

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR TEMPOS
DE DESENVOLVIMENTO
DE PROJETOS
DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS:
ESTUDO EXPLORATÓRIO EM EMPRESA DE BASE
TECNOLÓGICA**

RUBEN DARIO SOLARTE BOLAÑOS

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SISTEMAS
MECATRÔNICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Universidade de Brasília

Faculdade de tecnologia

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

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR TEMPOS
DE DESENVOLVIMENTO
DE PROJETOS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS:
ESTUDO EXPLORATÓRIO EM EMPRESA DE BASE
TECNOLÓGICA**

RUBEN DARIO SOLARTE BOLAÑOS

**ORIENTADOR: SANDERSON CESAR MACÊDO BARBALHO,
Dr. Eng.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SISTEMAS
MECATRÔNICOS**

PUBLICAÇÃO: ENM. DM – 128/17

BRASÍLIA, DF: 24 de novembro de 2017

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

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR TEMPOS
DE DESENVOLVIMENTO
DE PROJETOS
DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS:
ESTUDO EXPLORATÓRIO EM EMPRESA DE BASE
TECNOLÓGICA**

RUBEN DARIO SOLARTE BOLAÑOS

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:

**SANDERSON CÉSAR MACEDO BARBALHO, DR. ENG. (UNB/ENM)
(ORIENTADOR)**

**LI WEIGANG, ENG. (UNB/ENM)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**GLAUCO AUGUSTO DE PAULA CAURIN
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 24 de novembro de 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

BOLAÑOS, RUBEN DARIO SOLARTE.

Proposta metodológica para estimar tempos de desenvolvimento de projetos de desenvolvimento de produtos: estudo exploratório em empresa de base tecnológica [Distrito Federal] 2017.

xvii, 103 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. Complexidade de Produtos | 2. Produto mecatrônico |
| 3. Lead times de fabricação | 4. Matriz DSM |
| 5. Protótipos | 6. Estimativa de Lead times |
| 7. Projetos NPD | |
| I. ENM/FT/UnB | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BOLAÑOS, R.D.S. (2017). Proposta metodológica para estimar tempos de desenvolvimento de projetos de desenvolvimento de produtos: estudo exploratório em empresa de base tecnológica. Publicação ENM.DM-128/17, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, xvii, 103 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ruben Dario Solarte Bolaños

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Proposta metodológica para estimar tempos de desenvolvimento de projetos de desenvolvimento de produtos: estudo exploratório em empresa de base tecnológica.

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.

Ruben Dario Solarte Bolaños.

Colina Bloc K, Campus universitario Darcy Riveiro, apto 205.

Brasília/DF – BRASIL

e-mail: rubendariosolarte@gmail.com

“Tudo posso naquele que me fortalece (Filipenses 4:13)”

AGRADECIMENTOS

Ao meu grande orientador e amigo celestial, DEUS, pela paz e força proporcionada para a culminação do meu mestrado.

As minhas mães OMAIRA BOLAÑOS, MARIA BOLAÑOS e GUILLERMINA BOLAÑOS pelo apoio e animo incondicional para continuar no meu caminho.

A minha irmã PATRICIA BOLAÑOS e a minha madrinha OLGA ORDOÑEZ por me dar o apoio e os conselhos para continuar no dia a dia.

A minha namorada NATALY ALMEIDA por todo o apoio, amor e ajuda na elaboração desta dissertação.

Para meu amigo FABIAN BARRERA pelos conselhos e apoio neste caminho.

Ao professor SANDERSON CÉSAR MACEDO BARBALHO, meu orientador, pela sua paciência, disposição, tempo e pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos, colegas e companheiros os mais sinceros agradecimentos pelos conselhos e conhecimentos adquiridos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos pelo apoio oferecido no curso. Agradeço também à Universidade de Brasília, à FAP-DF pelo apoio financeiro prestado.

RESUMO

Os projetos de desenvolvimento de novos produtos (NPD) são de grande importância para o sucesso das empresas e para o incremento nos seus lucros. O tempo nos projetos NPD torna-se crítico, já que este tempo define os custos desses projetos, assim como a vantagem de vendas a partir do lançamento do produto condizendo aos objetivos paralelos dos concorrentes. Nos mercados concorrentes as empresas estão enfrentando a pressão notável de introduzir rapidamente novos produtos porque os ciclos de vida desses estão se tornando mais curtos. Por este motivo, na atualidade um dos principais objetivos das equipes de NPD é reduzir o tempo do ciclo de desenvolvimento. Mas para controlar de alguma maneira os tempos nos projetos NPD deve-se ter uma estimativa prévia do tempo de conclusão do projeto com o objetivo de implementar alguma ação corretiva que reposicione o projeto no caminho certo para o cumprimento do planejamento definido. Nesta dissertação serão propostos modelos matemáticos para calcular a estimativa do tempo de desenvolvimento de uma empresa Brasileira de tecnologia no ramo da óptica, com atuação nas áreas médica, industrial, aeroespacial e de defesa. Os modelos são obtidos através da análise de mínimos quadrados e regressão múltipla. A abordagem feita nesta dissertação é orientada à partir da estimativa de tempos em projetos NPD através de conhecimentos prévios das estruturas e funcionamento, assim como dos Leads times de fabricação de componentes (LFCs) dos produtos de referência enquanto protótipos. A empresa estudada forneceu informações da estrutura e funcionamento dos produtos estudados (o Retinografo ADS, o Laser Amarelo, o Magis e o MIV), assim como também informações dos tempos de desenvolvimentos e dos LFCs dos protótipos desses. Nesta dissertação também se propõe uma metodologia para medir a complexidade estática focada em produtos mecatrônicos.

Palavras chave: Desenvolvimento de novos produtos, complexidade do produto, *lead time* de fabricação de componentes, produtos mecatrônicos, estimativa de tempos, tempo de desenvolvimento, protótipos.

ABSTRACT

The New Product Development Projects (NPD) are of great importance to the success of companies and to increase their profits. The time in NPD projects becomes critical, since this time defines the costs of these projects, as well as the advantage of sales from the launch of the product with regard to the parallel objectives of the competitors. In competing markets, the companies are facing the remarkable pressure to rapidly introduce new products due their life cycles are becoming shorter. For this reason, currently one of the main goals of NPD teams is to reduce development cycle time. On the other hand, to control the times in the NPD projects in some way is necessary to have a preliminary estimate of the project completion time in order to implement some corrective action that repositions the project in the right way to fulfill the defined planning. The main objective of this dissertation is to propose mathematical models to calculate the estimated time of development of a Brazilian technology company in the field of optics, working in the medical, industrial, aerospace and defense areas. The models are obtained through least squares analysis and multiple regression. The approach taken in this dissertation is oriented to the estimation of times in NPD projects through previous knowledge of the structures and functioning, as well as of the Leads Times of component manufacturing (LFCs) of reference products as prototypes. The studied company provided information on the structure and operation of the products studied (the ADS Retinograph, the Yellow Laser, the Magis and the MIV), furthermore, they provided information on the development times and the LFCs of these prototypes. This dissertation also proposes a methodology to measure static complexity focused on mechatronic products.

Key words: New Product Development, Product complexity, Component Manufacturing Lead Times, Mechatronic Products, Times Estimation, Development Time, prototypes.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Metodologia.....	4
1.4 Organização do trabalho.....	6
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEORICO	8
2.1 O processo de desenvolvimento de novos produtos (NPD).....	8
2.2 A complexidade do produto nos processos de desenvolvimento e fabricação de produtos. 19	
2.3 Os lead times nos Processos de Fabricação de Produtos (PFP)	23
2.4 A complexidade e a produção de produtos mecatrônicos	27
2.5 Metodologias para obter a estimativa da complexidade, lfs e tds.	29
2.5.1 Metodologias para estimar a complexidade de produtos.	29
2.5.2 Metodologias para estimar tempos nos processos NPDs e PFPs.	42
CAPITULO 3 – PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR TEMPOS EM PROJETOS NPD.....	55
3.1 Proposta para obter o modelo 1 para estimar tempos em projetos NPD.....	55
3.2 Proposta para a obter o modelo 2 para estimar tempo em projeto NPD	57
3.3 Proposta para a obter o modelo 3 para estimar tempo em projeto NPD	58
3.4 Proposta Metodológica para calcular a complexidade de um produto.....	60
3.3.1 Cálculo da complexidade global dos produtos.....	60
3.3.2 Complexidade das interligações dos subsistemas dos produtos.....	62
CAPITULO 4 – INFORMAÇÃO FORNECIDA PELA EMPRESA ESTUDADA.	65
4.1 Descrições dos produtos	65
4.1.1 Produto Retinógrafo ADS	65
4.1.2 Produto Laser Amarelo	69

4.1.3 Produto Magis	72
4.1.4 Produto MIV	73
4.2 Tempos	76
4.2.1 Tempos de desenvolvimento dos produtos	76
4.2.2 Media dos LFCs dos protótipos associados a cada produto	79
CAPITULO 5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA ESTIMAR TEMPOS EM PROJETOS NPD	82
5.1 Cálculo da complexidade estática dos Protótipos	82
5.1.1 Cálculo da complexidade do Retinógrafo ADS	82
5.1.2 Cálculo da complexidade do Laser Amarelo	84
5.1.3 Cálculo da complexidade do produto Magis	85
5.1.4 Cálculo da complexidade do produto MIV	87
5.2 Construção das Matrizes para construir os modelos	88
5.3 Construção dos modelos para estimar tempos de desenvolvimento	89
5.4 Erro dos modelos 1, 2 e 3	92
CAPITULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	95
6.1 Análise dos objetivos e resultados.....	95
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	99

Lista de Figuras

Figura 1: Etapas do NPD (CLARK e FUJIMOTO, 1991).....	9
Figura 2: Funil de desenvolvimento (WHEELWRIGHT e CLARK, 1992).....	9
Figura 3: Processo de revisão de fases no desenvolvimento de produtos (COOPER, 2001). 10	
Figura 4: Fluxograma do modelo do NPD (PAHL <i>et al.</i> , 2005).....	11
Figura 5: Macro fases e fases do desenvolvimento de produtos (adaptado de (ROZENFELD <i>et al.</i> , 2006).....	11
Figura 6: Princípios básicos do modelo V para o projetos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos (VASIĆ e LAZAREVIĆ, 2008).....	14
Figura 7: Modelo de 3-Ciclos(GAUSEMEIER <i>et al.</i> , 2011).....	15
Figura 8: Projeto Conceitual Integrativo do sistema de produção e produto. (GAUSEMEIER <i>et al.</i> , 2011).....	15
Figura 9: Modulo Mecatrônico (HEHENBERGER <i>et al.</i> , 2010).....	16
Figura 10: Passos para a confecção do MRM (Barbalho, 2006a).....	17
Figura 11: Fases do MRM (BARBALHO e ROZENFELD, 2013).....	18
Figura 12: Fatores importantes de grande influência num projeto NPD (XIAN, (2009)).	20
Figura 13: Direcionadores da complexidade total num sistema de manufatura (BRAUN, 2008).	21
Figura 14: A classificação da complexidade no domínio funcional (ELMARAGHY <i>et al.</i> , 2012).....	22
Figura 15: A classificação dos da complexidade no domínio físico (ELMARAGHY <i>et al.</i> , 2012).....	22
Figura 16: Tipos de lead times segundo as operações do processo produtivo (SILVA e FERNANDES, 2008).	25
Figura 17: Leads times dentro de um sistemas de produção, (SILVA, 2008).	27
Figura 18: Mecatrônica, sinergia da interação de várias disciplinas, (HOFMANN, 2010). ...	28
Figura 19: Análise e avaliação simultânea da complexidade dos produtos mecatrônicos (HOBDDAY, 1998).	32
Figura 20: Arquitetura de um produto mecatrônico a través da implementação da matriz DSM, Fonte: (SHARMAN, 2004).	33
Figura 21: Componentes da complexidade(EIMARAGHY, 2004).....	35
Figura 22: Frequência dos indicadores na revisão da estimativa da complexidade.....	42

Figura 23: Estrutura da rede neural treinada em Susanto (2012).	46
Figura 24: Métodos para fazer a estimativa de lead times (MOURTZIS <i>et al.</i> , 2014).	49
Figura 25: Métodos em inteligência artificial para a estimativa de lead times (MOURTZIS <i>et al.</i> , 2014).	49
Figura 26: Visão geral do processo de estimativa de tempo de desenvolvimento.	56
Figura 27: Processo para obter o modelo 2 para a estimativa de tempos em projetos NPD.	58
Figura 28: Processo para obter o modelo 3 para a estimativa de tempos em projetos NPD.	59
Figura 29: Matriz para o cálculo da complexidade associadas às interligações do produto.	64
Figura 30: Foto ilustrativa do uso da Unidade de Captura de Imagens. Fonte: (BARBALHO, 2005: pag 12).	66
Figura 31: Funcionamento do Retinógrafo (BARBALHO, 2005: pag 7).	66
Figura 32: Estrutura do Retinógrafo ADS.	68
Figura 33: Esquema de funcionamento do laser amarelo (ROSSI, 2010: Pag 22).	70
Figura 34: Laser: Amarelo (ROSSI, 2010: pag 1).	70
Figura 35: Conjuntos e subconjuntos do Laser Amarelo.	71
Figura 36: Magis (MATAYOSHI, 2007: pag 11).	72
Figura 37: Diagrama de blocos de funcionamento do Magis.	73
Figura 38: Modelo de engenharia do MIV (STEFANI, 2009: pag 40).	73
Figura 39: Conjuntos e subconjuntos do MIV.	74
Figura 40: Diagrama de blocos do EITMSS (STEFANI, 2009: pag 38).	75
Figura 41: Tempo e etapas para o desenvolvimento do produto MIV (STEFANI, 2009: pag 53).	78
Figura 42 : Tempos de fabricação de peças dos protótipos do Retinógrafo ADS.	79
Figura 43 : Tempos de fabricação de peças dos protótipos do Laser Amarelo.	80
Figura 44 : Tempos de fabricação de peças dos protótipos do MAGIS.	80
Figura 45: Matriz para o cálculo da complexidade das interligações do Retinógrafo ADS.	83
Figura 46: Matriz DSM para o cálculo da complexidade das interligações do laser amarelo.	84
Figura 47: Matriz DSM para o cálculo da complexidade das interligações do produto Magis	86
Figura 48: Matriz DSM para o cálculo da complexidade das interligações do produto MIV.	87
Figura 49: Comportamento do tempo de desenvolvimento dos produtos em relação à complexidade.	89
Figura 50: TDs com respeito das MLFCs.	90

Figura 51: TDs ante mudanças na complexidade e na MLFC dos protótipos estudados.....	91
Figura 52: Erro dos modelos 1, 2 e 3 para estimar tempos de desenvolvimento em projetos NPD da empresa estudo de caso.....	93
Figura 53: Estrutura básica das redes neurais treinadas baseada em (SUSANTO <i>et al.</i> , 2012).	98

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais definições do desenvolvimento de produtos.....	8
Tabela 2: Indicadores definidos para calcular a complexidade de uma pinça robótica.	34
Tabela 3: Medição da inteligência.....	34
Tabela 4: Resumo das Metodologias para a Análise da Complexidade em produtos mecatrônicos.....	39
Tabela 5: Frequência dos indicadores na revisão da estimativa da complexidade.....	41
Tabela 6: Resumo de autores e métodos para estimar lead times de produção e tempos no projeto NPD.....	51
Tabela 7: Frequência dos indicadores na revisão da estimativa da complexidade.....	60
Tabela 8 : Tabela para o cálculo da complexidade estática dos produtos	62
Tabela 9: Escalas de pontos para quantificar pontos fortes de relacionamento usados na matriz DSM.	63
Tabela 10: Fases e Datas para no processo de desenvolvimento do retinógrafo.....	76
Tabela 11: Fases e Datas para o desenvolvimento do Laser Amarelo	76
Tabela 12: Fases e Datas no desenvolvimento do produto Magis.....	77
Tabela 13: Variáveis para a construção dos modelos propostos nessa dissertação.....	81
Tabela 14: Complexidade do Retinógrafo ADS.....	83
Tabela 15: Complexidade do produto laser amarelo.....	85
Tabela 16: Complexidade do produto MAGIS.	86
Tabela 17: Complexidade do produto MIV.	87
Tabela 18: Dados para a construção dos modelos de estimativa de tempos em projetos NPD.	88

Lista de símbolos

AI	Inteligência Artificial
AIP	Associação a Indicadores de Projeto
ANNS	Redes Neurais Artificiais
ANFIS	Sistema de Inferência Neurofuzzy Adaptativa
ARX	Modelo de Identificação Paramétrica
AS	Recozimento Simulado
ATO	Montagem a Pedido
CBR	Método de. Raciocínio Baseado em Casos
CCD	Dispositivo de Carga Acoplada
CE	Abordagem de Certeza Equivalente
DC	Complexidade do Design.
DM	Diagramas Moleculares
DMM	Matriz de Mapeamento de Domínios
DPSSL	Cavidade Laser de Estado Sólido
DSM	Matriz de Estrutura do Design
EITMSS	Equipamento de Imagem Térmica para o Sistema de Armas
ETO	Engenharia por Projeto
EVM	Gerenciamento do Valor Agregado
FAAC	Ferramentas Utilizadas como Ajuda para a Análise da Complexidade
GRNN	Rede Neural de Regressão Geral
ICP	Indicadores de Complexidade no Produto.
IDEF0	Definição de Integração para Modelagem de Funções
LDP	Linha de Produto
LF	Lead Time de Fabricação.
LFC	Lead Time de Fabricação de Componentes

LIX	Abordagem Limitada da Troca de Informações
LLNF	Redes Neuro-fuzzy Localmente Lineais
LM	Lead Time de Montagem
LPr	Lead Time de Projeto
LS	Lead Time de Suprimento
MA	Medidas de Avaliação.
MAPE	Erro Médio de Porcentagem Absoluta
MDM	Matriz de vários Domínios
MÊS	Sistemas de Execução de Fabricação
MIP	Programação Linear Inteira Mista
MLFCs	Media de lead times de fabricação de componentes de protótipos
MRP	Planejamento de Necessidades de Material
MRM	Modelo de Referencia Mecatrônico
MSX-CDSM	Matriz Multi-solução Estendida do Design Conceitual Semântico
MTF	Função de Transferência de Modulação
MTS	Produzir para Armazenar
MTO	Produzir por Pedido
NPD	Desenvolvimento de Novos Produtos
OOLFC	Controlador de Retorno de Loop Aberto Ótimo
PASA	Aproximação Estocástica Baseada na Análise de Perturbação
PCP	Planejamento e Controle da Produção.
PFP	Processo de Fabricação de Produtos
PID	Controle Proporcional Derivativo
PRODIP	Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
PWIS	Trabalho Paralelo no Sistema
PWTB	Trabalho Paralelo Até o Gargalo

RNA	Rede Neural Artificial
RTO	Pedido para Recursos
SVR	Vetor de Suporte de Regressão
SysML	Linguagem Orientado ao Objetos
TET	Tempos Execução de Tarefas
TD	Tempo de Desenvolvimento
TR	Tempo de Resposta
VD	Diagramas Visibilidade-Dependência
WIP:	Trabalho em Processo
WTM	Matriz de Transformação de Trabalho

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos produtos (NPD) é uma atividade importante que contribui para o crescimento de uma empresa afetando substancialmente os seus lucros (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013). Segundo Meysam mousavi *et al.* (2013) a gestão dos processos de NPD é considerada o motor de vendas da empresa. O NPD é um processo complexo que apresenta inúmeras atividades inter-relacionadas e interfaces técnicas o qual deve vincular seus processos e atividades aos diversos requisitos do mercado, aos requisitos internos da empresa e das demais partes da cadeia produtiva (TAVARES; BARBALHO, 2016). Nos mercados mais competitivos as empresas estão enfrentando uma pressão notável para introduzir rapidamente novos produtos porque os ciclos de vida destes são cada vez visivelmente mais curtos (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013). Por este motivo na atualidade, um dos principais objetivos das equipes de NPD é reduzir o tempo do ciclo de desenvolvimento (TD) (CLIFT e VANDENBOSCH, 1999).

Da necessidade de reduzir o TD nos projetos NPD nasce a motivação para estimar o tempo final do desenvolvimento nas etapas iniciais deste, para assim tomar ações corretivas na execução do projeto de desenvolvimento com respeito aos objetivos planejados para o lançamento do produto. Mas a estimativa do tempo em projetos NPD é frequentemente um problema complexo devido à não linearidade e à pequena quantidade de padrões de dados presentes nestes processos (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013).

Segundo Fasanghari (2012), os processos de estimativa de tempos dos projetos NPD são críticos para as empresas em ambientes competitivos, uma vez que se a previsão de tempo final é eficaz podem-se escolher as melhores estratégias para continuar, modificar ou interromper os projetos NPD em execução. No caso do sucesso das atividades dos gerentes, estimar o tempo de conclusão do projeto é altamente importante porque a estimativa de tempos nos projetos NPD afeta profundamente as atividades de gerenciamento tais como o planejamento do projeto e a alocação de recursos (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013). O tempo do projeto NPD tende a aumentar com a incerteza e a complexidade das tarefas, dos recursos, dos participantes e das características do mesmo. Portanto, a estimativa de tempos deve ser altamente confiável e tem que ser considerada durante os estágios iniciais da pesquisa industrial (CHEN, 2003 e JÓNSDÓTTIR, 2000).

O tempo em um NPD se amplia enquanto aumenta o grau da complexidade do produto e os *lead times* de fabricação do produto (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013). Por isto nesta dissertação são abordadas pesquisas que envolvem a estimativa da complexidade e de tempos em um processo de produção de produtos mecatrônicos. O intuito da abordagem das metodologias para estimar complexidade e tempos reside em servir como base para propor uma metodologia para medir a complexidade estática de produtos tecnológicos e para construir modelos para calcular a estimativa de tempos de desenvolvimento em projetos NPD da empresa estudada.

Incrementar os requisitos funcionais e a complexidade do sistema diminuindo o tempo para o desenvolvimento e os custos são alguns dos desafios que quase todo fabricante enfrenta atualmente. Além disso, outro desafio é oferecer ao cliente o que ele espera em termos de “produtos de alta qualidade” (HOFMANN, 2010).

Segundo Barbalho (2006) em algumas situações, especialmente em concepções inovadoras de projetos NPD, é necessário realizar testes com protótipos físicos. Eles são submetidos a clientes potenciais, especialmente os “usuários líderes”. Protótipos de concepção não precisam implementar todas as funções desenvolvidas, mas, tão somente, aquelas identificadas como necessárias ao teste. Por tanto os protótipos são de grande importância nos projetos NPD.

No estudo da estimativa de tempos nos projetos NPD são utilizados diferentes métodos que envolvem técnicas matemáticas, estatísticas, estocásticas e computacionais. Nesta dissertação são propostos modelos matemáticos (mínimos quadrados e regressão múltipla).

Esta dissertação começa com a descrição de conceitos a serem levados em conta no estudo abordado. Em seguida, serão apresentadas metodologias utilizadas para calcular a estimativa de tempos em processos produtivos, assim como também as metodologias para calcular a complexidade de produtos mecatrônicos. Logo depois será apresentada a descrição dos produtos e a empresa estudada, além de propor uma metodologia para estimar a complexidade estática dos produtos mecatrônicos baseados na revisão bibliográfica. Dando continuidade será apresentado o processo realizado para avaliar a complexidade estática dos produtos estudados. Finalmente, apresentam-se os modelos obtidos para estimar o tempo de desenvolvimento através de conhecimentos prévios da complexidade estática e das médias dos *lead times* de fabricação de componentes dos protótipos (LFCs) dos produtos analisados. Os produtos estudados aqui são o Retinografo ADS, o Laser Amarelo, o Magis e o MIV.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é propor uma metodologia para fazer a estimativa de tempos de desenvolvimento em projetos NPD com base no conhecimento prévio da complexidade estática do produto e da média dos LFCs obtidos nos seus processos de fabricação enquanto protótipos. A metodologia é validada com base em modelos obtidos para três produtos de uma empresa que produz e comercializa produtos mecatrônicos e aplicada a um quarto produto da empresa de maneira a prever seus tempos de desenvolvimento.

Os objetivos específicos são:

- Identificar lacunas na literatura quanto ao planejamento de projetos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos e aspectos de complexidade e lead times de fabricação.
- Desenvolver a metodologia de estimativas de tempos de desenvolvimento com base nos conceitos analisados na revisão de literatura.
- Calcular complexidade estática no domínio físico dos protótipos dos produtos tecnológicos estudados.
- Obter modelos matemático que descrevam o comportamento dos tempos de desenvolvimento de produtos com respeito da complexidade estática e dos LFCs médios destes, enquanto protótipos.
- Calcular o erro dos modelos matemáticos construídos.

1.2 Justificativa

Os tempos de desenvolvimento num projeto NPD tem grande influência no sucesso no mercado do produto, e, portanto, na competitividade e lucros da empresa. Esses tempos de desenvolvimento são influenciados pela complexidade estática, ligada às características do produto e aos tempos de fabricação dos componentes do produto. Portanto, um modelo de previsão de tempos de desenvolvimento num projeto NPD é de grande valor para uma empresa, a qual contém informação ajustável do que poderia ser a data do lançamento de certo produto. Trabalhos atuais propõem diferentes modelos matemáticos e computacionais para fazer a estimativa de tempos de desenvolvimento, mas não fazem uma abordagem que inclua as variáveis “LFCs de prototipos” e “complexidade estática do protótipo” como entrada destes modelos. Os objetivos propostos nesta dissertação apresentam uma nova abordagem para estimar tempos de desenvolvimento em projetos NPD.

1.3 Metodologia

A pesquisa se inicia com a fundamentação teórica, a qual apresenta os conceitos importantes para desenvolver o tema de pesquisa. Feita a fundamentação teórica se faz uma revisão bibliográfica relacionada: (a) às ferramentas, (b) aos indicadores e (c) à estimativa de tempos envolvidos na definição e medição da variável complexidade nos processos de produção e desenvolvimento de produtos tecnológicos (ênfatisando os produtos mecatrônicos). A revisão bibliográfica está composta principalmente por:

1. Principais indicadores para o cálculo da complexidade em um produto enfatizando a pesquisa em produtos mecatrônicos.
2. Principais ferramentas utilizadas para modelar, visibilizar e calcular a complexidade de um produto.
3. O intuito do cálculo da complexidade de um produto, com respeito ao tempo, custo e qualidade.
4. Consequências do valor de complexidade dos produtos nos sistemas de produção.
5. O objetivo de fazer a estimativa do tempo de desenvolvimento para uma empresa NPD.
6. O intuito de fazer a estimativa de *Lead times* de fabricação e de tempos de desenvolvimento.
7. Ferramentas utilizadas para estimar tempos nos projetos NPD e PFPs.
8. Características do comportamento dos tempos envolvidos na fabricação e desenvolvimento de produtos.
9. Variáveis de incidência para o cálculo da estimativa de tempos de fabricação e desenvolvimento.
10. Incidências dos *lead times* de fabricação e tempos de desenvolvimento no comportamento do sistema produtivo com respeito ao mercado do produto.

A partir da revisão bibliográfica de metodologias para medir a complexidade de produtos, é proposta uma metodologia para medir a complexidade estática em um produto em geral (focados em produtos mecatrônicos). A partir do valor obtido mediante a metodologia para fazer a estimativa da complexidade estática, observa-se o que acontece posteriormente

com os tempos de desenvolvimento e os lead times de produção de componentes dos produtos, quando muda o valor da complexidade. O intuito da revisão bibliográfica no que concerne à estimativa de tempos é fornecer insumos para propor modelos matemáticos ou computacionais que permitam fazer a estimativa de tempos de desenvolvimento através do conhecimento da complexidade de um produto e da média dos LFCs, para a aplicação na empresa de estudo de caso.

O procedimento geral para o desenvolvimento desta pesquisa é:

1. Fazer a revisão teórica para o desenvolvimento dos objetivos da pesquisa.
2. Fazer a revisão bibliográfica das metodologias para a análise da complexidade em produtos tecnológicos focados em produtos mecatrônicos.
3. Fazer a revisão bibliográfica das metodologias para fazer a estimativa de tempos de desenvolvimento e de fabricação num processo produtivo.
4. Propor uma metodologia para medir a complexidade de produtos mecatrônicos da empresa de estudo de caso.

5. Analisar a informação fornecida pela empresa identificando os produtos e as suas características estruturais e funcionais.
6. Obter os tempos e fases no desenvolvimento dos produtos de estudo mediante a análise de material fornecido pela empresa.
7. Obter os LFCs dos protótipos dos produtos estudados mediante a análise de material fornecido pela empresa.
8. Obter um modelo matemático para estimar tempos de desenvolvimento através do conhecimento da complexidade do produto.
9. Obter um modelo matemático para estimar tempos de desenvolvimento através do conhecimento da média dos LFCs enquanto protótipos.
10. Obter um modelo matemático para estimar tempos de desenvolvimento através do conhecimento da complexidade estática e da média dos LFCs enquanto protótipos.
11. Verificar o comportamento dos modelos construídos através da análise do erro desses.
12. Elaborar as conclusões e considerações finais do estudo.

1.4 Organização do trabalho

Esta dissertação é organizada como segue:

CAPÍTULO 1 – **“Introdução”** -Traz a contextualização introdutória do problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos e a justificativa do mesmo.

CAPÍTULO 2 – **“Referencial teórico”** – Nesse capítulo são contextualizados conceitos importantes a ter em conta no desenvolvimento desta pesquisa. Além apresenta-se a revisão bibliográfica, onde se apresentam diferentes metodologias para o cálculo da complexidade em produtos tecnológicos, com ênfases em produtos mecatrônicos. Também neste capítulo se apresenta a revisão bibliográfica das metodologias, para calcular a estimativa de lead times de fabricação e de tempos em projetos NPD, para sistemas de produção e desenvolvimento de produtos mecatrônicos.

CAPÍTULO 3 – **“proposta metodológica para estimar tempos em projetos NPD”** – Apresenta os passos a seguir para a obtenção de modelos para estimar tempos de desenvolvimento em projetos NPD. Também neste capítulo é apresentada a proposta metodológica para fazer o cálculo da estimativa da complexidade dos produtos analisados.

CAPÍTULO 4 – **“Informação fornecida pela empresa estudada”** – Apresenta uma breve descrição das características funcionais e estruturais dos produtos estudados nesta dissertação. Aqui também são apresentados os tempos de desenvolvimento (TDs) e as medias dos lead times de fabricação de componentes (MLFC) dos protótipos de cada produto.

CAPÍTULO 5 – **“Aplicação da metodologia proposta para estimar tempos em projetos NPD”** – Neste capítulo se apresenta o procedimento para fazer o cálculo da complexidade em cada produto. Também se expõe o comportamento dos tempos envolvidos no desenvolvimento de produtos com respeito da complexidade e os lead times de fabricação dos produtos estudados enquanto protótipos. A análise do comportamento entre as variáveis estudadas permitirá propor, neste capítulo, modelos para estimação de tempos de desenvolvimento em projetos NPD. Os modelos são construídos através do uso de mínimos quadrados e regressão múltipla. Esses modelos são testados inserindo as variáveis de um novo produto (MIV) para calcular o erro desses.

CAPITULO 6 – “**Conclusões e recomendações para trabalhos futuros**” - Apresenta as considerações e conclusões finais do projeto desenvolvido e as recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEORICO

Nesta capítulo são apresentados conceitos e fundamentos teóricos a ter em conta nos processos de desenvolvimento de produtos e necessários no desenvolvimento desta pesquisa. Além nesse capítulo são apresentadas as revisões bibliográficas de métodos para medir a complexidade de um produto e de métodos para estimar tempos em processos NPD e de fabricação de produtos (PFPs).

2.1 O processo de desenvolvimento de novos produtos (NPD)

O desenvolvimento de novos produtos (NPD) é um processo ou roteiro que guia um novo produto desde a ideação até o lançamento do produto. É uma atividade interdisciplinar e complexa que requer participação de várias áreas do conhecimento (CHEN *et al.*, 2003).

A gestão de projetos de desenvolvimento de novos produtos NPD é considerada como o motor de vendas da empresa, de sua participação de mercado e lucros (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013). Segundo Meysam Mousavi *et al.* (2013) as principais características destes projetos são as seguintes; a novidade tecnológica, a visibilidade do produto, a rapidez, a alterabilidade, e o envolvimento de risco. Fasanghari (2012) diz que o Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD) se caracteriza em utilizar um método de projeto para preparar o protótipo ou construir a primeira versão do produto.

A Tabela 1 apresenta algumas definições de autores que trabalham na área de desenvolvimento de produtos.

Tabela 1: Principais definições do desenvolvimento de produtos.

Autor	Definição de desenvolvimento de produtos
(ULRICH e EPPINGER, 2000)	O desenvolvimento de produtos é um processo em que o produto é concebido, projetado e lançado no mercado, incluindo a sua realimentação com informações tanto da produção como do uso do produto.
(KRISHNAN e ULRICH, 2001)	O desenvolvimento de produtos é o processo no qual ocorre a transformação de uma oportunidade de mercado em um produto disponível para venda, através de um conjunto de atividades executadas de maneira lógica, de forma sequencial ou em paralelo.
(ROZENFELD <i>et al.</i> , 2006)	O desenvolvimento de produtos é um processo complexo e apresenta inúmeras atividades inter-relacionadas e interfaces técnicas, deve vincular seus processos e atividades aos diversos requisitos de mercado, aos requisitos internos da empresa e das demais partes da cadeia produtiva. Este processo é composto por “atividades, recursos, informações, fases, responsabilidades e outras possíveis dimensões” e nele são definidas especificações técnicas do produto, do processo de fabricação e da sua aplicação.

Fonte: Elaboração própria

Na literatura, diferentes modelos são apresentados, os quais contêm normas, diretrizes e procedimentos para a gestão do desenvolvimento de produtos. Aqueles modelos antigos descreviam o processo como um sistema linear, com fases independentes e sequenciais. Estudos atuais argumentam que o NPD evolui através de fases com loops de sobreposição e de feedback (MCCARTHY *et al.*, 2006).

A Figura 1 ilustra um processo típico de desenvolvimento com etapas bem definidas segundo os estudos de Clark e Fujimoto, 1991.

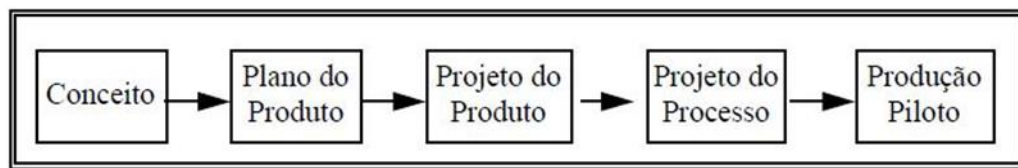


Figura 1: Etapas do NPD (CLARK e FUJIMOTO, 1991).

O NPD é definido por Wheelwright e Clark (1992) através do conceito de funil de desenvolvimento. O qual é apresentado como um modelo de estratégia de desenvolvimento de produto. As principais atividades apresentadas no funil de desenvolvimento são: criar, definir e selecionar os projetos que poderão gerar produtos ou processos superiores; integrar e coordenar tarefas funcionais e técnicas com as unidades envolvidas; gerenciar os esforços do desenvolvimento coerentemente com as metas do negócio; criar e melhorar as capacidades necessárias para tornar o NPD uma fonte de vantagem competitiva. A Figura 2 apresenta o Funil de desenvolvimento.

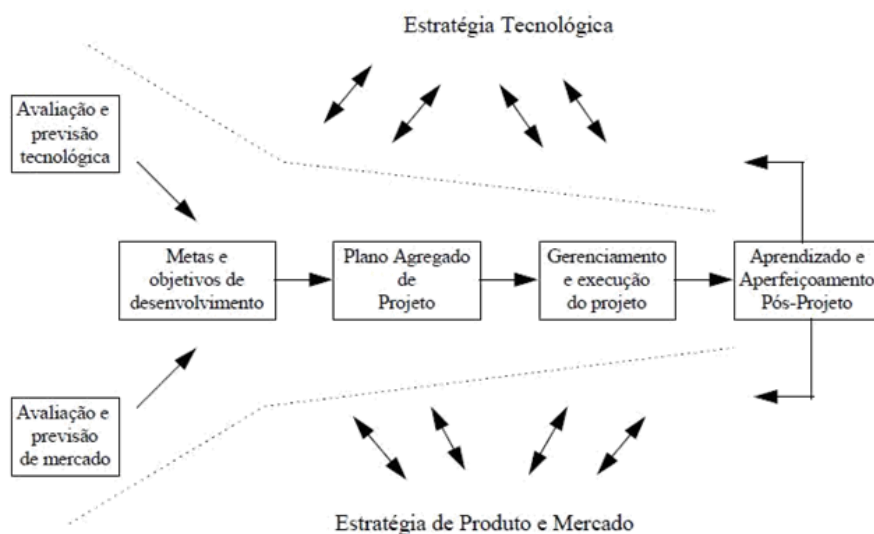


Figura 2: Funil de desenvolvimento (WHEELWRIGHT e CLARK, 1992).

Na Figura 3 pode-se observar o processo de desenvolvimento por fases apresentado por Cooper (2001). Este modelo consiste no sequenciamento das diversas etapas que compõem o processo NPD e na atribuição de um “portão” de decisão anterior a cada etapa. Assim existe a necessidade de um processo de decisão que pode ser, prosseguir, modificar ou abortar o desenvolvimento antes de continuar para a próxima etapa.

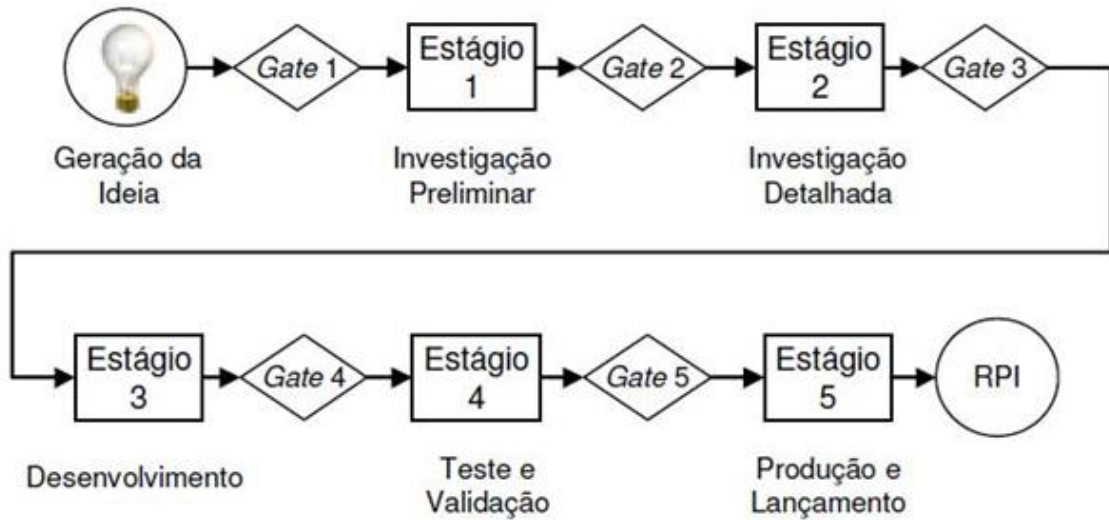


Figura 3: Processo de revisão de fases no desenvolvimento de produtos (COOPER, 2001).

Pahlet *al.* (2005) propôs um método onde as etapas do NPD estão constituídas por uma lista de atividades e objetivos que deverão ser atingidos. O fluxograma deste processo é apresentado na Figura 4, nele contém idas e vindas, com uma realimentação constante entre as ações. O fluxograma apresenta um processo dinâmico que está em constante construção. Isto faz que o método não leve em consideração aspectos que envolvem mercado, como são; (a) as vendas dos produtos e (b) aspectos comerciais.

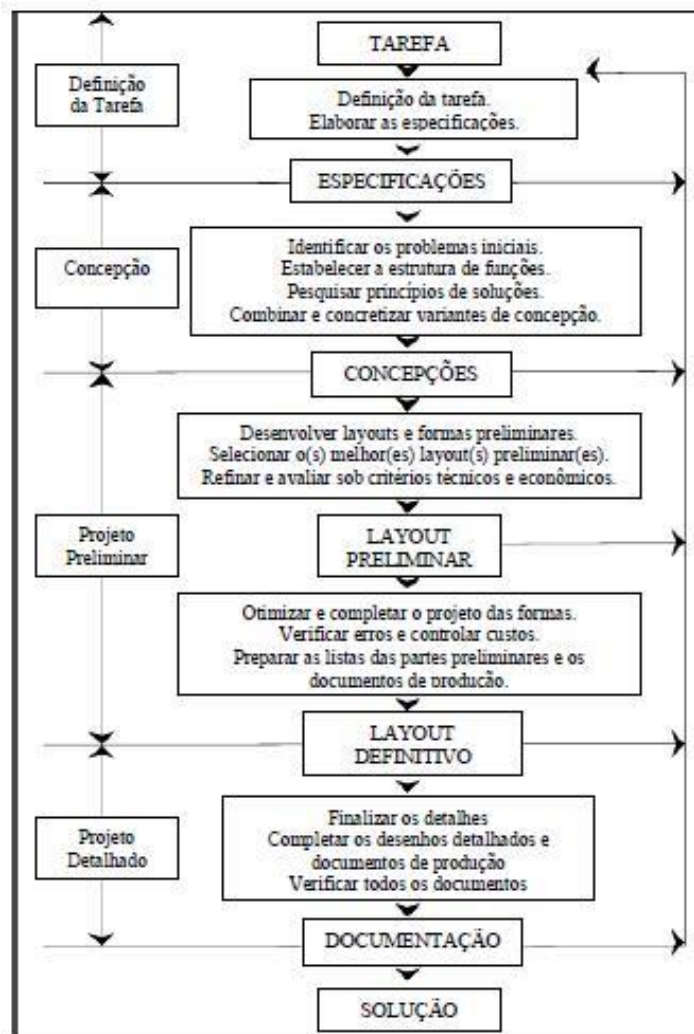


Figura 4: Fluxograma do modelo do NPD (PAHL *et al.*, 2005).

Rozenfeld *et al.* (2006) propõe um modelo dividido em três macro fases (pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento) sendo cada macro fase dividida em fases. A Figura 5 apresenta as macro fases e as fases do NPD segundo Rozenfeld *et al.* (2006).

MACROFASES	PRÉ-DESENVOLVIMENTO	DESENVOLVIMENTO	PÓS-DESENVOLVIMENTO
FASES	Planejamento Estratégico de Produtos	Projeto Informacional	Acompanhar Produto e Processo
	Planejamento do Projeto	Projeto Conceitual	Descontinuar Produto no Mercado
		Projeto Detalhado	
		Preparação da Produção do Produto	
		Lançamento do Produto	

Figura 5: Macro fases e fases do desenvolvimento de produtos (adaptado de (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Na macro fase de desenvolvimento, as fases pelas quais o projeto passa são as seguintes:

1. Projeto Informacional: o objetivo é partir das informações do planejamento e outras fontes, desenvolver um conjunto de informações, o mais completo possível, chamado de “especificações meta do produto”. Essas especificações, além de orientar a geração de soluções, fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisões utilizados nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento.
2. Projeto Conceitual: as atividades da equipe de projeto relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto. A busca por soluções já existente pode ser feita pela observação de produtos similares ou concorrentes.
3. Projeto Detalhado: a concepção de produto será detalhada e transformada nas especificações finais, que podem abranger uma ampla gama de documentos, detalhando cada item que o compõe e os respectivos processos de fabricação.
4. Preparação da Produção do Produto: compreende a produção do lote piloto e a definição dos processos de produção e manutenção.
5. Lançamento do Produto: o objetivo é colocar o produto no mercado, juntamente com o resultado da fase anterior, de preparação da produção, visando garantir sua aceitação pelos clientes em potencial, que se constituíam em premissas do estudo de viabilidade econômico-financeira deste produto, desenvolvido e monitorado durante todo o processo de desenvolvimento de produto.

Barbalho (2006) resume o NPD como um processo definido pelas seguintes características:

1. É um processo cujo cerne é definido pela identificação, projeto e atendimento das necessidades do mercado;
2. É um processo que transforma informações de mercado e tecnologia em produtos que atendam às demandas dos consumidores;
3. É um processo cujo resultado é constituído por informações importantes para a produção comercial do produto;
4. É um processo no qual há fases interligadas por decisões que direcionam o fluxo de atividades a serem realizadas em cada projeto;
5. É um processo cujo escopo temporal é delimitado pelo ciclo de vida de um produto;

6. É um processo no qual um grande conjunto de atores organizacionais interagem para a realização das atividades que o caracterizam;
7. É um processo operacionalizado através de projetos;
8. É um processo que comporta um conjunto de atividades centrais sem as quais não é possível projetar um novo produto;
9. É um processo no qual ocorrem ciclos de interação entre atividades de fluxos distintos.

Back *et al.* (2008) propõe o modelo de PRODIP (Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos) também chamado de modelo de referência, que explica o conhecimento sobre o processo de desenvolvimento de produtos, de modo a auxiliar no entendimento e na prática do processo. Para uma maior compreensão, o modelo é dividido em três macro fases: (a) Planejamento do projeto, (b) Elaboração do projeto de produto e (c) Implementação do lote piloto.

A seguir são apresentados modelos focados no desenvolvimento de produtos mecatrônicos.

O modelo V é uma proposta de solução industrial para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos, orientada particularmente à Metodologia de projeto para sistemas mecatrônicos. O objetivo no modelo V é propor um conceito de solução que descreva as principais características físicas e operacionais do produto a ser desenvolvido. A Figura 6 apresenta o modelo V o qual é composto de três partes principais: microciclo, macro ciclo e módulo de processo, o produto mecatrônico complexo é produzido em vários macrociclos, assim o termo “produto final” não significa apenas produto acabado, como também a concretização da maturidade do produto (VASIĆ e LAZAREVIĆ, 2008).

O modelo V é desenvolvido da seguinte forma, depois de analisar todos os requisitos de sistema total, as subfunções e subsistemas são definidos (ramo esquerdo do modelo V Figura 6). São desenvolvidas simultaneamente pelas equipes cooperativas de desenvolvimento. Após verificam-se as subfunções e testando os subsistemas são integrados passo a passo (braço direito do modelo V Figura 6). Em seguida, o desempenho do sistema integrado é verificado. Se tiver que ser melhorada, a fase de operação inicial será repetida (HEHENBERGER, *et al.*, 2010).

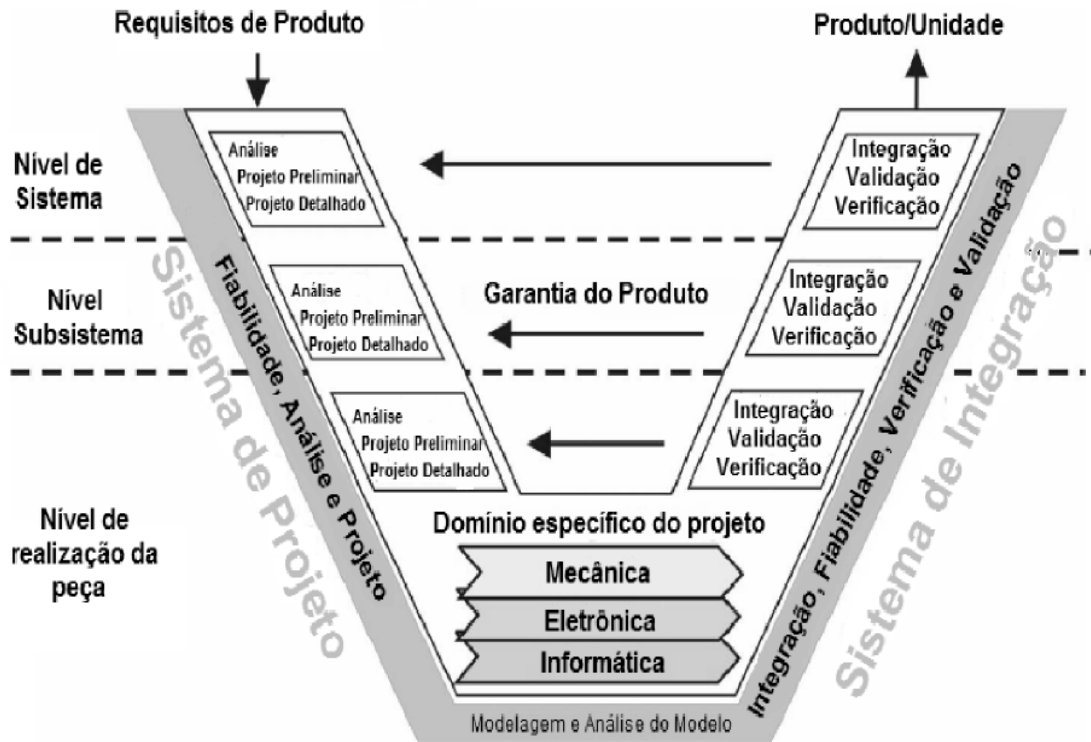


Figura 6: Princípios básicos do modelo V para o projetos de desenvolvimento de produtos mecatrônicos (VASIĆ e LAZAREVIĆ, 2008).

A Figura 7 apresenta o modelo de 3-Ciclos proposto por Gausemeier *et al.* (2011). Este modelo consiste em três principais tarefas que são: (a) Planejamento Estratégico do Produto, (b) Desenvolvimento de Produto e (c) Sistemas de Desenvolvimento de Produção. Gausemeier *et al.* (2011) desconsidera a metodologia de engenharia simultânea, isto é, as tarefas não podem ser consideradas como uma sequência rigorosa de fases e etapas e sim como uma interação entre atividades que podem ser subdivididas em três ciclos.

Primeiro Ciclo: caracteriza os passos de encontrar as potencialidades de sucesso do futuro para criar um design de produto promissor, normalmente chamado pelo autor de “princípio de solução”. O primeiro ciclo tem quatro tarefas principais: *foresight*, descobrir produto, projeto conceitual do produto e planejamento de negócios.

Segundo Ciclo ou Produto Virtual: Envolve três fases de domínio: projeto conceitual do produto, concretização do domínio-específico e integração dos sistemas.

Terceiro Ciclo ou Produção Virtual: O resultado desta fase é a solução de princípio do sistema de produção. Constitui o ponto de partida para: (a) o planejamento do processo, (b) planejamento do local de trabalho, (c) o planejamento de logística de produção e (d) o planejamento do dispositivo de trabalho dentro da fase de concretização.

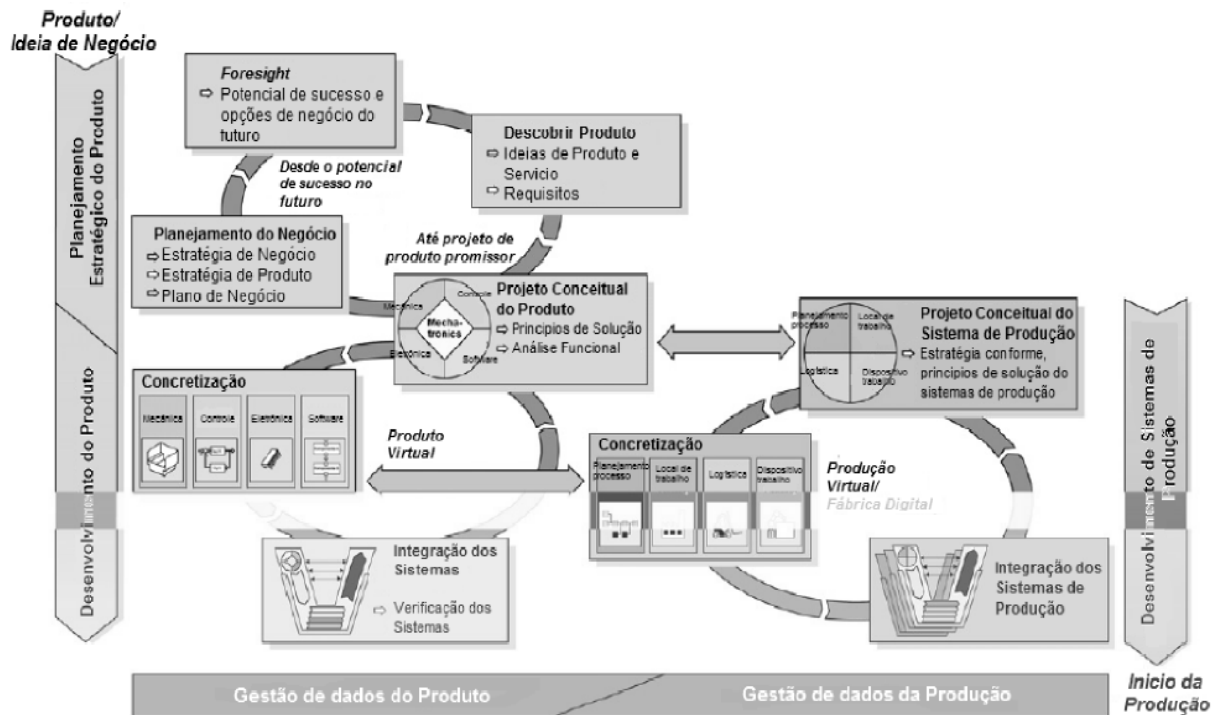


Figura 7: Modelo de 3-Ciclos(GAUSEMEIER *et al.*, 2011).

Em Gausemeier *et al.* 2011 também é apresentado um modelo de procedimento genérico que é um modelo detalhado partindo do modelo de 3-Ciclos para um projeto conceitual do produto e do sistema de produção de sistemas mecatrônicos. A Figura 8 apresenta este modelo. O modelo combina e sincroniza as principais fases do projeto do produto e do projeto conceitual dos sistemas de produção.

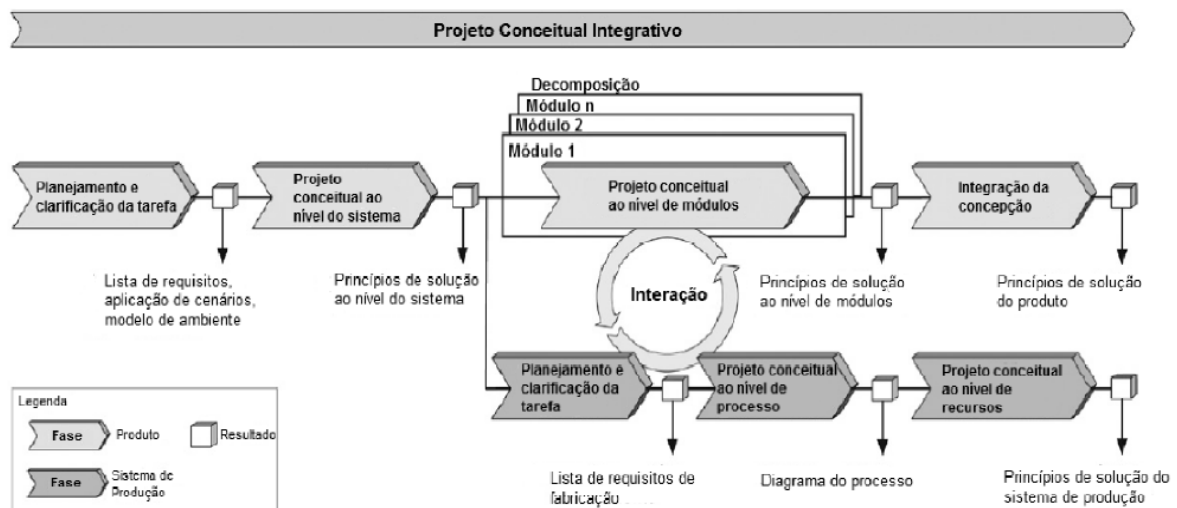


Figura 8: Projeto Conceitual Integrativo do sistema de produção e produto. (GAUSEMEIER *et al.*, 2011).

Hehenberger *et al.* (2010) propõe um modelo Hierárquico para o desenvolvimento de sistemas mecatrônicos o qual consiste em:

Modulo mecatrônico: A Figura 9 mostra a representação gráfica deste modulo. O sistema mecatrônico pode ser decomposto em módulos de acordo com os seus domínios mecânico, elétrico, controle e de *software*. O pilar de cada módulo caracteriza um subdomínio específico que está estruturado em vários níveis hierárquicos correspondendo ao grau de detalhamento do processo.

Modelo Hierárquico para projeto conceitual: permite considerar cada modelo como único e com um propósito específico. O seu objetivo é servir como ferramenta para encontrar uma resposta do projeto em questão. Os modelos consistem em um conjunto de parâmetros, bem como um conjunto de lógica e quantificação nas relações entre eles. Os modelos são importantes componentes de teorias científicas.

Projeto Hierárquico de parâmetros: a hierarquia dos parâmetros de projeto é investigada separadamente para cada domínio, conseguindo assim que a fase de concepção seja feita através de vários estágios do projeto intermediário, o qual tem como resultado de saída a documentação completa do produto. O projeto de parâmetros pode ser classificado em duas categorias: a primeira é o Subconjunto de parâmetros externos que representam os parâmetros de exigência para o próximo nível. A segunda é Parâmetros de projeto interno para o dimensionamento do componente do nível.

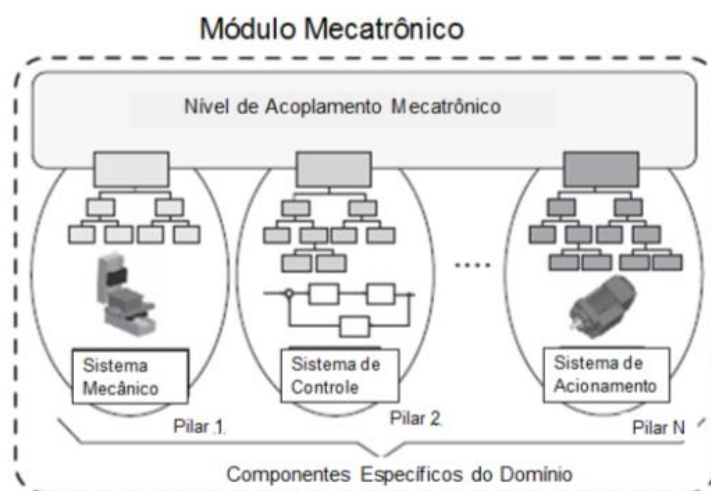


Figura 9: Modulo Mecatrônico (HEHENBERGER et al., 2010).

A Figura 10 apresenta um método de modelagem utilizado para confeccionar um modelo de referência mecatrônico (MRM) desenvolvido por Barbalho (2006a). A parte central apresenta os “passos” da modelagem. As caixas tracejadas na coluna “passos” apresentam os diferentes modelos confeccionados para representar o NPD mecatrônico. À esquerda são apresentados os “tipos de conteúdo” desenvolvidos em cada passo do processo de modelagem. À direita da figura estão representadas as “técnicas” de modelagem utilizadas para representar cada modelo e os “objetivos” de cada um deles.

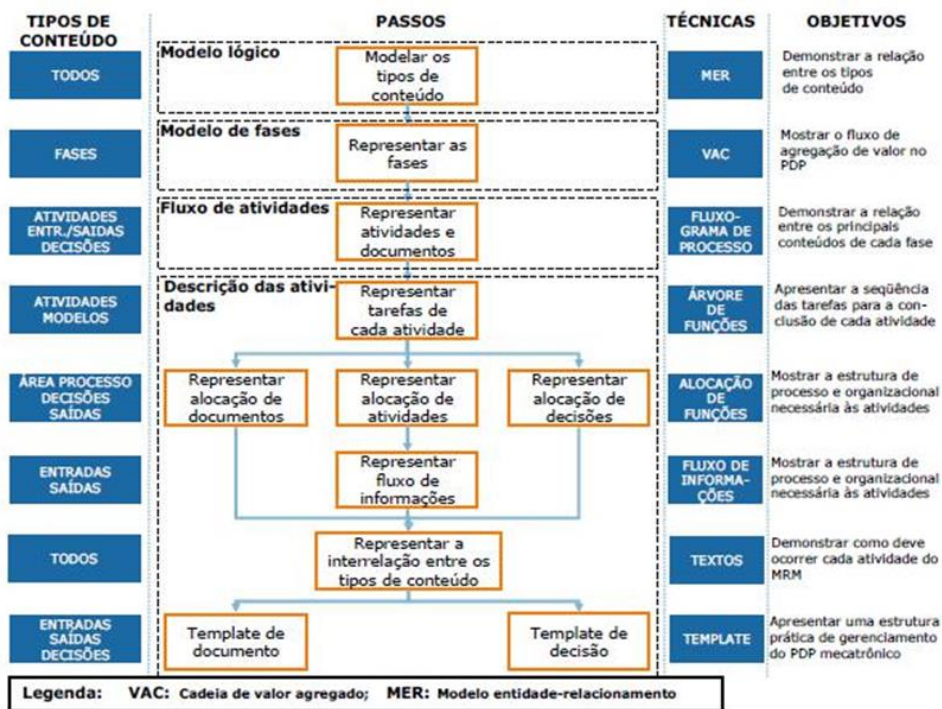


Figura 10: Passos para a confecção do MRM (Barbalho, 2006a).

Barbalho e Rozenfeld (2013) apresentam o MRM baseado em fases. Cada fase é detalhada através de fluxos de atividades que descrevem a agregação de valor, entradas, saídas e decisões. As fases são definidas em função dos resultados que geram e possuem muitas atividades, que ocasionam um grande número de tarefas.

A cadeia de valor agregado é um modelo que representa a Visão Sistêmica dos Processos Organizacionais, para que se tenha uma Macro-Visão da interligação e/ou encadeamento dos macro-processos, processos, sub-processos, e tarefas, seguindo a seqüência de execução dos mesmos. A Figura 11 apresenta a seqüência das fases do MRM. O formato elíptico da Figura 11 sugere que as fases intermediárias necessitam de mais esforço e tempo para sua elaboração. A seguir as doze fases definidas por Barbalho e Rozenfeld (2013):

1. Estratégia: definição dos objetivos estratégicos a serem perseguidos em cada linha de produtos (LDP);
2. Portfólio: definição do portfólio de cada LDP;
3. Especificações: definição das especificações de cada produto;
4. Planejamento do projeto: definição do plano de projeto;
5. Concepção: definição dos principais componentes e princípios de solução para as funções principais do produto mecatrônico;
6. Planejamento Técnico: detalhamento do plano de projeto com base na concepção definida;
7. Projeto Técnico: soluções técnicas para as funções principais do produto;
8. Otimização: detalhamento e teste de soluções para funções secundárias do produto e realização de análises necessárias ao aumento da robustez e confiabilidade do produto;
9. Homologação: homologação do processo de fabricação e montagem do produto;
10. Validação: validação e certificação do produto;
11. Lançamento: lançamento do produto no mercado;
12. Monitoramento: acompanhamento dos resultados conseguidos com o produto e gerenciamento das modificações realizadas na configuração inicial de produção.

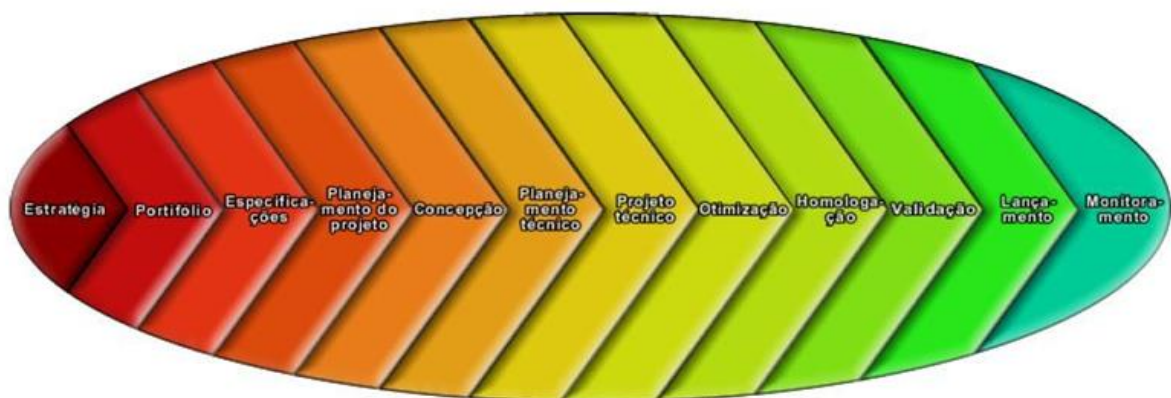


Figura 11: Fases do MRM (BARBALHO e ROZENFELD, 2013)

Segundo Barbalho (2006) em algumas situações, especialmente em concepções inovadoras, é necessário realizar testes com protótipos físicos. Eles são submetidos a clientes potenciais, especialmente os “usuários líderes”. Protótipos de concepção não precisam implementar todas as funções desenvolvidas, mas, tão somente, aquelas identificadas como

necessárias ao teste. Por tanto os protótipos são de grande importância nos processos de desenvolvimento de processos.

Segundo Ulrich e Eppinger (2003) um protótipo é “uma aproximação do produto ao longo de uma ou mais dimensões de interesse”. Wheelwright e Clark (1993) mostram uma análise sistemática do processo de prototipagem em projetos de desenvolvimento de novos produtos. Eles mostram que protótipos têm sido utilizados como ferramentas de acompanhamento do progresso técnico dos projetos embora sua prática tenha um grande potencial para que se constitua em ferramenta de gestão de projetos.

Ulrich & Eppinger (2003) identificam os seguintes tipos de protótipos comumente confeccionados pelas empresas: (a) protótipos experimentais – utilizados para o teste de soluções parciais do produto em estágio de desenvolvimento de conceitos; (b) protótipo alfa – utilizado como teste inicial das soluções de projeto; (c) protótipo beta – protótipo no qual os problemas detectados no protótipo alfa tenham sido solucionados e cuja função é o teste de todas as soluções de projeto; e (d) protótipo de pré-produção – utilizado para testar o processo de manufatura do produto em condições de operação normal das linhas de produção.

2.2 A complexidade do produto nos processos de desenvolvimento e fabricação de produtos.

Na atualidade, o setor de manufatura está movendo-se para uma produção proativa voltada para o cliente e baseada no conhecimento. Ciclos de vida do produto mais curtos levam a maior complexidade em áreas como design de produto e processo, implantação de fábrica e operações de produção (FERREIRA *et al.*, 2017).

Na prática, a complexidade presente nos produtos não afeta somente o tempo de desenvolvimento, também tem impactos em produção, por exemplo: nos custos de produção, nos lead times de fabricação, na qualidade e na satisfação do cliente. A complexidade do produto vai provocar impacto profundo na organização de manufatura e no estilo de gerenciamento do produto (ZHANG, 2007). Ela está associada diretamente às variáveis globais dos processos de desenvolvimento de produtos como são o tempo, a qualidade e o custo (BOLAÑOS, 2016). Xian (2009) argumenta que existem três fatores importantes no desenvolvimento de projetos que permanecem em constante tensão, os quais são: o custo, a qualidade e o tempo (Figura 12).

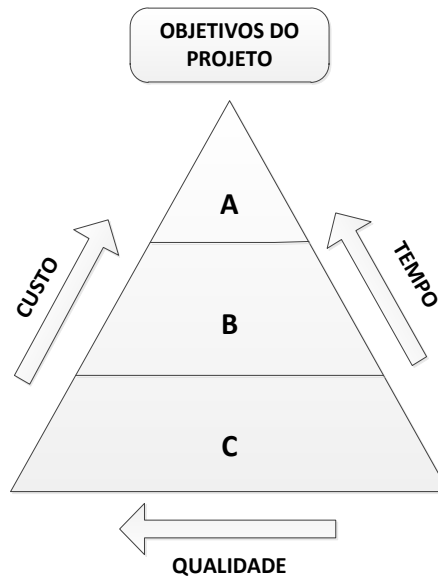


Figura 12: Fatores importantes de grande influência num projeto NPD (XIAN, (2009)).

Nesse trabalho o objetivo geral é focado no estudo do fator crítico “tempo” em projetos NPD.

A palavra latina original "complexus" significa "entrelaçado" ou "torcido juntos". O que é semelhante à definição do dicionário Oxford de "complexo" como algo que é "feito de (geralmente várias) partes estreitamente ligadas" (ELMARAGHY *et al.*, 2012).

Braun (2008) diz que um produto complexo geralmente consiste de um grande número de componentes, elementos ou agentes, que interagem uns com os outros e com o ambiente. Um sistema seria mais complexo, se existir mais partes ou componentes, e com mais ligações entre elas (BRAUN, 2008). Scroll (2009), define trinta e dois tipos de complexidade em doze disciplinas e domínios diferentes, tais como: (a) gestão de projetos, (b) análise estrutural, (c) análise técnica, (d) complexidade computacional, (e) complexidades funcional e (f) complexidade operacional. Scroll (2009) também diz que não se pode quantificar a complexidade, mas pode-se senti-la nas variáveis: (a) tempos de produção, (b) custos de produção e (c) qualidade do produto final. De fato, durante um projeto de ponta, a complexidade é mais real do que muitos dos aspectos mais quantificáveis do projeto (SCROLL, 2009). Braun(2008), conforme a Figura 13 ilustra os direcionadores da complexidade num sistema de manufatura. Aspectos econômicos, tecnológicos e sociais estão incluídos entre os direcionadores da complexidade segundo o autor.

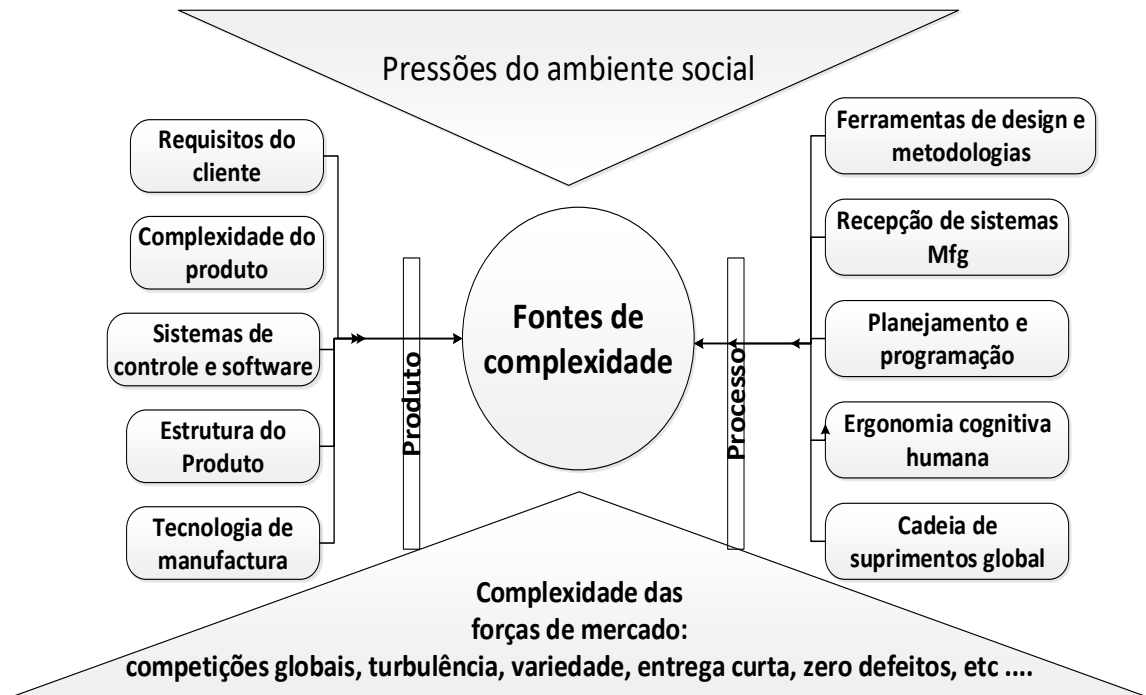


Figura 13: Direcionadores da complexidade total num sistema de manufatura (BRAUN, 2008).

Na Figura 13 pode se observar que para Braun (2008) a complexidade total de um sistema de manufatura, está relacionada em grande medida às características do produto.

Para sistemas de engenharia, três pontos de vista sobre a complexidade no desenvolvimento de produtos precisam ser considerados (EPPINGER, 2001). Os três domínios de desenvolvimento de produtos relevantes são: (a) produto, (b) sistema de produção e (c) organização empresarial. Nesse trabalho se estuda a complexidade do produto.

Segundo Elmaraghy *et al.* (2012) as publicações de pesquisa sobre a complexidade em engenharia são divididas em dois grupos: no primeiro, a complexidade é baseada na análise do domínio físico; e o segundo grupo está o domínio funcional. A Figura 14 apresenta a classificação dos diferentes tipos de complexidade no domínio funcional.

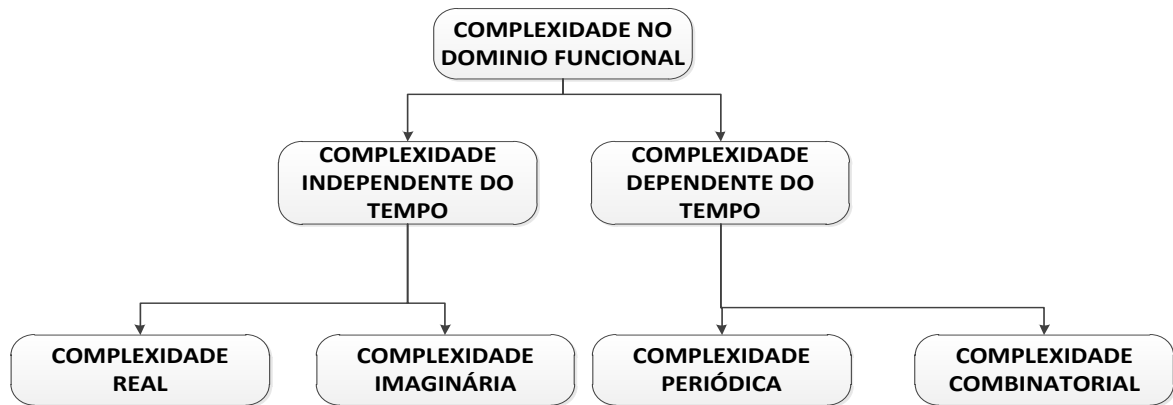


Figura 14: A classificação da complexidade no domínio funcional (ELMARAGHY *et al.*, 2012).

Elmaraghy *et al.* (2012) diz que a complexidade em engenharia é estudada de diferentes perspectivas, falando que a fonte da complexidade pode ser devida em: o tamanho, o acoplamento, a variedade e a multidisciplinaridade. Ele também ressalta que no domínio físico a complexidade pode ser classificada como: estática e dinâmica.

Elmaraghy *et al.* (2012) argumenta que, a complexidade estática é definida como a quantidade esperada de informação necessária para descrever o estado de um sistema de engenharia. Onde, a complexidade dinâmica é a quantidade esperada de informações necessárias para descrever o estado do sistema tendo em conta o desvio do desempenho do projeto devido à incerteza. A classificação da complexidade no domínio físico é ilustrada na Figura 15.

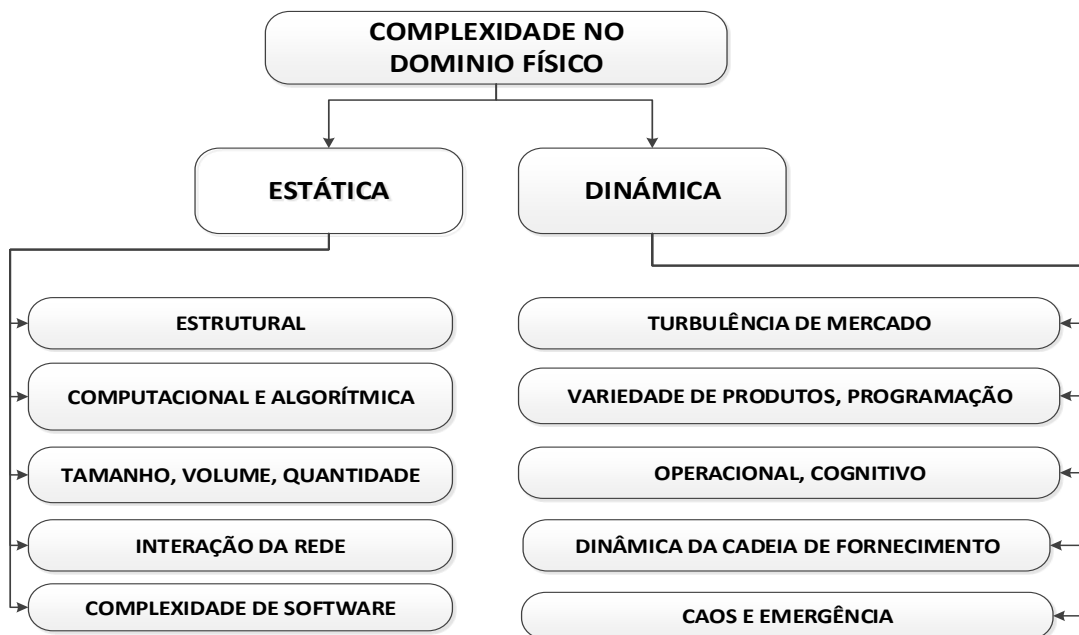


Figura 15: A classificação dos da complexidade no domínio físico (ELMARAGHY *et al.*, 2012).

Nesta dissertação pretende-se medir a complexidade estática no domínio físico na parte estrutural analisando a quantidade de componentes e as interações internas dos subsistemas enquanto protótipos dos produtos estudados, segundo as classificações feitas pelo ElMaraghy *et al.* (2012). A complexidade estática calculada será utilizada como a entrada de um sistema para estimar o tempo de desenvolvimento de um produto específico.

2.3 Os lead times nos Processos de Fabricação de Produtos (PFP)

Xian (2009) argumenta que “o tempo é um fator importante a ter em conta no desenvolvimento de projetos”. Deste modo na hora de cumprir com um pedido em produção ou uma data de lançamento em um projeto NPD, é necessário estudar os tempos no nível de chão de fábrica como são os lead times de fabricação planejados já que eles são um parâmetro central em vários sistemas de Planejamento e Controle de Produção (PCP), com o intuito de melhorar o desempenho logístico em termos de prazos de entrega curtos, baixos níveis de estoque, alta utilização da capacidade e confiabilidade da data de entrega.

O objetivo do planejamento e controle da produção (PCP) é garantir a realização:(a) dos objetivos logísticos de alta confiabilidade, (b) baixos lead times, (c) alta utilização da capacidade e (d) baixos níveis de WIP, mantendo ao mesmo tempo metas de produtividade e qualidade, (BENDUL, 2016). Se as datas de entrega das ordens forem perdidas, uma reação comum e intuitiva dos planejadores de produção será a de ajustar os lead times planejados.

Mabert (2007) diz que o Planejamento de Requisitos de Material (MRP) e o Planejamento de Recursos de Manufatura (MRP II) prevalecem sobre a maioria das outras técnicas disponíveis para planejar a produção e gerenciar inventários de matérias-primas e componentes no chão de fábrica. O MRP é projetado para fornecer resposta à questão de como as peças corretas podem ser recebidas na quantidade e na hora certa para que uma demanda e /ou ordem pré-especificada seja atendida (BENTON, 1998). Para calcular essas quantidades e datas de entregas requeridas, o MRP baseia-se nas duas suposições a seguir: (a) Os tipos de produto são reconhecidos como dados de contas estáticas de materiais e (b) Os lead times correspondentes, são fixos em todo o horizonte de planejamento (BENTON, 1998; HO, 2001).

O *Lead Time* ou tempo de processamento é o período de tempo entre a colocação de um pedido pelo cliente e o seu recebimento do produto / serviço encomendado (PFEIFFER *et al.*, 2016). Silva (2008) diz que o Lead time é o tempo decorrido entre liberar uma ordem (de compra, de produção ou de distribuição) e o momento em que os itens de tal ordem tenham sido

disponibilizados (recebidos, produzidos ou entregues). A definição de Silva (2008) de lead time é a adotada nesta dissertação. Os principais componentes do *lead time* de fabricação são: (a) fila, (b) processamento e (c) tempos de transporte. Os quais são uma medida crítica do desempenho de fabricação (PFEIFFER *et al.*, 2016). Os *Lead Times* são afetados por muitos fatores, incluindo a capacidade, o carregamento, o *batching* e o agendamento, e eles próprios afetam muitos aspectos dos custos e controle (PFEIFFER *et al.*, 2016). Do ponto de vista do cliente, o *lead time* pode ser traduzido como o tempo de entrega (MOURTZIS *et al.*, 2014a). Segundo (ÖZTÜRK, 2006) os lead times curtos melhoram a imagem de um fabricante e o potencial de vendas futuro.

O estabelecimento de *lead times* adequados é um problema importante para o controle de sistemas de fabricação, pois ele traz algumas incertezas. Em particular para sistemas de montagem em estágios múltiplos, onde a chegada tardia de um item pode atrasar a produção de montagem subsequente, enquanto a chegada antecipada pode incorrer em custos de manutenção de estoques (SONG, 2005).

Sendo o *lead time* uma medida de tempo, ele está relacionado à flexibilidade do sistema produtivo em responder a uma solicitação do cliente, ou seja, quanto menor o tempo de conversão de matérias-primas em produtos acabados, menores serão os custos do sistema produtivo no atendimento das necessidades dos clientes (PEINADO, 2007). O *Lead time* pode significar a diferença entre fazer a venda e assistir a um concorrente assinar um contrato (PEINADO, 2007). Se uma empresa pode entregar o produto semanas antes da competição, esta tem uma melhor chance de receber encomendas futuras (PEINADO, 2007).

Segundo Silva e Fernandes (2008) e Matt (2015) a literatura em Gestão da Produção apresenta cinco formas diferentes de um sistema de produção responder à demanda a saber: *make to stock* (MTS = produção para estoque com base em previsão demanda); *assembly to order* (ATO = montagem sob encomenda); *make to order* (MTO = fabricação sob encomenda (porém existe estoque dos insumos)); *resources to order* (RTO = recursos e insumos sob encomenda); e *engineering to order* (ETO = projeto sob encomenda). A Figura 16 apresenta o esquema desses ambientes de resposta à demanda segundo Silva e Fernandes (2008). Cada uma dessas formas possui uma posição do estoque isolador de processos; essa posição é chamada de ponto de desacoplamento, ou seja, até o ponto de desacoplamento fabrica-se para estoque e, a partir daí se produz sob encomenda. No caso RTO, há estoque de apenas projetos e, no ETO, nem isso existe (SILVA e FERNANDES, 2008).

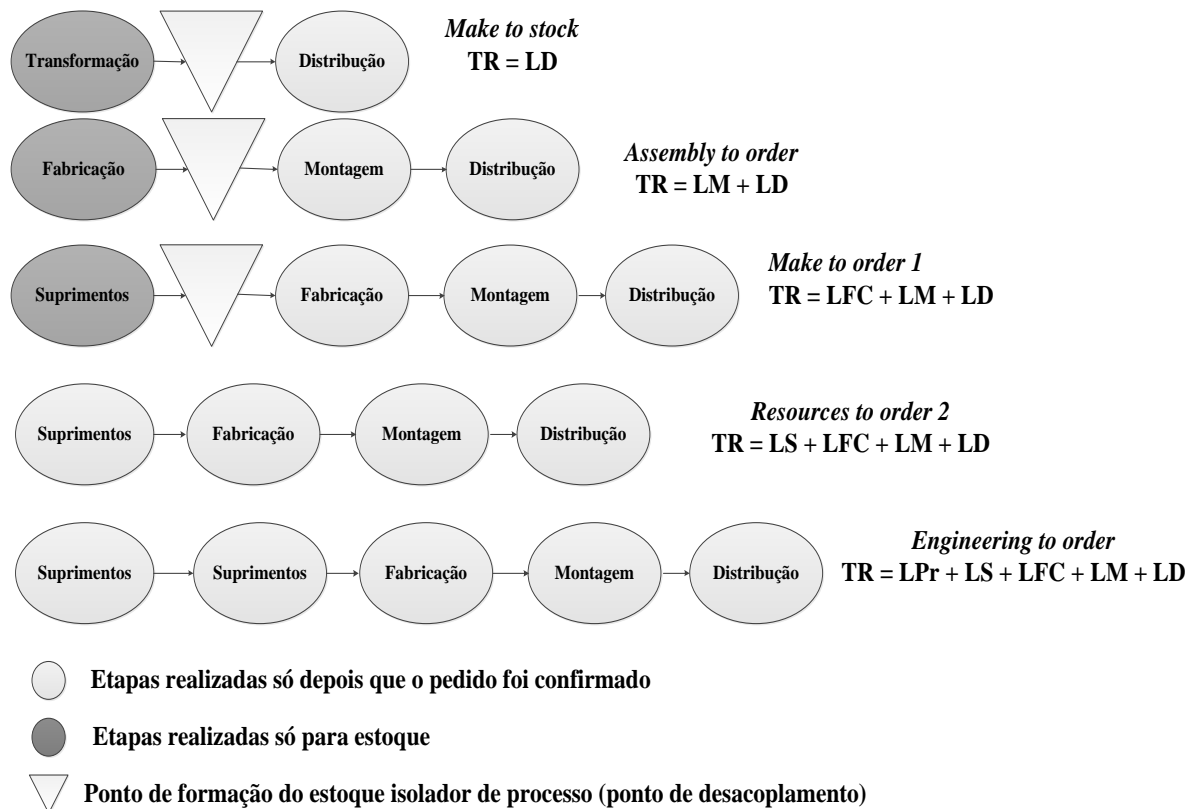


Figura 16: Tipos de lead times segundo as operações do processo produtivo (SILVA e FERNANDES, 2008).

Segundo Womer *et al.* (2016) a produção MTO é um paradigma de fabricação proeminente, amplamente encontrado na fuselagem, na construção naval, na indústrias de defesa, entre outros. Em uma configuração típica de MTO, um fabricante promete entregar os produtos encomendados, muitas vezes altamente personalizados e de baixa quantidade, em uma determinada data de entrega. A fim de tomar decisões de produção para minimizar os custos de produção esperados e manter os cronogramas de entrega, o fabricante deve ser capaz de modelar realisticamente e estimar a relação entre produção e custo. Para grandes projetos com muitas atividades, este processo exige que o fabricante especifique cuidadosamente as inter-relações entre as atividades, o cronograma e os riscos de custo.

O sistema ATO é preferido quando uma resposta mais ágil aos pedidos de clientes é necessária com base em sistemas de montagem (OH, 2017). Na estratégia ATO, os processos de montagem são desencadeados pelo recebimento de pedidos, e até então as peças de montagem são mantidas em estoque (OH, 2017). O planejamento de remontagem em sistemas de re-manufatura é particularmente desafiador devido ao alto grau de incerteza na oferta, demanda e tempo de mercado de entrada (OH, 2017).

Gosling (2009) define uma cadeia de suprimentos ETO onde a produção é personalizada para cada ordem e onde o cliente participa da fase de projeto, muitas vezes operando em ambientes específicos do projeto. Os produtos ETO devem ser totalmente desenvolvidos ou adaptados às especificações do cliente (WILLNER, 2016), as tarefas de engenharia são realizadas no âmbito da adjudicação ou da execução das ordens. Isto pode levar a uma série de questões de coordenação em termos de integração de engenharia e produção (WILLNER, 2016). Os lead de times, segundo as formas de resposta à demanda dos sistemas de produção, podem ser denominados como (SILVA e FERNANDES, 2008):

a) No caso MTS

$$TR = LD(\text{lead time de distribuição}) \quad (1)$$

b) No caso ATO:

$$TR = LD + LM(\text{lead time de montagem}) \quad (2)$$

c) No caso MTO:

$$TR = LD + LM + LFC(\text{lead time defabricação de componentes}) \quad (3)$$

d) No caso RTO:

$$TR = LD + LM + LFC + LS(\text{lead time de suprimento}) \quad (4)$$

e) No caso ETO:

$$TR = LD + LM + LFC + LS + LPr(\text{lead time de projeto}) \quad (5)$$

f)

$$LF: \text{Lead time defabricação} = LFC + LM \quad (6)$$

No trabalho apresentado por Silva e Fernandes (2008) o significado de produção não é rígido. Eles falam que se produção entendesse como apenas o processo de transformação, o *lead time* de produção (LP) pode-se entender, então, $LP = LF = LFC + LM$. De outro lado se entende-se por produção como o processo que envolve todo o fluxo de materiais (ou seja, produção = suprimento + fabricação de componentes + montagem + distribuição), então, $LP = LS + LFC + LM + LD$. De outra forma se entende por produção como o processo até o que produto final se concretiza, então, $LP = LS + LFC + LM$.

O tempo de resposta (TR) é o tempo que o cliente vai esperar entre colocar um pedido e recebê-lo em função dos lead times. As equações (1-6) apresentam as fórmulas para calcular o TR para os sistemas de produção, segundo a classificação dos sistemas de produção a partir das suas operações de estoque, montagem, distribuição e suprimento.

No presente trabalho leva em consideração os lead times de fabricação de componentes que fazem parte dos protótipos estudados. Além disso, foram considerados os tempos de desenvolvimento de cada produto, onde se tem presentes os tempos das fases de testes, design e validação de cada produto. A Figura 17 apresenta em destaque o tipo de lead times que serão abordados aqui.

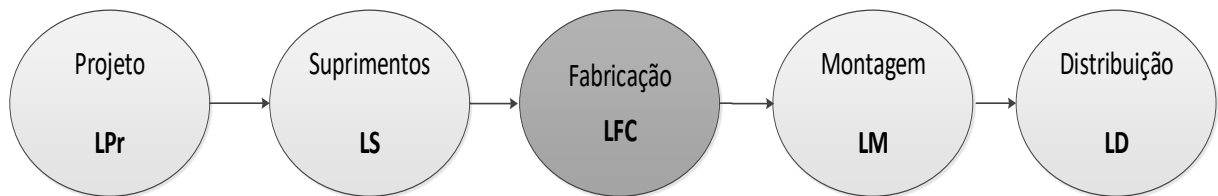


Figura 17: Leads times dentro de um sistemas de produção, (SILVA, 2008).

Os LFCs são tempos onde estão envolvidas atividades de usinagem, principalmente presentes no chão de fábrica. Neste trabalho, mediante a análise da informação fornecida pela empresa são calculadas as medias dos LFCs dos protótipo de cada produto estudado. Essa média será uma entrada para o modelo proposto na estimativa de tempos de desenvolvimento na empresa estudada.

2.4 A complexidade e a produção de produtos mecatrônicos

Na literatura atual aparecem muitas definições para a palavra mecatrônica, havendo algumas divergências entre elas. Hehenberger *et al.* (2010) define a mecatrônica como um campo interdisciplinar da ciência da engenharia caracterizada pela integração e interconexão entre a engenharia mecânica, a engenharia elétrica e as ciências da computação. Fotso (2012) usa o conceito de mecatrônica como a combinação sinérgica entre a engenharia mecânica, elétrica, ciências da computação e tecnologias da informação, que inclui sistemas de controle como métodos numéricos utilizados para projetar produtos embarcados de inteligência. Couturier *et al.* (2014) usa a definição de Engenharia mecatrônica como o resultado de combinar a engenharia mecânica, a engenharia elétrica e a ciência da computação de uma forma interativa. Hehenberger (2014) utiliza o conceito de mecatrônica como uma ciência da engenharia com base nas disciplinas clássicas de engenharia mecânica, engenharia elétrica/eletrônica e tecnologias da informação. Chami (2015) faz referência à mecatrônica como a integração sinérgica da engenharia mecânica, a engenharia elétrica e as ciências da computação. A Figura 18 apresenta o gráfico representativo da definição da palavra mecatrônica que será empregada nesta dissertação.

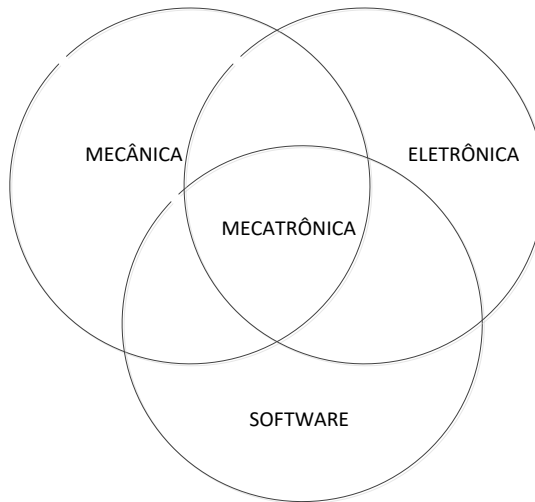


Figura 18: Mecatrônica, sinergia da interação de várias disciplinas, (HOFMANN, 2010).

Das definições apresentadas anteriormente pode-se dizer que um produto mecatrônico é composto pela combinação e integração de componentes eletrônicos, mecânicos e de software. Assim, todo produto mecatrônico tem como similaridade a presença destas três áreas de conhecimento na sua estrutura de design. Dessa forma, é importante realçar que os produtos mecatrônicos diferem uns dos outros, principalmente em suas estruturas de projeto, devido aos requisitos funcionais definidos para cada produto.

Segundo Moulitanitis (2004), a maioria dos produtos mecatrônicos podem ser caracterizados mediante o índice da mecatrônica que consta de três elementos: (a) flexibilidade, (b) inteligência e (c) complexidade. Park (2015) cita que a complexidade em um produto é um conceito útil para analisar os problemas de design, assim é de grande importância estudar a variável complexidade de um produto para mitigar os efeitos produzidos por esta.

Braun (2008) abre uma abordagem para o design eficiente de custos em produtos mecatrônicos. Os primeiros resultados permitem afirmar que a correlação resultante entre a estrutura de um produto e sua estrutura de custos fornece uma base sólida para a dedução das diretrizes para desenhos eficientes de custos em produtos mecatrônicos.

Standish (2008) menciona a complexidade de um produto, como uma qualidade e uma quantidade. Como qualidade, ele se refere à capacidade de compreender um sistema, objeto ou produto e como quantidade, ele se refere ao valor que permite concluir que um produto é mais complexo que outro. Couturier *et al.* (2014) define a complexidade como a consequência da compensação que tem lugar quando há um aumento da inteligência e flexibilidade. A complexidade pode ser medida através do conhecimento de sete índices que são definidos através das variáveis: quantidade de componentes, número de interconexões, número de

alternativas de solução de projeto e número de fluxos de realimentação. Medina *et al.* (2013) faz a análise da complexidade em um produto mecatrônico, tendo em conta cinco dimensões principais: (a) número de componentes, (b) número de relações e interdependências, (c) número de variantes do produto ou sistema, (d) número de disciplinas envolvidas para a criação do produto e (e) complexidade organizacional referente à distribuição do trabalho para construir o produto. Assim, a complexidade de um produto é avaliada partindo de diferentes variáveis, segundo os pontos de vista dos diferentes autores, além do grau de detalhe que estes autores precisam para atribuir um qualificativo ao produto mecatrônico que ofereça uma informação necessária para um caso específico a resolver.

Hehenberger *et al.* (2010) argumenta que como regra geral, os sistemas mecatrônicos são considerados complexos porque inclui muitas uniões internas entre diferentes domínios. Ahmadinejad e Afshar (2011) diz que os produtos mecatrônicos são produtos complexos devido à sua natureza multidisciplinar inerente, e, portanto, o controle da complexidade no gerenciamento dos processos de desenvolvimento de produtos atrai muita atenção. Nesta pesquisa será estudada a complexidade de diferentes produtos tecnológicos, mas focados no estudo da complexidade de produtos mecatrônicos.

2.5 Metodologias para obter a estimativa da complexidade, ifs e tds.

Nesta seção são discutidos os trabalhos cujos objetivos são relevantes para os temas de interesse desta dissertação. De acordo com a revisão bibliográfica da medição da complexidade de produtos tecnológicos focados em produtos mecatrônicos, os trabalhos citados descrevem dimensões e indicadores para avaliar a complexidade de um produto mecatrônico, além de estudar variáveis em que a complexidade do produto tem impacto como são o tempo, a qualidade e o custo nos processos PFPs e NPDs. Quanto à estimativa de tempos, os trabalhos citados apresentam metodologias para estimar tempos através do uso de diferentes ferramentas matemáticas e computacionais.

2.5.1 Metodologias para estimar a complexidade de produtos.

Com o rápido desenvolvimento da ciência e da tecnologia, a complexidade dos produtos aumenta drasticamente (GRESCHKE *et al.*, 2014; ZHANG, 2007). A complexidade é o desafio central na concepção de modernos produtos mecatrônicos, portanto, seu controle e gerenciamento do processo de desenvolvimento do produto são de grande importância (AHMADINEJAD, 2011). Para avaliar a complexidade de um produto mecatrônico, diferentes

autores apresentam similaridades e diferenças no número de variáveis indicadoras utilizadas para o cálculo da complexidade, nas diferentes ferramentas de software utilizadas para a análise, na definição de complexidade usada, no produto (onde as metodologias são aplicadas), entre outras. Posteriormente, são citados trabalhos onde os objetivos deles são relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa, em vista a medição da complexidade de produtos.

Pugh (1991) no seu livro Total Design, apresenta um sistema de cálculo de custos para componentes torneados produzidos por uma variedade de máquinas. O sistema baseia-se em uma equação de custo fundamental que calcula, em grande parte, o tempo de fabricação do componente em conjunto com seu custo de material. O sistema é aplicável à produção de lotes pequenos e médios, tipicamente produzidos em lotes de 50 ou menos. Não se aplica à produção em massa. Foi estabelecida uma técnica para prever o tempo de chão de fábrica com base no tamanho e forma do componente, em parâmetros disponíveis ao projetista. A equação 7 apresenta o cálculo de custos (*Custo*) proposto pelo Pugh (1991).

$$Custo = \frac{R}{60} * \left[\frac{N_d * K_c * L * D_m}{3100} * \frac{N_d * S_t}{X_i * Q} \right] + M \quad ((7))$$

Onde R é a mão de obra horária (incluindo despesas gerais de fábrica); N_d é o fator de complexidade do componente; K_1 é o fator de usinagem; K_2 é o fator do tipo de máquina; K_{mat} é o fator material; K_c é o fator combinado (K_1 , K_2 e K_{mat}); L é o comprimento total usinado (mm); D_m é o diâmetro médio (mm); S_t é o tempo de usinagem (em minutos); X_i é a capacidade da máquina (ferramentas); Q é o tamanho do lote; M é o custo dividido pelo componentes do material. O tempo de fabricação de um componente (LFC) é denominado pelo Pugh (1991) como F_y e é representado pela equação 8:

$$F_y = \frac{N_d K_c L D_m}{3100} \quad (8)$$

A complexidade do produto segundo Pugh (1991) é dependente de:

1. O número de peças (N_p).
2. O número de tipos de peças (N_t).
3. O número de interconexões e interfaces (N_i).
4. O número de funções que o produto deve executar (f).

O fator de complexidade em um produto (C_f) é calculado mediante a equação 9 (PUGH S, 1991). A abordagem apresentada pelo Pugh (1991) foi testada com sucesso para equipamentos eletrônicos.

$$C_f = \frac{K}{f} * \sqrt[3]{N_p * N_t * N_i} \quad (9)$$

Onde, K é uma constante de conveniência.

Hobday (1998) apresenta um exemplo de avaliação da complexidade de dois produtos mecatrônicos: a) um sistema de controle de tráfego aéreo e b) um simulador de voo. Na Figura 19 mostra-se o paralelo entre a complexidade de dois produtos mencionados. Hobday (1998) define oito dimensões para que se estime a complexidade dos produtos mecatrônicos. Essas dimensões são: (a) indicadores de complexidade, (b) arquitetura do produto, (c) caminhos de design e fluxos de realimentação, (d) amplitude de conhecimentos e concorrências envolvidas, (e) coordenação entre unidades, (f) software embarcado, (g) perfis do produto e (h) os envolvimento para a experimentação. O autor citado também define 16 indicadores críticos e lhes imputa diferentes valores qualitativos de complexidade variando desde muito baixa até muito alta (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta). A análise da complexidade de produtos, feita por Hobday (1998) realiza-se em paralelo com a análise de custos; para avaliar o comportamento destas duas variáveis no desenvolvimento de processos de inovação, formas de organização e de coordenação industrial em uma empresa.

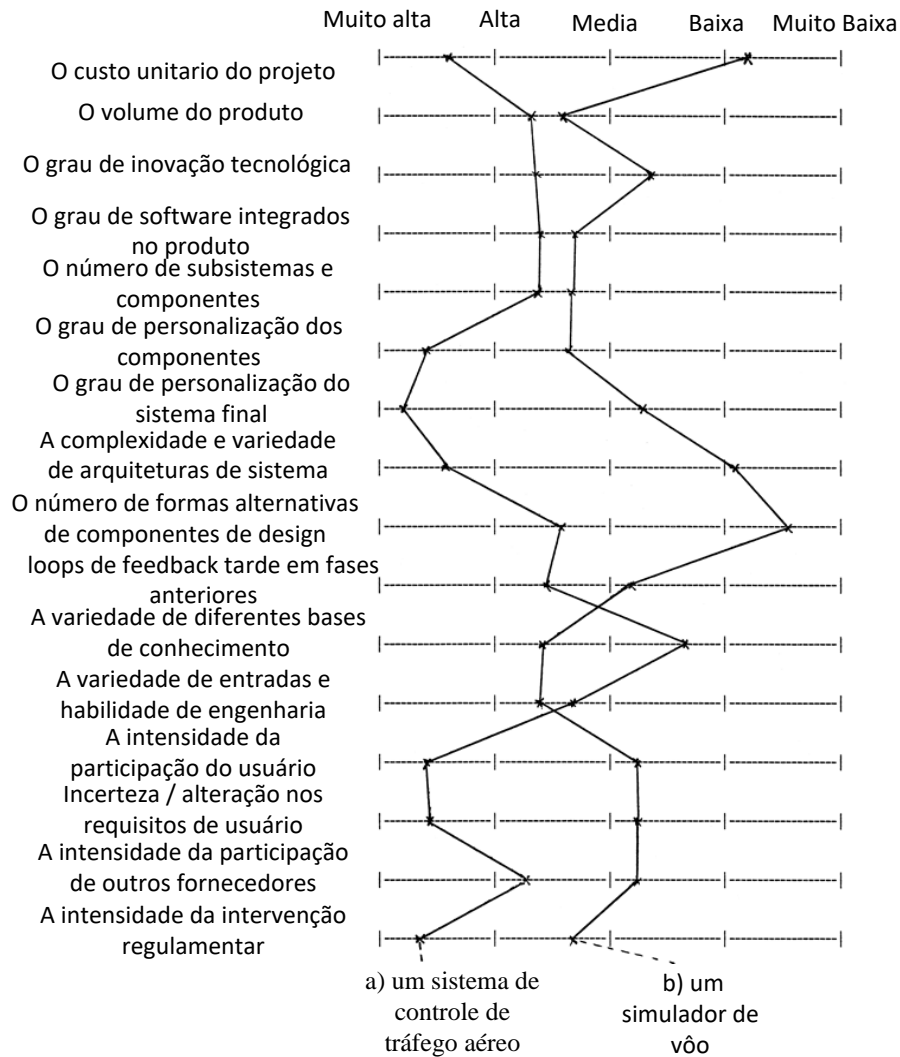


Figura 19: Análise e avaliação simultânea da complexidade dos produtos mecatrônicos (HOBDDAY, 1998).

Segundo Suh (1999) a teoria da complexidade do projeto axiomático promove a ideia de que a complexidade deve ser definida no domínio funcional como uma medida de incerteza na realização de um conjunto de tarefas definidas pelos requisitos funcionais. Suh (1999) cita que a teoria da complexidade tem como objetivo reduzir a complexidade de qualquer sistema, tendo as seguintes ações: (a) minimizar o número de dependências; (b) eliminar a complexidade real independente do tempo e a complexidade imaginária independente do tempo; e (c) transformar um sistema com complexidade combinatória dependente do tempo em um sistema com complexidade periódica dependente do tempo através da introdução de periodicidade funcional e reinicializar o sistema no início de cada período.

Chapman (2004) determina a medida da complexidade de um produto através de uma descrição quantitativa. Definindo uma faixa que vai de um até cinco, tais valores são imputados

de maneira a aumentar dependendo do número de componentes do produto, do número de interconexões entre componentes e da complexidade das interconexões entre componentes. A metodologia que emprega Chapman(2004) para obter a complexidade de um produto, é desenvolvida com o intuito de medir numericamente a complexidade total das empresas estudadas.

Sharman (2004) apresenta três métodos para descrever e avaliar as arquiteturas de produtos complexos, para facilitar a modularização de produtos. Os métodos utilizados por Sharman (2004) foram: (a) a matriz DSM, (b) diagramas moleculares (MD) e (c) diagramas de visibilidade e dependência (VD). Os três métodos são explicados utilizando um exemplo simples e ilustrativo, além de utilizar tais métodos para a representação da arquitetura de um produto complexo (uma turbina a gás industrial que é constituída por 31 subsistemas). A modelagem das arquiteturas através dos métodos utilizados em Sharman(2004), servem de suporte para estimar visualmente a complexidade e composição de um produto mecatrônico. A Figura 20 mostra o modelo construído por Sharman (2004) fazendo uso da matriz DSM. O produto modelado é uma turbina a gás industrial composta por 31 subsistemas.

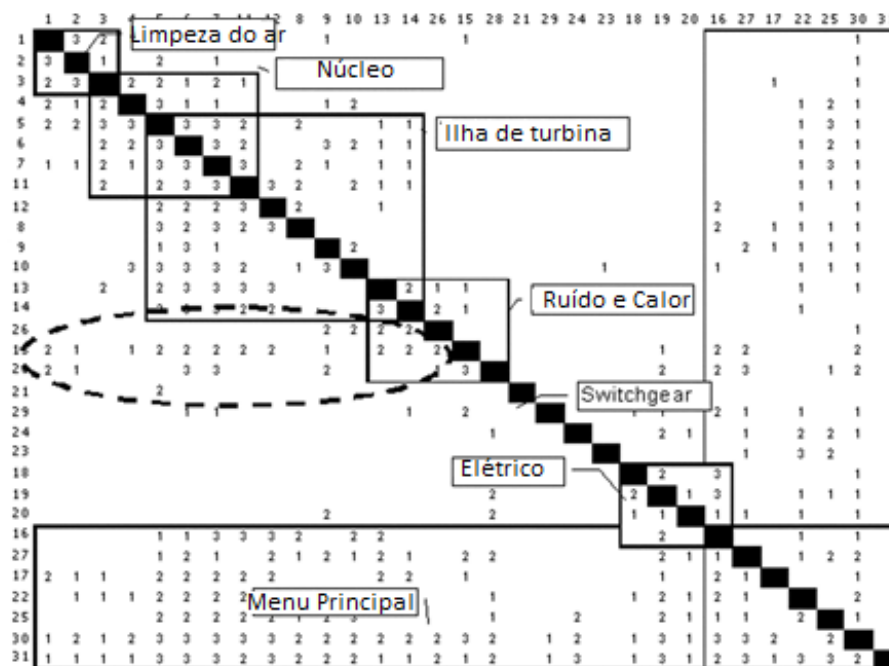


Figura 20: Arquitetura de um produto mecatrônico a través da implementação da matriz DSM, Fonte: (SHARMAN, 2004).

Moulianitis (2004) apresenta uma tabela para medir a complexidade de um produto mecatrônico, onde sete conceitos são usados para avaliá-la. O objetivo global de Moulianitis

(2004) é apresentar as características de um produto mecatrônico em termos de um vetor indicador que contém variáveis de inteligência, flexibilidade e complexidade de uma peça robótica. A Tabela 2 mostra um modelo utilizado por Moulianitis (2004) para fazer a estimação da complexidade de um produto.

Tabela 2: Indicadores definidos para calcular a complexidade de uma peça robótica.

Critério		Estimação	Fórmula
1	Quantidade de componentes e subsistemas	Contando o número de componentes.	$\frac{1}{\text{Número de componentes}}$
2	A complexidade e seleção das arquiteturas do sistema.	Contando as interligações.	$\frac{1}{\text{Número de ligações}}$
3	A quantidade de caminhos de design dos componentes alternativos	Contando as alternativas de solução do subproblema	$\frac{1}{\text{Número de alternativas}}$
4	Os fluxos de realimentação depois das etapas anteriores	Contando os fluxos de realimentação	$\frac{1}{\text{Número de etapas anteriores}}$
5	A variedade de conhecimentos distintos	Depende da quantidade de conhecimentos utilizados	$\frac{1}{\text{Número de bases de conhecimentos}}$
6	O grau de customização dos componentes	Depende do grau da inteligência	1-Inteligencia
7	A medida do software embarcado no produto	Depende do grau da inteligência	1-Inteligencia

Fonte: Moulianitis *et al.* (2004).

Para Moulianitis *et al.* (2004) a extensão do software embarcado, bem como o grau de personalização de um componente está relacionada com a inteligência do produto. Porque segundo esse autor a maior inteligência e grau de personalização de um componente requer um software estendido. Ele mede a inteligência de um produto por níveis, os quais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Medição da inteligência

Medição da inteligência		
Nível 1	Muito Menos Inteligente	0
Nível 2	Menos Inteligente	0,25
Nível 3	Inteligente	0,5
Nível 4	Mais Inteligente	0,75
Nível 5	Muito Mais Inteligente	1

Fonte: Moulianitis *et al.* (2004).

Eimaraghy (2004) desenvolveu métricas que medem os três tipos de complexidade em sistemas de manufatura: produto, processo e complexidade operacional. Nessas métricas, um fator importante é considerado: os operadores humanos e sua percepção da complexidade das tarefas. Nestes modelos é possível capturar os três elementos de complexidade: (a) quantidade absoluta de informação, (b) a diversidade de informações e (c) o conteúdo de informação (esforço), tal como é ilustrado na Figura 21.

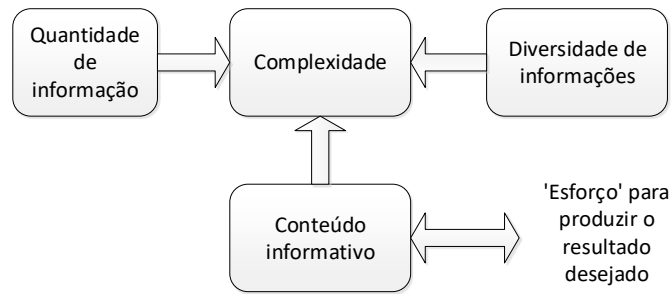


Figura 21: Componentes da complexidade(EIMARAGHY, 2004).

Ahmadinejad (2011) e Danilovic (2007) argumentam que a complexidade de um produto mecatrônico surge a partir do número de elementos e sua multiplicidade de relações entre os componentes do produto que está sendo desenvolvido. O enfoque que utiliza (DANILOVIC, 2007) para representar um produto, é feito através da implementação da matriz DSM (*Design Structure Matrix*) para administrar as dependências e relações dos componentes do produto e a matriz DMM (*Domain Mappin Matrix*) para comparar dois produtos ou projetos diferentes. É importante ressaltar que as matrizes DSM e DMM permitem visualizar os produtos, com todos os componentes e interconexões entre eles, oferecendo grande suporte para a estimativa e visualização da complexidade de um produto mecatrônico.

Para Zhang (2007) a complexidade do sistema ou produto está determinada pela análise de quatro dimensões: (a) tecnologia, (b) tamanho, (c) organização e (d) ambiente. Este autor apresenta um modelo onde a complexidade do produto é medida através do uso de um sistema de indicadores multinível. Utilizando a metodologia *Grey measurement* para avaliar exaustivamente a complexidade do produto, otimizar a concepção do produto e avaliar alternativas de design dos diferentes sistemas do produto. A metodologia utilizada por Zhang (2007), é usada para descrever relações entre a complexidade do produto com:(a) o custo, (b) qualidade, (c) tempo de ciclo e (d) a satisfação do cliente. O autor citado apresenta um exemplo onde o resultado da medida da complexidade é chamado "baixo", o que significa que o projeto pode ser classificado com baixa complexidade, indicando que o projeto é relativamente fácil de ser executado, obtendo uma boa qualidade e um baixo custo durante o seu desenvolvimento.

Schlick *et al.* (2007) faz uso da teoria da complexidade desenvolvida pelo físico teórico Grassberger. Essa teoria permite calcular “a complexidade dinâmica efetiva do projeto”. Os resultados finais foram obtidos através da definição de três equações. Para implementar as ditas equações para medir a complexidade de um produto mecatrônico, Schlick *et al.* (2007) utilizou como estudo de caso uma empresa alemã de pequeno porte, onde se desenvolvem tecnologias de sensores avançados para a indústria automobilística. Schlick *et al.* (2007) demonstrou mediante a avaliação da nova medida de complexidade que: os valores pequenos de complexidade são atribuídos a tarefas desacopladas e que tarefas com forte acoplamento são as mais complexas no processo de desenvolvimento de produtos.

Hehenberger *et al.* (2010) afirma que o design de um produto mecatrônico é chamado complexo quando sua probabilidade de sucesso é baixa. Isso ocorre quando as tolerâncias dos requisitos funcionais do produto são pequenas. O autor define uma equação que permite o cálculo da probabilidade de sucesso quantificando a complexidade do projeto e apresentando um enfoque para o uso dos modelos hierárquicos no design de sistemas mecatrônicos. Considera-se que o procedimento utilizado por Hehenberger *et al.* (2010) para avaliar a complexidade numérica de projetos mecatrônicos, pode ser adaptado para o cálculo da complexidade de um produto mecatrônico a partir de seus requisitos funcionais.

Ahmadinejad e Afshar (2011) utilizaram as matrizes MDM e DSM para obter o modelo estrutural de um produto complexo (um medidor de gás inteligente). O objetivo principal da implementação dessas matrizes é reduzir o nível de complexidade para aumentar a estabilidade dos sistemas, em resposta a alterações. Deste modo conseguindo uma administração de mudanças no produto com o menor consumo de tempos e custos.

Tastekin (2013) também utiliza a metodologia *Grey measurement*. Esta metodologia é usada para fazer as medições da complexidade de cinco produtos de software. Os resultados destas medições mostram que a complexidade se relaciona linearmente com o número das funções principais dos produtos de software estudados.

Medina *et al.* (2013) apresenta um estudo para medir a complexidade de design (DC) em dispositivos médicos. Para conseguir o objetivo, foram necessárias informações dos produtos e técnicas cirúrgicas, funções dos dispositivos e os componentes com suas interações e variações. Com as informações desenvolveram-se três métricas que combinam também variáveis não correlacionadas. Segundo Medina *et al.* (2013) as novas métricas levam a uma medida mais precisa para a análise da complexidade de design de novos produtos e permite um

melhor entendimento do impacto dessa variável no custo, tempo e elementos necessários para a produção de dispositivos médicos.

Mourtzis *et al.* (2014) apresenta um trabalho de pesquisa que abordou a questão de fornecer uma estimativa rápida e precisa dos LFs para produtos extremamente complexos de engenharia sob encomenda (ETO). O processo é iniciado com a coleta de preferências do cliente para um novo produto e o processamento dos atributos de ordem para estimar o lead time necessário. Os atributos numéricos e alfanuméricos são levados em conta e a similaridade entre os casos passados e novos é medida usando a distância euclidiana. Os resultados da aplicação da metodologia em um caso piloto real com dados obtidos da indústria de moldes demonstram que a metodologia fornece soluções de alta precisão em comparação com os valores reais. Este trabalho mostrou a aplicação da metodologia para estimar os LFs de três moldes, chamados A, B e C. Para cada molde, são fornecidos os atributos relacionados com: (a) o número de cavidades, (b) qualidade da superfície, (c) número de componentes e (d) processos. Além disso, os dados relacionados aos processos de fabricação são incluídos como figuras coletivas para todos os processos necessários de cada caso de molde.

Park (2015) define métricas para calcular corretamente a complexidade de um design e da manufatura em uma família de produtos definida. No trabalho feito por Park, realiza-se o cálculo da complexidade estática do projeto e da manufatura, baseando-se em função da estrutura do produto e da criação de um novo sistema de manufatura. O cálculo feito por Park (2015) é útil para identificar claramente o impacto direto da complexidade dos produtos no desempenho de fabricação (tempos e custos). As métricas de complexidade propostas baseiam-se no conceito de semelhança de produtos e processos, e na teoria de informação. Deste ponto de vista, o grau de similaridades entre os diferentes produtos é um fator importante, para determinar o grau de complexidade em uma família de produtos em relação ao design e fabricação. O cálculo e a metodologia aplicados para medir a variável complexidade realizada pelo autor são focados em famílias de produtos, mas pode ser adaptado para calcular e analisar a complexidade de um sistema, componente ou produto mecatrônico.

Diagne (2016) propõe uma metodologia aplicada em um produto para ilustrar a possibilidade da aproximação e a utilidade do modelo semântico para avaliar o desempenho de um produto complexo. A metodologia implementada consta de três etapas: projeto conceitual, modelagem da semântica conceitual em linguagem orientada a objetos (*Sys ML*) e a criação da matriz MSX-CDSM (*Multi – Solution Extended Conceitual Design Semantic*), para produtos

complexos. As ferramentas utilizadas pelo autor citado baseiam-se em princípios da matriz DSM.

Abaixo será apresentado um resumo das metodologias para a análise da complexidade de produtos mecatrônicos na Tabela 4. As linhas são as metodologias apresentadas na revisão da bibliografia, e as colunas são:

1. Indicadores de Complexidade no Produto (ICP): faz referência às variáveis utilizadas nas diferentes metodologias para determinar a estimativa, visibilidade ou medida da variável complexidade.
2. Medidas de Avaliação (MA): Refere-se ao peso quantitativo ou qualitativo com que cada autor qualifica os indicadores de complexidade, ou a complexidade total do produto.
3. Ferramentas utilizadas como ajuda para a análise da complexidade (FAAC): Nesta coluna colocam-se algumas ferramentas utilizadas pelos autores para ajudar na análise da variável complexidade.
4. Associação a indicadores de projeto (AIP): Nesta coluna é apresentada a associação entre as fontes citadas e os fatores de maior importância em um projeto (tempo, custo e qualidade). Isto é, a ênfase que cada autor citado faz acerca da relação entre a importância do estudo da complexidade e seu enfoque para solucionar um problema de otimização de custos, tempos ou qualidade.

Tabela 4: Resumo das Metodologias para a Análise da Complexidade em produtos mecatrônicos.

Autores	ICP	MA	FAAC	AIP
(PUGH S, 1991)	1. O número de peças Np, 2. O número de tipos de peças Nt, 3.O número de interconexões e interfaces Ni, 4. O número de funções que o produto deve executar f.	Qualquer valor numérico	Matemáticas básicas	Custos
(HOBDA Y, 1998)	1. Escala financeira do projeto, 2. O volume do produto, 3. O grau de inovação tecnológica, 4. O grau de software integrados no produto,5. O número de subsistemas e componentes, 6. O grau de personalização dos componentes,7. O grau de personalização do sistema final,8. A complexidade e variedade de arquiteturas de sistema,9. O número de formas alternativas de componentes de design,10. Os ciclos de retroalimentação das fases posteriores ,11. A variedade de diferentes bases de conhecimento,12. A variedade de entradas e habilidade de engenharia,13. A intensidade da participação do usuário,14. Incerteza / alteração nos requisitos de usuário,15 A intensidade da participação de outros fornecedores,16. A intensidade da intervenção regulamentar.	Muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.	Matemáticas básicas	Custo
(CHAPMA, 2004)	1. O número de componentes, 2. O grau de complexidade das interconexões entre componentes.	Peso quantitativo variando desde 1 até 5	Matemáticas básicas	Custo
(SHARMAN, 2004)	1. O número de componentes, 2. O grau de complexidade das interconexões entre componentes.	Baixo com peso quantitativo de 1, Médio com peso de 2 e alto com peso de 3	Matriz DSM, Diagramas Moleculares MD e Diagramas de Visibilidade- Dependência VD	Tempo e custo
(MOULIANI TIS, 2004)	1. A quantidade de componentes e subsistemas, 2. A complexidade na eleição das arquiteturas do produto, 3. A quantidade de alternativas de caminhos de desenho para o produto, 4. O número de laços necessários para que ocorra o estado da função 5. A variedade de conhecimentos aplicados, 6. O grau de personalização dos componentes, 7. A extensão do software aninhado no produto.	Valores entre 0 e 1	Matemáticas básicas	Tempo, qualidade e custo
(DANILOVI C, 2007)	1. O número de componentes, 2. O grau de complexidade das interconexões entre componentes.	Baixo com peso quantitativo de 1, Médio com peso de 2 e alto com peso de 3.	Matriz DSM	Qualidade e Tempo
(ZHANG, 2007).	1. O número de tecnologias envolvidas no design, 2. A maturidade da tecnologia 3.O número de componentes, 4. O volumem, 5. A densidade, 6. As pessoas, 7. Os departamentos, 8. A concorrência no mercado, 9.A transformação da informação, 10.A assinação de recursos, 11. O número de fornecedores e clientes 12. Os regulamentos e normas.	1. Baixo (valores entre 2 e 5 na medição), 2.Moderado (valores entre 5 e 15) 3. Alto (valores entre 15 e 30).	<i>Grey measurement methodology</i>	Qualidade, tempo e custo

(SCHLICK <i>et al.</i>, 2007)	1. O número de componentes, 2. O grau de complexidade das interconexões entre componentes, 3. A complexidade tecnológica.	Matriz A quadrática que tem valores entre [-1 e 1] que representa a complexidade das interconexões no produto.	<i>Work Transformation Matrix (WTM).</i>	Tempo
Hehenberger <i>et al.</i>, (2010)	A tolerâncias dos requisitos funcionais do produto.			
(AHMADIN EJAD, 2011)	1. O número de componentes, 2. Grau de complexidade das interconexões entre componentes.	1. Muito baixo, 2. Baixo, 3. Médio, 4.Forte e 5. Muito forte.	Matriz MDM	Tempo e custo
(EIMARAGHY, 2012)	1. O número de peças, 2. A Multidisciplinaridade, 3.Manufaturabilidade, 4. Tamanho e geometria 5. A capacitação dos trabalhadores 6. Variedade.	Qualquer valor numérico	Matemáticas básicas	Tempo
(MEDINA <i>et al.</i>, 2013)	1. O número de Componentes (M), 2. O número de interconexões (I), 3. A fixação (F) e 4. Os materiais (MA).	Qualquer valor numérico	Matemáticas básicas	Tempo e custo
Tastekin (2013)	Número de funções do produto	Qualquer valor numérico	<i>Grey measurement methodology</i>	
(MOURTZIS <i>et al.</i>, 2014)	1. O número de cavidades, 2. A qualidade da superfície, 3. O número de componentes básicos, 4. O número de processos de manufatura, 5. A tampa do núcleo, 6. O tipo de endurecimento, 7. O lado da injeção, 8. O tamanho do molde, 9. Os Anéis ejetores, 10. O Tipo de dados.	Qualquer valor numérico	Análise matemática	Tempo (LF)
(PARK, 2015)	1. As Características físicas do produtos, 2. O número de componentes, 3. O número de interconexões entre componentes.	Valores definidos pelos tempos do processo	Matemáticas básicas	Custo e tempo
(DIAGNE, 2016)	1. O número de componentes, 2. O grau de complexidade das interconexões entre componentes.	Define a Variável q com valores entre [1-9]	<i>MSX-CDSM e SysML</i>	Tempo

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 4, pode ser observado que entre os autores citados aparece uma tendência para o uso da ferramenta matriz DSM, como fonte efetiva para visualizar e medir a complexidade estrutural de um produto mecatrônico. Também na Tabela 4, observa-se que a maioria dos autores citados utilizam como fonte principal, para medir a complexidade dos produtos mecatrônicos a variável número de componentes e em segunda instância o número de interconexões entre os componentes do produto. Além disso, é visível nessa tabela, que com respeito às métricas de avaliação (MA), a maioria de autores associam a uma variável qualitativa um valor quantitativo para determinar a complexidade numericamente.

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que os autores citados, estão focados principalmente em analisar o impacto da complexidade sobre os custos e tempos envolvidos no desenvolvimento e fabricação de produtos mecatrônicos. Uma minoria de autores enfatiza na relação de complexidade-qualidade.

A Tabela 5 e a Figura 22 mostram os indicadores da complexidade do produto listados ao longo desta seção, em relação com o número de autores que utilizam esse indicador na avaliação da complexidade dos seus trabalhos.

Tabela 5: Frequência dos indicadores na revisão da estimativa da complexidade

	Indicador	Número de trabalhos	Porcentagem (%)
1	Quantidade de componentes	13 de 14	92,86
2	Grau de complexidade das interconexões entre subsistemas	9 de 14	64,29
3	Escala financeira do projeto	1 de 14	7,14
4	O volume do produto	2 de 14	14,29
5	Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto	6 de 14	42,86
6	O grau de maturidade tecnológica	5 de 14	35,71
7	O grau de software integrados no produto	1 de 14	7,14
8	O grau de variedade dos componentes	5 de 14	36
9	O grau de personalização do sistema final	7 de 14	50,00
10	Os ciclos de retroalimentação das fases posteriores	1 de 14	7,14
11	A intensidade da participação do usuário	1 de 14	7,14
12	Incerteza / alteração nos requisitos de usuário	1 de 14	7,14
13	A intensidade da participação de outros fornecedores	1 de 14	7,14
14	A intensidade da intervenção regulamentar.	3 de 14	21,43
15	Pessoas	3 de 14	21,43
16	Departamentos	1 de 14	7,14
17	Competência no mercado	1 de 14	7,14
18	Transformação da informação	1 de 14	7,14
19	Assinação de recursos	1 de 14	7,14
20	Número de fornecedores e clientes	1 de 14	7,14
21	Número de Funções do produto	5 de 14	36

Fonte: Elaboração própria

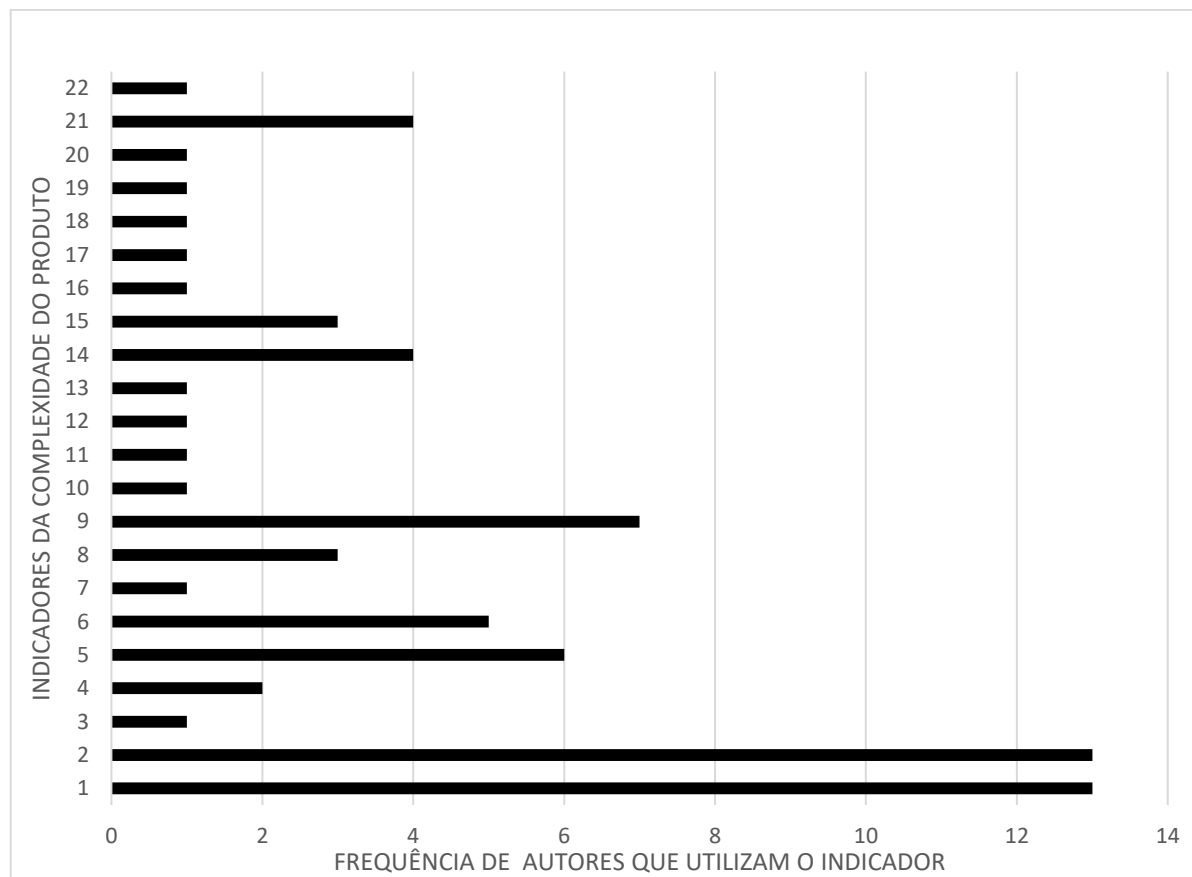


Figura 22: Frequência dos indicadores na revisão da estimativa da complexidade.

Além disso, na Tabela 5 e na Figura 22 pode ser observado que os indicadores com maior frequência para medir a complexidade em um produto, segundo a revisão bibliográfica desta seção são os indicadores 1, 2 e 9 que correspondem: (a) à quantidade dos componentes, (b) ao grau de complexidade das interconexões entre componentes e (c) O grau de personalização do sistema final.

2.5.2 Metodologias para estimar tempos nos processos NPDs e PFPs.

Weng (2016) afirma que estimar o *lead time* de uma ordem é o mesmo que estimar a duração de uma ordem no sistema de manufatura. Essa duração é composta pelo tempo de processamento da ordem e o *lead time* de fabricação. Pfeiffer *et al.* (2016) diz que a estimativa de LTs é uma tarefa difícil, conseguindo muitas vezes resultados não confiáveis. Segundo Weng (2016) uma vez que o tempo de processamento é normalmente conhecido com antecedência, o problema é como usar as informações no sistema para prever o *lead time* de uma ordem. Reboreda (2009) menciona que o planejamento eficiente de qualquer processo requer, entre

outros, uma estimativa precisa dos LPs (lead times de produção) especificamente na produção de moldes por injeção.

Segundo Ioannou (2012) duas são as direções principais de pesquisa na estimativa dos lead times de produção: (a) as baseadas em métodos empíricos e (b) as baseadas na análise. A principal deficiência dos métodos empíricos é que estes estão baseados na intuição e que requerem experimentos de simulação para calcular os valores exatos dos coeficientes incluídos em suas expressões e, portanto, não podem ser considerados de aplicação geral. Os métodos analíticos de estimativa dos *lead times* incluem análises estatísticas e aproximações baseadas em rede, esses métodos examinam as relações entre os tempos e outras variáveis consideradas importantes para um determinado sistema de produção.

Alenezi (2008) diz que em um sistema de produção MTO, uma data de entrega deve ser atribuída a novas ordens que chegam dinamicamente, o que requer a previsão do tempo dos LPs da ordem em tempo real. Segundo Pfeiffer *et al.* (2016), nos sistemas MTO a produção requer uma estimativa apropriada dos tempos de execução do trabalho de manufatura (LFs) ao tratar sobre ordens da produção. Além disso, é também obrigatória uma previsão confiável sobre a carga e a produção dos sistemas, tanto para a cotação da data de entrega como para as decisões do planejamento e controle da produção (PCP).

Segundo Mourtzis *et al.* (2014), uma estimativa inicial dos lead times de fabricação pode ser fornecida pelos operadores de máquinas e ferramentas através do exame das características de um novo produto. A estimativa dos *Lead times* é crítica, pois afeta exclusivamente a relação com o cliente e as práticas de gestão do chão de fábrica (ÖZTÜRK, 2006). Uma boa estimativa ajudaria a melhorar a entrega no prazo combinado (WENG, 2016). A estimativa de *lead times* longos é mais difícil e tende a ser menos precisa porque a incerteza aumenta com o horizonte de planejamento (BEHROUZNIA *et al.*, 2011).

Por outro lado, quando se fala de tempos nos projetos NPD, Fasanghari (2012) argumenta que os fatores mais importantes para o estudo de viabilidade do projeto são a estimativa de tempo e custo na conclusão do projeto. Segundo Fasanghari (2012) quanto aos projetos de NPD, a estimativa de tempo e custo é mais importante antes da implementação, porém, é necessário ter um método para prever o tempo e o custo do projeto no ponto final, assim, é significativo para a gestão e controle da estimativa do projeto processar a estimativa de forma ágil e exata.

Segundo Meysam Mousavi *et al.* (2013) a estimativa de tempo em projetos NPD é com frequência um problema complexo devido à sua não linearidade e à pequena quantidade de padrões de dados. O NPD é uma atividade importante que contribui para o crescimento da empresa e dos lucros de forma substancial em uma indústria de manufatura (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013). Segundo Meysam Mousavi *et al.* (2013) em mercados concorrentes, as empresas estão enfrentando uma pressão notável para introduzir rapidamente novos produtos, porque os ciclos de vida do produto estão se tornando cada vez mais curtos. Um dos principais objetivos das equipes de desenvolvimento de novos produtos (NPD) é a redução do tempo de ciclo de desenvolvimento (CLIFT, 1999). A estimativa e a previsão de custos e tempos dos projetos de NPD são críticas para as empresas em ambiente competitivo, uma vez que a previsão de custos e tempo final é eficaz. Podem-se escolher as melhores estratégias para continuar, modificar ou interromper os projetos em execução (FASANGHARI, 2012).

Estimar o tempo de conclusão do projeto é altamente importante para o sucesso dos gerentes de projeto em empresas modernas. Consequentemente, as atividades de gerenciamento de projetos (planejamento de projeto e alocação de recursos) são profundamente afetadas (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013). O tempo do projeto NPD tende a aumentar com incerteza e complexidade em termos de tarefas, recursos, participantes e características do projeto. Portanto, a estimativa de tempo precisa e confiável de projetos NPD deve ser considerada durante os estágios iniciais da pesquisa industrial (CHEN, 2003; JÓNSDÓTTIR, 2000).

A previsão exata do tempo do projeto em um ambiente de desenvolvimento de novos produtos NPD é vital para o planejamento e alocação de recursos para produtos potenciais, com o intuito de investir no departamento de P&D e melhorar o sucesso dos projetos (MEYSAM MOUSAVI *et al.*, 2013).

Posteriormente, serão citados trabalhos envolvidos no estudo da estimativa de lead times de fabricação e de tempos de desenvolvimento nos projetos NPD. Estes trabalhos abordam o problema do como fazer a estimativa dos tempos desde diferentes pontos de vista, utilizando diferentes metodologias, considerando diferentes variáveis de entrada e utilizando ferramentas analíticas ou de software diferentes.

Song (2005) desenvolveu um algoritmo de análise de perturbação para estimar o gradiente da função objetivo com respeito aos *lead times* previstos nos sistemas estocásticos de fabricação e montagem. O objetivo da estimativa é projetar os *lead times* ideais, minimizando a soma esperada dos custos de manutenção do estoque e do custo de atraso. Um procedimento

de Aproximação Estocástica de Análise de Perturbação (PASA) é apresentado para otimizar os *lead times* planejados. Um método de Recozimento Simulado (SA) também é aplicado para resolver o mesmo problema. Dez estudos de caso de empresas industriais MTO mostraram que as soluções do PASA e do SA, apresentam um desempenho significativamente melhor do que aquelas produzidas pelo método determinístico de programação para trás. O PASA e o SA alcançam um desempenho muito próximo um do outro em todos os estudos de caso; O PASA economiza tempo de computação substancial comparado com o SA. Isso revela que o PASA é recomendado para lidar com problemas de planejamento de *lead times* em sistemas estocásticos de fabricação complexa.

Öztürk (2006) usou a mineração de dados para a estimativa de *lead times* na fabricação MTO. A abordagem de árvore de regressão é escolhida como o método de mineração de dados específico. Treinamento e dados de teste são gerados a partir de variações de um modelo de simulação do *job shop*. Começando com um grande conjunto de atributos de trabalho e chão de fábrica, um subconjunto razoavelmente pequeno é selecionado com base em sua contribuição para o desempenho da estimativa. A mineração de dados com os atributos selecionados é comparada com a regressão linear e outros três métodos de estimativa do *lead times* encontrados na literatura. Os resultados empíricos indicam que a abordagem de mineração de dados combinada com o esquema de seleção de atributos supera esses métodos.

Anli (2007) desenvolveu algoritmos computacionalmente tratáveis e robustos para a coordenação e planejamento da cadeia de suprimento que são capazes de incorporar desempenho não linear de *lead times* e requisitos probabilísticos de qualidade de serviço para reduzir o estoque da cadeia de suprimento e aumentar sua velocidade. A principal contribuição deste trabalho é a proposta e a implementação de um algoritmo prático, eficiente, manejável e robusto que é capaz de alcançar economias de custos. Ao implementar tal algoritmo é provado que o planejamento em *lead times* constantes não é um mal necessário imposto pela presunção de complexidade computacional insuperável. Na verdade, esta premissa é demonstrada como incorreta e que a indústria não tem que viver mais com as consequências indesejáveis do pressuposto de *lead time* constante, que impede a prática de planejamento de produção de hoje.

O trabalho apresentado por Reboreda (2009) trata da produção de moldes de injeção plástica usados para fabricar componentes de automóveis na indústria automotiva. No trabalho, a relação entre tempos execução de tarefas (TET) e a geometria das peças do molde são conhecidas. Este autor aplicou duas abordagens de regressão para estimar tempos de

desenvolvimento: (a) Vector de Regressão e (b) Função de Base Radial, obtendo resultados que tornam viável uma estimativa automática do tempo de execução das tarefas.

Behrouznia *et al.* (2011) fala que a estimativa de lead time é uma atividade significativa em cada corporação que se preocupa com a quebra de máquinas e manutenção. O autor propõe um algoritmo integrado para a previsão do *lead time* semanal baseado no Sistema de Inferência *Neuro-fuzzy* Adaptativa (ANFIS). Primeiro, um modelo ANFIS é ilustrado para a previsão de *lead time* simultaneamente. O menor valor de MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) é usado para selecionar o melhor modelo. O algoritmo proposto é testado em uma empresa de montagem no Irã por 70 semanas com a finalidade de ilustrar a aplicabilidade e superioridade do algoritmo proposto. No trabalho são introduzidos três parâmetros como entradas dos modelos propostos para estimar o *lead time*: (a) a soma de avarias, (b) a soma dos tempos de fixação e (c) a soma dos tempos de processamento.

Susanto (2012) aborda problemas na formulação do *lead time* de produção (LP) na indústria têxtil e propõe uma metodologia para formular o *lead time* de produção de tecidos em uma fábrica têxtil usando redes neurais artificiais. A análise do fluxo do processo de atendimento de pedidos da empresa têxtil foi conduzida para identificar os processos sequenciais individuais que constituem o *lead time* do produto. São desenvolvidas redes neurais de perceptron multicamadas *Feed-forward* (MLP) para estimar os lead times de produção (LP) críticos com dados incompletos e vários fatores não lineares que afetam o tempo. As redes são treinadas de forma supervisionada usando o algoritmo de *back propagation*. Os modelos finais de estimativa de tempo de ligação da rede neural são capazes de prever o *lead time*, para cada processo com um bom grau de precisão e podem ser usados como uma ferramenta de tomada de decisão, fornecendo assim o *lead time* de produção ao cliente. A Figura 23 apresenta a estrutura da rede neural treinada em Susanto (2012) a qual utilizamos de 120 ordens passadas.

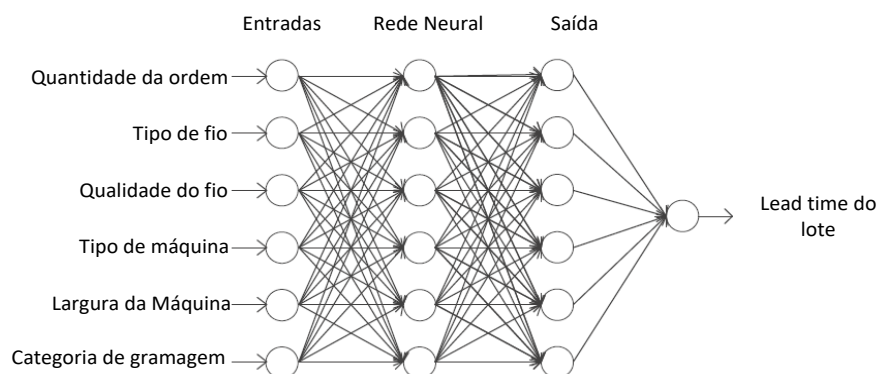


Figura 23: Estrutura da rede neural treinada em Susanto (2012).

Ioannou (2012) no seu trabalho considera o problema da atualização dinâmica das estimativas de *lead times* de fabricação que são utilizadas em sistemas MRP (*Material Requirements Planning*). Uma vez que uma nova ordem com requisitos de processamento específicos e conhecidos entra em um sistema de fabricação MTO, uma estimativa de tempo de conclusão (LF) exata é atribuída a ela, sendo baseada no estado atual do sistema. A abordagem que é sugerida aborda ambientes multi-máquina e multi-produto de produção sem configuração especial dos seus recursos. Para este objetivo, algoritmos iterativos simples são usados para substituir as estimativas de *lead time* fixo de sistemas MRP típicos. Os resultados apresentados apontam para a melhoria significativa da abordagem proposta em relação a estimativas de tempo de execução MRP estáticas e constantes, que ainda são utilizadas exclusivamente. O estudo de caso que é apresentado também apoia a facilidade de aplicação do método em ambientes MTO da vida real.

Fasanghari (2012) propôs um método de inteligência computacional baseado no método LLNF (*Locally Linear Neurofuzzy*) para estimativa e previsão do tempo e custo dos projetos com base na EVM (*Earned Value Management*), uma abordagem sistemática é utilizada para calcular variâncias e índices para os custos e o cronograma, além de prever o custo total estimado na conclusão do projeto, antes de ser concluído.

Meysam Mousavi *et al.* (2013) no seu trabalho apresenta um modelo de integração do SVR (*Support Vector Regression*) e do ICA (*Imperialist Competitive Algorithm*) para estimativa de tempo em projetos NPD, nos quais o ICA é utilizado para ajustar os parâmetros do SVR. Um conjunto de dados reais de um estudo de caso de um projeto NPD em uma indústria de manufatura é apresentado para demonstrar o desempenho do modelo proposto. Além disso, a comparação é feita entre o modelo proposto e as técnicas convencionais como a regressão não linear, as BPNN (*Back Propagation Neural Networks*), a SVR pura e as GRNN (*General Regression Neural Networks*). Os resultados experimentais indicam que o modelo apresentado atinge alta precisão de estimativa e leva a predição efetiva. Para demonstrar como a abordagem AI (*Artificial intelligence*) proposta funciona, um conjunto de dados reais foi apresentado a partir de um estudo de caso na indústria de manufatura em Teerã, no Irã. Esta empresa fabrica uma ampla gama de eletrodomésticos.

A empresa do estudo de caso em Meysam Mousavi *et al.* (2013) possui um banco de dados de ideias de produtos novos previamente revisados para a triagem de projetos de NPD, que é considerada como uma atividade de portaria inicial. O banco de dados consiste em

descrições de produtos, análise das ideias e o resultado final. Ele acelera as decisões de triagem para os principais gerentes e equipe. De fato, a empresa realiza as seguintes atividades principais para mover um projeto de NPD da ideia ao lançamento: (a) rastreio inicial, (b) avaliação preliminar de mercado, (c) avaliação técnica preliminar; (d) estudo de mercado detalhado, (e) análise comercial e financeira, (f) desenvolvimento de produtos, (g) ensaios internos de produtos, (h) testes de produto do cliente, (i) mercado de teste / venda experimental, (j) produção experimental, (k) análise comercial e pré-comercialização, (l) início da produção e (m) lançamento do mercado.

Mourtziset *al.* (2014) apresenta um trabalho de pesquisa que abordou a questão de fornecer uma estimativa rápida e precisa dos LFs para produtos extremamente complexos de engenharia sob encomenda (ETO). O processo é iniciado com a coleta de preferências do cliente para um novo produto e o processamento dos atributos de ordem para estimar o lead time necessário. Ambos, tanto os atributos numéricos, quanto os alfanuméricos são levados em conta, e a similaridade entre os casos passados e novos é medida usando a distância euclidiana. Os resultados da aplicação da metodologia em um caso piloto real com dados obtidos da indústria de moldes verificaram que a metodologia fornece soluções de alta precisão em comparação com os valores reais. O trabalho mostra a aplicação da metodologia para estimar os LFs de três moldes, chamados A, B e C. Para cada molde, são fornecidos os atributos relacionados com o número de cavidades, qualidade da superfície, número de componentes e processos. Além disso, os dados relacionados aos processos de fabricação são incluídos como figuras coletivas para todos os processos necessários de cada molde.

Mourtzis *et al.* (2014) apresenta duas figuras (Figura 24 e Figura 25) onde classifica os diferentes métodos utilizados para fazer a estimativa dos *lead times* em um processo de produção.

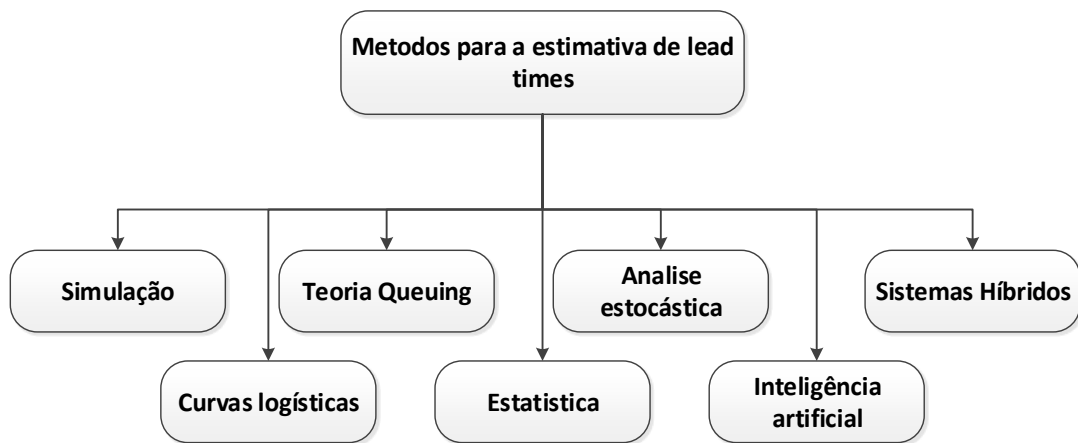


Figura 24: Métodos para fazer a estimativa de lead times (MOURTZIS *et al.*, 2014).

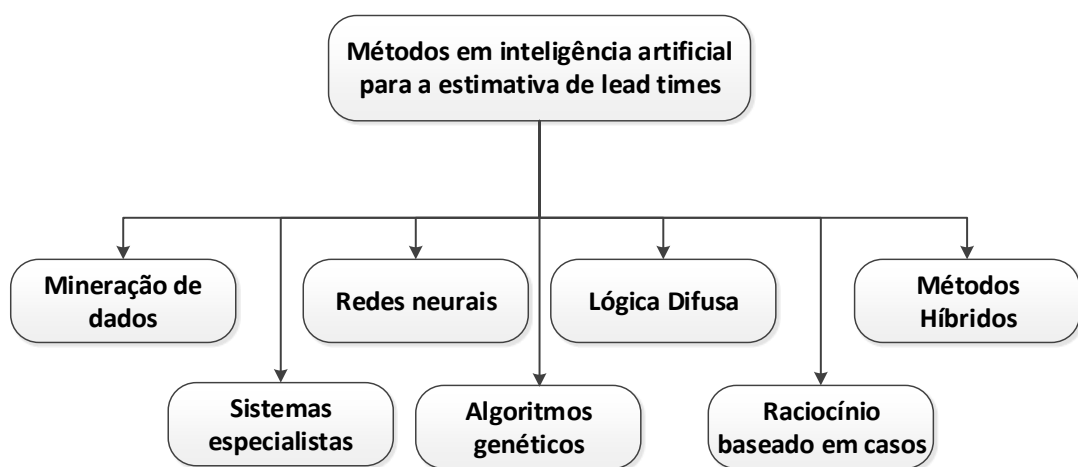


Figura 25: Métodos em inteligência artificial para a estimativa de lead times (MOURTZIS *et al.*, 2014).

Segundo Mourtzis *et al.* (2014), atualmente os métodos mais robustos para a estimativa de *lead times* são os métodos de inteligência artificial apresentados na Figura 25.

Ammarierry (2016) propôs um método baseado na formulação de MIP (*mixed integer linear programming*) e na abordagem de restrições de relaxamento, para determinar os *lead times* dos fornecedores ótimos e robustos que minimizem, tanto o risco de atraso de montagem quanto o armazenamento de componentes.

Pfeiffer *et al.* (2016) introduz um método para a seleção de parâmetros de sintonização, melhorando a precisão e robustez para múltiplos modelos baseada na previsão dos *lead times* de fabricação. A previsão é feita pela criação de modelos usando métodos de aprendizagem estatística (regressão multivariada). Treinados, validados e testados em dados coletados por

sistemas de execução de fabricação (MES). Os preditores que mais contribuem para a resposta são selecionados a partir de uma vasta gama de parâmetros do sistema. O método proposto é testado em dados fornecidos por um modelo de simulação de eventos discretos (como parte de uma estrutura de previsão baseada em simulação) em um sistema de *flow shop* de pequeno porte. Consequentemente, os dados de registro são gerados por experiências de simulação, substituindo a função de um sistema MES, considerando diferentes configurações do sistema (por exemplo, taxa de chegada do trabalho, taxa de rejeição do teste).

Weng (2016) considerou o problema da estimativa de lead times de pedidos que chegam dinamicamente a um *flow shop* flexível. Quando chega uma ordem, estimam o tempo entre sua chegada e sua conclusão. Weng (2016) afirma que seu trabalho melhora a precisão da estimativa de *lead times* desenvolvendo novos métodos que levam ainda em conta as características do sistema *Job shop*, como a paralelização das suas filas. Ele também considerou o efeito do gargalo, que pode dominar em grande parte os *lead times* no sistema. Os resultados das experiências computacionais mostram que os dois métodos propostos em Weng (2016) superam métodos existentes em termos de algumas medidas de precisão. O primeiro método de estimativa que propõe é denominado *Parallel Work In System* (PWIS) e o segundo método de estimativa é denominado *Parallel Work Till Bottleneck* (PWTB).

A Tabela 6 apresenta o resumo dos trabalhos citados no estudo das estimativas do tempo nesta dissertação. Nesta tabela apresenta-se na primeira coluna alistados autores referenciados. Na segunda coluna se encontram as entradas para os modelos propostos. Na terceira coluna apresenta-se o MPE que é equivalente ao método utilizado para a estimativa dos *lead times* em cada trabalho citado. Por último, na quarta coluna, é apresentada a abordagem do trabalho exposto, fazendo referência, se o trabalho citado trata a estimativa de LFs, LPs ou tempos nos projetos NPD.

Tabela 6: Resumo de autores e métodos para estimar lead times de produção e tempos nos projeto NPD

Estimativa do lead times			
Autor	Entradas para a estimativa	MPE	Abordagem
(SONG, 2005)	Lead times atuais e planejados.	Método de Aproximação Estocástica baseada em Análise de Perturbações (PASA) e método de Recozimento Simulado (SA).	LF
(ÖZTÜRK, 2006)	1.Dados do lead times passados,2. Estado do estoque e 3. Estado atual dos lead times de produção.	Método de mineração de dados.	LF
(ANLI, 2007)	1.Dados do lead times passados,2. Estado do estoque e 3. Estado atual dos lead times de produção.	OOLFC (<i>Optimal open loop feedback controller</i>); CE (<i>Certainty equivalent approach</i>); e LIX (<i>Limited information exchange approach</i>).	LF
Reboreda (2009)	Tempos de tarefas e a geometria das peças do molde	(a) Vector de Regressão e (b) Função de Base Radial	TET
(BEHROUZI A et al., 2011)	1.A soma de avarias, 2. A soma dos tempos de fixação, 3. A soma dos tempos de processamento.	Sistema de Inferência Neurofuzzy Adaptativa (ANFIS)	LF
(SUSANTO, 2012)	1. Quantidade da ordem, 2. Tipo de fio, 3. Qualidade do fio, 4. Tipo de máquina, 6. Largura da Máquina, 7. Categoria de gramagem e 8. Lead times pasados segudo os parametros 1-7.	Redes neurais artificiais (ANNs)	LP
(IOANNOU,2012)	Lead times dos processos	Classes especiais de estruturas de rede neurais simples	LF
(FASANGHARI, 2012)	1. Descrições dos produtos a estimar o tempo NPD, 2. Tempos de desenvolvimentos passados 3. Estrutura de produtos desenvolvidos no passado, 4. Datas de times e custos atuais.	LLNF (<i>Locally Linear Neurofuzzy</i>) e EVM (<i>Earned Value Management</i>)	NPD
(MEYSAM MOUSAVI ET AL., 2013)	1. Descrições dos produtos a estimar o tempo NPD, 2. Tempos de desenvolvimentos passados 3. Estrutura de produtos desenvolvidos no passado, 4. Datas de times atuais.	SVR (<i>Support vector regression with as neural network technique</i>), ICA (<i>The imperialist competitive algorithm</i>), BPNN (<i>Back Propagation Neural Networks</i>), a SVR pura e a GRNN (<i>General Regression Neural Networks</i>).	NPD
(MOURTZIS et al., 2014a)	1. O número de cavidades, 2. A qualidade da superfície, 3. O número de componentes básicos, 4. O número de processos de manufatura, 5. A tampa do núcleo, 6. O tipo de endurecimento, 7. O lado da injeção, 8. O tamanho do molde, 9. Os Anéis ejetores, 10. O Tipo de dados.	Método CBR. Raciocínio baseado em casos (<i>Case Based Reasoning</i>)	LF
(PFEIFFER et al., 2016)	Lead times atuais e planejados.	Métodos de aprendizagem estatística (regressão multivariada)	LF
(AMMAR, 2016)	Lead time atuais e estado do estoque	MIP (<i>mixed integer linear programming</i>)	LF

(WENG, 2016)	1. Dados do lead times passados, 2. O estado do estoque e 3. O estado atual dos lead times de produção	<i>Parallel Work In System (PWIS) e Parallel Work Till Bottleneck (PWTB).</i>	LF
---------------------	--	---	----

Fonte: Elaboração própria

Fazendo a análise da Tabela 6 percebe-se que somente Mourtzis *et al.* (2014) considera a complexidade do produto para fazer a estimativa dos LFs dos mesmos. No trabalho feito por Mourtzis *et al.* (2014) avaliam-se moldes (A,B,C) com suas características físicas e os processos necessários para a sua fabricação. O qual é muito diferente ao que se propõe fazer nesta dissertação. Nesta dissertação será feita a análise da complexidade estática dos produtos (em quanto aos protótipos) como um todo, a qual é considerada como uma fonte para estimar tempos nos processos NPD.

Nessa mesma tabela, também pode ser observado que a quantidade é maior nos trabalhos (10) realizados com focados em foque na estimativa de LFs do que os focados na estimativa do tempo em projetos NPD (2). Na revisão bibliográfica feita nesta seção foram levados em consideração os trabalhos realizados a partir do ano 2005 até o atual momento.

Além disso, pode ser visto que na maioria dos trabalhos expostos para a estimativa de tempo, utilizam-se redes neurais, as quais são treinadas para obter modelos com comportamento similar aos processos de produção ou desenvolvimento com diferentes entradas. A saída destes modelos é o tempo estimado (tempo de projeto ou tempo de fabricação). O principal argumento que os autores tiveram em conta para utilizar redes neurais no seus processos de estimativa, é pela não linearidade presente na relação das variáveis analisadas nos modelos deles.

A abordagem da estimativa de tempos de desenvolvimento em produtos complexos focados em produtos mecatrônicos é um estudo novo, já que na análise da literatura realizada não se encontrou um trabalho similar. É importante falar que a estimativa dos tempos no desenvolvimento de produtos proposta neste trabalho, tem como entrada principal a complexidade estática do produto.

Por outra parte a abordagem da estimativa de tempos nos projetos NPD é uma área pouco aprofundada. Nesta dissertação, serão apresentados dois modelos para estimar tempos de desenvolvimento de produtos. No primeiro modelo a entrada é a complexidade estática do produto e a saída é o tempo estimado para que um projeto NPD seja concluído. Já no segundo modelo há duas entradas, uma a média dos LFCs e a outra a complexidade estática do produto e só há uma única saída, sendo o tempo de desenvolvimento estimado para o novo produto.

Desde o final dos anos de 1960, o problema de gerenciamento de lead times tem sido constantemente abordado na literatura (IOANNOU, 2012). Na atualidade muitos estudos concentram-se em analisar os *lead times* focados em diferentes objetivos. Nesta dissertação será

abordada a estimativa dos tempos de desenvolvimento em projetos NPD. Os métodos de estimativa de tempos existentes são desenvolvidos principalmente com base no tempo de processamento de uma ordem e na situação de estoque da empresa (WENG, 2016).

CAPITULO 3 – PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR TEMPOS EM PROJETOS NPD.

Neste capítulo vão ser propostos os caminhos para obter os modelos para estimar tempos em projetos NPD. Serão também apresentadas as ferramentas definidas e utilizadas para a avaliação da complexidade presente nos produtos estudados. As ferramentas definidas são baseadas na revisão bibliográfica feita no capítulo 2.

3.1 Proposta para obter o modelo 1 para estimar tempos em projetos NPD.

A Figura 26 apresenta em um diagrama IDEF0, a sequência de tarefas a seguir desde o cálculo da complexidade dos produtos até a obtenção do modelo 1, que relaciona a complexidade do produto com o tempo de desenvolvimento deste. Na figura mostra-se o primeiro passo, o qual consiste em calcular a complexidade (tarefa A1) para posteriormente obter os tempos de desenvolvimento de cada produto estudado. Uma vez tendo os valores da complexidade do produto, preencheram-se os vetores que contém as informações da complexidade e do tempo de desenvolvimento de cada produto (tarefa A2) para construir a matriz apresentada na equação 10.

$$v1 = \begin{bmatrix} C1 & TD1 \\ C2 & TD2 \\ \vdots & \vdots \\ Cn & TDn \end{bmatrix} \quad (10)$$

Cada fila representa um produto diferente. A primeira coluna $C1, C2... Cn$ apresenta a complexidade do primeiro produto até o n ésimo produto. Na segunda coluna está o tempo de desenvolvimento (TD) do produto associado a cada fila (Os dados para calcular a complexidade e os tempos de desenvolvimento destes produtos foram fornecidos pela empresa de estudo). Os produtos neste trabalho são representados como $P(1), P(2), P(3)$, até $P(n)$ (n faz referência ao n ésimo produto). Após da tarefa A2 da Figura 26 e a partir da matriz obtida se obtém um dos modelos a ser proposto neste trabalho (tarefa A3).

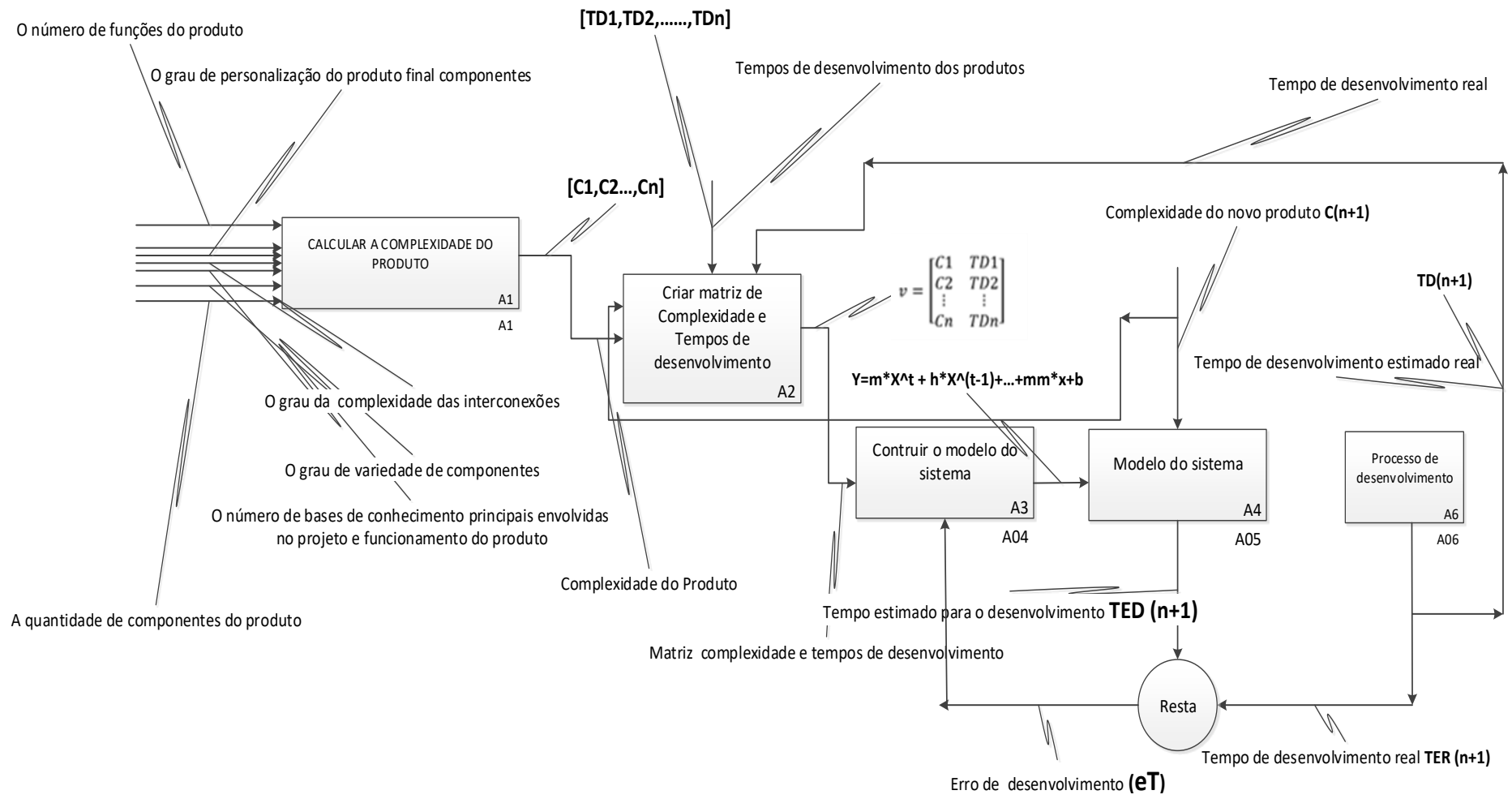


Figura 26: Visão geral do processo de estimativa de tempo de desenvolvimento.

Obtido o modelo que relaciona os tempos de desenvolvimento, pode-se estimar o tempo de desenvolvimento de um produto ($P(n+1)$). Este tempo estimado é denominado na Figura 26 como TED. Uma vez que o processo de desenvolvimento do produto $P(n+1)$ termina, determina-se o tempo real no desenvolvimento do produto ($TER(n+1)$). Com o $TER(n+1)$ e o TED calcula-se o erro da estimativa (eT). O qual servirá para reajustar o modelo, por isso, o eT é uma entrada da tarefa A3 (Construir o modelo do sistema). Na Figura 26 também observa-se que o novo produto $P(n+1)$ junto com suas características $C(n+1)$ e $TER(n+1)$, serão novas entrada da tarefa A2 (matriz de complexidade e tempos de desenvolvimento), para construir ou reajustar o modelo de estimativa de tempos.

3.2 Proposta para a obter o modelo 2 para estimar tempo em projeto NPD

O modelo 2 a construir neste trabalho tem como objetivo prover o TD, partindo da média dos LFCs dos protótipos. A matriz de entrada para a construção do modelo 2 (Tarefa A2, Figura 27) é apresentada na equação 11 e é constituída pela MLFC e o TD de cada produto.

$$v2 = \begin{bmatrix} MLFC1 & TD1 \\ MLFC2 & TD2 \\ \vdots & \vdots \\ MLFCn & TDn \end{bmatrix} \quad (11)$$

Cada fila representa um produto diferente. A primeira coluna $MLFCs1$, $MLFCs2...$, $MLFCsn$ apresenta a MLFCs do primeiro produto até o enésimo produto. A Figura 27 apresenta, a sequência de tarefas para a obtenção do modelo 2, que relaciona a MLFC dos produtos com o tempo de desenvolvimento destes.

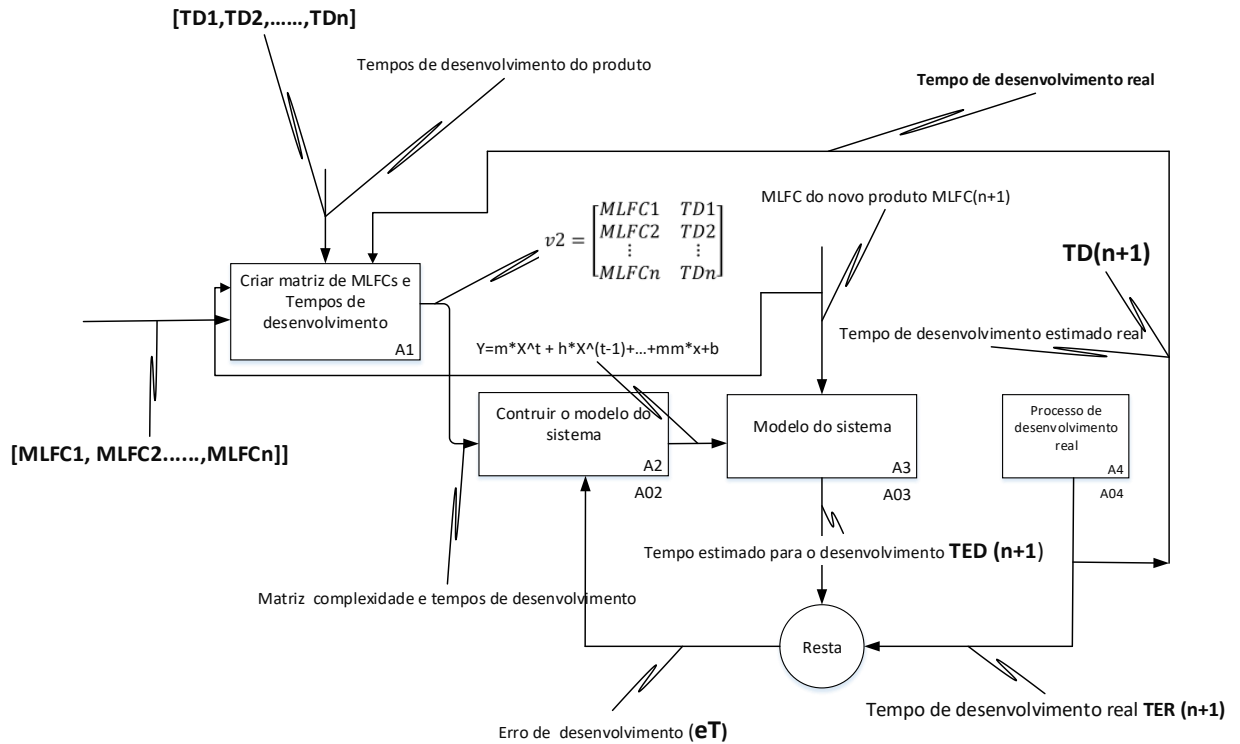


Figura 27: Processo para obter o modelo 2 para a estimativa de tempos em projetos NPD.

Como pode-se observar na Figura 27, o modelo 2 usa como entrada a média dos lead times de fabricação de componentes dos protótipos construídos do produto (MLFCs) para estimar o TD, enquanto o modelo 1 utiliza na entrada a complexidade do protótipo.

3.3 Proposta para a obter o modelo 3 para estimar tempo em projeto NPD

A Figura 28 apresenta o procedimento proposto para chegar ao modelo 3 proposto, a diferença desse modelo com respeito dos modelos 1 e 2 é que este vai ter duas entradas para a estimativa de tempos: (a) a complexidade e (b) as medias dos LFCs dos protótipos. A matriz de 3 colunas (equação 12) apresenta as variáveis necessárias para construir o modelo 3.

$$v3 = \begin{bmatrix} C1 & MLFC1 & TD1 \\ C2 & MLFC2 & TD2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Cn & MLFCn & TDn \end{bmatrix} \quad (12)$$

A Figura 28 apresenta o processo para construir o modelo 3.

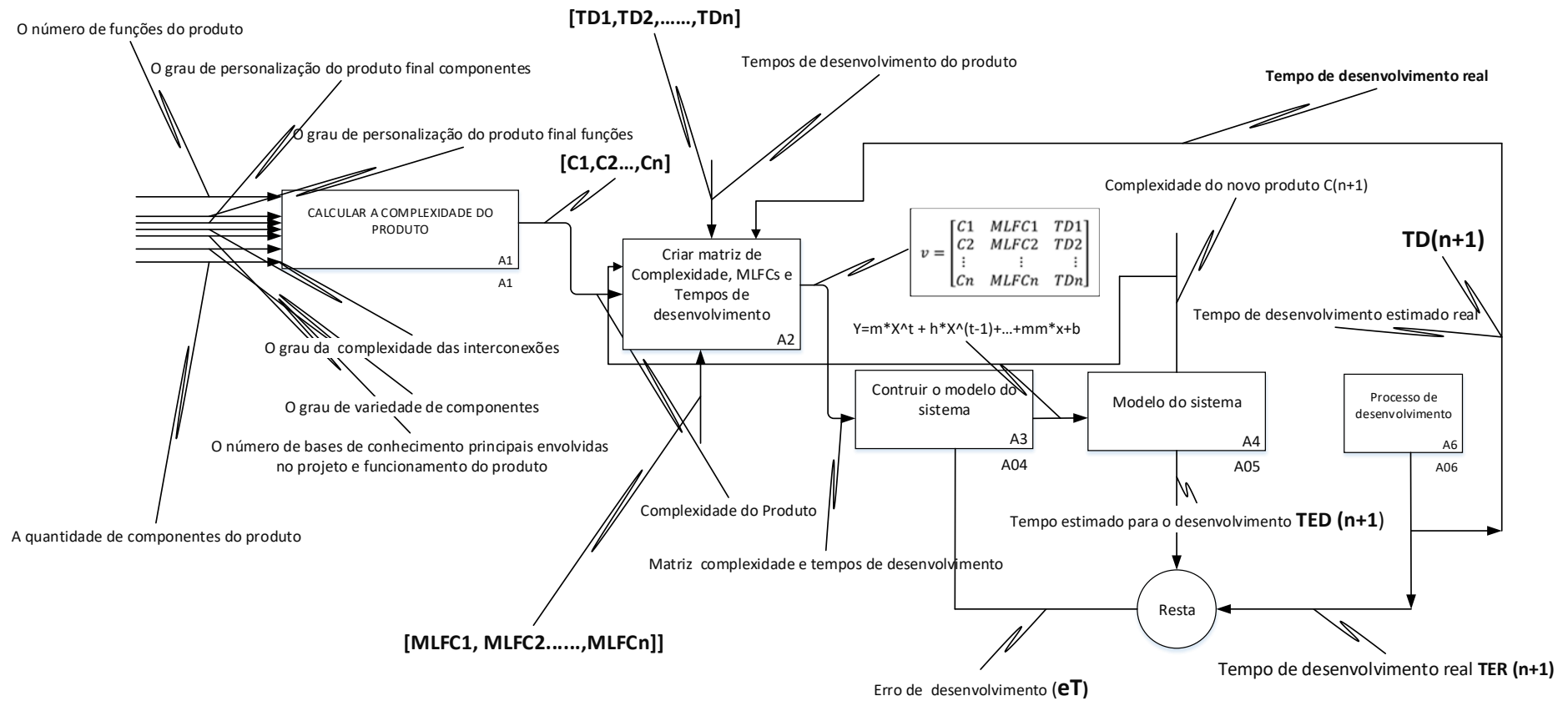


Figura 28: Processo para obter o modelo 3 para a estimativa de tempos em projetos NPD.

Se o parâmetro eT das Figura 26, 27 e 28 for grande no que diz respeito aos interesses da empresa, neste caso, será necessário reajustar o modelo.

Segundo os modelos 1 e 3 o primeiro que tem-se que fazer para começar o processo de estimativa de tempos propostos aqui, é calcular a complexidade de cada protótipos dos produtos estudados. A seguir, na seção 3.4 é exposta a proposta para calcular a complexidade nesse estudo.

3.4 Proposta Metodológica para calcular a complexidade de um produto.

Nesta seção apresenta-se a descrição da metodologia proposta para calcular a complexidade dos produtos estudados nesta dissertação.

3.3.1 Cálculo da complexidade global dos produtos

A partir da Tabela 5 é construída a Tabela 7. A diferença dessa tabela é que na sua terceira coluna contém os valores APLICAVEL e NÃO APLICAVEL, que fazem referência à aplicabilidade do indicador ao estudo da complexidade. Essa aplicabilidade é definida de acordo com os indicadores que podem ser analisados dependendo dos dados fornecidos pela empresa de estudo.

Tabela 7: Frequência dos indicadores na revisão da estimativa da complexidade

	Indicadores	Número de trabalhos	Porcentagem	Aplicabilidade
1	Quantidade de componentes	13 de 14	92,86	Aplicável
2	Grau de complexidade das interconexões entre componentes	9 de 14	64,29	Aplicável
3	Escala financeira do projeto	1 de 14	7,14	Não Aplicável
4	O volume do produto	2 de 14	14,29	Não Aplicável
5	Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto	6 de 14	42,86	Aplicável
6	O grau de maturidade tecnológica	5 de 14	35,71	Não Aplicável
7	O grau de software integrados no produto	1 de 14	7,14	Não Aplicável
8	O grau de variedade dos componentes	5 de 14	36	Aplicável
9	O grau de personalização do sistema final	7 de 14	50,00	Aplicável
10	Os ciclos de retroalimentação das fases posteriores	1 de 14	7,14	Não Aplicável
11	A intensidade da participação do usuário	1 de 14	7,14	Não Aplicável
12	Incerteza / alteração nos requisitos de usuário	1 de 14	7,14	Não Aplicável
13	A intensidade da participação de outros fornecedores	1 de 14	7,14	Não Aplicável
14	A intensidade da intervenção regulamentar.	3 de 14	21,43	Não Aplicável
15	Pessoas	3 de 14	21,43	Não Aplicável
16	Departamentos	1 de 14	7,14	Não Aplicável
17	Competência no mercado	1 de 14	7,14	Não Aplicável

18	Transformação da informação	1 de 14	7,14	Não Aplicável
19	Assinação de recursos	1 de 14	7,14	Não Aplicável
20	Número de fornecedores e clientes	1 de 14	7,14	Não Aplicável
21	Número de Funções do produto	5 de 14	36	Aplicável
22	Manufaturabilidade	1 de 14	7,14	Não Aplicável

Fonte: Elaboração própria

Segundo a Tabela 7 foram levados em conta os seguintes indicadores para avaliar a complexidade estática dos produtos analisados neste estudo:

1. Número de Funções do produto: faz referência ao número de funções principais que o produto oferece.

2. Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto funcionamento do produto: corresponde à quantidade de disciplinas principais que participam para o desenvolvimento e o correto funcionamento do produto.

3. Quantidade de componentes: está relacionado à quantidade de peças que compõem a estrutura do produto em sua totalidade. Estas peças podem ser parafusos, componentes ópticos, elementos eletrônicos (capacitores ou resistências), cabos, manuais de uso e outros.

4. O grau de variedade dos componentes: faz referência ao número de componentes diferentes que são utilizados na fabricação do produto.

5. O grau de personalização do sistema final: relaciona-se aos componentes ou peças que a empresa teve que desenhar e fabricar. Estes componentes são componentes únicos e, portanto, não comerciais.

6. O Grau de complexidade das interconexões entre os subsistemas: refere-se ao número de interconexões entre os subsistemas que compõem a estrutura do produto e à complexidade de cada interconexão presente entre os subsistemas do produto estudado.

A Tabela 8 foi proposta, construída e utilizada para medir a complexidade estática dos produtos nesta dissertação.

Tabela 8 :Tabela para o cálculo da complexidade estática dos produtos

Indicador	Avaliação	Limite máximo	Complexidade
1. Número de Funções do produto		1	
2. Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto		4	
3. Quantidade de componentes		2.474	
4. O grau de variedade dos componentes		927	
5. O grau de personalização do sistema final componentes		475	
6. O Grau de complexidade das interconexões entre subsistemas		374	
Complexidade quantitativa Total			

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 8 contém 4 colunas as quais são:

1. Indicadores: Apresentam-se os critérios a avaliar de cada produto.
2. Avaliação: Se assigna um valor numérico aos padrões segundo o número de funções, número de componentes, número de funções e os outros critérios.
3. Limite máximo: É o maior número de complexidade que pode-se obter como referência para avaliar a complexidade dos indicadores de cada produto. O limite máximo é definido como o valor maior do indicador dos produtos estudados.
4. Complexidade: É um valor entre 0-100 e é percentagem da avaliação do critério respeito ao limite máximo do indicador.

Na próxima subseção apresenta-se o processo proposto para avaliar o indicador “Complexidade das interligações dos subsistemas dos produtos”.

3.3.2 Complexidade das interligações dos subsistemas dos produtos

Para fazer a análise da complexidade dos produtos deve-se atribuir o peso e a quantidade das interligações dos subsistemas. A análise proposta nesta dissertação parte da implementação da matriz DSM baseada em componentes.

Segundo Danilovic (2007) e Sharman (2004), esta abordagem permite a modelagem e análise das arquiteturas do sistema ou produto, definindo as interações entre os subsistemas e os componentes do mesmo.

Para começar o preenchimento da matriz DSM é necessário levar em consideração a definição das diretrizes de interação definidas nesta dissertação baseados em Sharman(2004) como:

- Espacial – Associações de espaço físico e alinhamento entre os componentes ou subsistemas.
- Energia – A interação do tipo de Energia identifica necessidades de um fenômeno físico entre dois elementos.
- Informação – A interação do tipo de informação identifica necessidades de troca de informações ou sinal entre dois subsistemas ou componentes.
- Material – A interação do tipo de material identifica necessidades de interfaces ou componentes entre dois elementos.

Aqui foram estudados os algoritmos de programação de cada produto para preencher a matriz DSM (Informação– troca de informações entre os subsistemas) e avaliar a complexidade das interligações. Considerando assim a complexidade de software como um indicador influente proporcionalmente à complexidade de um produto.

Com a definição destas diretrizes, torna-se possível identificar a força em uma interação entre dois ou mais componentes de um sistema complexo. Assim, as intenções são representadas como um conjunto de análises de quatro pontos, isto é, uma matriz 2X2 (Espacial, Energia, Informação e Material) dentro da matriz DSM.

O segundo passo consiste em definir os valores numéricos para quantificar o peso de complexidade, referente a cada uma das interligações entre os subsistemas dentro do produto. A Tabela 9 descreve os pesos para quantificar as complexidades presentes nas interações baseados em Sharman (2004).

Tabela 9: Escalas de pontos para quantificar pontos fortes de relacionamento usados na matriz DSM.

Valor quantitativo	Valor qualitativo	Descrição
5	Muito Alta	Interligação forte, direta entre mais de 50 componentes dos subsistemas. Esta interação é vital para o correto funcionamento das funções principais do produto.
4	Alta	Interligação forte entre 20 e 50 componentes dos subsistemas. Esta interação é vital para o correto funcionamento das funções principais do produto.
3	Médio	Interligação de media força, pode ser direta ou conectadas através de outro sistema ou passarela. Esta interação é vital para o funcionamento das funções secundarias do produto. Esta interligação se apresenta entre 20 ou menos componentes dos subsistemas.
2	Baixa	Interligação de pouca força, os sistemas podem estar ligados mas através de outros sistemas, que faz que interação não seja direta. Esta interação afeta o funcionamento das funções do produto levemente.
1	Muito Baixa	A interação é quase nula entre os componentes dos subsistemas. Esta interação não afeta o funcionamento do produto mas existe.
0	Zero	Interligação nula: Sem relação significativa

Fonte: Tabela baseada em Sharman (2004).

Com as anteriores definições apresentadas na Tabela 9 procede-se a preencher a matriz DSM (Figura 29), partindo dos sistemas que compõem o produto.

		A	B	C	D	E	F	G	H
SUBSISTEMA A	A		0 0	2 0	0 0	3 0	3 0	2 0	1 0
			0 0	3 0	3 0	3 0	0 0	3 0	2 0
SUBSISTEMA B	B	0 0		1 2	1 2	0 0	0 0	0 0	0 0
		0 0		3 0	3 0	0 0	0 0	0 0	0 0
SUBSISTEMA C	C	2	1 2		3 3	3 3	2 2	2 0	1 1
		3	3 0		3 0	1 0	1 0	2 0	1 0
SUBSISTEMA D	D	0 0	1 2	3 3		1 0	2 0	2 1	0 0
		3 0	3 0	3 0		1 0	3 0	3 0	0 0
SUBSISTEMA E	E	3 0	0 0	3 3	1 0		3 3	0 0	3 3
		3 0	0 0	1 0	1 0		0 0	0 0	0 0
SUBSISTEMA F	F	3 3	0 3	2 2	2 0	3 3		0 0	0 3
		2 0	0 0	1 3	3 0	0 0		1 0	0 0
SUBSISTEMA G	G	2 0	0 0	2 0	2 1	0 0	0 0		0 3
		3 0	0 0	2 0	3 0	0 0	0 0		0 0
SUBSISTEMA H	H	2 1	0 0	1 1	3 0	3 3	0 3	0 3	
		3 0	0 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	

Legenda

Espacial	S	E	Energia
Informação	I	M	Material

Figura 29: Matriz para o cálculo da complexidade associadas às interligações do produto.

O número de colunas e filas da matriz depende do número dos subsistemas do produto estudado. A Figura 29 apresenta a estrutura de um produto que tem 8 subsistemas. O cálculo da complexidade das interligações nesta dissertação resume-se em fazer a somatoria do peso de cada interligação entre os subsistemas. O número total de interações avaliadas é 224, na matriz apresentada na Figura 29. Ao fazer a soma dos pesos de cada interação o resultado gerado é 210. Portanto, esse é o valor da complexidade das interconexões do produto apresentado na matriz DSM.

A análise da complexidade das interligações precisa ser feito por uma pessoa que conheça muito bem o funcionamento interno dos produtos envolvidos na construção ou uso dos modelos de estimativa de TDs.

CAPITULO 4 – INFORMAÇÃO FORNECIDA PELA EMPRESA ESTUDADA.

A empresa estudo de caso é uma empresa Brasileira de tecnologia no ramo da óptica, com atuação nas áreas médica, industrial, de componentes ópticos, aeroespacial e de defesa; pioneira em diversos setores. O tipo de fabricação desta empresa é o MTO. Os produtos para os quais será realizada a avaliação da complexidade são: (a) o RETINÓGRAFO ADS, (b) o LASER AMARELO e (c) o MAGIS. Neste capítulo será apresentado o funcionamento e a estrutura desses produtos.

4.1 Descrições dos produtos

Nesta seção, apresenta-se a descrição explicativa dos produtos estudados nesta dissertação. As informações apresentadas são baseadas nos relatórios técnicos e na documentação de engenharia de cada produto fornecidos pela empresa estudada.

4.1.1 Produto Retinógrafo ADS

O Retinógrafo ADS é um instrumento oftalmológico que permite a realização dos diagnósticos de anomalias presentes na retina através de uma sequência de imagens do fundo do olho. A função básica deste equipamento é a de captar a energia refletida pela retina quando é iluminada por intensidades que estejam dentro dos limites normativos e para diferentes espectros de iluminação, obtidos através de filtros ópticos que são especialmente projetados para sua operação (BARBALHO, 2005).

A Figura 30 apresenta uma vista geral da unidade de captura com a identificação das partes que a compõem, as quais são apresentadas isoladamente na sequência.

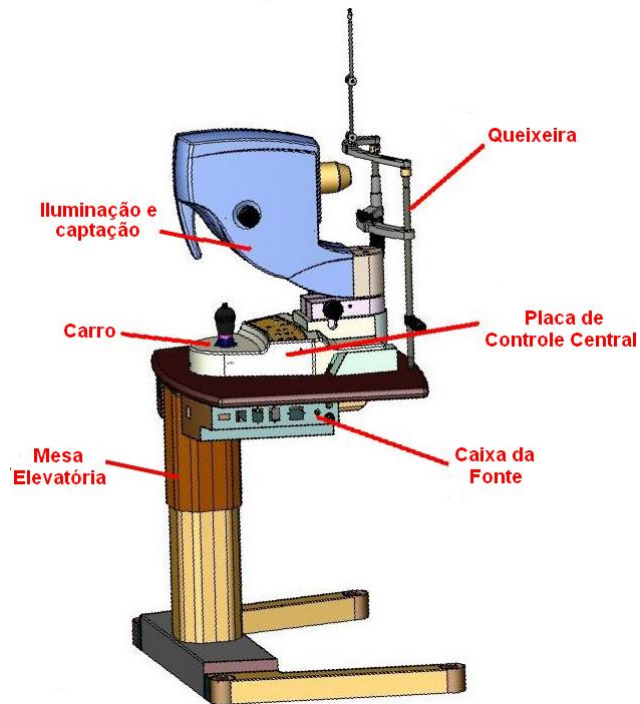


Figura 30: Foto ilustrativa do uso da Unidade de Captura de Imagens. Fonte: (BARBALHO, 2005: pag 12).

A Figura 31 apresenta um diagrama com o funcionamento e os principais sistemas que compõe o Retinógrafo ADS.

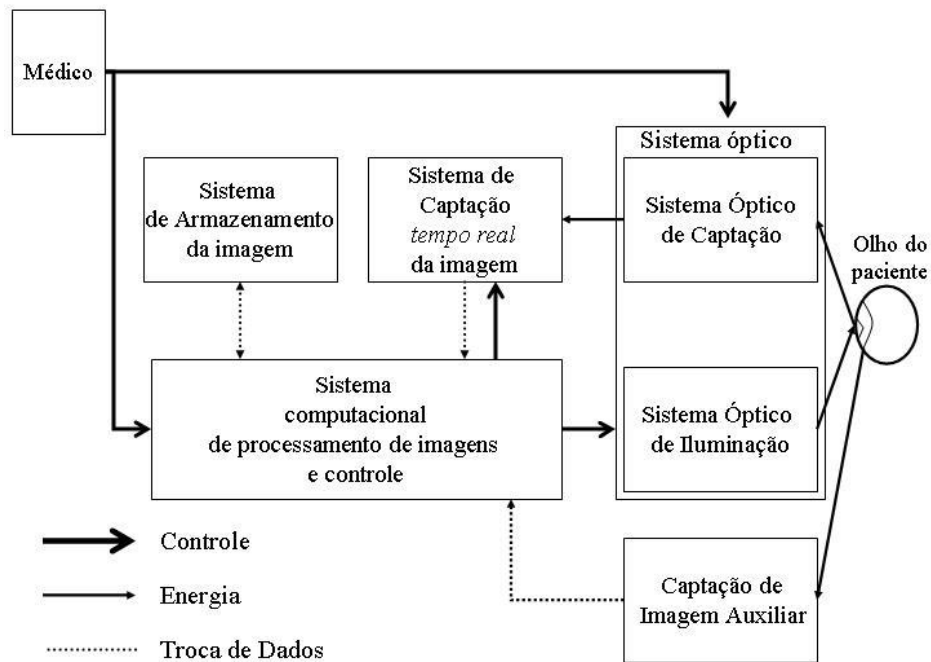


Figura 31: Funcionamento do Retinógrafo (BARBALHO, 2005: pag 7).

Através do “Sistema Óptico de Iluminação”, a energia luminosa é direcionada ao olho do paciente. A luz incidente na retina é refletida e captada em um plano focal do “Sistema Óptico de Captação” que forma a imagem captada na área de um CCD de alta resolução. O sensor CCD é parte do “Sistema de Captação Tempo Real da Imagem” que converte a luz captada para sinal digital. Esse sinal passa por um pré-processamento na câmera de alta resolução e é enviado para o “Sistema Computacional de Processamento de Imagens e Controle”. Através deste sistema o médico pode observar a imagem captada do fundo do olho do paciente, controlar os ajustes do “Sistema de Captação Tempo Real” e acessar o “Sistema de Armazenamento da Imagem” (BARBALHO, 2005).

O conjunto dos sistemas de iluminação e captação de tempo real é controlado pelo “Sistema Computacional de Processamento de Imagens e Controle”. Alguns ajustes do “Sistema Óptico de Captação” podem ser controlados manualmente pelo médico, como por exemplo, os ajustes de foco. Além disso, através do “Sistema de Captação de Imagem Auxiliar”, o médico pode posicionar o feixe luminoso no olho do paciente com bastante facilidade (BARBALHO, 2005).

Estruturalmente o Retinógrafo está subdividido em sete conjuntos, a Figura 32 simplifica o mapa conceitual do mesmo, onde pode-se observar todos os subconjuntos que constituem esse produto (o Retinógrafo está composto por 75 subconjuntos).

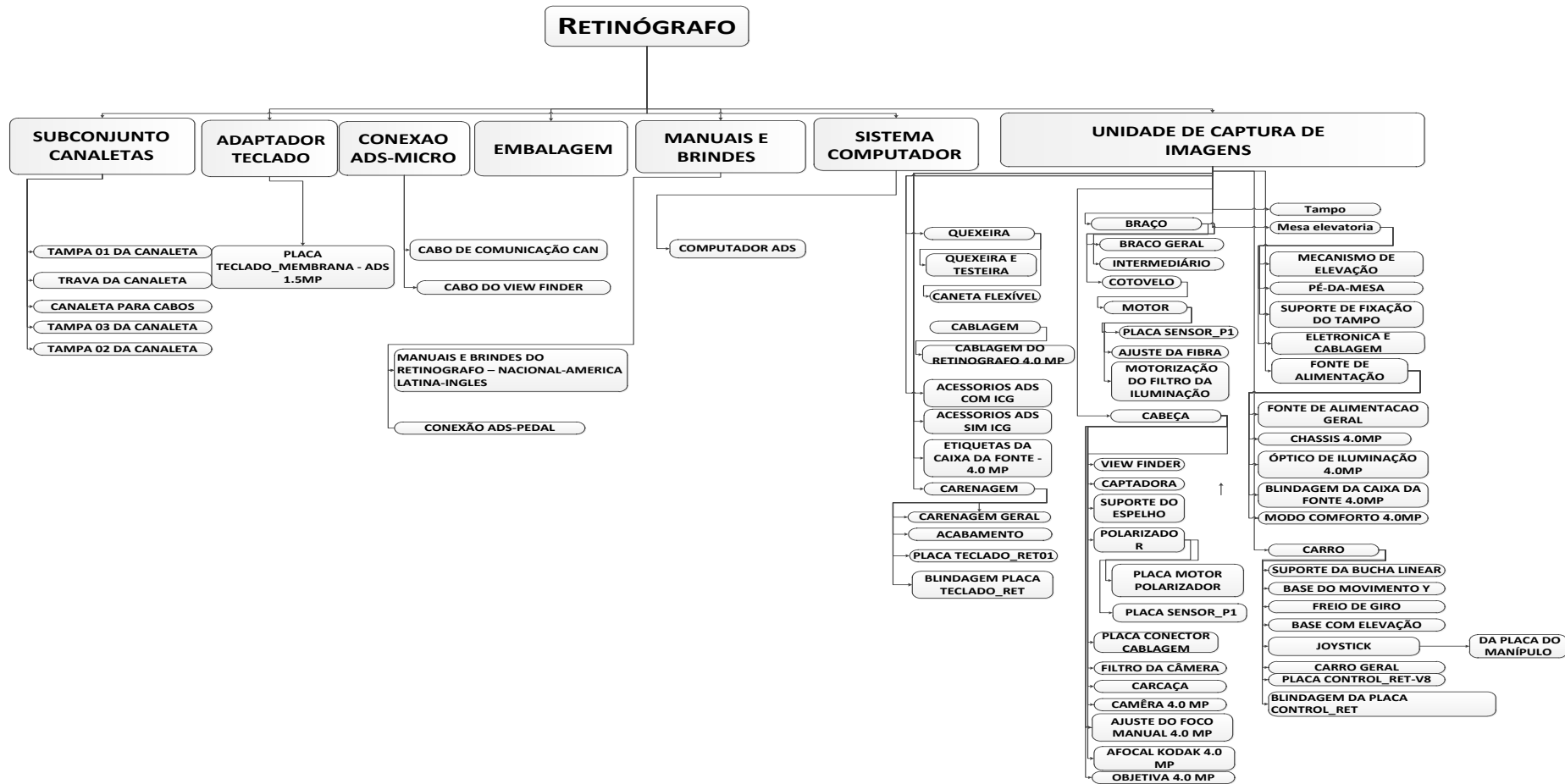


Figura 32: Estrutura do Retinógrafo ADS.

Cada subconjunto no seu último nível contém os componentes pelos quais é constituído.

Mediante a análise da informação disponibilizada pela empresa são obtidos os seguintes valores para as dimensões anteriores do produto (Retinografo ADS) total:

- Quantidade de componentes utilizadas no produto: 2474.
- Quantidade de componentes diferentes no produto: 927.
- Quantidade de componentes novos utilizados no produto: 476.
- Componentes mecânicos: 1704
- Componentes referentes a guias de uso e manuais de uso: 34
- Etiquetas de arte final: 101
- Componentes eletrônicos e elétricos: 576
- Componentes ópticos: 59

Perfaz, assim, um total de 2474 componentes que envolvem óptica, eletrônica, software embarcado e mecânica.

4.1.2 Produto Laser Amarelo

O Laser amarelo possui uma cavidade laser de estado sólido (DPSSL), composta por um diodo laser que bombeia um cristal laser cujas propriedades físico-químicas promovem a geração de um laser com comprimento de onda de 1173nm (infravermelho) e que permanece aprisionado na cavidade. Esse laser passa por um segundo cristal intracavidade que tem a função de transformá-lo em 586,5nm por meio de um fenômeno chamado de SHG (*Second Harmonic Generation*), geração de segundo harmônico. Finalmente, o laser convertido em 586,5nm (amarelo) é eliminado da cavidade e entra num sistema de filtros e lentes responsáveis por colimá-lo na fibra óptica. A Figura 33 apresenta o esquema básico de funcionamento do Laser Amarelo (ROSSI, 2010).

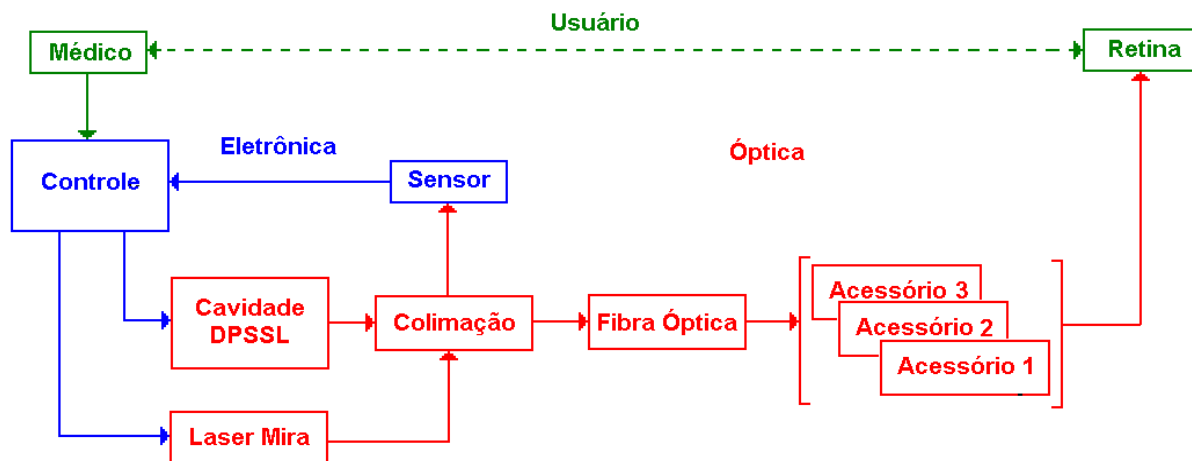


Figura 33: Esquema de funcionamento do laser amarelo (ROSSI, 2010: Pag 22).

Através do display *touch screen* e dos botões de ajuste do Laser Amarelo, o médico configura parâmetros tais como: potência, duração e intervalo do laser. O laser é emitido quando o equipamento está em modo de tratamento e no momento em que o pedal é pressionado. Nesse instante, o sistema de controle composto pelo software e pela eletrônica embarcada começa a transmitir e receber sinais da Cavidade DPSSL e Laser de Mira, que iniciam o processo de emissão a laser. Esses dois feixes são combinados no sistema óptico de colimação e em seguida inseridos no interior da fibra óptica. Uma amostra do feixe laser é lida por um sensor para realizar o controle de potência. O último estágio é a conexão da fibra óptica em um dos acessórios utilizados no equipamento, onde através deste, o laser é aplicado na Retina do paciente seguindo um protocolo clínico pré-estabelecido. A Figura 34 mostra o produto Laser (ROSSI, 2010).



Figura 34: Laser: Amarelo (ROSSI, 2010: pag 1).

O laser amarelo combina alta tecnologia com design ergonômico, o que proporciona alta performance e versatilidade para uso na clínica e no bloco cirúrgico.

Estruturalmente o produto Laser Amarelo está subdividido em 5 conjuntos principais, que compõem a totalidade do design deste produto. Esses conjuntos principais subdividem-se em outros conjuntos. A Figura 35 mostra o mapa conceitual com os conjuntos e subconjuntos que compõem o produto Laser Amarelo.

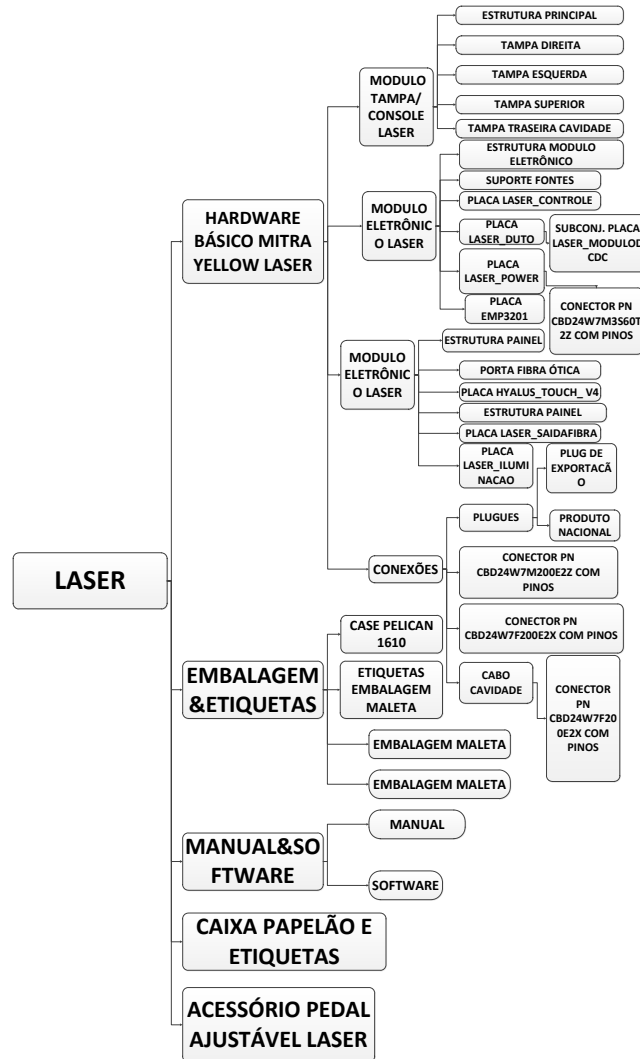


Figura 35: Conjuntos e subconjuntos do Laser Amarelo.

O produto Laser Amarelo é composto por 1515 peças no total e entre elas 404 peças são diferentes, além de:

- 427 componentes mecânicos e ópticos.
- 23 componentes referentes às guias de uso o manuais de uso, arte final e embalagem.
- 1065 componentes eletrônicos e elétricos.

4.1.3 Produto Magis

O produto Magis é um sistema computadorizado de medida da acuidade visual pelo operador, que permite uma avaliação precisa da visão de pacientes por meio de ajustes automáticos de optotipos, redimensionados de acordo com dados informados para a configuração do aparelho. Os clientes principais são os médicos oftalmologistas que utilizam projetores ou material impresso para a execução dos testes de acuidade visual, buscando identificar de forma mais maleável e precisa a deficiência visual dos seus pacientes (MATAYOSHI, 2007).

O Magis oferece seis opções de optotipos com o tamanho calculado, de acordo com a distância entre o paciente e o equipamento. O médico pode escolher o melhor optotipo de acordo com a evolução do exame do paciente. Os optotipos sempre aparecem de forma aleatória e podem ser alterados sem que seja necessária a mudança no tamanho de exibição (MATAYOSHI, 2007). O produto Magis é apresentado na Figura 36.



Figura 36: Magis (MATAYOSHI, 2007: pag 11).

O produto Magis oferece também: (a) teste de Sensibilidade ao Contraste, (b) teste verde-vermelho, (c) testes de esteropsia, (d) teste de Worth, (e) teste de astigmatismo/disco de astigmatismo, (f) teste de ishihara, (g) teste de cilindro cruzado, (h) exibição de vídeos e imagens e (i) ajuda online nos idiomas português, inglês e espanhol e internacionalização da interface do software nos idiomas português, inglês e espanhol (MATAYOSHI, 2007). O funcionamento do Magis é ilustrado na Figura 37.

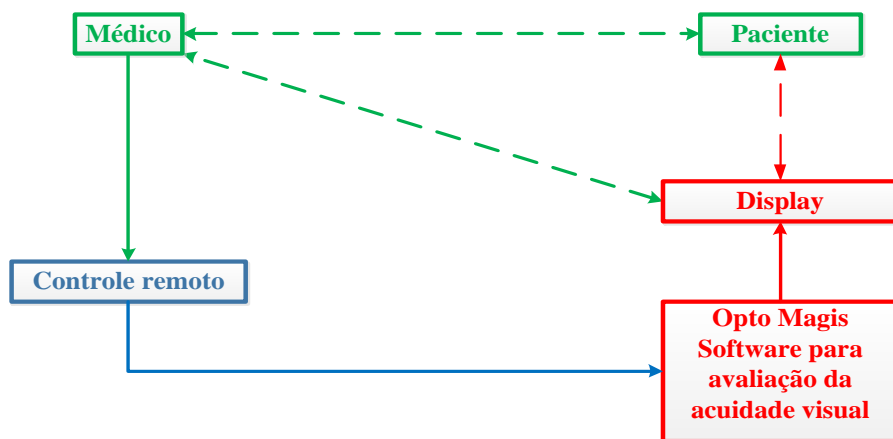


Figura 37: Diagrama de blocos de funcionamento do Magis.

O médico ou usuário é quem faz a configuração do tipo de uso que vai ter o Magis. Ele começa a configuração através do controle remoto. Depois disso, dependendo da configuração feita pelo médico, é projetado no display o que se quer, para realizar a análise do paciente. O controle do uso que vai ter o Magis se faz ajustando diretamente a tela ou através do controle remoto.

Estruturalmente o produto MAGIS está subdividido em 3 conjuntos principais que compõem a totalidade do design deste produto. Tais conjuntos encontram-se subdivididos em outros subconjuntos. O produto MAGIS é composto por 46 componentes no total, onde há 30 tipos diferentes de peças e 25 peças únicas fabricadas pela empresa ou por terceiros.

4.1.4 Produto MIV

A Figura 38 apresenta o produto MIV.



Figura 38: Modelo de engenharia do MIV (STEFANI, 2009: pag 40).

O MIV é um monóculo de visão térmica noturna para aplicações militares e estratégicas na área de defesa. A objetiva do modo básico do monóculo de visão térmica foi projetada para proporcionar ao operador uma visão relativamente ampla da cena (40° de campo de visada diagonal). Desta forma ela está otimizada para emprego em capacete de combate ou empunhadura, ou qualquer outra aplicação onde uma visão mais abrangente da cena é desejada. Estruturalmente o produto MIV está subdividido em 7 conjuntos principais, que compõem a totalidade do design deste produto. Esses conjuntos principais subdividem-se em outros subconjuntos e cada subconjunto se divide em peças. A Figura 39 mostra o mapa conceitual com os conjuntos e subconjuntos que compõem o produto MIV.

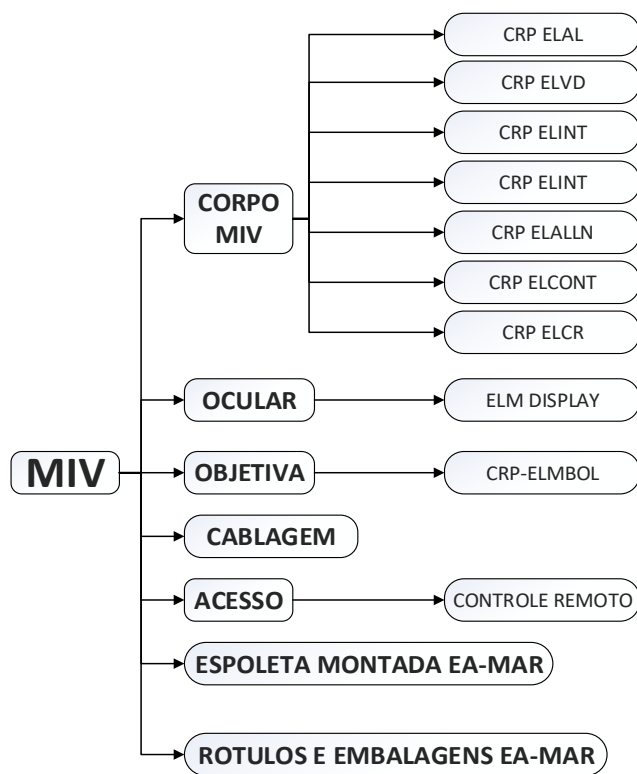


Figura 39: Conjuntos e subconjuntos do MIV.

O produto MIV é composto por 2305 peças no total e entre elas 750 peças são diferentes, além de:

- 742 componentes mecânicos e ópticos.
- 1563 componentes eletrônicos e elétricos.
- 400 Componentes únicos

A Figura 40 abaixo apresenta o diagrama de blocos dos subsistemas do EITMSS (Equipamento de Imagem Térmica para o Sistema de Armas MSS (Míssil Superfície-Superfície)) utilizado pelo produto MIV para conseguir a visão térmica.

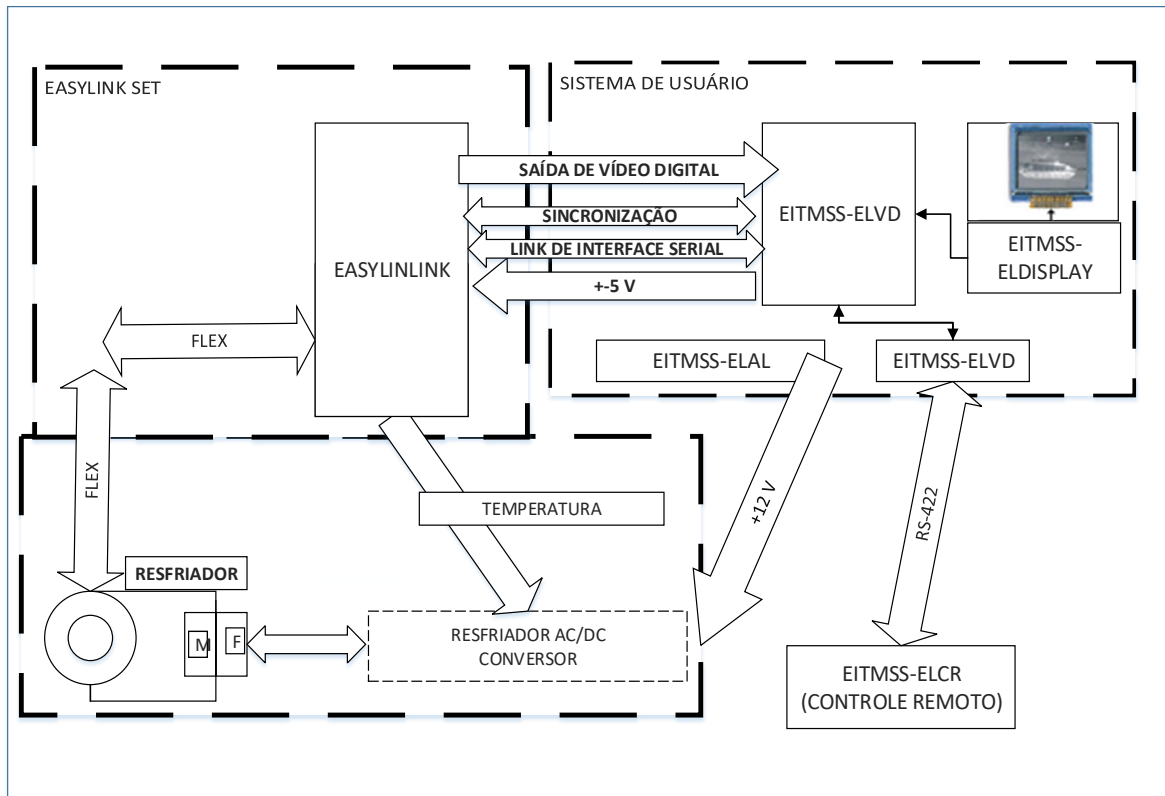


Figura 40: Diagrama de blocos do EITMSS (STEFANI, 2009: pag 38).

O sistema EITMSS do MIV é formado pelas seguintes placas eletrônicas:

- EITMSS-ELPROXY: placa da eletrônica de proximidade do detector SCORPIO;
- EITMSS-ELCT: placa de controle térmico do plano focal do detector SCORPIO;
- EITMSS-ELAL: placa de alimentação geral;
- EITMSS-ELUC: placa da unidade de controle do equipamento;
- EITMSS-ELVD: placa de processamento digital de vídeo;
- EITMSS-ELDISPLAY: placa de acionamento do display;
- EITMSS-ELCR: placa do controle remoto.

O detector SCORPIO é um sistema óptico consiste basicamente de 3 lentes com substratos de silício, germânio e zinco.

4.2 Tempos

Nesta seção serão apresentados os tempos que foram investidos para desenvolver cada produto estudado. Também serão expostas as MLFCs dos protótipos envolvidos no processo de desenvolvimento. A informação exibida foi obtida através da revisão da informação da área de desenvolvimento e produção da empresa estudada.

4.2.1 Tempos de desenvolvimento dos produtos

Com o objetivo de seguir a proposta para estimar tempos de desenvolvimento (capítulo 3) será feita uma breve descrição dos tempos e etapas de desenvolvimento dos produtos a seguir.

4.2.1.1 Retinografo ADS

A Tabela 10 mostra as etapas executadas para o desenvolvimento do produto Retinógrafo ADS.

Tabela 10: Fases e Datas para no processo de desenvolvimento do retinógrafo.

Projeto Retinógrafo ADS	
Início do planejamento do projeto	03/10/2003
Atendimento e verificação dos requisitos	12/07/2005
Validação do projeto	13/07/2006
Congelamento da configuração para certificação	08/12/2006
Congelamento de configuração para produção	06/03/2006
Adequação da manufatura à certificação do produto	30/01/2008

Fonte: Dados fornecidos pela empresa.

O tempo total para o desenvolvimento do retinógrafo foi de 1580 dias.

4.2.1.2 Laser Amarelo

A Tabela 11 mostra as etapas executadas para o desenvolvimento do produto Laser Amarelo.

Tabela 11: Fases e Datas para o desenvolvimento do Laser Amarelo

Projeto Laser Amarelo	
Início do projeto do Laser Amarelo	03/10/2007
Engenharia de peças Plásticas e metálicas	02/04/2009
Amostras e testes das Peças Metálicas e produção de peças plásticas	02/04/2009
Produção das peças estruturais do rack (4 unidades)	02/04/2009
Entrega dos 3 Protótipos	09/09/2009
Interface Fast Track, Controles térmicos e demais funcionalidades de software	05/06/2009
Testes e validação	19/06/2009

Montagem do ALF NS002, NS003, NS004.	19/06/2009
Integração com Rack e calibração NS002, entrega do protótipo NS002 e Montagem e alinhamento da cavidade NS003	19/06/2009
Integração com Rack e calibração NS003 e entrega do protótipo NS003	19/06/2009
Montagem e Alinhamento da Cavidade, Integração com Rack e calibração NS004 e Teste preliminares de EMI/EMC em NS004.	19/06/2009
Documentação necessária para certificação	19/06/2009
Disponibilização do Protótipo NS004 (certificações)	19/06/2009
Testes de Certificação	25/11/2010

Fonte: Dados fornecidos pela empresa.

O tempo total no desenvolvimento do laser Amarelo foi de 814 dias.

4.2.1.3 Magis

A Tabela 12 mostra as etapas executadas para o desenvolvimento do produto Magis.

Tabela 12: Fases e Datas no desenvolvimento do produto Magis

Projeto MAGIS	
Início do projeto	14/01/2008
Desenvolvimento da versão 1.x e da versão 2.x	29/07/2008
Auto configuração p/ diferentes tamanhos de tela	25/03/2008
Teste de torção	25/03/2008
Desenvolvimento do hardware e do Buffer Magis 2.0	08/08/2008
Entrega e documentação do Magis 2.0 (manuais e estrutura)	14/08/2008
Validação da versão 2.0	15/09/2008
Encerramento do projeto Magis 2.0 e entrega para produção	15/09/2008

Fonte: Dados fornecidos pela empresa.

O tempo total no desenvolvimento do produto MAGIS foi de 245 dias.

4.2.1.4 MIV

A Figura 41 apresenta as etapas executadas e os tempos investidos no processo de desenvolvimento do produto MIV. Segundo essa figura o tempo total no desenvolvimento do produto MIV foi de 1332 dias.

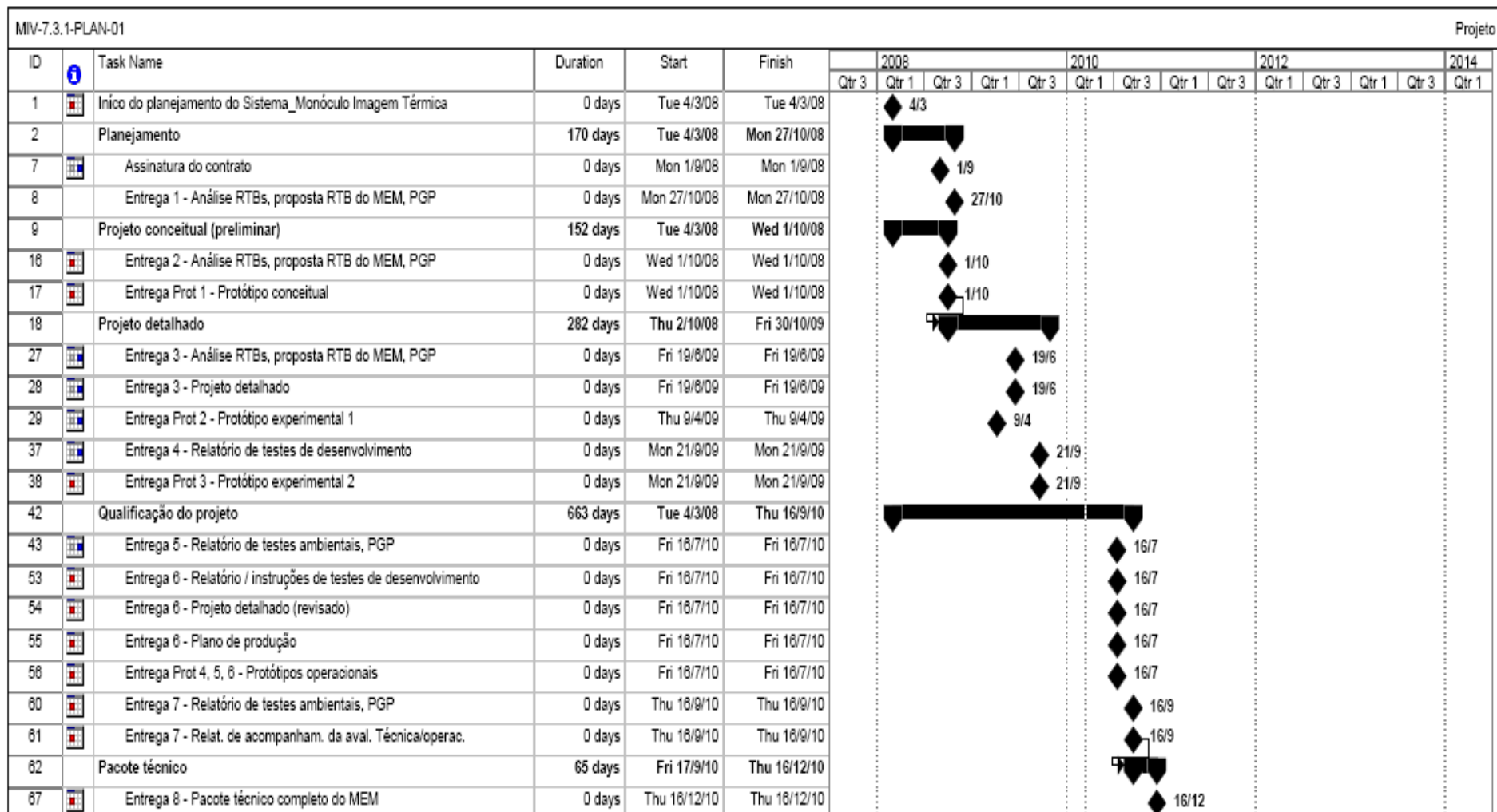


Figura 41: Tempo e etapas para o desenvolvimento do produto MIV (STEFANI, 2009: pag 53)

4.2.2 Media dos LFCs dos protótipos associados a cada produto

Nesta subsecção utilizaram-se as planilhas de produção da empresa estudada, que vão desde o primeiro semestre do 2006 até o ano de 2011, as planilhas foram fornecidas pela empresa. Nestas planilhas aparecem as ordens de produção lançadas neste período de tempo, as quais incluem os tempos de execução destas ordens e os tempos individuais da fabricação de cada peça de cada ordem de produção. Neste período de tempo se lançaram 2328 ordens de produção para os produtos analisados nesta dissertação.

No caso do **Retinógrafo ADS**, foram analisadas 636 ordens de produção, o que corresponde a informação de 1128 LFCs. A Figura 42 apresenta os tempos de fabricação do número de componentes fabricados para a construção dos protótipo para esse produto.

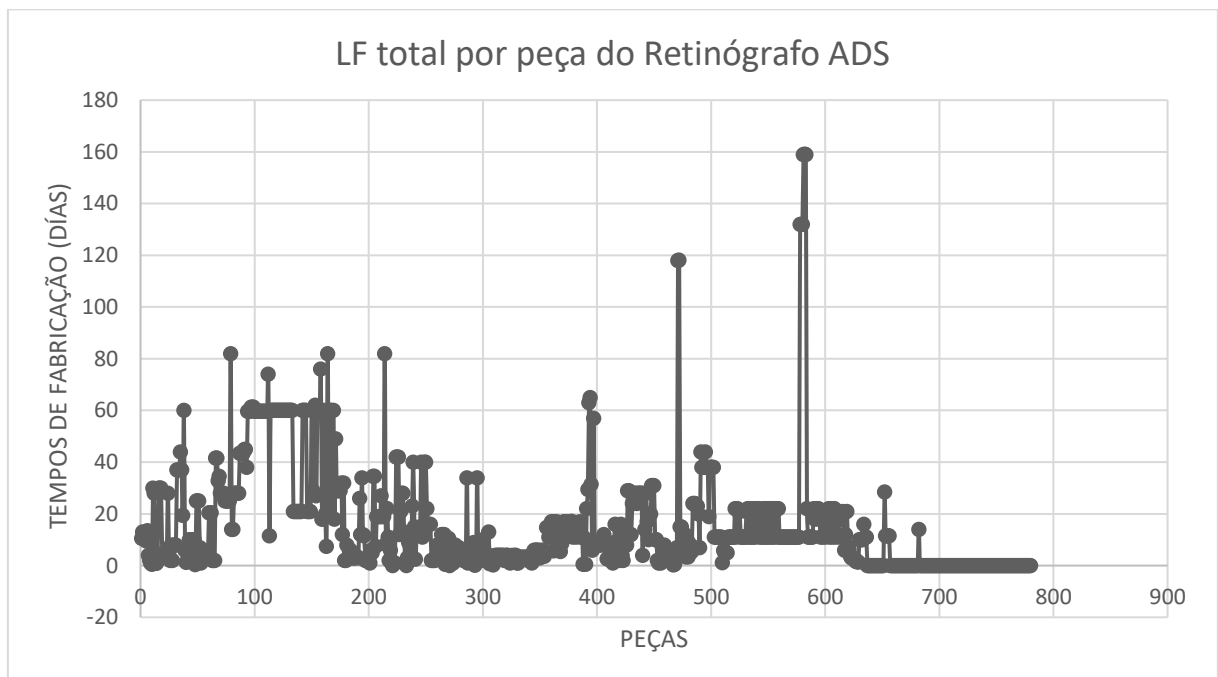


Figura 42 : Tempos de fabricação de peças dos protótipos do Retinógrafo ADS.

A média dos LFCs dos protótipos do produto Retinógrafo ADS foi de 19,59 dias para cada componente dias com um desvio padrão (σ) de 22,37 dias. Os LFCs dos protótipos variam entre 1 e 159 dias.

Com respeito à produção dos protótipos do **Laser amarelo** foram analisadas 698 ordens de produção, o que corresponde à fabricação de 1866 componentes. A Figura 43 apresenta os tempos de fabricação do número de componentes fabricados para a construção dos protótipo para esse produto.

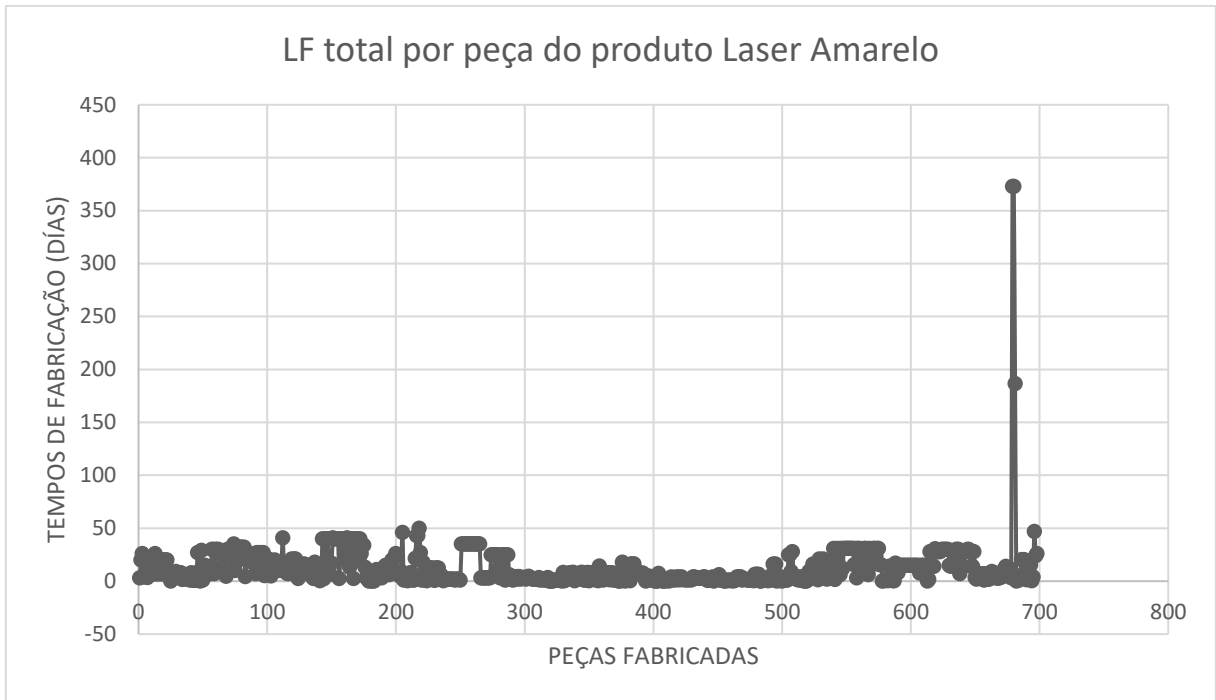


Figura 43 : Tempos de fabricação de peças dos protótipos do Laser Amarelo.

A média dos LFCs dos protótipos foi igual a 13,08 dias por componente desse produto com um desvio padrão (σ) de 23,55 dias. Os LFCs dos protótipos do Laser variam entre 1 e 373 dias.

No caso do produto **Magis**, foram analisadas 16 ordens de produção (fabricação de 586 componentes para os primeiros protótipos). A Figura 44 apresenta os tempos de fabricação do número de componentes fabricados para a construção dos protótipo para o Magis.



Figura 44 : Tempos de fabricação de peças dos protótipos do MAGIS.

A média dos leads times de fabricação dos protótipos deste produto foi de 10,2 dias por componente desse produto com um desvio padrão (σ) de 6,85 dias. Os LFCs dos protótipos do Magis variam entre 2 e 67 dias.

Para o produto MIV foram analisadas 486 ordens de produção, o que corresponde à fabricação de 1335 componentes dos protótipos do produto MIV. A média dos LFCs dos protótipos foi de 17,15 dias para cada componente desse produto.

Da informação oferecida pela empresa se preencheu a Tabela 13.

Tabela 13: Variáveis para a construção dos modelos propostos nessa dissertação

Variáveis / Produtos	Retinógrafo ADS	Laser Amarelo	Magis	MIV
(1) TD (dias)	1580	814	245	1332
(2) MLTF (dias)	19,59	13,08	10,2	17,15
(3) Número de funções principais do produto	1	1	1	1
(4) Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto	4	4	2	4
(5) Quantidade de componentes	2474	1515	46	2340
(6) Variedade dos componentes	927	404	30	750
(7) Componentes únicos	475	150	25	400
(8) Número de interligações entre os subsistemas internos	A calcular	A calcular	A calcular	A calcular

Fonte: Elaboração própria.

Com os dados da Tabela 13, serão calculados no seguinte capítulo: (a) a complexidade de cada produto, (b) as matrizes de entradas para calcular os modelos propostos e (c) os modelos para estimar tempos em um projeto NPD e (d) o erro de cada modelo proposto.

CAPITULO 5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA ESTIMAR TEMPOS EM PROJETOS NPD

Neste capítulo são aplicadas as propostas do capítulo 3 para obter os modelos de estimação de tempos no processo NPD estudado.

5.1 Cálculo da complexidade estática dos Protótipos

Nesta seção se aplica a metodologia proposta na seção 3.3 para calcular a complexidade dos produtos estudados.

5.1.1 Cálculo da complexidade do Retinógrafo ADS

Para fazer a análise da complexidade do produto Retinógrafo ADS, primeiramente faz-se a análise do peso das interligações dentro deste produto. A análise parte da implementação da matriz DSM baseada em componentes.

Segundo a metodologia proposta, procede-se à identificação dos subsistemas que compõem o produto, os quais posteriormente são representados na matriz DSM.

Os subsistemas são identificados a partir da informação apresentada na seção anterior. O preenchimento da matriz requer um amplo conhecimento do funcionamento do produto, para assim identificar as forças de cada interligação dos subsistemas do produto estudado.

A Figura 45 mostra o resultado do preenchimento da matriz DSM, tendo em conta os sistemas que compõem o Retinógrafo ADS:

		A	B	C	D	E	F	G	H
Medico	A		0 0	2 0	0 0	5 0	5 0	3 0	1 0
			0 0	5 0	5 0	5 0	0 0	4 0	2 0
Sistema de armazenamento da imagem	B	0 0		1 3	2 3	0 0	0 0	0 0	0 0
		0 0		5 0	5 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Sistema de captação em tempo real da imagem	C	4	2 2		5 4	5 5	3 3	4 0	2 1
		5	5 0		5 0	2 0	2 0	3 0	2 0
Sistema computacional de processamento de imagens e controle	D	0 0	2 2	5 5		2 0	3 0	3 2	0 0
		5 0	5 0	5 0		2 0	5 0	5 0	0 0
Sistema óptico de captação	E	5 0	0 0	5 5	2 0		5 5	0 0	5 5
		5 0	0 0	2 0	2 0		0 0	0 0	0 0
Sistema óptico de iluminação	F	5 0	0 0	3 3	2 0	5 5		0 0	0 5
		4 0	0 0	2 0	5 0	0 0		0 0	0 0
Captação óptica da imagem auxiliar	G	4 0	0 0	4 0	3 2	0 0	0 0		0 5
		5 0	0 0	4 0	5 0	0 0	0 0		0 0

Paciente	H	4	2	0	0	2	2	0	0	5	5	0	5	0	5	
		5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Legenda

Espacial Informação	S	E	Energia Material
	I	M	

Figura 45: Matriz para o cálculo da complexidade das interligações do Retinógrafo ADS.

O cálculo da complexidade das interligações consiste em somar todos os pesos de todas as interligações entre os sistemas. O número total de interações avaliadas na Figura 45 é de 224, o maior número que se pode obter nesta análise é de 224×5 correspondente a 1120 pontos de complexidade máxima esperada nas interconexões dos subsistemas do Retinógrafo ADS. Somando todos os valores da matriz apresentada na Figura 45, a complexidade das interconexões no caso do Retinógrafo ADS é de 324.

Após de calcular a complexidade das interligações, dá-se sequência ao preenchimento da Tabela 8, para calcular a complexidade total do produto segundo os indicadores utilizados nesta dissertação. A Tabela 14 mostra os valores obtidos para calcular a complexidade do Retinógrafo ADS.

Tabela 14: Complexidade do Retinógrafo ADS

COMPLEXIDADE DO RETINÓGRAFO ADS			
Indicador	Avaliação	Limite máximo	Complexidade
1. Número de Funções do produto	1	1	100
2. Número de bases de conhecimentos envolvidas no design do produto	4	4	100
3. Quantidade de componentes	2474	2.474,00	100
4. O grau de variedade dos componentes	927	927	100
5. O grau de personalização do sistema final	475	475	100
6. O Grau de complexidade das interconexões entre subsistemas	324	374	86,63
Complexidade quantitativa Total			586,63

Elaboração própria.

Para o indicador “Número de funções do produto”, a função principal do Retinógrafo ADS é, permitir ao médico a visualização rápida e clara de fundo de olho, possibilitando um exame preciso da retina. Daqui esse indicador é avaliado com o valor de um.

No caso do indicador “Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto”, identificam-se as principais áreas envolvidas na fabricação, desenvolvimento e

funcionamento do Retinógrafo ADS. Estas áreas são: (a) eletrônica, (b) óptica, (c) mecânica e (d) computação.

Para o caso dos indicadores “Quantidade de componentes”, “O grau de variedade dos componentes”, e “O grau de personalização do sistema final”, somente é necessário contar os componentes do produto. Como pode-se observar na Tabela 14, a complexidade estática do Retinógrafo é 586,63.

5.1.2 Cálculo da complexidade do Laser Amarelo

Da mesma forma que no produto Retinógrafo ADS, inicialmente, o que faz-se para começar com o cálculo da complexidade para o laser é construir a matriz DSM, para calcular a complexidade das interconexões entre os subsistemas ou placas do laser. A matriz DMS obtida é apresentada na Figura 46.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Usuário	A		0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	2 0	0 0	0 0
			1 0	1 0	2 0	2 0	3 0	5 0	0 0	0 0
Placa 1 (Laser Duto)	B	0 0		1 1	1 3	1 1	1 3	1 3	1 3	1 3
		1 0		5 0	5 1	5 0	3 0	3 0	3 0	3 0
Placa 2 (Laser Power)	C	0 0	1 1		2 5	2 5	2 4	2 4	2 4	2 4
		1 0	5 0		0 0	3 0	1 0	1 0	1 0	1 0
Placa 3 (Laser Controle)	D	0 0	1 3	2 5		1 1	0 3	0 3	2 1	2 1
		2 0	5 1	0 0		5 0	3 0	4 0	4 0	4 0
Placa 4 (Micro EMP3201)	E	0 0	1 1	2 5	1 1		1 1	1 1	1 1	2 1
		2 0	5 0	3 0	5 0		1 0	1 0	1 0	4 0
Placa 5 (laser Iluminação)	F	0 0	1 3	2 4	0 3	0 3		1 1	1 1	1 1
		3 0	3 0	1 0	3 0	4 0		1 0	1 0	1 0
Placa 6(Fotocoagulador_Touch_V3)	G	2 0	1 3	2 4	0 3	0 3	1 1		1 1	1 1
		5 0	3 0	1 0	4 0	4 0	1 0		1 0	1 0
Placa 7 (Laser Saída Fibra)	H	0 0	1 3	2 4	2 1	2 1	1 1	1 1		1 1
		0 0	3 0	1 0	4 0	4 0	1 0	1 0		1 0
Placa 8 (Laser Fotodiodo)	I	0 0	1 3	2 4	2 1	2 1	1 1	1 1	1 1	
		0 0	3 0	1 0	4 0	4 0	1 0	1 0	1 0	

Legenda
Espacial

S	E
I	M

 Energia
Informação

S	E
I	M

 Material

Figura 46: Matriz DSM para o cálculo da complexidade das interligações do laser amarelo.

A soma de todos os quadros da matriz DSM (Figura 46) é igual a 374, indicando o valor numérico da complexidade das interligações ou interconexões no produto Laser Amarelo.

Como pode-se observar na Tabela 15, a complexidade calculada do laser Amarelo mediante a metodologia proposta, foi de 436,39.

Tabela 15: Complexidade do produto laser amarelo

COMPLEXIDADE DO LASER AMARELA			
Indicador	Avaliação	Limite máximo	Complexidade
1. Número de Funções do produto	1	1	100
2. Número de bases de conhecimentos envolvidas no design do produto	4	4	100
3. Quantidade de componentes	1515	2.474,00	61,23
4. O grau de variedade dos componentes	404	927	43,58
5. O grau de personalização do sistema final componentes	150	475	31,57
6. O Grau de complexidade das interconexões entre subsistemas	374	374	100
Complexidade quantitativa Total			436,39

Elaboração própria.

O indicador “Número de funções do produto”, tem valor de um no caso do laser amarelo porque este produto tem uma função principal que é proporcionar um raio laser que será captado pela retina de um paciente, onde faz uma pequena cauterização (queimadura).

No caso do indicador “Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto” foram identificadas as principais áreas envolvidas na fabricação, desenvolvimento e funcionamento do produto Laser ADS. Estas áreas são: (a) eletrônica, (b) óptica, (c) mecânica e(d) computação.

Para o caso dos indicadores “Quantidade de componentes”, “O grau de variedade dos componentes”, e “O grau de personalização do sistema final componentes”, só é necessário realizar a contagem dos componentes.

5.1.3 Cálculo da complexidade do produto Magis

Da mesma forma que para os produtos anteriores, primeiramente o que faz-se para o cálculo da complexidade para o Magis é construir a matriz DSM, para calcular a complexidade das interconexões entre os subsistemas do MAGIS. Sendo essa apresentada na Figura 47.

		A		B		C		D	
Medico	A			5	0	1	0	3	0
				5	0	0	0	5	0
Controle Remoto	B	5	0			4	0	1	0
		5	0			4	0	0	0
Placa de controle	C	0	0	4	0			3	0
		1	0	4	0			5	0

Display	D	3	0	1	0	3	0	
		5	0	0	0	5	0	

Legenda

Espacial	S	E	Energia
Informação	I	M	Material

Figura 47: Matriz DSM para o cálculo da complexidade das interligações do produto Magis

A complexidade devida às interligações presentes no design do Magis com ênfases na matriz DSM mostrada na Figura 47, foi de 72.

Para obter a complexidade do produto Magis utilizou-se a Tabela 16, a mesma que a Tabela 8, porém, preenchida com os valores correspondentes ao produto MAGIS. Como pode-se observar na Tabela 16, a complexidade calculada do produto MAGIS mediante a metodologia proposta, foi de 179,61.

Tabela 16: Complexidade do produto MAGIS.

COMPLEXIDADE DO MAGIS			
Indicador	Avaliação	Limite máximo	Complexidade
1. Número de Funções do produto	1	1	100
2. Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto	2	4	50
3. Quantidade de componentes	46	2474	1,85
4. O grau de variedade dos componentes	30	927	3,23
5. O grau de personalização do sistema final componentes	25	475	5,26
6. O Grau de complexidade das interconexões entre subsistemas	72	374	19,25
Complexidade quantitativa Total			179,61

Elaboração própria.

O indicador “Número de funções do produto” do Magis, é avaliado com um, porque o Magis tem uma função principal que é projetar em uma tela opto-tipos para analisar a acuidade visual de uma pessoa.

No caso do indicador “Número de bases de conhecimentos envolvidas no projeto do produto”, são identificadas as principais áreas relacionadas na fabricação, desenvolvimento e funcionamento do Magis. Estas áreas são: (a) eletrônica e (b) computação.

Para o caso dos indicadores “Quantidade de componentes”, “O grau de variedade dos componentes”, e “O grau de personalização do sistema final”, somente há que realizar a contagem dos componentes.

5.1.4 Cálculo da complexidade do produto MIV

A Figura 48 apresenta a matriz DSM usada para calcular a complexidade das interligações do produto MIV.

		A	B	C	D	E	F	G	H							
USUARIO	A	1	0	1	0	1	0	1	0	3	0	2	0			
		0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0			
EITMSS-ELPROXY (placa de proximidade do detector)	B	1	0		5	0	3	5	2	1	3	0	2	2	0	1
		0	0		5	0	0	0	4	0	2	0	4	0	4	0
EITMSS-ELCT (controle térmico do detector)	C	1	0	5	0		3	5	2	1	3	0	2	0	1	0
		0	0	5	0		0	0	4	0	5	0	4	2	4	0
EITMSS-ELAL (placa de alimentação)	D	1	0	3	5	3	5		3	5	3	5	3	5	3	5
		0	0	0	0	0	0		3	0	0	0	0	0	0	0
EITMSS-ELUC (placa de controle)	E	1	0	2	1	2	1	3	5		3	2	2	0	1	0
		0	0	5	0	5	0	3	0		5	0	4	0	4	0
EITMSS-ELVD (placa de processamento digital de vídeo)	F	1	0	3	0	3	1	3	5	3	2		2	1	1	0
		0	0	2	0	5	0	0	0	5	0		5	0	2	0
EITMSS-ELDISPLAY	G	3	0	2	2	2	0	3	5	2	0	2	1		1	1
		5	0	4	0	4	2	0	0	4	0	5	0		2	0
EITMSS-ELCR (controle remoto)	H	3	0	0	1	1	0	3	5	1	0	1	0	1	1	
		5	0	4	0	4	0	0	0	4	0	2	0	3	0	

LEGENDA

Espacial	S	E	Energia
Informação	I	M	Material

Figura 48: Matriz DSM para o cálculo da complexidade das interligações do produto MIV.

Segundo a soma dos quadros da matriz DSM apresentada na Figura 48, a complexidade das interligações do MIV é 345.

A Tabela 17 apresenta-se a complexidade estática do produto MIV.

Tabela 17: Complexidade do produto MIV.

COMPLEXIDADE DO RETINÓGRAFO ADS			
Indicador	Avaliação	Limite máximo	Complexidade
1. Número de Funções do produto	1	1	100
2. Número de bases de conhecimentos envolvidas no design do produto	4	4	100
3. Quantidade de componentes	2340	2474	94,58
4. O grau de variedade dos componentes	750	927	80,91
5. O grau de personalização do sistema final	400	475	84,21
6. O Grau de complexidade das interconexões entre subsistemas	345	74	92,25
Complexidade quantitativa Total			551,95

Elaboração própria.

Como pode-se observar na Tabela 17, a complexidade estática do produto MIV mediante a metodologia proposta, foi de 551,95.

5.2 Construção das Matrizes para construir os modelos

Da informação obtida ao longo do documento é construída a Tabela 18. Essa Tabela esta composta pelas variáveis: (a) complexidade, (b) tempos de desenvolvimento e (c) MLFCs dos produtos estudados. Ditas variáveis são necessárias para a construção dos modelos 1, 2 e 3. Esses modelos serão construídos a partir dos dados do Retinógrafo, do Laser Amarelo e do Magis. O produto MIV será usado para calcular o erro de cada modelo proposto.

Tabela 18: Dados para a construção dos modelos de estimativa de tempos em projetos NPD.

PRODUTO	COMPLEXIDADE	MLFCS (dias)	TD (dias)
RETINOGRAFO ADS	586,63	19,59	1580
LASER AMARELO	436,39	13,08	814
MAGIS	179,61	10,2	245

Fonte: Dados fornecidos pela empresa.

Dos dados da Tabela 18, as matrizes para a elaboração do modelo 1, 2 e 3 são respectivamente apresentadas pelas equações 13, 14 e 15:

$$Matriz_M1 = \begin{bmatrix} \text{Produtos} & \text{Complexidade} & TD \\ \text{Retinografo ADS} & 586,63 & 1580 \\ \text{Laser Amarelo} & 436,39 & 814 \\ \text{Magis} & 179,61 & 245 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$Matriz_M2 = \begin{bmatrix} \text{Produtos} & MLFCs & TD \\ \text{Retinografo ADS} & 19,59 & 1580 \\ \text{Laser Amarelo} & 13,08 & 814 \\ \text{Magis} & 10,2 & 245 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$Matriz_M3 = \begin{bmatrix} \text{Produtos} & \text{Complexidade} & MLFCs & TD \\ \text{Retinografo ADS} & 586,63 & 19,59 & 1580 \\ \text{Laser Amarelo} & 436,39 & 13,08 & 814 \\ \text{Magis} & 179,61 & 10,2 & 245 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Uma vez obtidas as matrizes M1, M2 e M3 se procede a construir os modelos para estimar tempos.

5.3 Construção dos modelos para estimar tempos de desenvolvimento

Das matrizes M1, M2 e M3 pode-se representar o comportamento da variável TD com respeito a: (a) a complexidade (b) a MLFCs e (b) a complexidade e a MLFC.

(a) **Modelo 1:** Comportamento do TD com respeito à complexidade do produto

A Figura 49 apresenta no plano cartesiano o tempo de desenvolvimento com respeito da complexidade dos protótipos de cada produto.

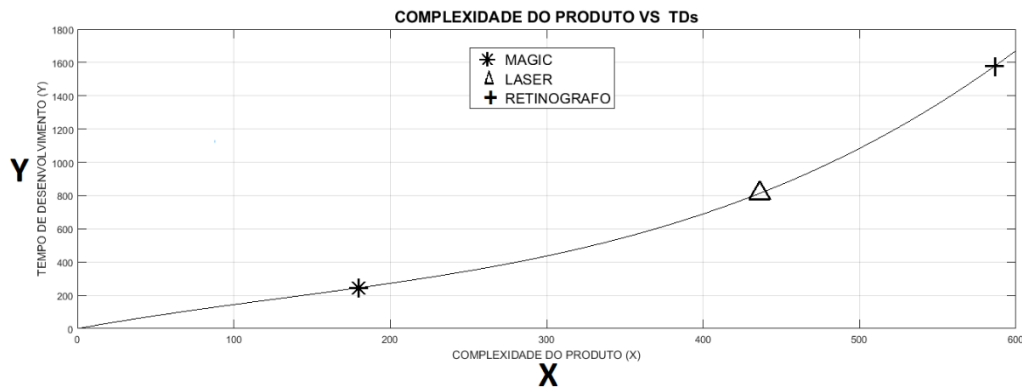


Figura 49: Comportamento do tempo de desenvolvimento dos produtos em relação à complexidade.

Em seguida faz-se a tarefa A3 definida na Figura 26 do capítulo 3, a qual consiste em calcular o modelo que representa o comportamento do tempo de desenvolvimento dos produtos em função da complexidade estática de cada um deles. A análise é feita utilizando a ferramenta MATLAB, considerando a complexidade como variável independente e o tempo de desenvolvimento como a variável dependente. A equação 16 apresenta o modelo 1 obtido mediante a aplicação de mínimos quadrados com os parâmetros de entrada e saída definidos.

$$Y = 8,7452 \times 10^{-6} * X^3 - 0,0034 * X^2 + 1,6989 * X - 8,57 \times 10^{-13} \quad (16)$$

Onde:

X = Complexidade do Produto

Y = Tempo de desenvolvimento do produto

O erro quadrático médio da equação 16 com respeito aos dados reais foi de 0 dias.

(b) **Modelo 2:** Comportamento do TD com respeito às MLFCs

A equação 17 apresenta o comportamento dos TDs ante mudanças na variável MLFCs. A equação 17 apresenta o modelo 2 obtido mediante a aplicação de mínimos quadrados com os parâmetros de entrada e saída definidos.

$$Y = -1,1117 * Z^3 - 39,1483 * Z^2 - 259,6336 * Z - 2,3553 \times 10^{-12} \quad (17)$$

Onde:

Z = Media dos Lead times de fabricação de componentes dos protótipos.

Y = Tempo de desenvolvimento do produto

A Figura 50 apresenta o comportamento dos TDs com respeito às MLFCs.

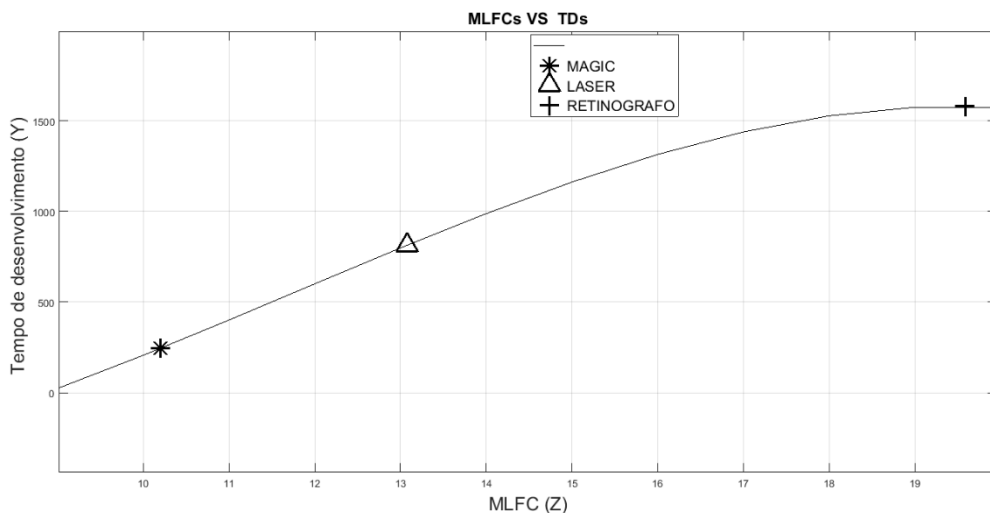


Figura 50: TDs com respeito das MLFCs.

O erro quadrático médio da saída do modelo 2 com respeito aos valores reais de tempo de desenvolvimento foi de 0 dias.

(c) **Modelo 3:** Comportamento do TD com respeito à complexidade do produto e à MLFC.

Fazendo uso do *Software MATLAB* é obtida a equação 18, onde apresenta-se a relação matemática entre a saída (tempo de desenvolvimento) e as entradas (complexidade e medias dos lead times de fabricação de protótipos). O método utilizado para chegar à equação 18 foi regressão múltipla. A Figura 51 apresenta graficamente o comportamento da equação 18.

$$Y = 0,3116 * X - 4,7622 * Z + 0.1297 * X * Z \quad (18)$$

Onde:

X = Complexidade do Produto.

Y = Tempo de desenvolvimento.

Z = Medias dos lead times de fabricação dos componentes do protótipo.

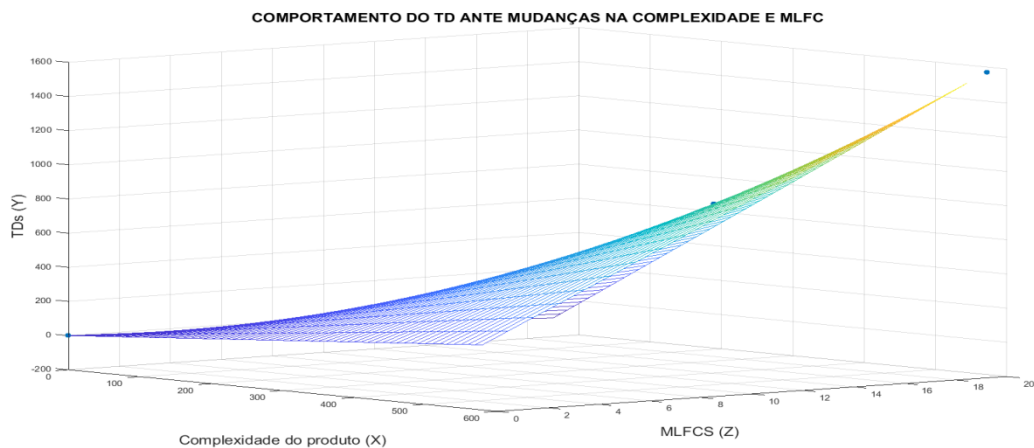


Figura 51: TDs ante mudanças na complexidade e na MLFC dos protótipos estudados.

O erro quadrático médio obtido da diferença dos resultados dos TDs calculados através da equação 18 e os TDs reais, é 0 dias.

Com as equações 16, 17 e 18 obtidas e sabendo que todos os produtos são fabricados pela mesma empresa com a mesma tecnologia de processo na fabricação desses. Estas equações poderão ser aplicadas na empresa para fazer uma estimativa do tempo que tardará para lançar um novo produto no mercado a partir da análise da sua complexidade, com base em sua: (a) arquitetura, (b) análise funcional (os quais são os itens alcançados em fases iniciais do desenvolvimento de produtos). Se uma empresa pode entregar o produto semanas antes dos concorrentes, esta terá então uma melhor chance de receber encomendas futuras (PEINADO, 2007). As equações apresentadas nessa seção poderiam ser aplicadas caso o tempo do processo NPD se comporte das formas mostradas nas Figuras 49, 50 e 51, mas autores como Meysam Mousavi *et al.* (2013) dizem que a estimativa de tempo em projetos NPD é frequentemente um problema complexo devido à sua não linearidade e à pequena quantidade de padrões de dados.

As equações 16 e 17 foram aproximadas através de um polinômio de ordem 3. Este foi utilizado pois apresentou o menor erro relacionado ao comportamento real das variáveis quando

comparado com outros polinômios de ordem 1, 2, 4 ou maior. Quando há um número maior de produtos é necessário avaliar o erro dos modelos anteriormente propostos e decidir se irá aumentar ou não o grau do polinômio (reajustar o modelo). Segundo a revisão bibliográfica, quando há um número de produtos maior e não se tem um polinômio que representem o comportamento do TD ante mudanças nas variáveis X e MLFCs (comportamento não lineal), é recomendável construir um modelo a partir do treinamento de RNAs supervisionadas.

No caso do modelo 3 foi construído através do uso de regressão multivariada, porque o modelo fornecido utilizando essa técnica matemáticas apresentou um bom comportamento (erro 0 dias).

5.4 Erro dos modelos 1, 2 e 3

O objetivo desta pesquisa é cumprido com a obtenção dos modelos para estimar tempos nos projetos NPD da empresa estudada. No que corresponde à análise do erro que é o passo a seguir depois de obter os modelos matemáticos. Os dados de complexidade (X) e de MLFCs do produto MIV são inseridos nos modelos 1, 2 e 3 como é apresentado na Figura 52. Nesta figura pode-se observar que o erro obtido utilizando o modelo 1 foi de 40,42 dias (3,03% do tempo de desenvolvimento do MIV) enquanto que o erro utilizando o modelo 2 foi de 122 dias (9,16 % do tempo de desenvolvimento do MIV), e o modelo 3 apresentou um erro de 13,95 dias (1,05 % do tempo de desenvolvimento do MIV). Tendo em conta o erro de cada modelo, pode-se concluir que ao usar as duas variáveis estudadas juntas na construção do modelo, a estimativa de tempos melhora (o modelo 3 apresentou maior exatidão do que os modelos 1 e 2).

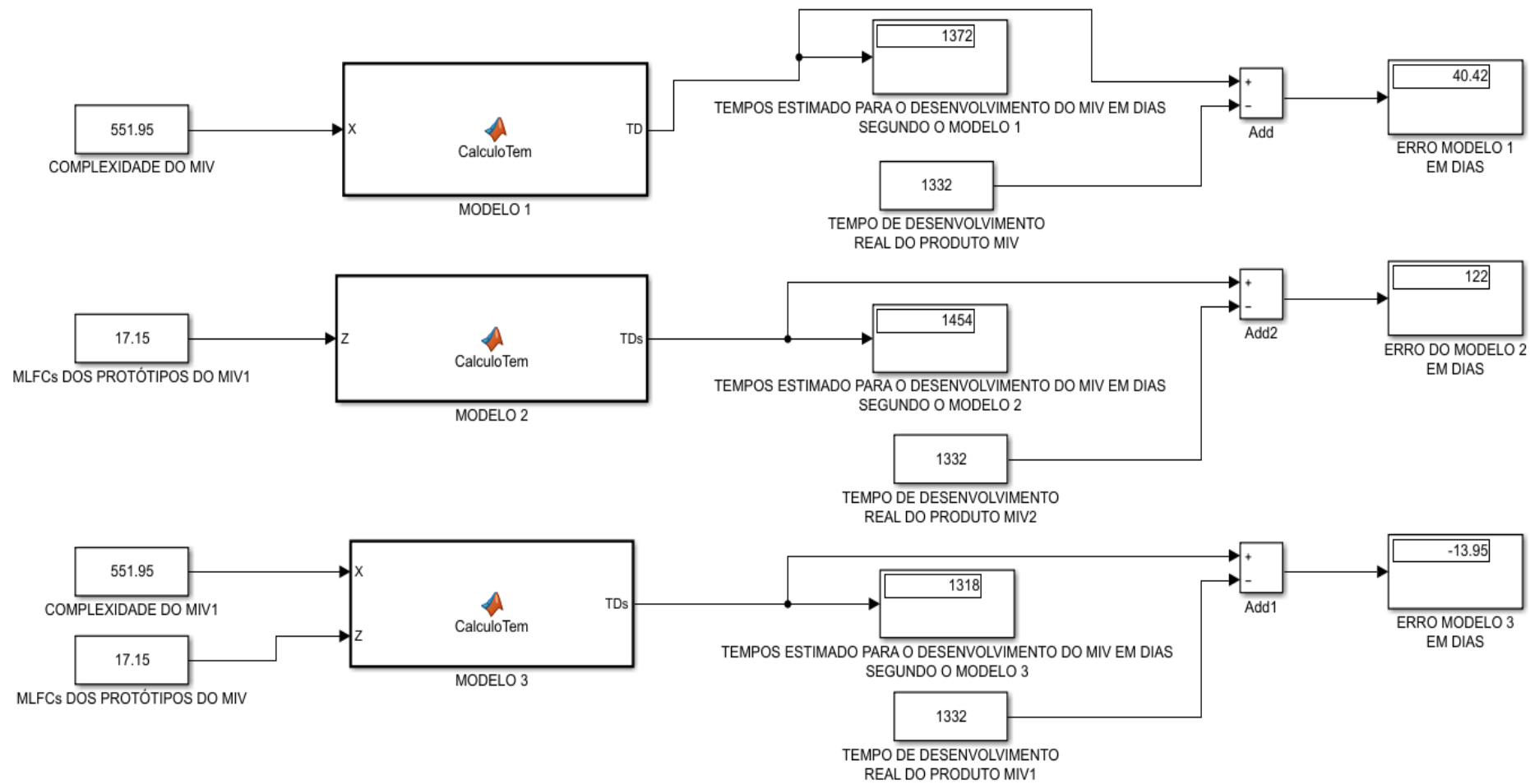


Figura 52: Erro dos modelos 1, 2 e 3 para estimar tempos de desenvolvimento em projetos NPD da empresa estudo de caso.

Nesta dissertação foram obtidos dois tipos de modelos (1, 2 e 3) para estimar o tempo de desenvolvimento em um projeto NPD. O primeiro: (a) que tem como entrada a complexidade estática do protótipo; o segundo (b) que tem como entrada a MLFCs dos protótipos e o terceiro (c) que tem presente como entrada a complexidade estática e a MLFCs dos protótipos. No primeiro só precisa da informação do design do produto, mas no segundo e o terceiro tem que ter alguma informação da MLFCs do protótipo. Portanto, só o primeiro modelo pode-se utilizar antes de iniciar a produção de qualquer protótipo do produto, por exemplo, apenas com a concepção do produto, conforme as fases apresentadas em (BARBALHO, 2006). Já o modelo 3 se trata de um refinamento que pode ser utilizado já na fase de projeto técnico em que já se tem um protótipo alfa do produto (BARBALHO, 2006).

Os modelos obtidos são propostos para que sejam validados pela empresa estudada nos novos processos de desenvolvimento de produtos que esta empresa concluirá. Estes modelos podem tornar-se uma vantagem competitiva da empresa estudada perante seus concorrentes, pois por intermédio destes modelos se faz o lançamento de produtos mais rapidamente, além de melhorar a estratégias de planejamento da empresa.

A principal justificativa de determinar a estimativa do tempo de desenvolvimento dos produtos, é devido a que por intermédio desta estimativa, o gerente da empresa poderá ter uma base para:

- Tomar a decisão de continuar com o desenvolvimento do produto, parar ou fazer um *feedback* e redesenhá-lo.
- Fazer um orçamento dos custos da mão de obra e da engenharia.
- Fazer o planejamento (No tempo) para a liberação e ocupação dos equipes e das oficinas da empresa.
- Fazer o planejamento (atividades) para lançar o produto, respeitando as informações coletadas da concorrência.

Desde outro ponto de vista, os modelos obtidos poderiam ajudar a um engenheiro ou líder do projeto da empresa, para fazer a estimativa do tempo que ele vai precisar para desenvolver o projeto NPD e assim, poder tomar a decisão sobre o compromisso de desenvolver ou não o dito projeto.

CAPITULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentados a análise dos objetivos assim como recomendações para trabalho futuros na área de estimar tempos nos processos de produção e desenvolvimento de produtos.

6.1 Análise dos objetivos

Neste trabalho foi apresentada a revisão das metodologias usadas para calcular a complexidade e estimar tempos de desenvolvimento de um produto. Essa revisão serve como base para pesquisadores que tenham interesses nos temas centrais desta pesquisa. No estudo da complexidade, este trabalho fornece informação dos indicadores, ferramentas e metodologias usadas na atualidade para medir a complexidade de um produto. Por outra parte no estudo da estimativa de tempos, esta dissertação fornece um resumo dos métodos usados para estimar tempos envolvidos na fabricação e no desenvolvimento de produtos.

Se propus uma metodologia, para estimar a complexidade estática de produtos tecnológicos focados na sua aplicação em produtos mecatrônicos. No desenvolvimento da elaboração desta metodologia foram levados em consideração os indicadores utilizados pelos autores citados na revisão bibliográfica da estimativa da complexidade. Essa metodologia pode ser usada para avaliar a complexidade de produtos que sejam constituídos por mais de um componente.

Foi proposta uma metodologia para estimar tempos de desenvolvimento em projetos NPD com respeito de informações da complexidade estática e das medias de lead times de fabricação de componentes, enquanto protótipos. Mediante essa metodologia foram construídos 3 modelos matemáticos que simulam o comportamento do tempo de desenvolvimento, frente as flutuações na complexidade estática e nas médias dos LFCs (protótipo) dos produtos no processo de desenvolvimento estudado. Os modelo propostos não pode ser considerados validados, mas permitem concluir que a complexidade tem mais impacto que os lead times de fabricação nos tempos de desenvolvimento de produtos.

As propostas metodológicas apresentadas nesse estudo para estimar tempos de desenvolvimento, podem ser aplicadas por qualquer empresa que tenha como objetivo estimar os tempos de desenvolvimento de novos produtos.

Na revisão bibliográfica referente à estimativa da complexidade de produtos, pode-se observar que vários autores consideram a complexidade do software como fonte de complexidade de produtos. Nos modelos propostos neste trabalho foram estudados os algoritmos de programação de cada produto para preencher a matriz DSM (troca de informações entre os subsistemas) e avaliar a complexidade das interligações. Considerando assim a complexidade de software como um indicador influente na complexidade de um produto e por tanto nos modelos 1 e 3 aqui expostos.

Os modelo 1 e 2 propostos aqui, foram aproximadas através de um polinômio de ordem 3. Este foi utilizado pois apresentou o menor erro relacionado ao comportamento real das variáveis quando comparado com outros polinômios de ordem 1, 2, 4 ou maior. Quando há um número maior de produtos é necessário avaliar o erro dos modelos anteriormente propostos e decidir se irá aumentar ou não o grau do polinômio (reajustar o modelo). Segundo a revisão bibliográfica, quando há um número de produtos maior e não se tem um polinômio que representem o comportamento do TD ante mudanças nas variáveis X e MLFCs (comportamento não lineal), é recomendável construir um modelo a partir do treinamento de RNAs supervisionadas.

As médias dos tempos de fabricação dos componentes referentes à fabricação de todos os protótipos de um produto em desenvolvimento foi considerada como um valor único. A média não depende do número de protótipos nem da ordem desse protótipo (protótipo 1, protótipo 2 ou protótipo n) para desconsiderar mudanças provocadas pelo aumento ou diminuição dos tempos de fabricação dos componentes de um protótipo anterior a um posterior.

Na estimativa de tempos é de muita importância analisar o impacto de aquisições / compras sobre os tempos de desenvolvimentos de produtos (ANLI, 2007). A empresa estudo de caso neste trabalho é brasileira, de fato seria de grande valor focar uma nova pesquisa de estimativa de tempos considerando as problemáticas sociais e políticas diante a problemas com legislação, incertezas no desembarço, dependência tecnológica relacionada a insumos de alta tecnologia. Considerando assim, propor um modelo de estimativa de tempos que tenha em conta como entradas: (a) a complexidade das forças do mercado (BRAUN, 2008), (b) a complexidade devida ao ambiente social (BRAUN, 2008), (c) a complexidade estática do produto e (d) Tempos de fabricação.

O processo metodológico para obter o modelo 1 pode ser utilizado para estimar o tempo de desenvolvimento de inovações radicais, enquanto o processo para chegar aos modelo 2 e 3 poderiam ser considerando para estimar o tempo de desenvolvimento de inovações

incrementais onde já existe uma primeira versão do produto (trocando aqui a média de fabricação de componentes dos protótipos anteriores pela média de fabricação de componentes dos produtos anteriores).

Esta pesquisa apresentou uma abordagem única, já que não foram encontrados trabalhos que usam a complexidade e os LFCs dos protótipos para estimar tempos de conclusão de projetos NPD. O foco deste trabalho foi fornecer modelos para a empresa estudada. Esses modelos permitem que através da estrutura de produto e também por meio da base de dados de fabricação dos primeiros protótipos a empresa possa estimar o tempo em que este produto vai terminar o processo de desenvolvimento.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Propor e validar dois modelos para fazer a estimativa de TDs em um processo de produção de produtos mecatrônicos através do treinamento de redes neurais artificiais. Os modelos seguiram o foco dessa dissertação propondo treinar RNAs partindo das entradas complexidade e MLFCs dos protótipos

Esta sugestão é devida a:

- Segundo Susanto (2012) a literatura aponta que a identificação do comportamento dos sistemas de produção para estimar tempos através de redes neurais é um método rápido, fácil de usar e preciso para calcular o lead time padrão.
- De acordo com os trabalhos citados na seção 2.2 (onde a maioria destes usam redes neurais), pode-se dizer que a precisão da predição deste método para estimar tempos comparados aos métodos convencionais de medição de trabalho e regressão, é maior.
- Segundo Mourtzis *et al.* (2014), atualmente os métodos mais robustos para a estimativa de *lead times* são os métodos de inteligência artificial e as RNA são um método de IA.
- Meysam Mousavi *et al.* (2013) que diz que a estimativa de tempo em projetos NPD é frequentemente um problema complexo devido à sua não linearidade e à pequena quantidade de padrões de dados.
- A solução de problemas não-lineares é um dos pontos fortes das RNAs.

Porém o esquema básico das redes neurais propostas aqui, poderia ser o apresentado na Figura 53.

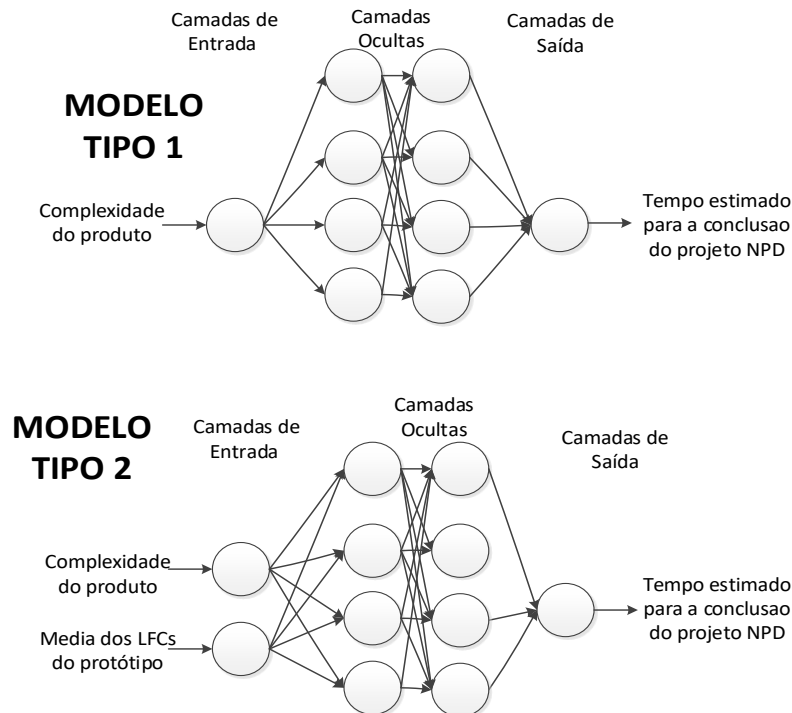


Figura 53: Estrutura básica das redes neurais treinadas baseada em (SUSANTO *et al.*, 2012).

– Propor e validar um modelo para fazer a estimativa de LFCs em um processo de produção de produtos mecatrônicos através da utilização de técnicas de inteligência artificial (RNAs, Algoritmos genéticos ou logica difusa).

– Treinar uma Rede Neural ou Neuro-Difusa para estimar os *lead times* de fabricação de componentes, segundo informações das características das peças como: (a) a geometria, (b) o material de fabricação entre outros.

– Construir um modelo de estimativa de tempos de desenvolvimento que tenha entre as entradas o Tempo de Suprimento nos componentes presentes no desenvolvimento de produtos. Considerando assim, um modelo de estimativa de tempos que tenha em conta como entradas: (a) a complexidade das forças do mercado (BRAUN, 2008), (b) a complexidade devida ao ambiente social (BRAUN, 2008), (c) a complexidade estática do produto e (d) Tempos de fabricação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AHMADINEJAD, A.; AFSHAR, A. Complexity management in mechatronic product development based on structural criteria. **Mechatronics (ICM), 2011 IEEE ...**, p. 7–12, 2011.

ALENEZI, A.; MOSES, S. A.; TRAFALIS, T. B. Real-time prediction of order flowtimes using support vector regression. **Computers and Operations Research**, v. 35, n. 11, p. 3489–3503, 2008.

AMMAR, O. BEN; GUILLAUME, R.; THIERRY, C. MRP parameter evaluation under fuzzy lead times. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 1110–1115, 2016.

ANLI, O. M.; CARAMANIS, M. C.; PASCHALIDIS, I. C. Tractable supply chain production planning, modeling nonlinear lead time and quality of service constraints. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 26, n. 2, p. 116–134, 2007.

BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2008. 601 p.

BARBALHO, S. Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos: proposta e aplicações. **USP, São Carlos**, p. 275, 2006.

BARBALHO, S. C. M. **Relatorio Tecnico Retinógrafo ADS**. CEP 13563-330 - São Carlos - SP – Brasil: p 80, 2005. Disponível em: <<http://www.opto.com.br>>.

BARBALHO, S. C. M. .; ROZENFELD, H. . Mechatronic reference model (MRM) for new product development: Validation and results [Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos (MRM): Validação e resultados de uso]. **Gestao e Producao**, v. 20, n. 1, p. 162–179, 2013.

BEHROUZNI, A. et al. Prediction of manufacturing lead time based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). **2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications**, p. 16–18, 2011.

BOLAÑOS, R. D. S.; BARBALHO, S. C. M. Analisis de la literatura sobre la complejidad de productos mecatrônicos e impacto en factores críticos de suceso en proyectos de desarrollo de productos. **Congreso Iberoamericano de Ingenieria de Proyectos CIIP2016**, p. 10, 2016.

BRAUN, S. C.; LINDEMANN, U. The influence of structural complexity on product costs. **2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2008**, p. 273–277, 2008.

CHAMI, M.; BRUEL, J. M. Towards an integrated conceptual design evaluation of mechatronic systems: The SysDICE approach. **Procedia Computer Science**, v. 51, n. 1, p. 650–659, 2015.

CHAPMAN, R.; HYLAND, P. Complexity and learning behaviors in product innovation. **Technovation**, v. 24, n. 7, p. 553–561, 2004.

CHEN, C.-H.; LING, S. F.; CHEN, W. Project scheduling for collaborative product development using DSM. **International Journal of Project Management**, v. 21, p. 291–299, 2003.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product Development Performance: strategy, organization and management in the world auto industry**. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1991. CLIFT, T. B.; VANDENBOSCH, M. B. Project Complexity and Efforts to Reduce Product Development Cycle Time. **Journal of Business Research**, v. 45, n. 2, p. 187–198, 1999.

COOPER, R. G. **WINNING AT NEW PRODUCTS : Accelerating the Process from Idea To Launch**. Third ed. Cambridge: Perseus Publishing, 2001.

COUTURIER, P. et al. Tracking the consequences of design decisions in mechatronic Systems Engineering. **Mechatronics**, v. 24, n. 7, p. 763–774, 2014.

DANILOVIC, M.; BROWNING, T. R. Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. **International Journal of Project Management**, v. 25, n. 3, p. 300–314, 2007.

DIAGNE, S.; COULIBALY, A.; BEUVRON, F. D. B. DE. Complex product modeling based on a Multi-solution eXtended Conceptual Design Semantic Matrix for behavioral performance assessment. **Computers in Industry**, v. 75, p. 101–115, 2016.

EIMARAGHY, W. H.; URBANIC, R. J. Assessment of Manufacturing Operational Complexity. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 53, n. 1, p. 401–406, 2004.

ELMARAGHY, W. et al. Complexity in engineering design and manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, n. 2, p. 793–814, 2012.

EPPINGER, S. D.; SALMINEN, V. 1 Introduction 2 Methodology. **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN**, v. ICED 01 GL, n. 2, p. 21–23, 2001.

FASANGHARI, M.; IRANMANESH, S. H.; KARAM, M. A. Proposing an advanced computational method for completion time estimation of the New Product Development (NPD) projects. **2012 11th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA)**, n. 7 82, p. 961–967, 2012.

FERREIRA, F. et al. International Journal of Information Management Product lifecycle management in knowledge intensive collaborative environments : An application to automotive industry. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 1, p. 1474–1487, 2017.

FOTSO, A. B.; WASGINT, R.; RETTBERG, A. State of the art for mechatronic design concepts. **Proceedings of 2012 8th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications, MESA 2012**, p. 232–240, 2012.

GAUSEMEIER, J. et al. Integrative development of product and production system for mechatronic products. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 27, n. 4, p. 772–778, 2011.

GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 122, n. 2, p. 741–754, 2009.

GRESCHKE, P. et al. Matrix structures for high volumes and flexibility in production systems. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 160–165, 2014.

HEHENBERGER, P. et al. Hierarchical design models in the mechatronic product development process of synchronous machines. **Mechatronics**, v. 20, n. 8, p. 864–875, 2010.

HEHENBERGER, P. Perspectives on hierarchical modeling in mechatronic design. **Advanced Engineering Informatics**, v. 28, n. 3, p. 188–197, 2014.

HOBDAY, M. Product complexity innovation and industrial organisation. **Research Policy**, v. 26, n. 6, p. 689–710, 1998.

HOFMANN, D.; KOPP, M.; BERTSCHE, B. Development in Mechatronics — Enhancing reliability by means of a sustainable use of information. **2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics**, p. 1263–1268, 2010.

IOANNOU, G.; DIMITRIOU, S. Lead time estimation in MRP/ERP for make-to-order manufacturing systems. **International Journal of Production Economics**, v. 139, n. 2, p. 551–563, 2012.

JÓNSDÓTTIR, S.; VESTERAGER, J.; BØRRESEN, T. Development of a product model for specifying new lines of seafood products. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 16, n. 6, p. 465–473, 2000.

KRISHNAN, V.; ULRICH, K. T. Product Development Decisions: A Review of the Literature. **Management Science**, v. 47, n. 1, p. 1–21, 2001.

MATAYOSHI, D. K. **RelatorioTecnico do Produto Magis**. São Carlos SP Brasil: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.opto.com.br>>.

MCCARTHY, I. P. et al. New product development as a complex adaptive system of decisions. **Journal of Product Innovation Management**, v. 23, n. 5, p. 437–456, 2006.

MEDINA, L. A. et al. Developing Design Complexity Metrics for Medical Device Development. p. 2562–2571, 2013.

MEYSAM MOUSAVI, S. et al. A new support vector model-based imperialist competitive algorithm for time estimation in new product development projects. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 1, p. 157–168, 2013.

MOULIANITIS, V. C.; ASPRAGATHOS, N. A.; DENTSORAS, A. J. A model for concept evaluation in design - An application to mechatronics design of robot grippers. **Mechatronics**, v. 14, n. 6, p. 599–622, 2004.

MOURTZIS, D. et al. Knowledge-Based estimation of manufacturing lead time for complex engineered-To-Order products. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 499–504, 2014a.

MOURTZIS, D. et al. Knowledge-Based estimation of manufacturing lead time for complex engineered-To-Order products. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 499–504, 2014b.

OH, Y.; BEHDAD, S. Simultaneous reassembly and procurement planning in assemble-to-order remanufacturing systems. **International Journal of Production Economics**, v. 184, n. September 2016, p. 168–178, 2017.

ÖZTÜRK, A.; KAYALIGIL, S.; ÖZDEMIREL, N. E. Manufacturing lead time estimation using data mining. **European Journal of Operational Research**, v. 173, n. 2, p. 683–700, 2006.

PAHL, G. et al. Projeto na Engenharia: **Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 412 p.

PARK, K.; OKUDAN KREMER, G. E. Assessment of static complexity in design and manufacturing of a product family and its impact on manufacturing performance. **International Journal of Production Economics**, v. 169, p. 215–232, 2015.

PEINADO, J.; GRAEMI, A. R. Administração da produção: operações industriais e de serviços. **UnicenP**, p. 748, 2007.

PFEIFFER, A. et al. Manufacturing Lead Time Estimation with the Combination of Simulation and Statistical Learning Methods. **Procedia CIRP**, v. 41, p. 75–80, 2016.

PUGH S. **Total Design, Integrated Methods for Successful Product Engineering**. Michigan University. Addison-Wesley Publishing Company, 1991. 278 p.

REBORDA, M.; FERNÁNDEZ-DELGADO, M.; BARRO, S. Time estimation in injection molding production for automotive industry based on SVR and RBF. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 5602 LNCS, n. PART 2, p. 509–518, 2009.

ROSSI, G. **Relatorio Técnico Foto Laser Amarelo**. São Carlos SP Brasil: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.opto.com.br>>.

ROZENFELD, H. et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos. São Paulo/SP: Editora Saraiva, 2006.

SCHLICK, C. M. et al. A complexity measure for new product development projects. **2007 IEEE International Engineering Management Conference**, p. 143–150, 2007.

SCROLL, P.; FOR, D. in Design. p. 37–41, 2009.

SHARMAN, D. M.; YASSINE, A. A. Characterizing complex product architectures. **Systems Engineering**, v. 7, n. 1, p. 35–60, 2004.

SILVA, F. M. DA; FERNANDES, F. C. F. Proposta de um sistema de controle da produção para fabricantes de calçados que operam sob encomenda. **Gestão & Produção**, v. 15, n. 3, p. 523–538, 2008.

SONG, D. P.; HICKS, C.; EARL, C. F. **Planned Lead-Times Design in Stochastic Multistage Assembly Systems**. IFAC, 2005. v. 38

STANDISH, R. K. Concept and Definition of Complexity. **Intelligent Complex Adaptive Systems**, p. 105–124, 2008.

STEFANI, M. A. **PROJETO IR – DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS DESTINADOS À VISÃO TÉRMICA E NOTURNA**. São Carlos SP Brasil: pag. 54, 2009.

SUH, N. P. A Theory of Complexity, Periodicity and the Design Axioms. **Research in Engineering Design**, v. 11, n. 2, p. 116–132, 1999.

SUSANTO, S.; TANAYA, P. I.; SOEMBAGIJO, A. S. Formulating standard product lead time at a textile factory using artificial neural networks. **Proceeding of 2012 International Conference on Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering, URKE 2012**, p. 99–104, 2012.

TASTEKIN, S. Y.; ERTEN, Y. M.; BILGEN, S. Software product complexity estimation using grey measurement. **Proceedings - 39th Euromicro Conference Series on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2013**, p. 308–312, 2013.

TAVARES, P. D. M.; BARBALHO, S. C. M. **PROPOSTA DE MODELAGEM ATRAVÉS DE SISTEMAS DINÂMICOS PARA A FASE DO PROJETO TÉCNICO NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS MECATRÔNICOS: ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DESENVOLVEDORA DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS**. Master's dissertation. Mechanical engineering department. University of Brasília, 2016. 129 p.

ULRICH; EPPINGER. **Product Design and Development**. New York: Irwin, 2000.

VASIĆ, V. S.; LAZAREVIĆ, M. P. Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design. **FME Transactions**, v. 36, p. 103–108, 2008.

WENG, W.; FUJIMURA, S. Methods to estimate the lead time of an order in a flexible flowshop. **IEEE**, n. 978-1-4673-8075-1, p. 4, 2016.

WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. **Revolutionizing Product Development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality**. New York : The Free Press, 1992.

WILLNER, O.; GOSLING, J.; SCHÖNSLEBEN, P. Establishing a maturity model for design automation in sales-delivery processes of ETO products. **Computers in Industry**, v. 82, p. 57–68, 2016.

WOMER, K. et al. Learning and Bayesian updating in long cycle made-to-order (MTO) production. **Omega (United Kingdom)**, v. 69, p. 29–42, 2016.

XIAN, R. X. R.; LINGLING, M. L. M.; PING, L. P. L. Project Evaluation with Time, Cost, and Quality Considerations. **2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery**, v. 3, p. 1–4, 2009.

ZHANG, Z.; LUO, Q. A grey measurement of product complexity. **Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**, p. 2176–2180, 2007.

ZHENG, M. G.; CAI, S. JING. An intelligent system for calculating the scale of rational, enlarged production of an underground non-ferrous metal mine. **Journal of China University of Mining and Technology**, v. 18, n. 2, p. 214–219, 2008.