminuirá sistematicamente, de acordo com a equação:

$$Y = aX^b$$

Em que Y representa o custo por unidade produzida
X a representa o custo da primeira unidade produzida
e b (b < 0) é uma constante paramétrica.
O preço de venda do produto também acompanhará a queda do custo. O custo considerado na análise é o custo das partes e componentes do produto mecatrônico

Quadro 15: Análise econômica (Elaborado pelo autor).

Análise Econômica

* Os campos em azul devem ser preenchidos.

1) Valor Presente Líquido (VPL)

2) Payback Simples

3) Payback Descontado

4) Taxa Interna de Retorno (TIR)

Análise econômica:

VPL = 0 - É indiferente investir ou não no projeto

Instruções: Preencher os fluxos de caixa livre da tabela do Payback Simples. Os indicadores referentes à análise econômica serão preenchidos automaticamente.

Taxa de Desconto	8.00%	TMA	10.00%			
PAYBACK SIMPLES		PAYBACK DESCONTADO				
Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	FCL acumulado	Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	VP do FCL	VP do FCL acumulado
0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
1	R\$ 0.00	R\$ 0.00	1	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
2	R\$ 0.00	R\$ 0.00	2	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
3	R\$ 0.00	R\$ 0.00	3	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
4	R\$ 0.00	R\$ 0.00	4	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
5	R\$ 0.00	R\$ 0.00	5	R\$ 0.00	R\$ 0.00	R\$ 0.00
6	R\$ 0.00	R\$ 0.00	6	R\$ 0.00	-	R\$ 0.00
7	R\$ 0.00	R\$ 0.00	7	R\$ 0.00	-	R\$ 0.00
8	R\$ 0.00	R\$ 0.00	8	R\$ 0.00	-	R\$ 0.00
9	R\$ 0.00	R\$ 0.00	9	R\$ 0.00	-	R\$ 0.00
10	R\$ 0.00	R\$ 0.00	10	R\$ 0.00	-	R\$ 0.00

Quadro 16: Simulação Monte Carlo (Elaborado pelo autor).

Simulação de Monte Carlo

Valor Presente Líquido

Entradas:

Média

Desvio Padrão

Número de simulações

Resultados:

VPL

TIR

Entradas:

Média

Desvio Padrão

Número de simulações

Resultados

TIR

APÊNDICE 3 – APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA NA CONCEPÇÃO 1 DO PENETRÔMETRO

No apêndice 3 são apresentadas as planilhas com os resultados gerados para a concepção 1 do penetrômetro, utilizando-se da ferramenta proposta no trabalho.

Quadro 17: Resumo do projeto (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software	R\$ 39,016.74
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 11,190.00
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 50,206.74
Custo do Produto Mecatrônico	R\$ 965.00
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 2,069.55
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 3,104.33
Preço de venda 50a unidade produzida	R\$ 2,985.23
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 15,201.38
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.8 ano(s) ou 4 ano(s) e 10 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 6.59 ano(s) ou 6 ano(s) e 7 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	16.08%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR > TMA - Aceita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 12,087.91
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	16.31%

Quadro 18: Custo de desenvolvimento de software (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo de Desenvolvimento do Software	
Entradas: (os campos em azul devem ser preenchidos) Tipo de projeto de Software : <input type="text" value="Orgânico"/> (Preencher o tipo de projeto: Orgânico, Semi ou Embarcado)	
Salário do Analista:	<input type="text" value="R\$ 3,000.00"/>
KLOC:	<input type="text" value="5"/>
Cálculos:	<input type="button" value="Calcular"/>
Saídas: E = <input type="text" value="13.005581"/> pessoa-mês D = <input type="text" value="6.6268831"/> meses P = <input type="text" value="1.9625487"/>	
Custo do Desenvolvimento do Software	<input type="text" value="R\$ 39,016.74"/>

Modelo COCOMO

Equações:

$E = a_b(KLOC)^{b_b}$ (pessoa – mês)

$Tempo\ de\ desenvolvimento\ (D) = c_b E^{d_b}$ (meses)

$Pessoal\ (P) = \frac{E}{D}$ (número)

Onde KLOC é o número de linhas (em milhares) de código do projeto.

Coefficientes:

Projeto de software	a_b	b_b	c_b	d_b
Orgânico	2.4	1.05	2.5	0.38
Semi-desacoplado	3	1.12	2.5	0.35
Embarcado	3.6	1.2	2.5	0.32

Tipos de projeto:
 Projeto Orgânico: projetos que envolvam pequenos times com boa experiência com requisitos de projeto não rígidos.
 Projeto Semi-desacoplado: projetos que envolvam times médios com média experiência e requisitos de projeto rígidos e não rígidos.
 Projeto Embarcado: desenvolvidos com um conjunto de restrições. É também uma combinação de projetos orgânicos e semi-desacoplados.

Quadro 19: Custo de desenvolvimento de hardware (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo de Desenvolvimento do Hardware																			
Entradas: (os campos em azul devem ser preenchidos) Custo homem-hora especialidade mecânica <input type="text" value="18.75"/> R\$/hr Custo homem-hora especialidade eletrônica <input type="text" value="19.75"/> R\$/hr																			
1. Lista de Atividades de Desenvolvimento Mecânico																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (hrs)</th> <th>Custo da atividade (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.1 Clarificar e especificar o problema</td><td>R\$ 375.00</td></tr> <tr><td>1.2 Detectar funções e estruturas</td><td>R\$ 281.25</td></tr> <tr><td>1.3 Encontrar soluções e princípios</td><td>R\$ 750.00</td></tr> <tr><td>1.4 Estruturar em modelos viáveis</td><td>R\$ 1.312.50</td></tr> <tr><td>1.5 Dar forma física a módulos importantes</td><td>R\$ 1.125.00</td></tr> <tr><td>1.6 Dar forma física ao produto como um todo</td><td>R\$ 375.00</td></tr> <tr><td>1.7 Mapear execução e instruções de uso</td><td>R\$ 750.00</td></tr> </tbody> </table>	Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)	1.1 Clarificar e especificar o problema	R\$ 375.00	1.2 Detectar funções e estruturas	R\$ 281.25	1.3 Encontrar soluções e princípios	R\$ 750.00	1.4 Estruturar em modelos viáveis	R\$ 1.312.50	1.5 Dar forma física a módulos importantes	R\$ 1.125.00	1.6 Dar forma física ao produto como um todo	R\$ 375.00	1.7 Mapear execução e instruções de uso	R\$ 750.00		
Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)																		
1.1 Clarificar e especificar o problema	R\$ 375.00																		
1.2 Detectar funções e estruturas	R\$ 281.25																		
1.3 Encontrar soluções e princípios	R\$ 750.00																		
1.4 Estruturar em modelos viáveis	R\$ 1.312.50																		
1.5 Dar forma física a módulos importantes	R\$ 1.125.00																		
1.6 Dar forma física ao produto como um todo	R\$ 375.00																		
1.7 Mapear execução e instruções de uso	R\$ 750.00																		
Custo do Desenvolvimento Mecânico	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="text" value="R\$ 4,968.75"/>																		
2. Lista de Atividades de Desenvolvimento Eletrônico																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (hrs)</th> <th>Custo da atividade (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.1 Especificação</td><td>R\$ 493.75</td></tr> <tr><td>2.2 Descrição do sistema</td><td>R\$ 888.75</td></tr> <tr><td>2.3 Descrição do algoritmo</td><td>R\$ 987.50</td></tr> <tr><td>2.4 Descrição do registro e interface</td><td>R\$ 987.50</td></tr> <tr><td>2.5 Descrição da lógica</td><td>R\$ 888.75</td></tr> <tr><td>2.6 Descrição do transistor</td><td>R\$ 790.00</td></tr> <tr><td>2.7 Lay-out</td><td>R\$ 987.50</td></tr> <tr><td>2.8 Manufatura</td><td>R\$ 197.50</td></tr> </tbody> </table>	Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)	2.1 Especificação	R\$ 493.75	2.2 Descrição do sistema	R\$ 888.75	2.3 Descrição do algoritmo	R\$ 987.50	2.4 Descrição do registro e interface	R\$ 987.50	2.5 Descrição da lógica	R\$ 888.75	2.6 Descrição do transistor	R\$ 790.00	2.7 Lay-out	R\$ 987.50	2.8 Manufatura	R\$ 197.50
Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)																		
2.1 Especificação	R\$ 493.75																		
2.2 Descrição do sistema	R\$ 888.75																		
2.3 Descrição do algoritmo	R\$ 987.50																		
2.4 Descrição do registro e interface	R\$ 987.50																		
2.5 Descrição da lógica	R\$ 888.75																		
2.6 Descrição do transistor	R\$ 790.00																		
2.7 Lay-out	R\$ 987.50																		
2.8 Manufatura	R\$ 197.50																		
Custo do Desenvolvimento Eletrônico	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="text" value="R\$ 6,221.25"/>																		
Custo do Desenvolvimento do Hardware	<input type="text" value="R\$ 11,190.00"/>																		

Forma de cálculo:
 O custo de desenvolvimento mecânico e eletrônico é calculado por meio dos custos de atividades específicas de desenvolvimento de produtos mecânico e eletrônico. O custo homem-hora da especialidade mecânica e eletrônica, bem como os tempos gastos em cada atividade devem ser inseridos no modelo para se chegar à estimativa de custo de desenvolvimento de hardware global, por meio da equação:

$$desHW = \sum_{i \in atividade} Cust_{atividade} \cdot Thoras$$

Quadro 20: Estimativa de custo das partes e componentes do produto (Elaborado pelo autor).

ESTIMATIVA DO CUSTO DO PRODUTO (partes e componentes)			
Entradas:			
Domínio:	<input type="text" value="Mecânico"/>		
Nome da Parte	Qtyd	Preço (R\$)	Custo Total Parte
Base retangular	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>
Suporte	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="R\$ 30.00"/>	<input type="text" value="R\$ 90.00"/>
Acionamento	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>
Haste	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 150.00"/>	<input type="text" value="R\$ 150.00"/>
Alavanca	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>
Caixa Proteção	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 75.00"/>	<input type="text" value="R\$ 75.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo Produto Mecânico	<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 615.00"/>	
Domínio:	<input type="text" value="Eletrônico"/>		
Nome da Parte	Qtyd	Preço (R\$)	Custo Total Parte
Sensor umidade	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>
Sensor ultrassônico	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 40.00"/>	<input type="text" value="R\$ 40.00"/>
Sensor força	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 55.00"/>	<input type="text" value="R\$ 55.00"/>
Arduíno	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="R\$ 30.00"/>	<input type="text" value="R\$ 60.00"/>
Memória	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 80.00"/>	<input type="text" value="R\$ 80.00"/>
Teclado	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 30.00"/>	<input type="text" value="R\$ 30.00"/>
Cabo USB	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 10.00"/>	<input type="text" value="R\$ 10.00"/>
Display 20x4	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 45.00"/>	<input type="text" value="R\$ 45.00"/>
Cabo alimentação	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo Produto Eletrônico	<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 350.00"/>	
Custo do Produto Mecatrônico	<input type="text" value="R\$ 965.00"/>		

Forma de cálculo:
 O custo do produto mecatrônico leva em consideração o custo das partes e componentes mecânicos e eletrônicos. Têm-se como entrada a lista de materiais e o preço unitário de cada item. A planilha calcula o custo total de cada parte, o custo do produto no mecânico e mecatrônico e o custo total. A equação é dada por:

$$custProd = \sum_{c \in parte} p.custProd$$

Quadro 21: Custo total do produto (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Entradas:	
Custo-meta	<input type="text" value="R\$ 3,000.00"/>
# Unidades Produzidas	<input type="text" value="50"/>
Taxa de desconto	<input type="text" value="1.1"/>
Custo do Desenvolvimento do Software	<input type="text" value="R\$ 39,016.74"/>
Custo do Desenvolvimento do Hardware	<input type="text" value="R\$ 11,190.00"/>
Custo Total de Desenvolvimento	<input type="text" value="R\$ 50,206.74"/>
Custo do Produto Mecatrônico	<input type="text" value="R\$ 965.00"/>
Custo Total do Produto Mecatrônico	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="text" value="R\$ 2,069.55"/>

Quadro 22: Precificação (Elaborado pelo autor).

Precificação			
Custo 1a unidade		R\$ 965.00	
Constante paramétrica (b)		-0.01	
Preço Venda 1a unidade		R\$ 3,104.33	
Unidade (°)	Preço Venda	Custo do Produto (partes)	Fórmula de Cálculo
1	R\$ 3,104.33	R\$ 965.00	<p>O modelo considera a estratégia da curva de experiência, que considera que os custos para se produzir cada unidade extra produzida diminuirá sistematicamente, de acordo com a equação:</p> $Y = aX^b$ <p>Em que Y representa o custo por unidade produzida X a representa o custo da primeira unidade produzida e b (b < 0) é uma constante paramétrica. O preço de venda do produto também acompanhará a queda do custo. O custo considerado na análise é o custo das partes e componentes do produto mecatrônico</p>
2	R\$ 3,082.88	R\$ 958.33	
3	R\$ 3,070.41	R\$ 954.46	
4	R\$ 3,061.59	R\$ 951.71	
5	R\$ 3,054.76	R\$ 949.59	
6	R\$ 3,049.20	R\$ 947.86	
7	R\$ 3,044.50	R\$ 946.40	
8	R\$ 3,040.44	R\$ 945.14	
9	R\$ 3,036.86	R\$ 944.03	
10	R\$ 3,033.66	R\$ 943.03	
11	R\$ 3,030.77	R\$ 942.14	
12	R\$ 3,028.14	R\$ 941.32	
13	R\$ 3,025.71	R\$ 940.56	
14	R\$ 3,023.47	R\$ 939.87	
15	R\$ 3,021.39	R\$ 939.22	
16	R\$ 3,019.44	R\$ 938.61	
17	R\$ 3,017.61	R\$ 938.04	
18	R\$ 3,015.88	R\$ 937.51	
19	R\$ 3,014.25	R\$ 937.00	
20	R\$ 3,012.71	R\$ 936.52	
21	R\$ 3,011.24	R\$ 936.06	
22	R\$ 3,009.84	R\$ 935.63	
23	R\$ 3,008.50	R\$ 935.21	
24	R\$ 3,007.22	R\$ 934.81	
25	R\$ 3,005.99	R\$ 934.43	
26	R\$ 3,004.81	R\$ 934.07	
27	R\$ 3,003.68	R\$ 933.71	
28	R\$ 3,002.59	R\$ 933.37	
29	R\$ 3,001.53	R\$ 933.05	
30	R\$ 3,000.52	R\$ 932.73	
31	R\$ 2,999.53	R\$ 932.42	
32	R\$ 2,998.58	R\$ 932.13	
33	R\$ 2,997.66	R\$ 931.84	
34	R\$ 2,996.76	R\$ 931.56	
35	R\$ 2,995.89	R\$ 931.29	
36	R\$ 2,995.05	R\$ 931.03	
37	R\$ 2,994.23	R\$ 930.78	
38	R\$ 2,993.43	R\$ 930.53	
39	R\$ 2,992.65	R\$ 930.29	
40	R\$ 2,991.90	R\$ 930.05	
41	R\$ 2,991.16	R\$ 929.82	
42	R\$ 2,990.44	R\$ 929.60	
43	R\$ 2,989.73	R\$ 929.38	
44	R\$ 2,989.05	R\$ 929.16	
45	R\$ 2,988.37	R\$ 928.96	
46	R\$ 2,987.72	R\$ 928.75	
47	R\$ 2,987.08	R\$ 928.55	
48	R\$ 2,986.45	R\$ 928.36	
49	R\$ 2,985.83	R\$ 928.17	
50	R\$ 2,985.23	R\$ 927.98	

Quadro 23: Análise econômica (Elaborado pelo autor).

Análise Econômica						
* Os campos em azul devem ser preenchidos.						
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 15.201,38					
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.8 ano(s) ou 4 ano(s) e 10 mês(es)					
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 6.59 ano(s) ou 6 ano(s) e 7 mês(es)					
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	16.08%					
Análise econômica:						
VPL > 0 - Aceita o projeto						
TIR > TMA - Aceita o projeto						
Instruções: Preencher os fluxos de caixa livre da tabela do Payback Simples. Os indicadores referentes à análise econômica serão preenchidos automaticamente.						
Taxa de Desconto	9.00%	TMA	10.00%			
PAYBACK SIMPLES		PAYBACK DESCONTADO				
Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	FCL Acumulado	Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	VP do FCL	VP do FCL acumulado
0	-R\$ 50,206.74	-R\$ 50,206.74	0	-R\$ 50,206.74	-R\$ 50,206.74	-R\$ 50,206.74
1	R\$ 10,594.87	-R\$ 39,611.88	1	R\$ 10,594.87	R\$ 9,720.06	-R\$ 40,486.68
2	R\$ 10,478.19	-R\$ 29,133.69	2	R\$ 10,478.19	R\$ 8,819.28	-R\$ 31,667.40
3	R\$ 10,426.38	-R\$ 18,707.31	3	R\$ 10,426.38	R\$ 8,051.08	-R\$ 23,616.32
4	R\$ 10,392.20	-R\$ 8,315.10	4	R\$ 10,392.20	R\$ 7,362.10	-R\$ 16,254.22
5	R\$ 10,366.64	R\$ 2,051.53	5	R\$ 10,366.64	R\$ 6,737.60	-R\$ 9,516.62
6	R\$ 10,346.20	R\$ 12,397.73	6	R\$ 10,346.20	6,169.10	-R\$ 3,347.52
7	R\$ 10,329.18	R\$ 22,726.91	7	R\$ 10,329.18	5,650.41	R\$ 2,302.89
8	R\$ 10,314.59	R\$ 33,041.50	8	R\$ 10,314.59	5,176.54	R\$ 7,479.44
9	R\$ 10,301.83	R\$ 43,343.33	9	R\$ 10,301.83	4,743.25	R\$ 12,222.69
10	R\$ 10,290.49	R\$ 53,633.82	10	R\$ 10,290.49	4,346.82	R\$ 16,569.50

Quadro 24: Simulação Monte Carlo (Elaborado pelo autor).

Simulação de Monte Carlo					
Valor Presente Líquido		TIR			
Entradas:		Entradas:			
Média	R\$ 12,161.10	Média	16.08%		
Desvio Padrão	R\$ 6,080.55	Desvio Padrão	8.04%		
Número de simulações	10000	Número de simulações	1000		
Resultados:		Resultados			
VPL	Rodar simulação	R\$ 12,087.91	TIR	Rodar simulação	16.31%

APÊNDICE 4 – APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA CONCEPÇÃO 2 DO PENETRÔMETRO

No apêndice 4 são apresentadas as planilhas com os resultados gerados para a concepção 2 do penetrômetro, utilizando-se da ferramenta proposta no trabalho.

Quadro 25: Resumo do projeto (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Custo do Desenvolvimento do Software	R\$ 30,867.08
Custo do Desenvolvimento do Hardware	R\$ 10,706.25
Custo Total de Desenvolvimento	R\$ 41,573.33
Custo do Produto Mecatrônico	R\$ 1,295.00
Custo Total do Produto Mecatrônico	R\$ 2,209.61
Precificação	
Preço de venda 1a unidade produzida	R\$ 3,314.42
Preço de venda 50a unidade produzida	R\$ 3,187.26
Análise Econômica	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 19,688.15
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.21 ano(s) ou 4 ano(s) e 3 mês(es)
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 5.54 ano(s) ou 5 ano(s) e 6 mês(es)
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	19.78%
Análise Econômica:	
VPL > 0 - Aceita o projeto	
TIR > TMA - Aceita o projeto	
Simulação Monte Carlo	
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 1,783.04
2) Taxa Interna de Retorno (TIR)	6.47%

Quadro 26: Custo de desenvolvimento de software (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo de Desenvolvimento do Software	
Entradas: (os campos em azul devem ser preenchidos) Tipo de projeto de Software : <input type="text" value="Orgânico"/> (Preencher o tipo de projeto: Orgânico, Semi ou Embarcado)	
Salário do Analista:	<input type="text" value="R\$ 3,000.00"/>
KLOC:	<input type="text" value="3.5"/>
Cálculos:	<input type="button" value="Calcular"/>
Saídas: E = <input type="text" value="10.289025"/> pessoa-mês D = <input type="text" value="6.0623669"/> meses P = <input type="text" value="1.6971961"/>	
Custo do Desenvolvimento do Software	<input type="text" value="R\$ 30,867.08"/>

Modelo COCOMO

Equações:

Esforço aplicado (E) = $a_b(KLOC)^{b_b}$ (pessoa – mês)

Tempo de desenvolvimento (D) = $c_b E^{d_b}$ (meses)

Pessoal (P) = $\frac{E}{D}$ (número)

Onde KLOC é o número de linhas (em milhares) de código do projeto.

Coefficientes:

Projeto de software	a_b	b_b	c_b	d_b
Orgânico	2.4	1.05	2.5	0.38
Semi-desacoplado	3	1.12	2.5	0.35
Embarcado	3.6	1.2	2.5	0.32

Tipos de projeto:
 Projeto Orgânico: projetos que envolvam pequenos times com boa experiência com requisitos de projeto não rígidos.
 Projeto Semi-desacoplado: projetos que envolvam times médios com média experiência e requisitos de projeto rígidos e não rígidos.
 Projeto Embarcado: desenvolvidos com um conjunto de restrições. É também uma combinação de projetos orgânicos e semi-desacoplados.

Quadro 27: Custo de desenvolvimento de hardware (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo de Desenvolvimento do Hardware																			
Entradas: (os campos em azul devem ser preenchidos) Custo homem-hora especialidade mecânica <input type="text" value="18.75"/> R\$/hr Custo homem-hora especialidade eletrônica <input type="text" value="19.75"/> R\$/hr																			
1. Lista de Atividades de Desenvolvimento Mecânico																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (hrs)</th> <th>Custo da atividade (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="text" value="20"/></td><td><input type="text" value="R\$ 375.00"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="15"/></td><td><input type="text" value="R\$ 281.25"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="40"/></td><td><input type="text" value="R\$ 750.00"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="70"/></td><td><input type="text" value="R\$ 1.312.50"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="60"/></td><td><input type="text" value="R\$ 1.125.00"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="15"/></td><td><input type="text" value="R\$ 281.25"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="35"/></td><td><input type="text" value="R\$ 656.25"/></td></tr> </tbody> </table>	Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="R\$ 375.00"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="R\$ 281.25"/>	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="R\$ 750.00"/>	<input type="text" value="70"/>	<input type="text" value="R\$ 1.312.50"/>	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="R\$ 1.125.00"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="R\$ 281.25"/>	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="R\$ 656.25"/>		
Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)																		
<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="R\$ 375.00"/>																		
<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="R\$ 281.25"/>																		
<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="R\$ 750.00"/>																		
<input type="text" value="70"/>	<input type="text" value="R\$ 1.312.50"/>																		
<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="R\$ 1.125.00"/>																		
<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="R\$ 281.25"/>																		
<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="R\$ 656.25"/>																		
Custo do Desenvolvimento Mecânico	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="text" value="R\$ 4,781.25"/>																		
2. Lista de Atividades de Desenvolvimento Eletrônico																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (hrs)</th> <th>Custo da atividade (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="text" value="25"/></td><td><input type="text" value="R\$ 493.75"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="45"/></td><td><input type="text" value="R\$ 888.75"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="45"/></td><td><input type="text" value="R\$ 888.75"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="50"/></td><td><input type="text" value="R\$ 987.50"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="40"/></td><td><input type="text" value="R\$ 790.00"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="40"/></td><td><input type="text" value="R\$ 790.00"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="45"/></td><td><input type="text" value="R\$ 888.75"/></td></tr> <tr><td><input type="text" value="10"/></td><td><input type="text" value="R\$ 197.50"/></td></tr> </tbody> </table>	Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="R\$ 493.75"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="R\$ 888.75"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="R\$ 888.75"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="R\$ 987.50"/>	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="R\$ 790.00"/>	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="R\$ 790.00"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="R\$ 888.75"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="R\$ 197.50"/>
Tempo (hrs)	Custo da atividade (R\$)																		
<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="R\$ 493.75"/>																		
<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="R\$ 888.75"/>																		
<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="R\$ 888.75"/>																		
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="R\$ 987.50"/>																		
<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="R\$ 790.00"/>																		
<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="R\$ 790.00"/>																		
<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="R\$ 888.75"/>																		
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="R\$ 197.50"/>																		
Custo do Desenvolvimento Eletrônico	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="text" value="R\$ 5,925.00"/>																		
Custo do Desenvolvimento do Hardware	<input type="text" value="R\$ 10,706.25"/>																		

Forma de cálculo:
 O custo de desenvolvimento mecânico e eletrônico é calculado por meio dos custos de atividades específicas de desenvolvimento de produtos mecânico e eletrônico. O custo homem-hora da especialidade mecânica e eletrônica, bem como os tempos gastos em cada atividade devem ser inseridos no modelo para se chegar à estimativa de custo de desenvolvimento de hardware global, por meio da equação:

$$desHW = \sum_{i \in atividade} Cust_{atividade} \cdot T_{horas}$$

Quadro 28: Custo das partes e componentes do produto (Elaborado pelo autor).

ESTIMATIVA DO CUSTO DO PRODUTO (partes e componentes)			
Entradas:			
Domínio:	<input type="text" value="Mecânico"/>		
Nome da Parte	Qtyd	Preço (R\$)	Custo Total Parte
Base retangular	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>	<input type="text" value="R\$ 100.00"/>
Suporte	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="R\$ 30.00"/>	<input type="text" value="R\$ 60.00"/>
Acionamento Hidraul.	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 300.00"/>	<input type="text" value="R\$ 300.00"/>
Haste	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 150.00"/>	<input type="text" value="R\$ 150.00"/>
Caixa Proteção	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 75.00"/>	<input type="text" value="R\$ 75.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo Produto Mecânico	<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 685.00"/>	
Domínio:	<input type="text" value="Eletrônico"/>		
Nome da Parte	Qtyd	Preço (R\$)	Custo Total Parte
Sensor umidade	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>
Sensor ultrassônico	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 40.00"/>	<input type="text" value="R\$ 40.00"/>
Sensor força cilíndrico	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 80.00"/>	<input type="text" value="R\$ 80.00"/>
Sistema Aquisição Dados (transdutor)	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 350.00"/>	<input type="text" value="R\$ 350.00"/>
Filtro sinal	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 50.00"/>	<input type="text" value="R\$ 50.00"/>
Amplificador de sinal	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 50.00"/>	<input type="text" value="R\$ 50.00"/>
Cabo USB	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 10.00"/>	<input type="text" value="R\$ 10.00"/>
Cabo alimentação	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>	<input type="text" value="R\$ 15.00"/>
Notebook (acessório)	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>	<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
			<input type="text" value="R\$ 0.00"/>
Custo Produto Eletrônico	<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="text" value="R\$ 610.00"/>	
Custo do Produto Mecatrônico	<input type="text" value="R\$ 1,295.00"/>		

Forma de cálculo:
 O custo do produto mecatrônico leva em consideração o custo das partes e componentes mecânicos e eletrônicos. Têm-se como entrada a lista de materiais e o preço unitário de cada item. A planilha calcula o custo total de cada parte, o custo do produto no mecânico e mecatrônico e o custo total. A equação é dada por:

$$custProd = \sum_{c \in parte} p.custProd$$

Quadro 29: Custo total do produto mecatrônico (Elaborado pelo autor).

Estimativa do Custo Total do Produto Mecatrônico	
Entradas:	
Custo-meta	<input type="text" value="R\$ 3,000.00"/>
# Unidades Produzidas	<input type="text" value="50"/>
Taxa de desconto	<input type="text" value="1.1"/>
Custo do Desenvolvimento do Software	<input type="text" value="R\$ 30,867.08"/>
Custo do Desenvolvimento do Hardware	<input type="text" value="R\$ 10,706.25"/>
Custo Total de Desenvolvimento	<input type="text" value="R\$ 41,573.33"/>
Custo do Produto Mecatrônico	<input type="text" value="R\$ 1,295.00"/>
Custo Total do Produto Mecatrônico	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="text" value="R\$ 2,209.61"/>

Quadro 30: Precificação (Elaborado pelo autor).

Precificação			
Custo 1a unidade		R\$ 1,295.00	
Constante paramétrica (b)		-0.01	
Preço Venda 1a unidade		R\$ 3,314.42	
Unidade (°)	Preço Venda	Custo do Produto (partes)	Fórmula de Cálculo
1	R\$ 3,314.42	R\$ 1,295.00	<p>O modelo considera a estratégia da curva de experiência, que considera que os custos para se produzir cada unidade extra produzida diminuirá sistematicamente, de acordo com a equação:</p> $Y = aX^b$ <p>Em que Y representa o custo por unidade produzida X a representa o custo da primeira unidade produzida e b (b < 0) é uma constante paramétrica. O preço de venda do produto também acompanhará a queda do custo. O custo considerado na análise é o custo das partes e componentes do produto mecatrônico</p>
2	R\$ 3,291.52	R\$ 1,286.05	
3	R\$ 3,278.20	R\$ 1,280.85	
4	R\$ 3,268.78	R\$ 1,277.17	
5	R\$ 3,261.50	R\$ 1,274.32	
6	R\$ 3,255.56	R\$ 1,272.00	
7	R\$ 3,250.54	R\$ 1,270.04	
8	R\$ 3,246.21	R\$ 1,268.35	
9	R\$ 3,242.38	R\$ 1,266.86	
10	R\$ 3,238.97	R\$ 1,265.52	
11	R\$ 3,235.88	R\$ 1,264.32	
12	R\$ 3,233.07	R\$ 1,263.22	
13	R\$ 3,230.48	R\$ 1,262.21	
14	R\$ 3,228.09	R\$ 1,261.27	
15	R\$ 3,225.86	R\$ 1,260.40	
16	R\$ 3,223.78	R\$ 1,259.59	
17	R\$ 3,221.83	R\$ 1,258.82	
18	R\$ 3,219.99	R\$ 1,258.11	
19	R\$ 3,218.25	R\$ 1,257.43	
20	R\$ 3,216.60	R\$ 1,256.78	
21	R\$ 3,215.03	R\$ 1,256.17	
22	R\$ 3,213.53	R\$ 1,255.58	
23	R\$ 3,212.10	R\$ 1,255.03	
24	R\$ 3,210.74	R\$ 1,254.49	
25	R\$ 3,209.43	R\$ 1,253.98	
26	R\$ 3,208.17	R\$ 1,253.49	
27	R\$ 3,206.96	R\$ 1,253.01	
28	R\$ 3,205.79	R\$ 1,252.56	
29	R\$ 3,204.67	R\$ 1,252.12	
30	R\$ 3,203.58	R\$ 1,251.70	
31	R\$ 3,202.53	R\$ 1,251.28	
32	R\$ 3,201.51	R\$ 1,250.89	
33	R\$ 3,200.53	R\$ 1,250.50	
34	R\$ 3,199.57	R\$ 1,250.13	
35	R\$ 3,198.65	R\$ 1,249.77	
36	R\$ 3,197.75	R\$ 1,249.42	
37	R\$ 3,196.87	R\$ 1,249.07	
38	R\$ 3,196.02	R\$ 1,248.74	
39	R\$ 3,195.19	R\$ 1,248.42	
40	R\$ 3,194.38	R\$ 1,248.10	
41	R\$ 3,193.59	R\$ 1,247.79	
42	R\$ 3,192.82	R\$ 1,247.49	
43	R\$ 3,192.07	R\$ 1,247.20	
44	R\$ 3,191.33	R\$ 1,246.91	
45	R\$ 3,190.62	R\$ 1,246.63	
46	R\$ 3,189.92	R\$ 1,246.36	
47	R\$ 3,189.23	R\$ 1,246.09	
48	R\$ 3,188.56	R\$ 1,245.83	
49	R\$ 3,187.90	R\$ 1,245.57	
50	R\$ 3,187.26	R\$ 1,245.32	

Quadro 31: Análise Econômica (Elaborado pelo autor).

Análise Econômica							
* Os campos em azul devem ser preenchidos.							
1) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 19.688,15		Instruções: Preencher os fluxos de caixa livre da tabela do Payback Simples. Os indicadores referentes à análise econômica serão preenchidos automaticamente.				
2) Payback Simples	O payback simples ocorre em 4.21 ano(s) ou 4 ano(s) e 3 mês(es)		Taxa de Desconto	9.00%	TMA	10.00%	
3) Payback Descontado	O payback descontado ocorre em 5.54 ano(s) ou 5 ano(s) e 6 mês(es)		PAYBACK SIMPLES		PAYBACK DESCONTADO		
4) Taxa Interna de Retorno (TIR)	19.78%		Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	FCL acumulado	Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)
Análise econômica:			0	-R\$ 41,573.33	-R\$ 41,573.33	0	-R\$ 41,573.33
VPL > 0 - Aceita o projeto			1	R\$ 10,001.02	-R\$ 31,572.31	1	R\$ 10,001.02
TIR > TMA - Aceita o projeto			2	R\$ 9,890.88	-R\$ 21,681.42	2	R\$ 9,890.88
			3	R\$ 9,841.98	-R\$ 11,839.44	3	R\$ 9,841.98
			4	R\$ 9,809.72	-R\$ 2,029.73	4	R\$ 9,809.72
			5	R\$ 9,785.58	R\$ 7,755.85	5	R\$ 9,785.58
			6	R\$ 9,766.29	R\$ 17,522.14	6	R\$ 9,766.29
			7	R\$ 9,750.22	R\$ 27,272.36	7	R\$ 9,750.22
			8	R\$ 9,736.45	R\$ 37,008.82	8	R\$ 9,736.45
			9	R\$ 9,724.41	R\$ 46,733.23	9	R\$ 9,724.41
			10	R\$ 9,713.71	R\$ 56,446.94	10	R\$ 9,713.71
							VP do FCL acumulado
							-R\$ 41,573.33
							-R\$ 32,398.08
							-R\$ 24,073.12
							-R\$ 16,473.31
							-R\$ 9,523.86
							-R\$ 3,163.90
							5,823.32
							5,333.70
							4,886.40
							4,477.39
							R\$ 17,356.91
							R\$ 21,460.09

Quadro 32: Simulação Monte Carlo (Elaborado pelo autor).

Simulação de Monte Carlo			
Valor Presente Líquido		TIR	
Entradas:		Entradas:	
Média	R\$ 19,688.15	Média	19.78%
Desvio Padrão	R\$ 9,844.08	Desvio Padrão	9.89%
Número de simulações	10000	Número de simulações	1000
Resultados:		Resultados	
VPL	Rodar simulação R\$ 1,783.04	TIR	Rodar simulação 6.47%

ANEXOS

ANEXO 1 – CONCEPÇÃO 1 DO PENETRÔMETRO.

A primeira concepção, apresentada na Figura 31, consiste em um sistema de alavanca (conjunto de desacople conformado por um tambor com rosca e um eixo de aço para retirar a haste do solo) que reduz o esforço físico do operador. A Tabela 14 apresenta as partes mecânicas e eletrônicas, a função desempenhada por cada parte no sistema e as quantidades de cada parte no produto.

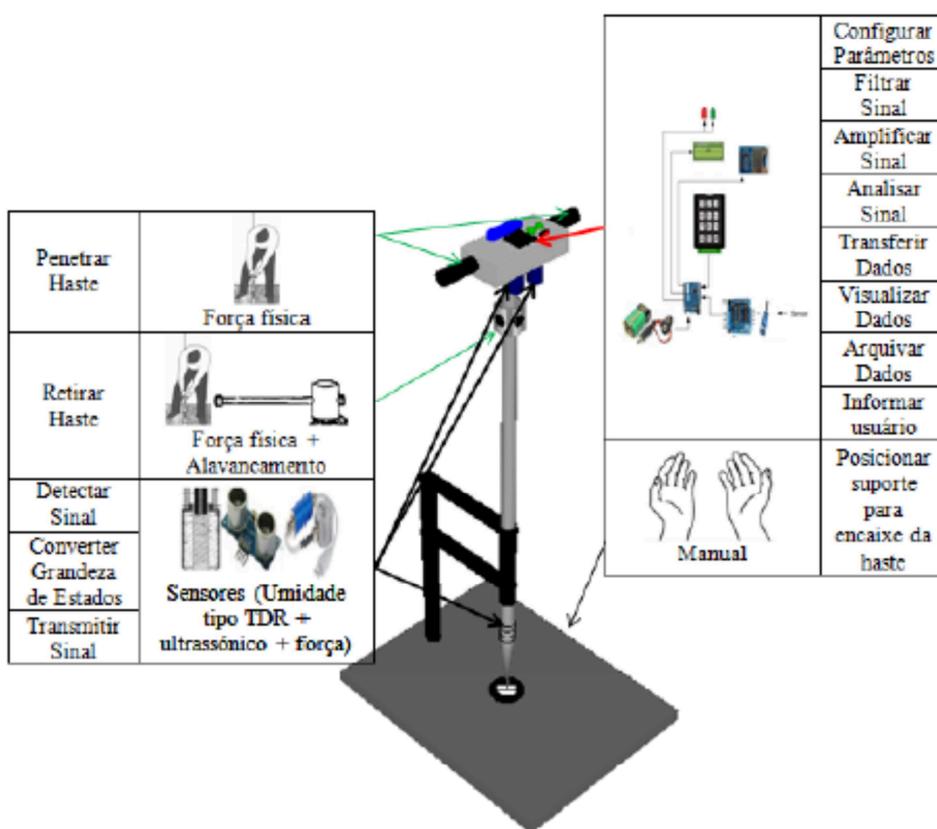


Figura 31: Concepção 1 do penetrômetro.

Fonte: Merino, 2016.

Tabela 14: Lista de materiais.

Domínio	Função	Parte	Qtd
Mecânico	Sustentação mecânica	Base retangular	1
Mecânico	Sustentação mecânica	Suporte	3
Mecânico	Acionar haste	Acionamento	1
Mecânico	Penetrar haste	Haste	1
Mecânico	Retirar haste		
Mecânico	Permitir movimentação	Alavanca	1
Mecânico	Proteger eletrônicos	Caixa proteção	1
Software	ConFigurar parâmetros	Pacote SW	1
Eletrônico	Detectar sinal Converter grandezas Transmitir sinal Filtrar sinal Amplificar sinal	Sensor umidade	1
Eletrônico	Detectar sinal Converter grandezas Transmitir sinal Filtrar sinal Amplificar sinal	Sensor ultrassônico	1
Eletrônico	Detectar sinal Converter grandezas Transmitir sinal Filtrar sinal Amplificar sinal	Sensor força	1
Eletrônico	Analisar sinal	Arduíno	2
Eletrônico	Transferir dados		
Eletrônico	Arquivar dados	Memória	1
Eletrônico	Inserir dados	Teclado	1
Eletrônico	Transmitir dados	Cabo USB	1
Eletrônico	Visualizar dados	Display 20x4	1
Eletrônico	Fornecer eletricidade	Cabo alimentação	1

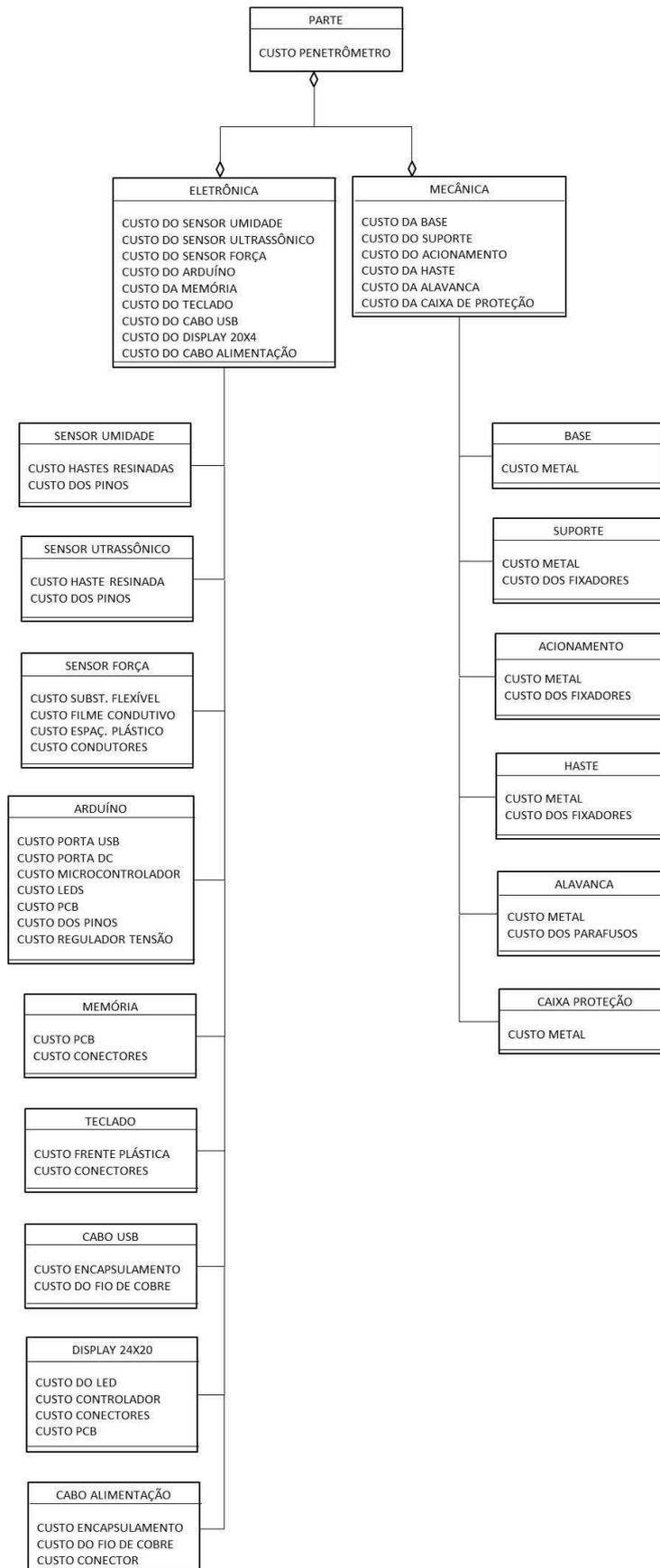


Figura 32: SBS da concepção 1 do penetrômetro.

Fonte: Autor, 2017.

ANEXO 2 – CONCEPÇÃO 2 DO PENETRÔMETRO.

A segunda concepção, apresentada na Figura 33, destaca-se pela utilização de um sistema hidráulico para a operação de um êmbolo de efeito duplo, que é controlado através de uma interface gráfica de software. Essa arquitetura de produto utiliza o computador como parte fundamental do sistema onde estão alocados diferentes componentes que atendem a diferentes funções elementares do sistema. Além disso, possui uma interface gráfica desenvolvida para o controle do sistema e uma melhor interação com o operador. No entanto, para a comunicação do computador com o sistema (sensores e circuito hidráulico) é necessária a utilização de um subsistema de amplificação e filtragem que permite a comunicação.

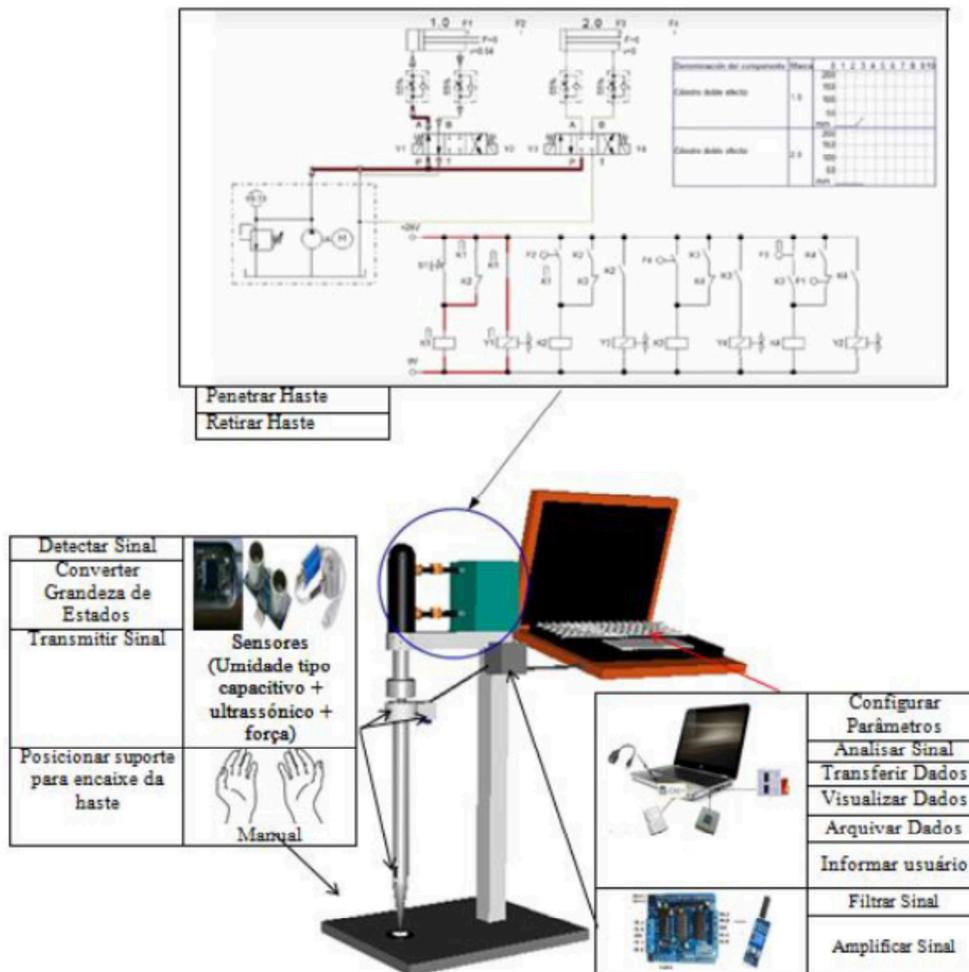


Figura 33: Concepção 2 do penetrômetro.

Fonte: Merino, 2016

Tabela 15: Lista de materiais.

Domínio	Função	Componente	Qtd
Mecânico	Apoiar equipamento	Base retangular	1
Mecânico	Suportar equipamento	Suporte	2
Mecânico	Acionar haste	Kit eletro-hidr.	1
Mecânico	Penetrar haste Retirar haste	Haste	1
Mecânico	Proteger eletrônicos	Caixa proteção	1
Eletrônico	Detectar sinal	Sensor umidade	1
Eletrônico	Detectar sinal	Sensor ultrassônico	1
Eletrônico	Detectar sinal	Sensor força cilind.	1
Eletrônico	Converter grandezas	Transdutor ou sist. aquisição dados	1
Eletrônico	Transmitir sinal		
Software	ConFigurar parâmetros	Pacote SW	1
Eletrônico	Analisar sinal	Computador (acessório)	1
Eletrônico	Transferir dados		
Eletrônico	Visualizar dados		
Eletrônico	Arquivar dados		
Eletrônico	Informar usuário		
Eletrônico	Filtrar sinal	Filtro	1
Eletrônico	Amplificar sinal	Amplificador	1
Eletrônico	Transmitir dados	Cabo USB	1
Eletrônico	Fornecer eletricidade	Cabo alimentação	1

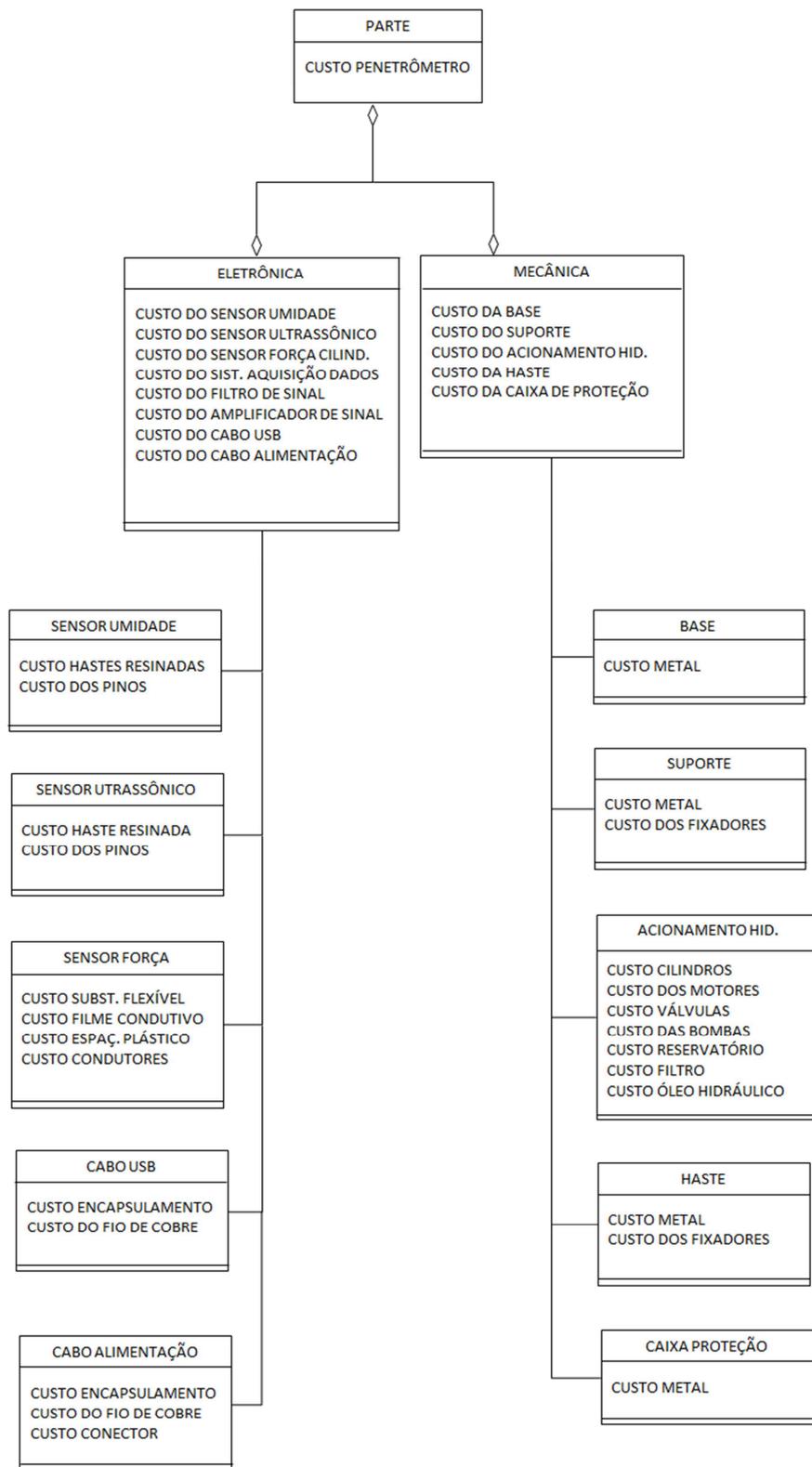


Figura 34: SBS da concepção 2 do penetrômetro.

Fonte: Autor, 2017.

**ANEXO 3 – LISTA DE COMPONENTES – CONCEPÇÃO 1 DO EQUIPAMENTO
DE ABLAÇÃO HEPÁTICA**

Tabela 16: Lista de materiais (Elaborado pelo autor).

Componente	Quantidade
Fonte Fortrek ATX Com Cabo 200W	1
Fonte Chaveada Estabilizada 48v 10A 500w Bivolt	1
Relé 5V - 2 Posições - 125V 10A	1
Dip 8 Ne555 Ci 555 Temporizador Multivibrador	1
Resistores de 1/8 W	35
Capacitores Eletrolítico 4700uF 63 V	2
Capacitores Eletrolítico 1uF 10 V	4
Capacitores Cerâmicos 1nF 250V	10
Capacitores Cerâmicos 4n7F 250V	2
Capacitores Cerâmicos 100nF 250V	2
Capacitores Cerâmicos 1500pF 1000V	2
Transformador de Nucleo de Ferrite	3
Amplificadores Operacionais LT1014	4
Irfp 250N	2
Diodo 1N5408	1
Diodo 1N4148	2
Circuito Integrado IR2110	1
Circuito Integrado 74HC14	2
Circuito Integrado 74HC00	3
Regulador de Tensão LM317	1
Transistores MJ802	3
Resistores de 5W	3
Fotor acoplador 4N35	1
Transistores BC 548	2
Fio de cobre esmaltado 1Kg	1
Conector atx 24 pinos	1
Raspberry PI3	1
Tela Touch screen, telas de 7 polegadas	1
Fabricação de Case	1
Desenvolvimento da placa de controle	1
Desenvolvimento da placa do Gerador	1

**ANEXO 4 – LISTA DE COMPONENTES – CONCEPÇÃO 2 DO EQUIPAMENTO
DE ABLAÇÃO HEPÁTICA**

Tabela 17: Lista de materiais (Elaborado pelo autor).

Componente	Quantidade
Fonte Fortrek ATX Com Cabo 200W	1
Fonte Chaveada Estabilizada 48v 10A 500w Bivolt	1
Relé 5V - 2 Posições - 125V 10A	1
Circuito integrado CD 4047	1
Resistores de 1/8 W	35
Capacitores Eletrolítico 4700uF 63 V	2
Capacitores Eletrolítico 1uF 10 V	4
Capacitores Cerâmicos 1nF 250V	10
Capacitores Cerâmicos 4n7F 250V	2
Capacitores Cerâmicos 100nF 250V	2
Capacitores Cerâmicos 1500pF 1000V	2
Transformador de Nucleo de Ferrite	3
Amplificadores Operacionais LT1014	4
Irfp 250N	2
Diodo 1N5408	1
Diodo 1N4148	2
Circuito Integrado IR2110	1
Circuito Integrado 74HC14	2
Circuito Integrado 74HC00	3
Regulador de Tensão LM317	1
Transistores MJ802	3
Resistores de 5W	3
Fotor acoplador 4N35	1
Transistores BC 548	2
Fio de cobre esmaltado 1Kg	1
Conector atx 24 pinos	1
Pic 18f4550-i/p Microcontrolador Microchip Usb 2.0	1
Display Cristal Liquido 40x2 - Hitachi Winstar Wilbortech	1
Fabricação de Case	1
Teclado Matricial 4x4	1
Desenvolvimento da placa de controle	1
Desenvolvimento da placa do Gerador	1

ANEXO 5 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS UTILIZADOS NA FERRAMENTA PROPOSTA

1 – Valor Presente Líquido (VPL) – O método do VPL consiste em trazer as entradas e saídas de capital para a data zero do investimento, descontada a taxa de juros. É utilizado para avaliar uma alternativa de investimento e para priorização/seleção de projetos.

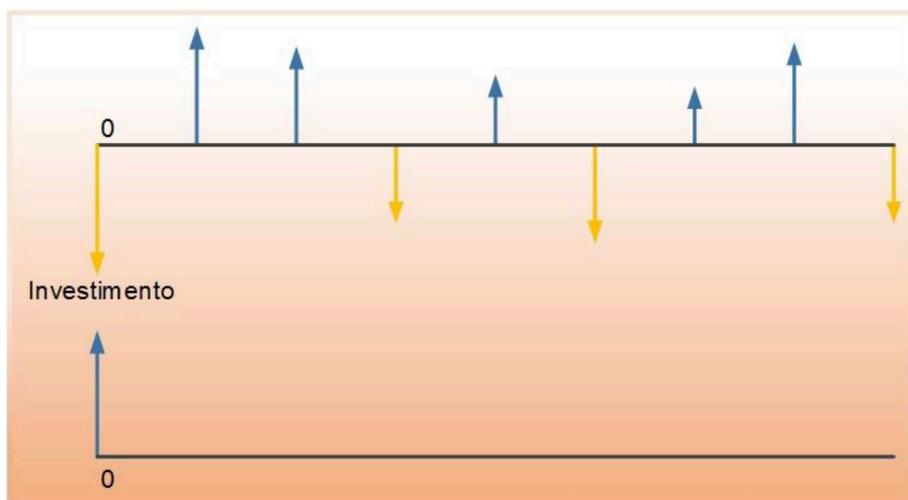


Figura 35: O conceito do VPL.

Fonte: Rodrigues, 2014.

Formulações:

$$(1) VPL = \left[\frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \frac{FC_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} + \right] - FC_0$$

$$(2) VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0$$

FC_0 = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento.

FC_j = Fluxos de caixa previstos no projeto para cada intervalo de tempo

i = taxa de desconto

n = período de tempo

Critérios de avaliação:

VPL > 0, o projeto será aceito;

VPL < 0, o projeto será rejeitado e;

VPL = 0, é indiferente investir ou não no projeto.

O VPL pode ser utilizado para a priorização/seleção de projetos. Quanto maior seu valor, mais interessante o projeto demonstra ser do ponto de vista econômico.

2 – Payback Simples e Payback Descontado (Período de Retorno do Investimento) – Corresponde ao prazo necessário para que o valor atual dos reembolsos (retorno de capital) se iguale ao desembolso com o investimento efetuado, visando à restituição do capital aplicado. Ou seja, quanto tempo um investimento demora a ser pago. O cálculo do payback simples ignora a taxa de desconto, ou seja, o valor do dinheiro no tempo, já o método do payback descontado, considera a taxa de juros para realizar o cálculo do período.

Formulações:

Cálculo do Payback simples:

$$(1)\text{Payback} = \frac{|FC_{j-}|}{(|FC_{j-}| + |FC_{j+}|)} \times (\text{Ano}_+ - \text{Ano}_-) + \text{Ano}_-$$

FC = Fluxo de caixa acumulado

$$(2)\text{Payback} = \frac{|FCCD_{j-}|}{(|FCCD_{j-}| + |FCCD_{j+}|)} \times (\text{Ano}_+ - \text{Ano}_-) + \text{Ano}_-$$

FCCD = Fluxo de caixa acumulado descontado

Critérios de avaliação:

Período de payback < período máximo aceitável de recuperação = aceita o projeto

Período de payback > período máximo aceitável de recuperação = rejeita o projeto

3 – Taxa Interna de Retorno (TIR) – Pode ser definida como a taxa de desconto que igual o valor presente líquido (VPL) de uma oportunidade de investimento de R\$ 0,00 porque o valor presente das entradas de caixa se igual ao investimento

inicial, conforme a Figura 39. É a taxa composta de retorno anual que a empresa obteria se concretizasse o projeto e recebesse as entradas de caixa previstas.

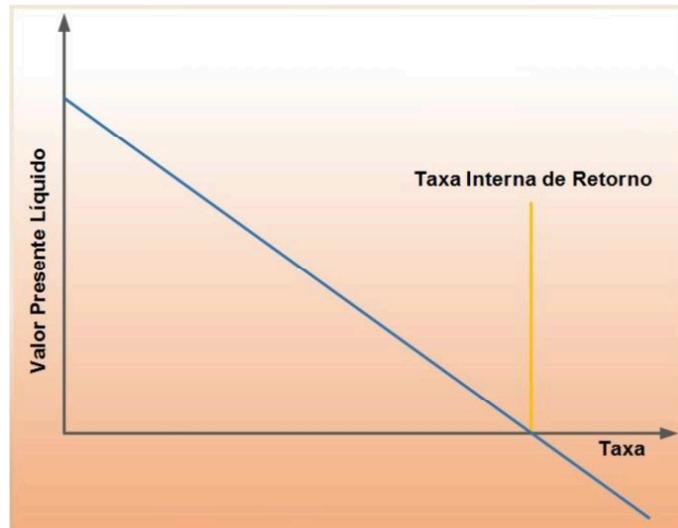


Figura 36: O conceito da TIR.

Fonte: Rodrigues, 2014.

Formulações:

$$(1) 0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0$$

FC_0 = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento.

FC_j = Fluxos de caixa previstos no projeto para cada intervalo de tempo.

i = taxa de desconto

n = período de tempo

$$(2) FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j}$$

Critérios de avaliação:

$TIR >$ custo de capital (taxa mínima de atratividade) = aceita o projeto

$TIR <$ custo de capita (taxa mínima de atratividade) = rejeita o projeto

4 – Retorno sobre Investimento (ROI) – Mede a eficácia de uma empresa em termos de geração de lucros com os projetos disponíveis. Indicador de lucratividade que

mostra os retornos da empresa advindos de suas vendas. Mede o desempenho da empresa na utilização de seus investimentos.

Formulações:

$$(1) \text{ROI} = \frac{\text{Margem de lucro líquido}}{\text{Ativo Total}}$$

$$(2) \text{ROI} = \frac{\text{Receita} - (\text{Custo} + \text{Despesa})}{\text{Investimento com o produto}}$$

Margem de lucro líquido = receita das vendas restantes após a dedução de todos os custos e despesas, incluindo juros, impostos e dividendos de ações preferenciais.

Ativo = tem como característica o potencial de geração de benefícios econômicos futuros. Logo, uma idéia, um projeto de desenvolvimento de produto é um ativo.

Critérios de avaliação:

ROI > taxa média da empresa = aceita o projeto

ROI < taxa média da empresa = rejeita o projeto

5 – Índice de Lucratividade (IL) – este método mede a relação entre valor presente dos fluxos de caixa gerados por um projeto e o valor presente das saídas de caixa.

Formulações:

$$(1) \text{VPL} = \sum_{j=1}^n \frac{\text{FC}_j}{(1+i)^j} - \text{FC}_0$$

FC_0 = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento.

FC_j = Fluxos de caixa previstos no projeto para cada intervalo de tempo

i = taxa de desconto

n = período de tempo

$$(2) \text{ IL} = \frac{\text{VP}_{\text{entradas de caixa}}}{\text{VP}_{\text{saídas de caixa}}}$$

IL = Índice de lucratividade

$\text{VP}_{\text{entradas de caixa}}$ = Valor presente das entradas

$\text{VP}_{\text{saídas de caixa}}$ = Valor presente das saídas

6 – Simulação de Monte Carlo – O método Monte Carlo surgiu oficialmente no ano de 1949 com o artigo The Monte Carlo Method de autoria dos matemáticos John von Neumann e Stanislaw Ulam. É um método que permite simular qualquer processo cujo andamento dependa de fatores aleatórios. O método consiste basicamente em gerar aleatoriamente N sucessivas amostras em termos de uma variável aleatória que será então “testada” contra um modelo estatístico, que nada mais é do que uma distribuição de probabilidade. É fornecida então uma estimativa de valor para a variável aleatória simulada e um erro para essa estimativa, o qual é inversamente proporcional ao número de iterações. O erro total é dado por:

$$\varepsilon = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}}$$

Resumindo, o método Monte Carlo consiste em:

- Estabelecer uma distribuição de probabilidade (modelo) à qual responde uma variável aleatória que está sendo analisada.
- Amostrar esta variável aleatória um número suficientemente grande de vezes (realizar iterações).

A Figura 40 ilustra o conceito para a simulação do VPL.

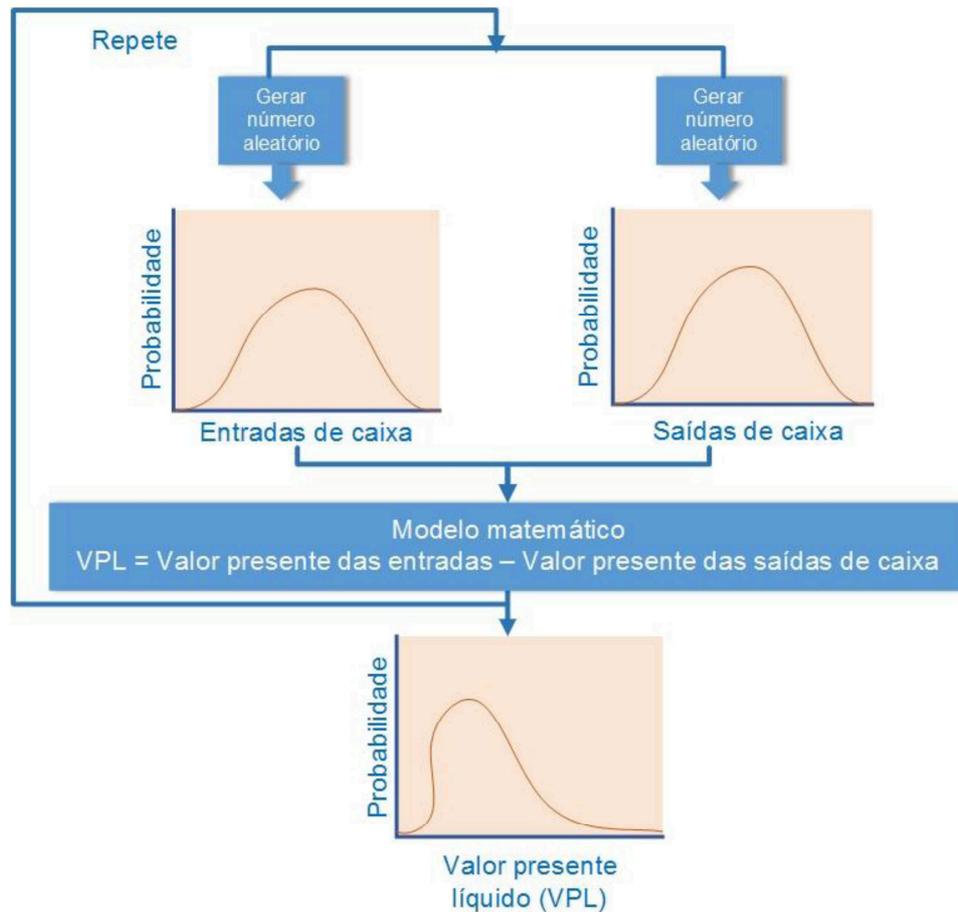


Figura 37: O conceito da simulação.

Fonte: Fernandes, 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAF N., A. Os Métodos Quantitativos de Análise de Investimentos. **Caderno de Estudos (USP)**, São Paulo, v. s/v, p. 1-16, 1992.

BRUNI, A., *et al.* Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 1, n. 6, 1998.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 10ª ed., São Paulo: Harbra. 2007.

MARQUEZAN, L. H. F., BRONDANI, G.. Análise de Investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, v. 3, p. 1/5-15, 2006.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de Investimento**. 1ª ed. Barueri - SP: Editora Manole, 328 p., 2004.