

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Emerson Alexandre
Pizzolito E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 20/07/04.

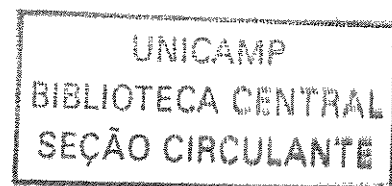

ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Enquadramento da Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos de Grandes Empresas

Autor: Emerson Alexandre Pizzolito R.A. 004676
Orientador: Franco Giuseppe Dedini

20/07/2004



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

Enquadramento da Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos de Grandes Empresas

Autor: Emerson Alexandre Pizzolito
Orientador: Franco Giuseppe Dedini

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2004
S.P. – Brasil

INIDADE	PL
1ª CHAMADA	T/Unicamp
	P689e
	EX
OMBO BC/	61520
ROC.	16-86-05
C	☐
D	☒
REÇO	11.00
ATA	03-2-09
2ª CPD	

31bid:340892

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P689e

Pizzolito, Emerson Alexandre

Enquadramento da prototipagem rápida na metodologia de projetos de grandes empresas / Emerson Alexandre Pizzolito. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Franco Giuseppe Dedini.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Produtos novos. 2. Inovações tecnológicas. 3. Processos de fabricação. 4. Produtividade industrial. 5. Empresas. I. Dedini, Franco Giuseppe. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Enquadramento da Prototipagem Rápida na
Metodologia de Projetos de Grandes Empresas**

Autor: Emerson Alexandre Pizzolito

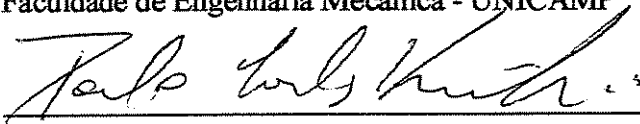
Orientador: Franco Giuseppe Dedini



Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini
Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP



Prof. Dr. Marco Lúcio Bittencourt
Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP



Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski
Escola Politécnica - USP

Campinas, 20 de Julho de 2004

Dedicatória:

Dedico este trabalho ao meu filho Luigi, que nos momentos difíceis sabe como me entusiasmar, com seu sorriso de criança.

11/07/2017

Agradecimentos:

A conclusão deste trabalho se tornou possível por meio da ajuda de diversas pessoas que compartilharam comigo seus conhecimentos e experiências. Para estes, presto minha singela homenagem:

Aos meus pais, Waldemar e Lourdes, cujo esforço e incentivo me deram a oportunidade de estudar, trabalhar e assim, me tornar uma pessoa melhor.

A minha irmã Silvana, que sempre compartilhou minhas derrotas e sucessos, incentivando e me corrigindo.

A minha esposa Giovana e meu filho Luigi que compreenderam a minha ausência em alguns momentos e souberam transformá-la em perseverança.

Ao meu orientador Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini, que abriu as portas desta grande oportunidade e que mostrou os caminhos a serem seguidos, sempre com conhecimento, simpatia e paciência.

A todos os professores, colegas e amigos da Faculdade de Engenharia Mecânica e da empresa Bosch und Siemens Continental, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho. A todos aqueles que acreditam no desenvolvimento da Ciência no Brasil.

*Aquilo que guia e arrasta o mundo não são as máquinas,
mas as idéias.*

Victor Hugo

Resumo

PIZZOLITO, Emerson Alexandre, *Enquadramento da Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos de Grandes Empresas*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 174p. Dissertação (Mestrado).

Este trabalho desenvolveu uma análise que permitiu avaliar as formas de utilização da tecnologia de Prototipagem Rápida (PR) na metodologia de projetos de grandes empresas. Para isto foi necessário estudar e conhecer diferentes metodologias de projetos, os conceitos que envolvem a Manufatura Orientada por Camadas (MOC) e os sistemas de PR disponíveis comercialmente e em estágio de pesquisa. Foi realizado um estudo analítico das formas de utilização da PR dentro de cada metodologia de projeto estudada e do impacto desta no ciclo de desenvolvimento de produtos para dar sustentação aos estudos de casos realizados em quatro grandes empresas de diferentes setores. O conhecimento gerado a partir das análises pôde ser confrontado com a experiência e prática dos profissionais que atuam com desenvolvimento de produtos em grandes empresas. Os resultados obtidos identificaram como a tecnologia de PR é utilizada na metodologia de projeto de grandes empresas e delimitou as maneiras e motivos de seu uso, posicionando de forma sistêmica, o momento em que a tecnologia de PR deve ser empregada ao longo do ciclo de desenvolvimento de produtos. Dos resultados deste trabalho concluiu-se como os projetistas ou equipes de projeto utilizam a PR, em quais fases do projeto são aplicados protótipos e quais as vantagens da utilização destes no ciclo de desenvolvimento de produtos.

Palavras Chave

Prototipagem Rápida, Metodologia de Projeto, Desenvolvimento de Produto.

Abstract

PIZZOLITO, Emerson Alexandre, *Rapid Prototyping in Project Methodology of World Class Companies*, Campinas,: School of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 2004. 174p. Dissertation (Master of Science).

This work developed an analysis that allowed to evaluate the forms of use of the Rapid Prototyping (RP) technology in the projects methodology of world class companies. For this purpose was necessary to study different projects methodologies, the concepts that involve Layer Manufacturing Technology and the available RP systems in the market and in research stage. An analytical study of the forms of RP use for each studied project methodology and the impact of this in the products development process was development through to give basement to the case studies in four companies of different sectors. The knowledge generated from the analyses was aligned with the practical experience of the professionals who work in products development process in world class companies. The results identified as the PR technology is used in the project methodology and delimited the ways and reasons of its use, locating of structured form, the moment where the RP technology must be used along of the product development process. The results of this work allow to conclude as the designers or project teams use the PR, in which phases of the project are applied prototypes and which the advantages of the use of these in the product development process.

Key Words

Rapid Prototyping, Projects Methodology , Product Development.

Índice

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	vii
Nomenclatura	viii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos do trabalho	3
1.2 Estrutura da dissertação	3
2 Revisão da Literatura	5
2.1 Prototipagem Rápida	6
2.2 Metodologias de projeto	15
2.2.1 A metodologia de projetos por Asimow (1968)	17
2.2.2 A metodologia de projetos por Pahl e Beitz (1988)	20
2.2.3 A metodologia de projetos por Blanchard e Fabrycky (1990)	22
2.2.4 A metodologia de projetos por Suh (1990)	24
2.2.5 A metodologia de projetos por Clark e Fujimoto (1991)	26
2.2.6 A metodologia de projetos por Womack, Jones e Roos (1992)	28
2.2.7 A metodologia de projetos pela VDI 2221 (1993)	30
2.2.8 A metodologia de projetos por Ertas e Jones (1993)	33
2.2.9 A metodologia de projetos por Clausing (1994)	35
2.2.10 A metodologia de projetos pela APQP (1995)	36

2.2.11 A metodologia de projetos por Pugh (1996)	39
2.2.12 A metodologia de projetos por Prasad (1996)	40
2.3 Comentários e conclusões	43
3 Descrição dos Processos de Prototipagem Rápida	45
3.1 Sistemas de Prototipagem Rápida	46
3.1.1 Selective Laser Sintering (SLS)	46
3.1.2 Gas Phase Deposition (GPD)	47
3.1.3 3D Ink-Jet Printing (3DP)	48
3.1.4 Spatial Forming (SF)	49
3.1.5 Laminated Object Manufacture (LOM)	50
3.1.6 Electrosetting (ES)	51
3.1.7 Fused Deposition Modelling (FDM)	51
3.1.8 Three Dimensional Welding (3DW)	52
3.1.9 Shape Deposition Manufacturing	52
3.1.10 Stereolithography Apparatus (SLA)	54
3.1.11 Liquid Thermal Polymerization (LTP)	55
3.1.12 Beam Interference Solidification (BIS)	55
3.1.13 Solid Ground Curing (SGC)	56
3.1.14 Holografic Inteference Solidification (HIS)	57
3.1.15 Ballistic Particle Manufacture (BPM)	57
3.2 Atributos dos sistemas de Prototipagem Rápida	59
3.3 Comentários e conclusões	61
4 Enquadramento da Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos	63
4.1 Formas de utilização de protótipos no Processo de Desenvolvimento de Produtos	64
4.2 Confronto entre as formas de utilização de protótipos e as metodologias de projeto estudadas	70
4.3 Impactos da tecnologia de Prototipagem Rápida no Processo de Desenvolvimento de Produtos	76
4.4 Comentários e conclusões	83
5 Estudos de Casos da Aplicação da Prototipagem Rápida	85

5.1 Pesquisa de contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de Engenharia	91
5.2 Caracterização do Processo de Desenvolvimento de Produto	96
5.3 Caracterização da tecnologia de Prototipagem Rápida	106
5.4 Caracterização da Prototipagem Rápida na metodologia de projetos e no Processo de Desenvolvimento de Produtos	112
5.5 Comentários e conclusões	126
6 Conclusões Finais e Sugestões para Futuros Trabalhos	129
Referências Bibliográficas	133
Anexo I	140
Anexo II	145
Anexo III	155
Apêndice A	168

Lista de Figuras

1.1 Contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de engenharia (PDMA, 1996)	2
2.1 Cronologia da Prototipagem Rápida (Beaman, 1997)	10
2.2 Classificação dos sistemas de Prototipagem Rápida (Campbell, Martorelli e Lee, 2002)	13
2.3 Processo de transformação de informações (Back, 1976)	15
2.4 Fluxograma de projeto da metodologia proposta por Asimow (1968)	18
2.5 A metodologia de projetos proposta por Pahl e Beitz (1988)	21
2.6 A metodologia de projetos proposta por Blanchard e Fabrycky (1990)	22
2.7 Mapeamento da atividade de projeto por Suh (1990)	24
2.8 Domínios propostos pelo projeto Axiomático Suh (1990)	25
2.9 Relação entre as quatro grandes áreas e os estágios de desenvolvimento. Adaptado de Clark e Fujimoto (1991)	27
2.10 A metodologia de projetos pela VDI 2221 (1993)	31
2.11 A metodologia de projetos proposta por Ertas e Jones (1993)	34
2.12 Morfologia da metodologia proposta por Clausen (1994)	35
2.13 A metodologia de projetos pelo APQP (1995)	39
2.14 A metodologia de projetos proposta por Pugh (1996)	40
2.15 A metodologia de projetos proposta por Prasad (1996)	41
3.1 Diagrama esquemático do sistema Sinterização Seletiva por Laser (SLS)	46
3.2 Diagrama esquemático do sistema Gas Phase Deposition (GPD)	47

3.3 Diagrama esquemático do sistema 3-D Ink-Jet Printing	48
3.4 Diagrama esquemático do sistema Laminated Object Manufacturing (LOM)	50
3.5 Diagrama esquemático do sistema Fused Deposition Modeling (FDM)	52
3.6 Diagrama esquemático do sistema Shape Deposition Manufacturing (SDM)	54
3.7 Diagrama esquemático do sistema Estereolitografia (SLA)	55
3.8 Diagrama esquemático do sistema Beam Interference Solidification (BIS)	56
3.9 Diagrama esquemático do sistema Solid Ground Curing (SGC)	57
3.10 Diagrama esquemático do sistema Ballistic Particle Manufacture (BPM)	58
4.1 Morfologia básica, fatores condicionantes e formas de utilização da PR no PDP	65
4.2 Distribuição das formas de utilização de protótipos ao longo do ciclo de desenvolvimento para abordagem tradicional	73
4.3 Distribuição das formas de utilização de protótipos ao longo do ciclo de desenvolvimento para abordagem simultânea	75
4.4 A Regra de Dez por Meerkamm e Wartzack (2000)	77
4.5 Fluxo de desenvolvimento de uma peça com e sem PR	79
4.6 Padrão de aprendizado com o uso freqüente de protótipos e com o uso limitado Barkan e Iansiti (1993)	81
4.7 Classificação dos impactos da PR no PDP	82
5.1 Contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de engenharia	91
5.2 Funcionários envolvidos, projetos em desenvolvimento, uso da PR e investimento anual no PDP	97
5.3 Tendência de uso da PR entre projetos desenvolvidos e projetos em desenvolvimento	100
5.4 Abordagens tradicional e simultânea no PDP	102
5.5 Tempo de uso e projetos desenvolvidos com o auxílio da PR	107
5.6 Percentual dos projetos desenvolvidos com o auxílio da PR em relação ao seu tamanho	108
5.7 Classificação dos parâmetros de qualidade para protótipos obtidos por sistemas de PR	110
5.8 Utilização da PR no desenvolvimento de peças obtidas por diferentes processos de fabricação	111
5.9 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Estudo de	

Viabilidade	114
5.10 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Projeto Preliminar	115
5.11 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Projeto Detalhado	116
5.12 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Revisão e Testes	118
5.13 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento da Produção	119
5.14 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento do Mercado	120
5.15 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento para Consumo e Manutenção	121
5.16 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento da Obsolescência	122
5.17 Classificação dos impactos da utilização de protótipos no PDP	124
5.18 Concentração das formas de utilização de protótipos nas fases do PDP	127

Lista de Tabelas

2.1 Comparação entre os métodos de projetar enxuto e tradicional	29
2.2 APQP: passos e requerimentos	37
3.1 Atributos dos sistemas de Prototipagem Rápida disponíveis no mercado	59
3.2 Atributos dos sistemas de Prototipagem Rápida em estágio de pesquisa e em desenvolvimento	61
4.1 Formas de utilização de protótipos nas metodologia de projeto	72
5.1 Resultados brutos da pesquisa	90
5.2 Resumo dos resultados da primeira parte dos estudos de casos para o grau de importância	92
5.3 Resumo dos resultados da primeira parte dos estudos de casos para o grau de utilização	94
5.4 Participação das áreas da empresa em projetos de grande, médio e pequeno porte	101
5.5 Participação de representantes de cada área da empresa em times de desenvolvimento para projetos de grande, médio e pequeno porte	103
5.6 Parâmetros de qualidade para protótipos obtidos por sistemas de PR	109
5.7 Impactos da utilização de protótipos no PDP	123

Nomenclatura

Abreviaturas

ABS – acrilonitrila – butadieno – estírol

APQP – do termo em inglês Advanced Product Quality Planning

BIS – do termo em inglês Beam Interference Solidification

BPM – do termo em inglês Ballistic Particle Manufacture

CA – vetores do Domínio do Consumidor

CAD – do termo em inglês Computer Aided Design

CAE – do termo em inglês Computer Aided Engineering

CAM – do termo em inglês Computer Aided Manufacturing

CAPP – do termo em inglês Computer Aided Process Planning

CNC – Controle Numérico Computadorizado

DFMA – do termo em inglês Design for Manufacturing and Assembly

DM – do termo em inglês Desktop Milling

DOE – do termo em inglês Design of Experiments

DP – vetores do Domínio Físico

Ei – empresas-alvo dos estudos de casos

ERP – do termo em inglês Enterprise Resource Planning

ES – do termo em inglês Elettrosetting

FDM – do termo em inglês Fused Deposition Modelling

Fi – formas de utilização de protótipos

FMEA – do termo em inglês Failure Mode and Effect Analysis

FR – vetores do Domínio Funcional

FTA – do termo em inglês Fault Tree Analysis

GPD – do termo em inglês Gas Phase Deposition

HIS – do termo em inglês Holographic interference Solidification

I – conteúdo de Informação

IMP_i – impactos da utilização de protótipos

IPD – roda do Desenvolvimento Integrado de Produtos

IRIS – do termo em inglês Intelligent Rapid Prototyping System Selector

LOM – do termo em inglês Laminated Object Manufacture

LTP – do termo em inglês Liquid Thermal Polymerization

MOC – Manufatura Orientada por Camadas

PA – poliamida

PC – policarbonato

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

P_i – parâmetros de qualidade para protótipos

PMBOK – livro de planejamento de projetos publicado pelo PMI

PPO – roda da Organização do Produto e Processo

PR – Prototipagem Rápida

PV – vetores do Domínio do Processo

QFD – Quality Function Deployment

QS9000 – do termo em inglês Quality System 9000

RT – do termo em inglês Rapid Tooling

SALD – do termo em inglês Selective Area Laser Deposition

SALDVI – do termo em inglês Selective Area Laser Deposition Vapour Infiltration

SDM – do termo em inglês Shape Deposition Manufacturing

SF – do termo em inglês Spatial Forming

SGC – do termo em inglês Solid Ground Curing

SLA – do termo em inglês Stereolithography Apparatus

SLRS – do termo em inglês Selective Laser Reactive Sintering

SLS – do termo em inglês Selective Laser Sintering

TPQ – do termo em inglês Total Product Quality

2D – bidimensional

3D – tridimensional

3DP – do termo em inglês Three Dimensional Printing

3DW – do termo em inglês Three Dimensional Welding

Siglas

DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency

IOS – International Organization for Standardization

PDMA – Product Development and Management Association

PMI – Project Management Institute

SEBRAE – Serviço de Apoio as Micros e Pequenas Empresas

VDI – Verein Deutscher Ingenieure

Capítulo 1

Introdução

A história do homem nos ensina que o constante desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos e ferramentas, desde os tempos da caça, facilitam a produção humana e fazem parte da evolução da espécie. Este comportamento é atual aos moldes industriais, onde a necessidade de produzir mais bens ou serviços, produtos em forma geral, com menor esforço físico, menor desgaste intelectual e em menor tempo é uma característica presente e obrigatória em termos de manutenção dos fatores de competitividade de mercado.

Nas organizações industriais que desenvolvem produtos, a necessidade de um ciclo que permita obter produtos de maneira mais rápida, com menor custo e qualidade assegurada, promoveu a utilização de tecnologias que auxiliam na redução do tempo de desenvolvimento através de diferentes modos, atuando diretamente nas atividades de projeto ou em uma fase específica do ciclo.

A diminuição dos erros de desenvolvimento, a inserção de elementos que garantam robustez ao produto e o alinhamento dos atributos do produto com os requisitos dos clientes são modos diretos de otimizar e garantir o sucesso de um produto.

Dentro deste cenário, a tecnologia de Prototipagem Rápida oferece a possibilidade de construir modelos físicos que representam os componentes, conjuntos ou produtos a serem

desenvolvidos, permitindo à equipe de projeto tomar ações dirigidas nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento.

Uma pesquisa realizada entre os membros da Product Development and Management Association (PDMA) e apresentada por Rosenau (1996), cujo objetivo era identificar o grau de importância de algumas ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento de produto, apontou a Prototipagem Rápida como a ferramenta mais importante, a frente da Engenharia Simultânea, Projeto para a Manufatura, CAD, CAE, Análise de Valor, FMEA, Simulação de Performance e Realidade Virtual. Esta pesquisa levantou também o grau de utilização de cada tecnologia. A figura 1.1 mostra os resultados encontrados.

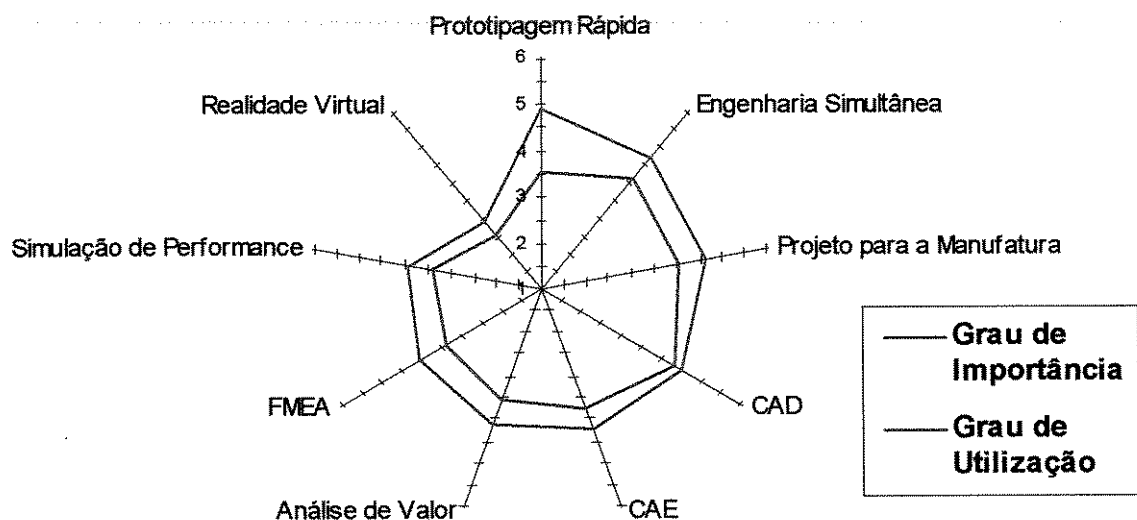


Figura 1.1 Contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de engenharia (Rosenau, 1996)

Percebe-se que a Prototipagem Rápida, apesar do alto grau de importância, não possui um grau de utilização do mesmo nível que os sistemas CAD e CAE, Engenharia Simultânea e Projeto para a Manufatura. Nesta mesma análise, o grau de utilização associado a Prototipagem Rápida não está ligado diretamente a metodologia de projeto adotada pela empresa, o que não permite afirmar se a tecnologia é usada em uma fase específica ou em todas as fases ao longo do ciclo de desenvolvimento, caracterizando uma falha ou abstinência na sistemática de projeto empregada em relação ao uso da Prototipagem Rápida. Diante destes resultados um conjunto de questões ainda permanecem sem repostas:

- como os projetistas ou equipes de projeto utilizam a Prototipagem Rápida?
- em quais fases do desenvolvimento são aplicados protótipos e por quê?
- quais as vantagens da utilização de protótipos obtidos por sistemas de Prototipagem Rápida?

As respostas destas perguntas podem indicar a existência de um novo comportamento dentro de uma determinada metodologia de projeto e direcionar os futuros desenvolvimentos de sistemas de Prototipagem Rápida às necessidades latentes, em nível executivo, de projetistas e equipes de projeto ou em um nível macro, das organizações industriais.

1.1 Objetivos do Trabalho

O objetivo deste trabalho é identificar como a tecnologia de Prototipagem Rápida é utilizada na metodologia de projeto de grandes empresas e delimitar as maneiras e motivos de utilização posicionando de forma sistêmica, o momento que esta deve ser utilizada ao longo do ciclo de desenvolvimento de produtos. Busca-se identificar também, os benefícios da adoção da tecnologia e as oportunidades de melhoria.

1.2 Estrutura da Dissertação

O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura dividida em dois temas complementares. O primeiro descreve a tecnologia de Prototipagem Rápida a partir de sua origem, destacando as principais aplicações e evoluções. O segundo tema descreve as metodologias de projeto sugeridas por vários autores e busca ampliar a visão de projeto para as sistemáticas desenvolvidas sob diferentes abordagens. A interação dos dois temas discutidos neste capítulo formam a base para o desenvolvimento dos capítulos seguintes.

O Capítulo 3 apresenta os conceitos de funcionamento e as particularidades de vários sistemas de Prototipagem Rápida disponíveis comercialmente, ou ainda em estágios de pesquisa e desenvolvimento. Desta forma, este capítulo complementa as informações apresentadas e discutidas no capítulo anterior com um conteúdo mais específico e detalhado.

O Capítulo 4 apresenta a interação entre a Prototipagem Rápida e as metodologias de projeto citadas, destacando os principais modos de utilização e em quais estágios de cada metodologia podem ser empregadas. São mostradas as vantagens e discutidas as principais mudanças no ciclo de desenvolvimento. Neste capítulo, também, é preparado o embasamento teórico para a aplicação do estudo de caso.

No Capítulo 5 são desenvolvidos quatro estudos de casos em grandes empresas de diferentes setores de atuação – automobilístico, eletrodoméstico, eletrônico e metal-mecânico – onde são identificados o “como” e os “porquês” da adoção da Prototipagem Rápida na metodologia de projeto. São descobertos os pontos essenciais e característicos de cada caso e são posicionados os resultados de forma a interagir com o referencial teórico adotado.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões e reforça os principais resultados encontrados nesta investigação. Sugere também, temas e propostas para novos trabalhos que surgem a partir deste.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Antes do advento da Prototipagem Rápida, os protótipos eram construídos por habilidosos profissionais que, manualmente, esculpiam as peças de engenharia através de ferramentas tradicionais de trabalho. O baixo grau de mecanização da atividade e a alta dependência da habilidade do profissional refletia em prazos longos para finalização de um trabalho e dificultava uma previsão estimada do tempo necessário de execução da tarefa, prejudicando o planejamento do projeto. Tempo, previsão e custo aumentavam em protótipos complexos e com alto grau de representatividade. Havia também, restrições de materiais para a construção do protótipo. Kai, Fai e Chu-Sing (2003) classificam esta como a primeira fase da prototipagem, ocorrida até meados da década de 70. As características marcantes da primeira fase da prototipagem são a utilização de desenhos manuais 2D e a prototipagem manual.

A segunda fase da prototipagem, a partir da década de 70, ocorreu devido ao aumento da utilização de computadores na indústria e consequentemente o maior emprego de programas computacionais como CAD, CAM, CAE e CNC. Estas práticas transformaram as atividades de projeto, aumentando a complexidade das peças através da precisão da representação das superfícies, tamanho, formas e contornos. Em termos de protótipos, permitiu-se a simulação e testes de protótipos virtuais e a utilização de máquinas com controles computacionais para a construção de protótipos físicos. Porém, as limitações das máquinas para construção de

superfícies cada vez mais complexas não permitam toda a gama de necessidades de protótipos e fatores como tempo e custo embora tivessem diminuído, ainda eram altos.

As características marcantes desta fase são a utilização de modelos 3D por modelamento de superfície, a prototipagem virtual e a obtenção de protótipos por máquinas convencionais (remoção de material).

No final da década de 80, começou-se a produzir protótipos por métodos de adição de material através de tecnologias como a Manufatura Orientada por Camada e a Fabricação de Formas Livres. Estas tecnologias foram transferidas para a prototipagem surgindo a técnica que atualmente é chamada de Prototipagem Rápida, a terceira fase da prototipagem. As características marcantes desta fase são a utilização de modelos 3D por modelamento sólido e a construção de protótipos físicos por métodos de adição de material. O próximo tópico apresenta com maiores detalhes a evolução da Prototipagem Rápida e seus sistemas.

2.1 A Prototipagem Rápida

Os processos de Prototipagem Rápida (PR) são caracterizados por utilizar um método de fabricação que discretiza por camadas um modelo virtual 3D gerado em sistemas CAD. Essas camadas descrevem uma informação geométrica correspondente a fatias perpendiculares a um determinado eixo do modelo virtual 3D, que são para as máquinas de prototipagem a informação da tarefa a ser executada. A formação de cada camada é propiciada pela aplicação de energia pontual (ou próxima a pontual) sobre uma matéria prima adequada ao método de prototipagem e ao varrimento da superfície do material não processado. O material processado sofre uma alteração de seu estado formando uma camada sólida. Os processamentos subsequentes sobrepõem a esta camada novas camadas, que ao término do processo formarão o modelo físico ou protótipo. Este método recebe o nome de Manufatura Orientada por Camadas (MOC).

Os passos mais comuns para fabricação de um protótipo são a geração de um modelo em um sistema CAD 3D (i), a transformação deste modelo em um modelo intermediário descrito por uma estrutura de pequenos triângulos conhecidos como arquivos com extensão *.STL (ii), o processamento de corte em fatias no plano XY do modelo de estrutura triangular (iii) e a

fabricação destas camadas sobrepostas sucessivamente (iv). As etapas (i) e (ii) são realizadas no sistema CAD 3D e as etapas (iii) e (iv) na máquina de prototipagem.

As primeiras máquinas e sistemas de PR surgiram na década de 80. Deckard e Beamam (1987) apresentam o desenvolvimento de um sistema experimental de prototipagem rápida baseado na cura de um líquido polimérico através da aplicação de raios laser. Este processo foi chamado de Sinterização Seletiva por Laser do termo em inglês *Selective Laser Sintering* (SLS). Atualmente é um dos sistemas mais utilizados para obtenção de protótipos e insertos metálicos para moldes de injeção plástica.

Outro sistema que surgiu na década de 80 foi a Estereolitografia do termo em inglês *Stereolithography Apparatus* (SLA). Hull (1988), descreve o início da comercialização da tecnologia através da empresa 3D Systems Inc., sendo o primeiro sistema de PR disponível no mercado. O próprio Hull é o detentor da patente registrada em 1986.

A prévia introdução no mercado permitiu a expansão e aprimoramento da tecnologia, transformando-a no sistema mais empregado e com maior número de trabalhos científicos publicados.

Com a utilização comercial da prototipagem através da tecnologia da Estereolitografia, o foco da PR se tornou maior, atingindo significativamente os Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP) de empresas dos mais variados segmentos e portes. Baseado nesta aplicação, Jacobs (1992) afirma que não existe maneira melhor de se certificar que uma peça possui todas as características desejadas do que segurá-la na mão, girá-la e olhá-la de vários ângulos e posições. Esta afirmação permite visualizar o fator de integração e familiarização que o protótipo pode trazer para o PDP, iniciando uma relação estreita entre sucesso de projeto e emprego da tecnologia de PR.

Identificando a relação de sucesso no emprego da técnica no PDP, Wall, Ulrich e Flowers (1992) relatam possibilidades de aplicação dos protótipos nas fases de desenvolvimento de produtos como marcos de projeto possibilitando estabelecer um cronograma de atividades.

O aumento do uso de protótipos é destacado por Kochan (1993) ao afirmar que com o surgimento da técnica de PR, a tarefa especializada e demorada de se construir um protótipo através de habilidosos prototipistas tornou-se mais fácil, gerando um considerável aumento no uso de protótipos. O fator tempo e facilidade de obtenção do protótipo é identificado nesta afirmação e como são fatores de projeto, passam a ser grandes aliados na viabilidade das tecnologias de PR aplicadas ao PDP.

Nesta abordagem, Barkan e Iansiti (1993) afirmam que a correta utilização de protótipos em projetos é essencial para o sucesso do produto pois, é possível integrar a equipe e realizar testes com o produto previamente, corrigindo antecipadamente erros de projeto. A identificação de mais um fator de projeto é estabelecida com esta afirmação: a qualidade do produto.

O fator custo na aplicação do protótipo é enfatizado por Kai (1994) que descreve um estudo sobre os custos envolvidos na fabricação do protótipo em comparação com o processo convencional de ferramentas (neste caso um molde de injeção plástica) para obtenção dos primeiros protótipos. Destaca também, a possibilidade de modificações na ferramenta final devido a tardia identificação de problemas de projeto, baseando a viabilidade da PR neste aspecto. As modificações de ferramentas em fases finais de projeto impactam em atrasos na produção do produto e aumentam o custo geral do projeto, além de comprometer a introdução do produto no mercado.

A comprovação do estreito relacionamento entre as tecnologias de PR e o PDP e dos benefícios da aplicação, trazem a atividade de obtenção de protótipos para dentro dos processos de desenvolvimento de produtos tornando-o atividade formal de verificação de projeto.

Consequentemente, ocorre a migração dos custos de PR para os custos de projeto. Geiger e Steger (1995) afirmam que a viabilidade em termos de custo e tempo da PR dependem da correta decisão de qual tecnologia utilizar e propõem um método de avaliação dos sistemas de PR utilizando a ferramenta de QFD. Métodos de classificação dos sistemas de PR de acordo com as necessidades específicas de projeto também são focos de estudo de Eyerer et al. (1995), Miller e Grote (1995) e Kochan (1995).

Devido ao crescimento do número de sistemas de PR disponíveis, estes autores baseiam seus trabalhos na tecnologia da MOC, visualizando possibilidades de aplicação da tecnologia na manufatura de peças em qualquer escala de produção. Porém, enfatizam que os padrões de qualidade das peças obtidas por MOC estão abaixo do requerido e do obtido nos sistemas convencionais de fabricação.

A extensão da tecnologia para outros tipos de aplicação aproximam a Academia e a Indústria através do acréscimo de importância da tecnologia. Nyaluke et al. (1995) descrevem experiências obtidas em estudos de casos onde ocorreram integração entre Academia/Indústria identificando que o lado industrial necessita e requer agilidade do lado acadêmico devido a competição acirrada de mercado e a necessidade de rápidos desenvolvimentos.

Um modo rápido de consolidar a integração entre Academia/Indústria foi criar métodos eficazes de classificar e identificar os sistemas de prototipagem em relação aos requisitos de projeto e intensificar as pesquisas no assunto. A otimização proposta por Nyaluke et al. (1996) apresenta um algoritmo que contém relações com todas as atividades de construção do protótipo a partir da geração do modelo 3D. As sequências de arranjo das etapas caminham para a racionalização destas sob condições controladas, diminuindo o tempo de construção e o custo final do protótipo.

Seguindo a mesma linha, Yan e Gu (1996) propõem um método de análise e classificação por comparação dos parâmetros técnicos como rugosidade, acuracidade dimensional, variedade do material e propriedades mecânicas entre os sistemas disponíveis.

Estudos com a abordagem apresentada por Nyaluke et al. (1996) e Yan e Gu (1996), contribuem para a melhoria do processo de obtenção do protótipo por diminuição dos erros envolvidos, aprimorando os processos existentes através da melhoria contínua.

Beaman (1997) apresenta um estudo do estado da arte da PR relacionando o surgimento da tecnologia com duas áreas técnicas: a topografia e o fotoescultura. Na topografia, a MOC era utilizada para construir mapas 3D de terrenos e na fotoescultura para obras que descrevem rostos

e o corpo humano. Todas estas aplicações foram produzidas entre 1890 e 1924. Após este período, a produção ficou estagnada e novos desenvolvimentos foram retomados na década de 70 incentivados pela aplicação de foto polímeros voltados para a área de Engenharia, na obtenção de protótipos. A figura 2.1 apresenta uma cronologia dos principais eventos ocorridos na PR até 1997.

TOPOGRAFIA		FOTOESCULTURA	
Blanter – patente	1890	1860	Willeme – fotoescultura
Perera – patente	1937	1902	Baese – patente
Zang – patente	1962	1922	Monteah – patente
Gaskin – patente	1971	1933	Morioka – patente
Matsubara – patente	1972	1940	Morioka – patente
DiMatteo – patente	1974	1951	Munz – patente
Nakagawa – fabricação de ferramentas por laminação	1979		
1968 Swainson – patente			
1972 Ciraud – patente			
1979 Householder – patente			
1980 Kodama – publicação			
1981 Hebert – publicação			
1984 Marutani – patente, Masters – patente, Andre – patente, Hull – patente			
1985 Helisys – fundação Denken – início das atividades			
1986 Pomerantz – patente, Feygia – patente, Deekard – patente, 3D Systems – fundação,			
1987 Fudim – patente, Areella – patente, Cubital – fundação, DTM – fundação, Dupont Somos – parceria iniciada			
1988 Primeiro sistema de PR comercializado (SLA), CMET – fundação, Stratasys – fundação			
1989 Crump – patente, Helinski – patente, Marcus – patente, Sachs – patente, EOS – fundação, BPM – fundação			
1990 Levent – patente, Quadrax – fundação, DMEC fundação			
1991 Teijin Seiki – parceria iniciada, Fockele & Schwarze – fundação, Soligen – fundação, Meiko – fundação, Mitsui – parceria iniciada			
1992 Penn – patente, 3D Systems adquire a Quadrax, Kira – parceria iniciada			
1994 Sanders Prototype – fundação			
1995 Aaroflex – parceria iniciada			

Figura 2.1 Cronologia da Prototipagem Rápida (Beaman, 1997)

O acréscimo da utilização da PR na década de 90 é confirmado por Wohlers (1997) ao afirmar que no ano de 1997 os fabricantes de máquinas venderam 3289 sistemas de PR em todo o mundo. No ano de 1988 eram 2234 sistemas instalados. Junto ao acréscimo de demanda por sistemas de PR houve a difusão da utilização que antes era restrito às indústrias do setor aeronáutico e automotivo.

Utilizando a diversificação de aplicação, Pham e Gault (1998) apresentam um estudo que descreve os sistemas disponíveis no mercado quanto aos seus aspectos técnicos e tipos de aplicação. Este trabalho fornece embasamento para orientar a escolha de qual sistema utilizar quando se deseja obter e cobrir aplicações em diversos setores industriais. Chua, Chou e Wong (1998) descrevem o estado-da-arte da PR baseado em publicações. Neste trabalho encontram-se descrição dos sistemas, formulas para importantes parâmetros e uma descrição dos fatores qualitativos e quantitativos avaliado por projetistas que trabalham diretamente com a tecnologia.

Lee e Woo (1998) focam a ampliação do campo de aplicação da tecnologia e apresentam dois estudos de casos. O primeiro descreve o desenvolvimento de uma garrafa para bebida e o segundo um implante ósseo, realizados através de recuperação de dados e Engenharia Reversa, reforçando a inclusão de protótipo no PDP.

Preocupados em reduzir prazos e identificar previamente os erros de desenvolvimento, Wiedemann e Jantzen (1999) apresentam estudos de casos desenvolvidos em parceria com a Daimler-Benz AG nas áreas automotiva, aeronáutica, aeroespacial e componentes eletrônicos. As aplicações discutidas abrangem o emprego da tecnologia na construção de protótipos e ferramentais-protótipo, também conhecido como Rapid Tooling (RT) ou Ferramental Rápido. Os resultados apresentam reduções de tempo de desenvolvimento da ordem de 60% e intensa interação entre os membros da equipe de projeto.

Nesta abordagem, Volpato (1999) e Kochan, Kai e Zhaozhui (1999) destacam as vantagens da aplicação em aprendizagem do grupo de projeto, comunicação facilitada entre os membros, integração multicultural e multifuncional na solução de problemas, redução dos riscos envolvidos e diminuição das etapas do projeto. Dentro desta ótica a utilização de protótipos permite ser

extendida para outros setores da empresa, auxiliando no planejamento do processo e no plano de qualidade da peça final.

A interdisciplinariedade no PDP envolve metodologias que precisam ser realinhadas e adequadas às exigências de tempos mais curtos de desenvolvimento, qualidade superior e processos mais simples e baratos de manufatura. Apesar da imediata integração da equipe de projetos quando da utilização de protótipos é interessante criar um ambiente que suporte e ordene as tarefas, seus acontecimentos e que permita análises confiáveis de seus dados. Bullinger, Warschat e Fisher (2000) apresentam um encadeamento de atividades e coleta de dados para representar os diferentes conhecimentos envolvidos e gerados no processo afim de ordenar os dados obtidos. A integração de dados e análise destes, também é foco de estudo de Bernard (2000).

Baseado em conceitos de Engenharia Reversa e Engenharia Concorrente, Bernard (2000) apresenta três estudos de casos onde aplicou-se a análise e integração de dados através de um diagrama de funções e serviços divididos em heurísticas de projeto, construção, coleta e arranjo de dados.

No primeiro estudo de caso é analisado a construção de uma telha, no segundo uma família de anéis de vedação e no terceiro, um manipulador tipo *joystick*. As diferenças entre as aplicações garantem a diversificação dos processos de criação e construção e a validação de um método de integração e análise de dados único para qualquer aplicação.

Kuzman et al. (2001) integram a PR a ferramentas CAE na construção de moldes de injeção plástica, suportando a aplicação através de ferramentas de simulação e máquinas convencionais utilizadas na construção de ferramentas. A redução do tempo de projeto, construção da ferramenta e obtenção de peças aprovadas em 50% do tempo é o principal resultado obtido. Nesta mesma linha Carvalho, Godoy e Schiavon (2002) descrevem técnicas de prototipagem e ferramental rápido no desenvolvimento específico de peças plásticas e moldes de injeção plástica.

A abrangência e variedade das aplicações e sistemas de PR expandem de acordo com as necessidades de cada projeto influenciados pela necessidade de redução do tempo de desenvolvimento. A classificação dos sistemas e a identificação de suas particularidades colaboram com o resultados finais obtidos. Partindo-se de um parâmetro de classificação que considera a forma de fabricação de cada camada, os sistemas possuem diferentes características dentro das particularidades dos processos de Manufatura Orientada por Camadas. O modelo de classificação proposto por Campbell, Martorelli e Lee (2002) é apresentado na figura 2.2.

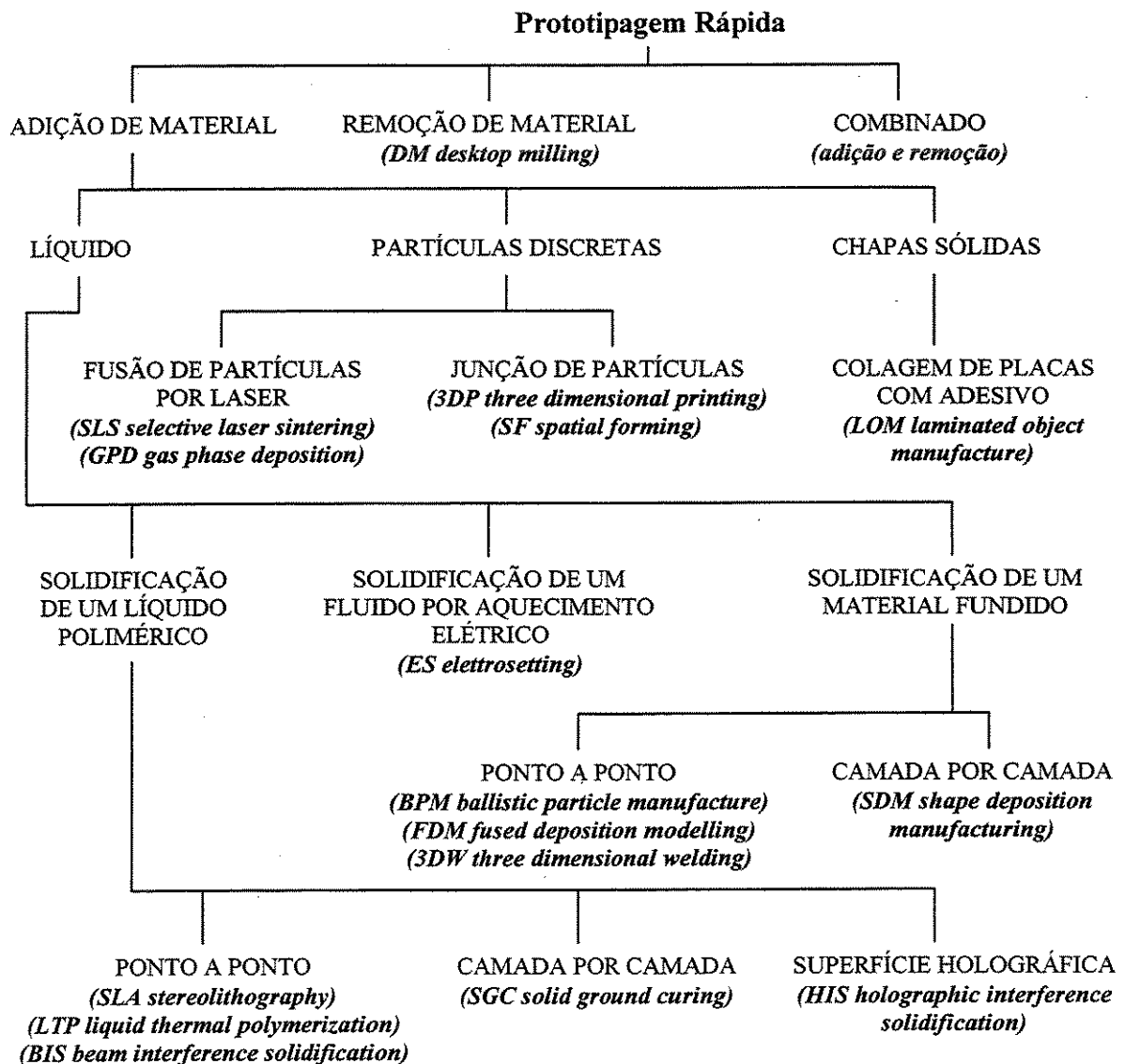


Figura 2.2 Classificação dos sistemas de Prototipagem Rápida (Campbell, Martorelli e Lee, 2002)

A classificação permite identificar as principais características de cada sistema e assim, suportar planejamentos para a análise global ou dedicada de cada sistema, propondo bases de referência e sistemas especialistas.

Utilizando da classificação, Junghoon et al. (2002) descrevem uma arquitetura para os sistemas e seus processos de fabricação e apresentam um delineamento para planejamento experimental dos sistemas utilizando conceitos geométricos e algoritmos. Destacam a combinação de sistemas de RP com máquinas convencionais de usinagem para obter protótipos com qualidade superficial superior.

A utilização de processos posteriores para tratamento ou retrabalhos de protótipos demandam tempo e custo e devem ser evitados, a não ser que tais condições são requisitos de projeto.

A seleção e classificação dos sistemas mais adequados para construção de protótipos onde determinadas exigências são requeridas, é abordada por Masood e Soo (2002). Neste trabalho é analisado um conjunto de 39 sistemas e a partir das particularidades, capacidades e máquinas de cada sistema é montado um software de auxílio na escolha, chamado IRIS (*Intelligent Rapid Prototyping System Selector*) e implantado em Visual Basic™.

Os critérios utilizados na seleção são :

- preço da máquina de prototipagem;
- acuracidade dimensional ao longo do eixo X-Y;
- acuracidade dimensional ao longo do eixo Z;
- acabamento superficial;
- dimensão máxima do “pacote” da peça;
- gama de materiais disponíveis;
- gama de espessura de camada disponibilizado pela máquina, e
- velocidade de construção do protótipo.

Esses critérios cobrem todas as especificações de máquina, sistema e aplicações de projeto fornecendo bom subsídio para a correta seleção do sistema mais apropriado à necessidade de projeto.

2.2 Metodologias de Projeto

As metodologias de projeto possuem particularidades e estilos próprios. O desencadeamento de atividades, ordenadamente, transformam informações, necessidades e desejos em produtos, transformando algo abstrato em físico. Este processo de transformação ocorre a partir de um conjunto de conhecimentos de engenharia, humano e social e que é ativado ao sinal de uma informação de entrada e seu resultado é uma saída que pode ser uma informação elaborada ou um produto. A figura 2.3 ilustra este conceito.



Figura 2.3 Processo de transformação de informações (Back,1976).

A transformação da informação é um conceito comum a qualquer atividade de projeto e ela acontece desde os níveis inferiores até os níveis mais elevados de qualquer estrutura organizacional, obedecendo a ordem de primeiro ocorrer uma transformação mental para, em seguida, ocorrer uma transformação física.

As informações e atividades geradas durante o desenvolvimento de um produto devem ser organizadas e dispostas em uma arquitetura que ampare e dê corpo ao projeto ao longo do seu ciclo de vida.

O desencadeamento das atividades de projeto e os conceitos utilizados para a definição da metodologia de projeto ideal variam de um autor para o outro. São aplicados a estes estudos visões de diferentes escolas, cada qual com sua filosofia. Em contrapartida, existem casos de trabalhos desenvolvidos paralelamente e que diferem somente em alguns aspectos morfológicos. Yoshikawa (1993) apresenta um estudo que divide as diferentes abordagens em cinco escolas:

- Escola Semântica: considera qualquer máquina um objeto de projeto, transforma as entradas de projeto em requisitos funcionais e decompõe as tarefas principais em sub-tarefas de resoluções mais simples;
- Escola Sintática: considera as formas e procedimentos mais importantes que o próprio produto, foco nas atividades de projeto;
- Escola Historicista: considera o conhecimento da atividade como principal fator de desenvolvimento, foco em desenvolvimento anteriores;
- Escola Psicológica: considera os aspectos de criatividade ao longo do desenvolvimento, destaca análises comportamentais para definir atuação dos membros do projeto, e
- Escola Filosófica: considera os aspectos do pensamento humano como centro da metodologia, destaca o valor do pensamento humano na metodologia de projeto.

Devido as diversificações, as metodologias possuem particularidades que a diferenciam no detalhamento da atividade de projeto. Uma tarefa dividida em tarefas de níveis inferiores pode ser melhor analisada do ponto de vista técnico porém, a análise pode ser prejudicada se considerar o problema como sendo de todo o conjunto ou produto. Portanto, uma mesma metodologia aplicada em um ambiente diferente pode apresentar resultados completamente distintos. Apesar das particularidades as metodologias de projeto possuem características em comum. Meister (1971) destaca que existe um conjunto de características padrão intrínsecas ao ato de projetar:

- decomposição do sistema: o sistema é desenvolvido a partir de uma função macro e dividido em tarefas de níveis inferiores;
- requisitos de projeto são considerados funções obrigatórias: cada função de projeto deve corresponder a um atributo do produto;

- diminuição das incertezas: no início do desenvolvimento o grau de incertezas é alto e vai diminuindo ao longo do ciclo do projeto;
- transformação da informação: existe um processo de tratamento das informações a partir de dados de entrada gerando dados de saída em linguagem de projeto;
- tempo: fator delineador do sistema. Existe um prazo para que o trabalho seja concluído;
- custo: fator que possibilita a transformação do abstrato em real e posiciona o produto perante seus concorrentes e consumidores;
- iteração de informações: as informações devem se encaixar e interagir durante as atividades do projeto evoluindo em seu conteúdo e clareza, e
- relevância: percepção dos projetista em analisar e julgar se os requisitos de entrada estão sendo atendidos no desenvolvimento.

Os próximos tópicos deste capítulo apresentam metodologias de projeto desenvolvidas por diversos autores.

2.2.1 A Metodologia de Projetos por Asimow (1968)

A metodologia proposta por Asimow (1968) apresenta etapas extensas e desencadeadas, onde uma etapa não começa antes do término da anterior. O modelo apresentado na figura 2.4 também é chamado de Processo Seqüencial de Desenvolvimento.

O fluxograma é dividido em dois grupos: Fases relacionadas ao projeto (contempla as Fases I, II e III) e Fases relacionadas ao ciclo de produção/consumo (contempla as Fases IV, V, VI e VII). O primeiro grupo contempla as atividades relacionadas ao desenvolvimento da concepção e projeto do produto, enquanto o segundo grupo engloba as atividades ligadas ao desenvolvimento da produção e serviços de apoio/utilidades.

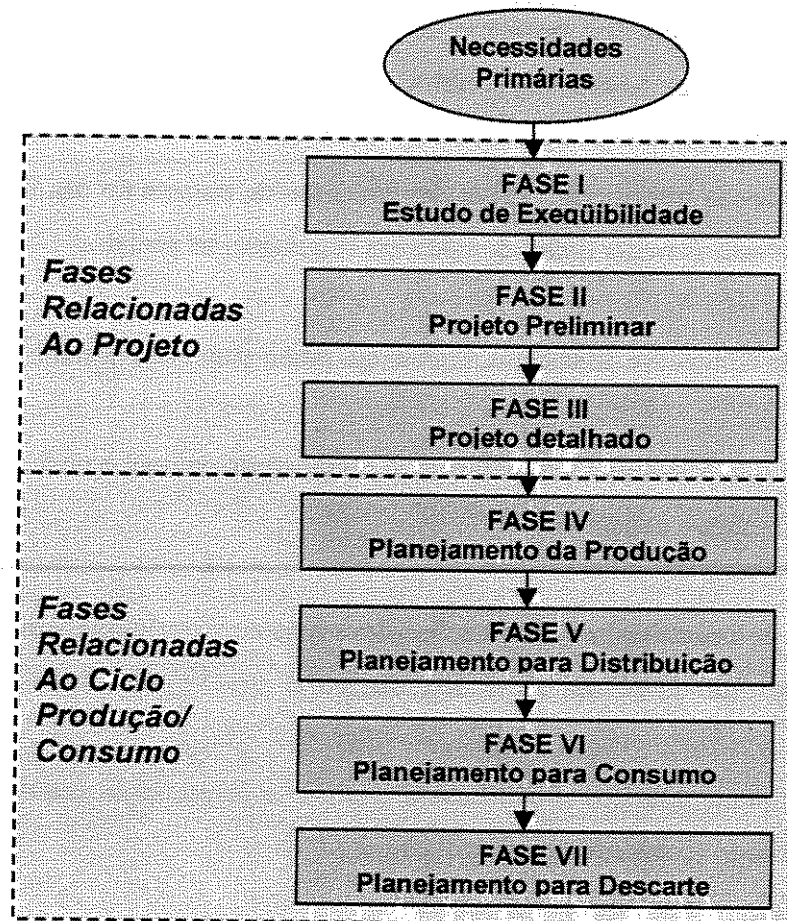


Figura 2.4 – Fluxograma de projeto da metodologia proposta por Asimow (1968).

A Fase I é a execução do Estudo de Exeqüibilidade, propondo análise das necessidades de mercado, da viabilidade econômica e financeira, das concepções técnicas, da possibilidade de fabricação e a definição do sistema.

O Projeto Preliminar é realizado na Fase II. Nesta etapa são avaliadas as diversas concepções geradas na Fase I. As atividades desta fase são: seleção da concepção de projeto, modelos analíticos e matemáticos, análises de estabilidade, análises de sensibilidade, análises de compatibilidade, otimização, projeções para o futuro, previsão de comportamentos e simplificações.

A Fase III é a etapa do Projeto Detalhado, que é o detalhamento dos resultados obtidos na Fase II: descrição dos sistemas, sub-sistemas e peças, detalhamento e emissão de desenhos de conjuntos, sub-conjuntos e peças, construção experimental (protótipos), testes, análise e revisão, reprojeto e lista de materiais.

O segundo grupo de atividades recebe as informações de um projeto acabado e o adapta aos processos produtivos e de consumo. A primeira etapa deste grupo é o planejamento da Produção (Fase IV), que realiza as atividades de projetos de ferramentas, dispositivos e máquinas, determinação dos processos de fabricação, planejamento do sistema de informação no chão de fábrica, planejamento do controle de produção e leiautes.

A Fase V - Planejamento para Distribuição é o conjunto das atividades referentes aos requisitos de mercado e como estes influenciam diretamente o produto. Nesta etapa planejam-se as atividades de venda do produto, comercialização, sistema de armazenagem e embalagem e meios de distribuição dos produtos para os pontos de venda. O objetivo da Fase VI – Planejamento para Consumo é incorporar aspectos de serviços ao projeto tais como, manutenção, confiabilidade, estética e a obtenção de dados para reprojeto do produto.

A última fase do fluxograma é a Fase VII – Planejamento para Descarte que engloba as atividades relacionadas ao envelhecimento e descarte final do produto, com a consciência técnica de que o descarte do produto deve ocorrer junto com sua obsolescência técnica.

A principal vantagem do método proposto por Asimow (1968) é a possibilidade e flexibilidade de extrapolação e adequação da morfologia básica à outros métodos, permitindo ajustes a diferentes condições. Como desvantagens pode-se citar:

- consumo elevado de tempo devido ao seqüenciamento de atividades;
- erros em etapas subsequentes acarretam no retorno à atividades em fases anteriores.

No entanto, o trabalho de Asimow (1968) é pioneiro na área de desenvolvimento de produtos, tendo grande importância histórica.

2.2.2 A metodologia de projetos por Pahl e Beitz (1988)

A metodologia proposta por Pahl e Beitz (1988) consiste na formulação, através dos requerimentos de projeto, de uma função de ordem geral e superior e a quebra desta função em níveis primários de menor complexidade de resolução. O planejamento de execução das atividades de projeto cria uma estrutura hierárquica de funções e sub-funções.

O princípio utilizado para a divisão de tarefas em sub-tarefas é o de que a divisão de um grande problema de projeto em várias partes diminui a complexidade das tarefas e facilita a pesquisa da solução. A combinação das soluções das sub-funções formam, em sentido inverso da divisão, uma estrutura funcional para o projeto caracterizando-o como um método de composição funcional.

O fluxo de trabalho proposto na figura 2.5 estabelece 5 passos principais para o projeto: identificação e esclarecimento da tarefa, identificação dos problemas essenciais, desenvolvimento dos desenhos e leiautes preliminares, otimização dos desenhos e leiautes e finalização e checagem de todos os detalhes de projeto. Os resultados de cada passo delimitam a metodologia formando quatro fases principais: esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, personificação do projeto e projeto detalhado.

A primeira fase envolve a coleta de informações, possíveis soluções e as restrições de projeto buscando definir a função requerida, os dados de entrada e saída e os ruídos externos relativos a problemas de engenharia. A segunda fase consiste na estabilização das funções estruturais de projeto e na pesquisa e combinação das soluções apropriadas para cada sub-função gerando uma solução conceitual para o problema.

A terceira fase é a transformação dos requisitos de entrada em características técnicas e construtivas do produto. Os documentos gerados nesta fase são desenhos, leiautes de componentes e especificação de materiais. A produção de uma grande quantidade de possíveis soluções permite que seja escolhida a mais adequada. A quarta fase otimiza a solução vencedora na fase anterior através de conhecimentos específicos de engenharia ou através de melhorias

provenientes de outras soluções descartadas na terceira fase. Nesta fase têm-se a definição das propriedades de cada parte do projeto, definição dos processos de fabricação, liberação de documentos e checagem do atendimento dos requisitos iniciais. Percebe-se nesta metodologia o cumprimento das exigências das normas alemãs VDI 2221 e VDI 2222.

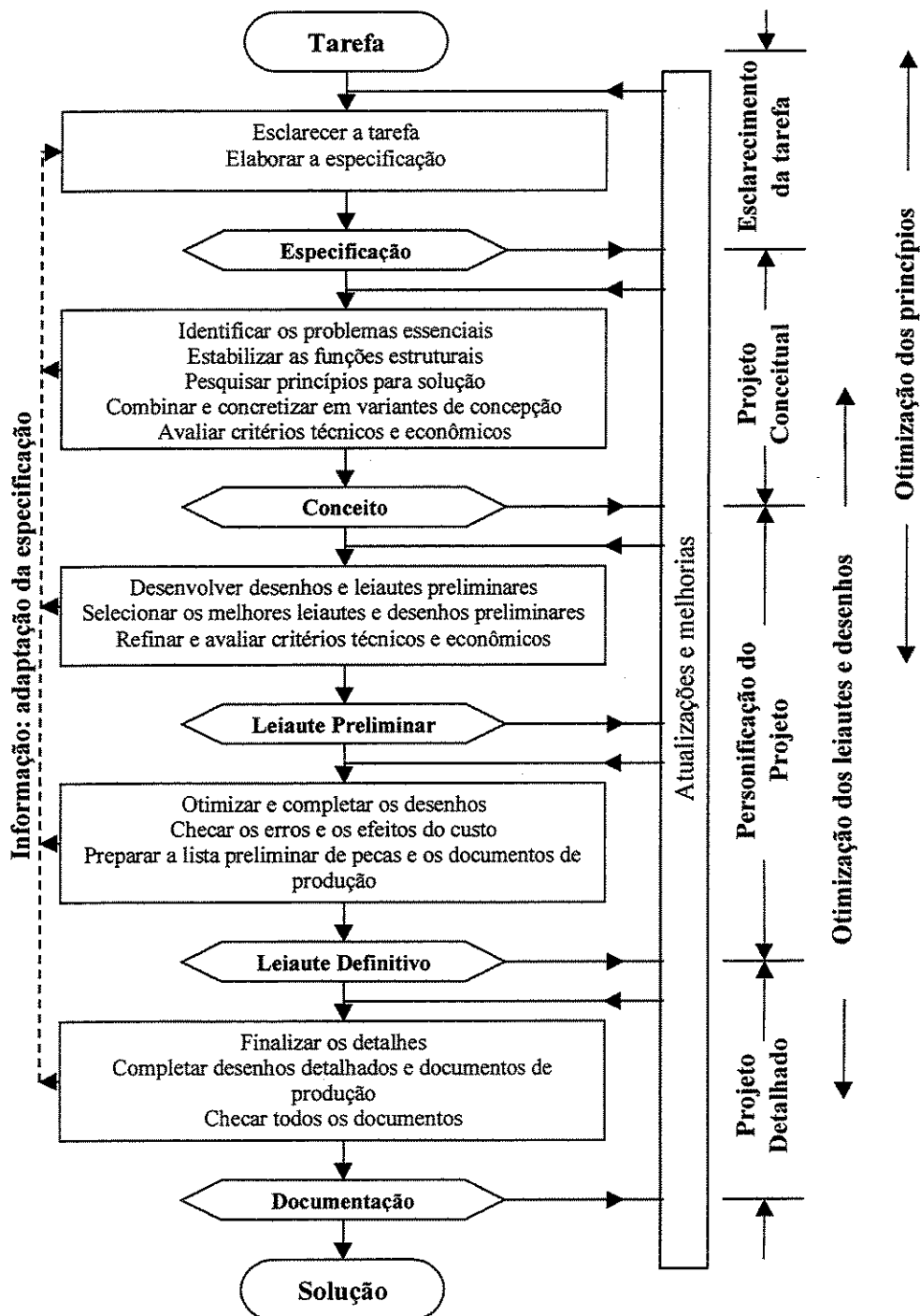


Figura 2.5 – A metodologia de projetos proposta por Pahl e Beitz (1988)

2.2.3 A Metodologia de Projetos por Blanchard e Fabrycky (1990)

A metodologia proposta por Blanchard e Fabrycky (1990), consiste na divisão do ciclo de desenvolvimento em seis fases: Definição da Necessidade/Projeto Conceitual, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Produção, Utilização e Suporte e Disponibilização. Nesta metodologia o projeto é tratado como uma função dentro do ciclo de vida do produto. A figura 2.6 mostra a morfologia do processo de projeto proposto por estes autores.

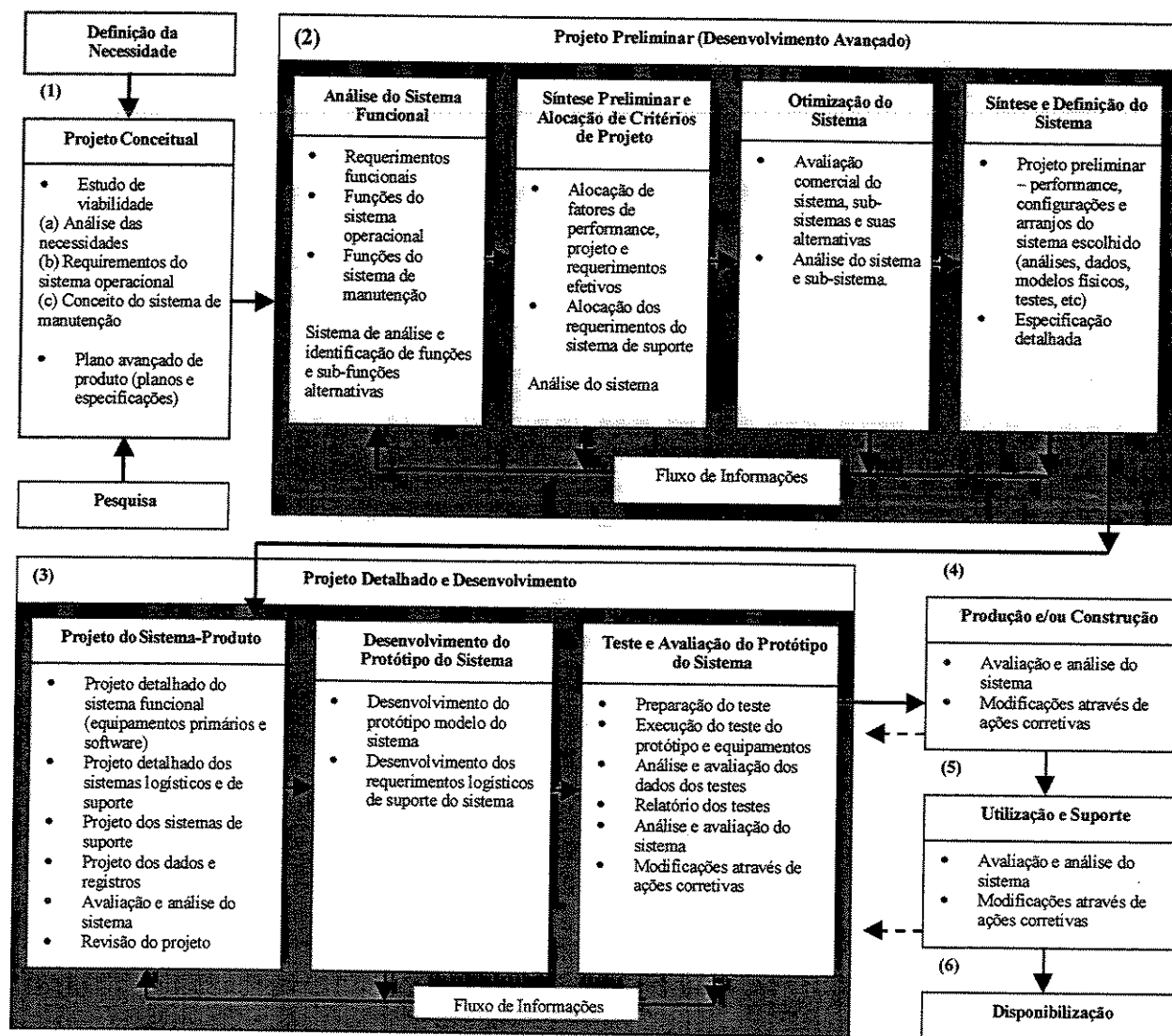


Figura 2.6 – A metodologia de projetos proposta por Blanchard e Fabrycky (1990)

Para cada fase do projeto existe uma decisão tomada através da avaliação do que foi realizado na etapa. São checados as entradas e saídas da fase correspondente e quando os resultados são satisfatórios libera-se o projeto para a fase subsequente. Este portão decisório acontece até a última fase.

Na fase de Definição de Necessidades/Projeto Conceitual desenvolvem-se os estudos de viabilidade e o planejamento do produto. Geram neste passo os requerimentos operacionais, de manutenção e atributos do produto, planos de execução de atividades e especificações técnicas porém, não se discute os diversos níveis do sistema e seus desdobramentos.

A fase subsequente chamada Projeto Preliminar recebe estas informações e executa quatro atividades básicas: a análise do sistema funcional, a distribuição e alocação dos critérios técnicos de projetos, a otimização dos sistemas através da avaliação das alternativas possíveis de projeto e a análise e definição do melhor sistema.

As informações geradas na etapa de Projeto Preliminar possuem consistência técnica e alimentam a terceira fase denominada Projeto Detalhado onde os sistemas e sub-sistemas do produto serão detalhados em níveis cada vez mais específicos. O principal elemento desta fase é a criação de um protótipo funcional que permite a execução de testes e a avaliação destes. Também são analisados através dos protótipos os requisitos de produção e logística. Após os ajustes do produto dentro desta fase é realizado a liberação para a fase seguinte denominada Produção.

Todas as informações que alimentam o ciclo de desenvolvimento até esta fase são discutidas apenas dentro de cada etapa de projeto, limitando o fluxo de informações. Nas duas etapas subsequentes, as informações retornam para alimentar a etapa de Projeto Detalhado.

Na fase de Produção são analisados os requisitos produtivos e a possibilidade de execução do produto, sistema ou sub-sistema, por parte da fabricação. Estas informações corretivas retornam ao Projeto Detalhado como propostas de modificações e após implantadas repete-se o ciclo. A aprovação na fase de Produção libera o produto para a fase de Utilização e Suporte que engloba uma série de testes com produtos originários de linha de produção. Seus resultados são

analisados e estas informações retornam para a etapa de Projeto Detalhado como propostas de modificações.

Corrigido todos os problemas identificados nas etapas de Produção e Utilização e Suporte, o produto é disponibilizado para produção e vendas, encerrando o ciclo proposto.

2.2.4 A metodologia de projetos por Suh (1990)

A metodologia proposta por Suh (1990) conhecida como Projeto Axiomático busca identificar uma linguagem única de sistematização de projeto para os diferentes campos de aplicação de projetos (mecânico, civil, sistemas, processos, programas computacionais, organizações entre outros) através de axiomas, que são princípios que governam o comportamento de uma determinada atividade e que não possuem exemplos similares e exceções.

Dentro desta definição Suh (1990) define o mapeamento da atividade de projeto como a relação entre “o que se deseja realizar” com o “como se deseja realizar”. A interação entre “o que” e “como” se faz necessária e a realimentação deste ciclo define claramente o “o que”. A figura 2.7 ilustra esta definição.

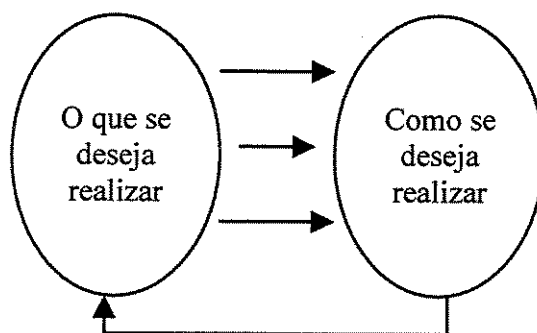


Figura 2.7 – Mapeamento da atividade de projeto por Suh (1990).

O mapeamento da atividade de projeto permite criar uma abordagem de domínios para as quatro diferentes linhas de demarcação do Projeto Axiomático:

- Domínio do Consumidor: é caracterizado pelas necessidades ou atributos que um consumidor procura em um produto ou processo ou sistema ou material. Na linguagem da metodologia, cada necessidade ou atributo é chamado de vetor CA.
- Domínio Funcional: é a especificação funcional dos atributos e necessidades do consumidor. São chamados de vetores FR.
- Domínio Físico: são as especificações que representam os parâmetros de projetos e que satisfazem ao Domínio Funcional. São chamados de vetores DP.
- Domínio do Processo: são as variáveis de processo para caracterização e fabricação do produto especificado. São chamados de vetores PV.

A figura 2.8 apresenta estes quatro domínios.

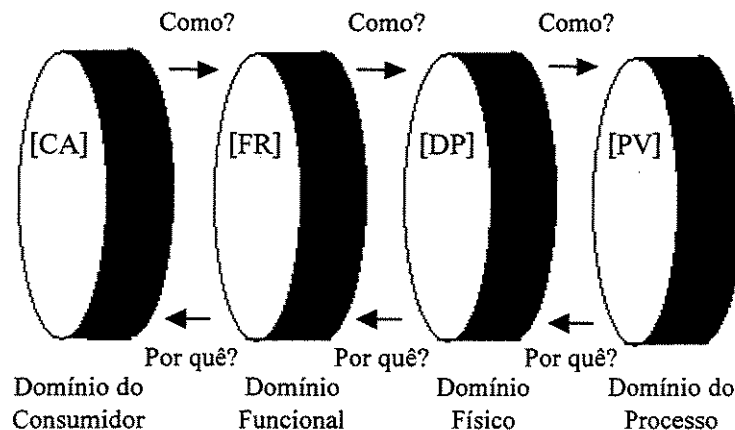


Figura 2.8 – Domínios propostos pelo projeto Axiomático Suh (1990).

O domínio da esquerda representa “o que se deseja realizar” e o domínio da direita “como foram propostos e realizados as especificações do domínio da esquerda”, sequencialmente.

O Projeto Axiomático possui dois axiomas fundamentais que regem toda a metodologia e foram identificados examinando-se as boas práticas existentes em bons projetos. O primeiro

axioma é o Axioma da Independência que prega que a independência dos requisitos funcionais (FR) deve ser sempre mantida.

A aplicação deste axioma garante que existirá apenas uma relação entre cada um dos vetores (FR) e (DP) garantindo que cada parâmetro afetará somente um requisito. Esta relação de 1:1 caracteriza a formação de uma estrutura simples requisito/parâmetro, o que colabora com a identificação de uma solução para um requisito através da modificação de um produto.

O segundo axioma é o Axioma da Informação que prega a minimização dos conteúdos das informações. A definição é feita por conteúdo de informação (I) que será relacionado a probabilidade de satisfazer a um requisito (FR), e o caso que apresentar o menor conteúdo será a melhor opção. Este procedimento ajuda a escolher a melhor opção entre várias existentes.

2.2.5 A Metodologia de Projetos por Clark e Fugimoto (1991)

Clark e Fugimoto (1991) apresentam um trabalho de cunho analítico que discute e apresenta os diferentes métodos utilizados no desenvolvimento de produtos nas indústrias automobilísticas europeias, americanas e japonesas relacionando os conceitos de Manufatura Enxuta e Gerenciamento do Ciclo de Desenvolvimento de Produto. A comparação entre as diferentes abordagens de desenvolvimento é realizada através de três parâmetros básicos de performance:

- a extensão da capacidade do produto em satisfazer os requisitos de seus consumidores desde a concepção até a introdução do produto no mercado, chamado de *Total Product Quality (TPQ)*;
- tempo total de desenvolvimento desde a concepção até a introdução do produto no mercado, chamado de *Lead Time*, e
- nível de recursos requeridos sejam eles, máquinas, equipamentos, pessoal ou materiais, para levar o projeto do conceito até o produto comercializado, chamado de *Productivity*.

Estes parâmetros são enquadrados dentro de uma metodologia de projetos mais ampla que consiste em mapear as 4 grandes áreas do desenvolvimento de um produto: o desenvolvimento do conceito, o planejamento do produto, a engenharia do produto e a engenharia do processo. Neste processo é destacado a necessidade do gerenciamento das informações de projeto e das interfaces entre os diferentes estágios do desenvolvimento. A figura 2.9 relaciona as quatro grandes áreas com os estágios de desenvolvimento.

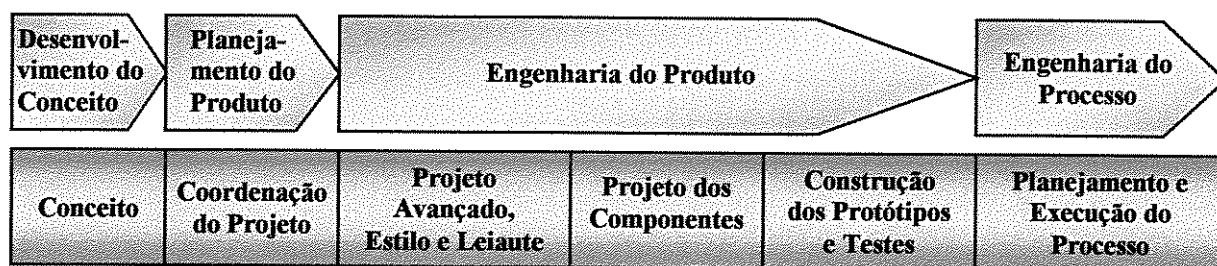


Figura 2.9 – Relação entre as quatro grandes áreas e os estágios de desenvolvimento. Adaptado de Clark e Fujimoto (1991).

O trabalho de Clark e Fujimoto (1991) serviu como base para o desenvolvimento de uma nova abordagem por Clark e Wheelwright (1992) que consiste em descrever o ciclo de desenvolvimento em três partes, compostas de ferramentas e metodologias.

A primeira delas é o planejamento dos projetos na fase inicial do ciclo e o gerenciamento do portfolio de projetos e produtos utilizando-se do conceito de funil de desenvolvimento, que apresenta alto número de idéias e conceitos no início e que ao longo do desenvolvimento amadurecem até a introdução no mercado. Além de diminuir o tempo de introdução de novos projetos em mercado, este conceito permite a rápida reposição de um projeto que teve seu desenvolvimento interrompido, pois há um outro desenvolvimento em um estágio próximo ao abortado.

A segunda parte é o gerenciamento do projeto suportado por elementos sólidos do desenvolvimento como escopo do projeto, planejamento organizacional, líder e equipe de projeto, técnicas de resolução de problemas, testes, prototipagem, revisão, controle, correção e análise do

tempo real/executado. Os resultados encontrados são analisados e as informações obtidas realimentam o ciclo.

A terceira parte é voltada a absorção, por parte da Organização, do aprendizado gerado durante o ciclo de desenvolvimento e a utilização deste para a contínua melhora no desenvolvimento de novos produtos.

2.2.6 A Metodologia de Projetos por Womack, Jones e Roos (1992)

O trabalho desenvolvido por Womack, Jones e Roos (1992) segue, em foco de metodologia de projetos, o proposto por Clark e Fujimoto (1991), que compara o processo de desenvolvimento de produtos de indústrias automobilísticas japonesas, européias e americanas. A diferença latente entre os dois trabalhos é a inserção dos conceitos de produção enxuta no desenvolvimento de produtos, a qual norteia o trabalho de Womack, Jones e Roos (1992).

O método proposto consiste na adoção de quatro técnicas enxutas à atividade de projetar: liderança ativa, trabalho em equipes multifuncionais, comunicação eficaz e desenvolvimento simultâneo.

A liderança do projeto deve assumir formas sociais e organizacionais mais fortes do que técnicas, para que o produto final possua personalidade e distinção diferenciando-o da concorrência.

A segunda técnica, trabalho em equipes multifuncionais, reúne profissionais alocados de diversos departamentos a um projeto por toda a sua duração. Como não são comuns as exclusões de membros durante o desenvolvimento, a equipe não perde o seu potencial de trabalho.

A comunicação é tratada de forma comum e consensada entre os membros da equipe nas etapas iniciais do projeto e estas informações são carregadas por cada membro até o fim do desenvolvimento. Isto garante um ciclo de informações compartilhadas por todos os membros.

A quarta técnica é o desenvolvimento simultâneo, que integra a atuação de diferentes profissionais através da capacidade de previsão das especificações durante o desenvolvimento, ou seja, requer a capacidade de todos os envolvidos em trabalhar com especificações preliminares de projeto. É visível que uma ação prévia sobre uma atividade futura reduz o tempo gasto para a finalização desta.

A tabela 2.1 apresenta uma comparação entre os métodos de projetar proposto por Womack, Jones e Roos (1992) e os normalmente utilizados em empresas que adotam a produção em massa.

Tabela 2.1: Comparação entre os métodos de projetar enxuto e tradicional

Técnicas	Proposta por Womack, Jones e Roos (1992) (produção enxuta)	Normalmente utilizados (produção em massa)
<i>Liderança</i>	Caracterização por formas sociais e organizacionais.	Convencer os membros da equipe a cooperar.
<i>Trabalho em equipes multifuncionais</i>	Equipes com membros de todos os departamentos envolvidos com o projeto até o fim.	Equipes com membros emprestados e substituídos de acordo com a necessidade departamental.
<i>Comunicação</i>	Decisões e conflitos são discutidos e consensados dentro do grupo em etapas iniciais do projeto e estas informações são levadas até o fim do desenvolvimento.	Decisões e conflitos são discutidos fora da equipe de projeto e o aumento de integrantes na equipe durante o desenvolvimento dificulta a difusão das informações.
<i>Desenvolvimento simultâneo</i>	Capacidade dos membros em prever as ações através de informações preliminares de engenharia.	Necessidade de informações exatas para agir.

A análise da tabela 2.1 mostra que a adoção das técnicas enxutas na metodologia de projetos torna o desenvolvimento mais preciso, rápido, com menor esforço e com um resultado superior em qualidade e produtividade.

2.2.7 A Metodologia de Projetos pela VDI 2221 (1993)

A norma alemã VDI 2221 (1993) criada e controlada pela Sociedade dos Engenheiros Alemães, divide a metodologia de projeto em três sistemas hierárquicos principais, posicionados em diferentes níveis de atuação.

O nível mais alto é denominado de Fases do Projeto e abrange as quatro fases macro da metodologia: Esclarecimento da Tarefa, Projeto Conceitual, Desenvolvimento do Conceito e Projeto Detalhado. O nível intermediário é chamado de Estágios do Projeto e engloba os eventos-chaves das Fases do Projeto, dispostos de acordo com a relação que estes mantêm com o nível superior. O nível inferior, denominado Passos do Projeto, são as atividades necessárias para execução funcional de cada tarefa do projeto obedecendo conceitos multidisciplinares.

O foco do trabalho no nível inferior também segue uma sequência hierárquica definida pela decomposição de um sistema principal em produtos, destes em montagens, sub-montagens, componentes e finalmente em peças.

A subdivisão total da metodologia em níveis inferiores, simplifica as ações e funções de projeto e cria um sistema altamente estruturado permitindo exigir para cada estágio do projeto um resultado do trabalho por hora despendido. A interatividade entre os níveis do projeto garantem a realização e adaptação dos requisitos iniciais.

Devido ao alto grau de estruturação a norma VDI 2221 (1993) é empregada com frequência na elaboração de programas computacionais voltados ao auxílio na escolha da melhor solução para sistemas de engenharia.

A figura 2.10 mostra o fluxograma completo da metodologia.

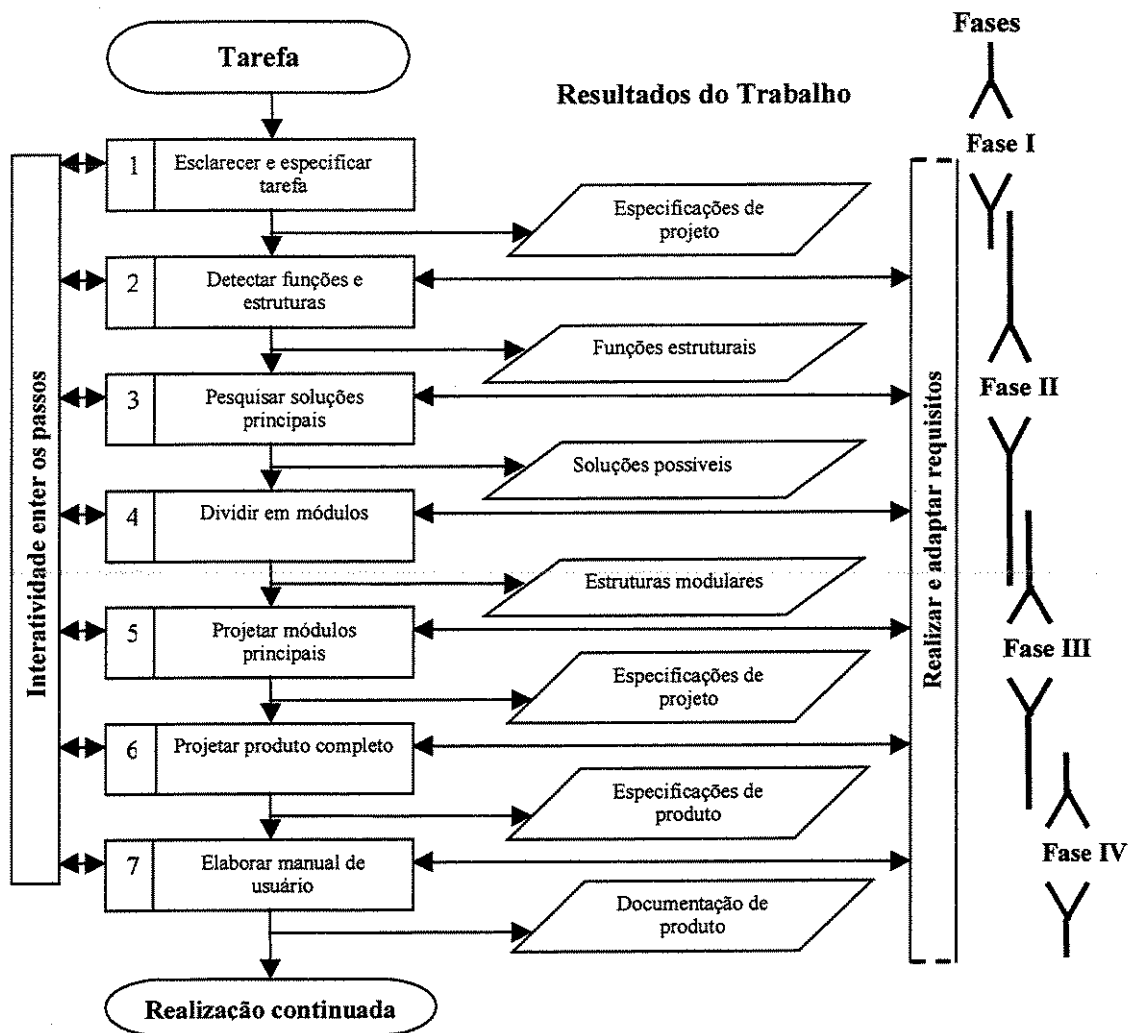


Figura 2.10 – A metodologia de projetos pela VDI 2221 (1993).

A primeira fase, denominada Esclarecimento da Tarefa, busca investigar a proposta de desenvolvimento do produto através do estudo do problema a ser solucionado. As informações analisadas provêm de diferentes setores ligados ao desenvolvimento, como logística, qualidade, fabricação, entre outros. O resultado é a elaboração do escopo de requisitos que o produto deve satisfazer.

A fase de Projeto Conceitual, segunda fase da metodologia, consiste em formar um conjunto de funções que se relacionem de forma exata e concisa com os requisitos técnicos desejáveis definidos na primeira fase.

Utiliza-se a subdivisão de tarefas diminuindo a complexidade do problema e encontrando soluções direcionadas para cada problema de nível inferior, otimizando a solução final quando extrapolada para o projeto completo.

Na terceira fase, chamada de Desenvolvimento do Conceito, são criadas as configurações dos módulos do produto relacionando visões técnicas e econômicas.

As principais atividades são a seleção de materiais, definição de formas e característica, dimensões do produto e seus componentes. Estas definições são então, agrupadas e define-se o projeto de forma geral, integrando componentes, sub-montagens e montagens ao módulo completo do produto.

Em cada módulo analisam-se requisitos de segurança, aspectos estéticos e ergonômicos, fatores de fabricação, utilização, intercambiabilidade de peças e análise de falhas com o objetivo de identificar possíveis problemas.

Na fase de Projeto Detalhado, aprofundam-se as definições em nível de engenharia, para cada componente do projeto e preparam-se os roteiros, especificações de fabricação e a finalização dos custos. São emitidos os documentos finais do produto, tanto para utilização interna quanto para os usuários.

Nesta fase existe uma preocupação permanente em utilizar componentes já existentes, itens normalizados e o aproveitamento da infra-estrutura instalada, reduzindo o custo final do produto e garantindo um prazo menor de início de produção.

Os resultados do trabalho de cada fase, indicados no fluxograma pelos paralelogramos, são exigidos como requisitos obrigatórios para validação da etapa do projeto e aprovação do prosseguimento para uma nova etapa.

2.2.8 A Metodologia de Projetos por Ertas e Jones (1993)

A metodologia desenvolvida por Ertas e Jones (1993) compõem um grupo de atividades que divide o projeto de engenharia em sistemas. Em cada sistema são envolvidos os conhecimentos de engenharia, matemática ou qualquer outra ciência necessária para criar uma solução otimizada, visando cumprir os requisitos de projeto definidos nas primeiras etapas da metodologia.

Para a execução das atividades básicas de projeto, são propostas ferramentas de auxílio como CAD, simulações computacionais, QFD e técnicas de qualidade. Outro fator importante é a determinação de equipes de projeto multifuncionais para a execução das atividades do projeto, minimizando o tempo de desenvolvimento, devido ao fato de a metodologia apresentar uma morfologia seqüencial.

O fator comunicação é considerado um elemento muito importante dentro da metodologia e é abordado tanto na apresentação dos trabalhos dos integrantes e da equipe de projeto como na garantia de fluxo de informação consistente durante o ciclo de desenvolvimento.

A metodologia é dividida em passos dispostos seqüencialmente que representam o seguinte encadeamento de atividades: Identificação e Reconhecimento das Necessidades, Conceituação de Projeto, Análise de Viabilidade, Processo Decisório e Liberação de Fundos, Determinação das Responsabilidades e Equipe de Projeto, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado e Testes de Qualificação, Planejamento Produtivo e Ferramentas e Produção.

Entre os passos que envolvem avaliação e seleção de propostas há a realimentação do ciclo através de propostas alternativas a problemas de projeto. Os passos de Projeto Detalhado e Produção são suportados por testes de desenvolvimento e homologação que visam identificar possíveis erros e aumentar a confiabilidade no produto através da eliminação destes.

A figura 2.11 apresenta o diagrama da metodologia:

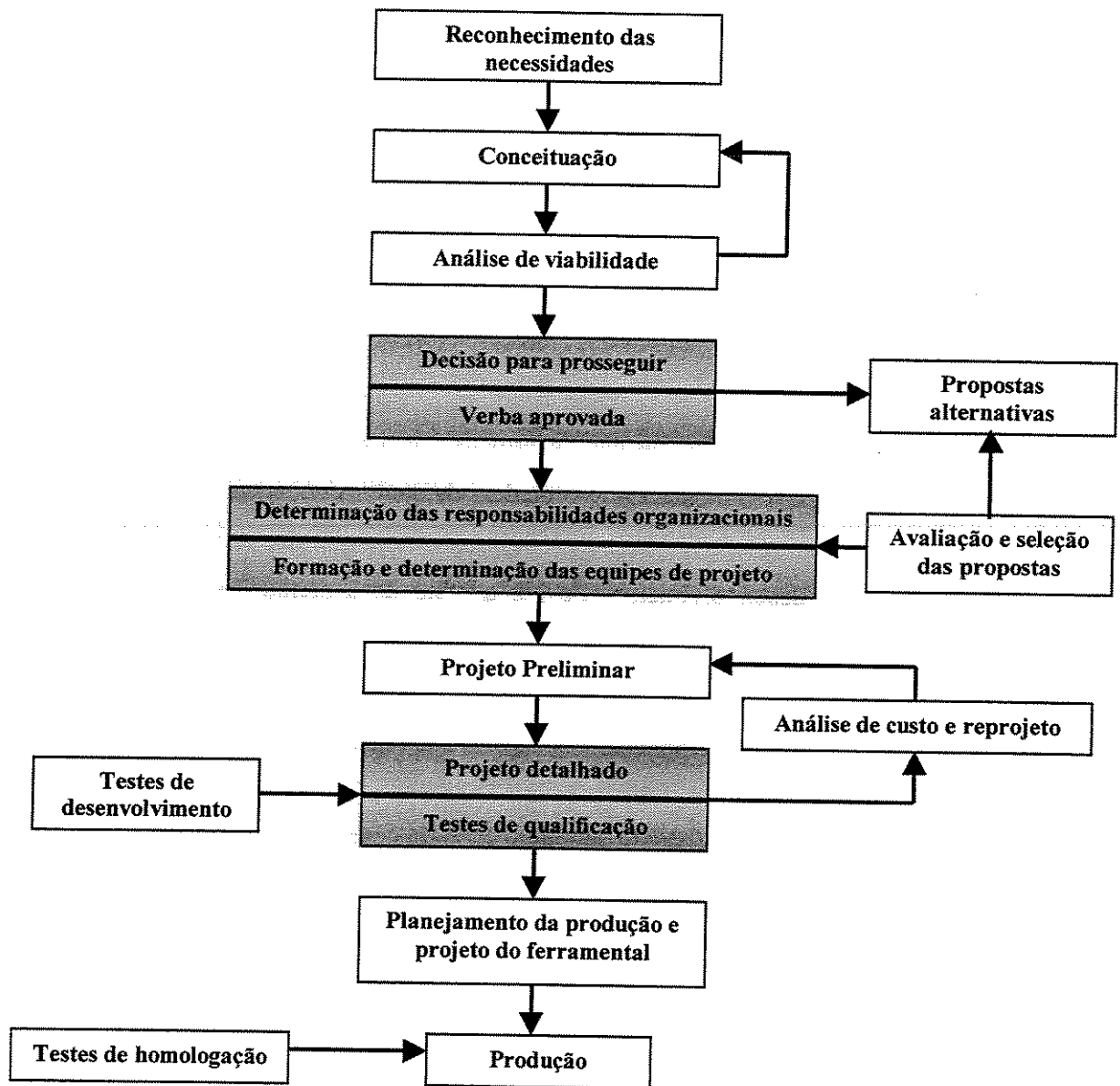


Figura 2.11 – A metodologia de projetos proposta por Ertas e Jones (1993)

Por ser uma metodologia que permite aplicação generalizada a diversos tipos de projeto, existe a possibilidade de reconhecimento das necessidades de cada projeto, incluindo ou eliminando completamente alguns passos. Isto criará novas variantes para a metodologia tornando-a adaptável a diferentes aplicações.

2.2.9 A Metodologia de Projetos por Clausing (1994)

A metodologia apresentada por Clausing (1994), é direcionada à Engenharia Simultânea (Concorrente) e destinada a resolução de problemas que surgem do modelo tradicional de desenvolvimento. A morfologia é apresentada na figura 2.12.

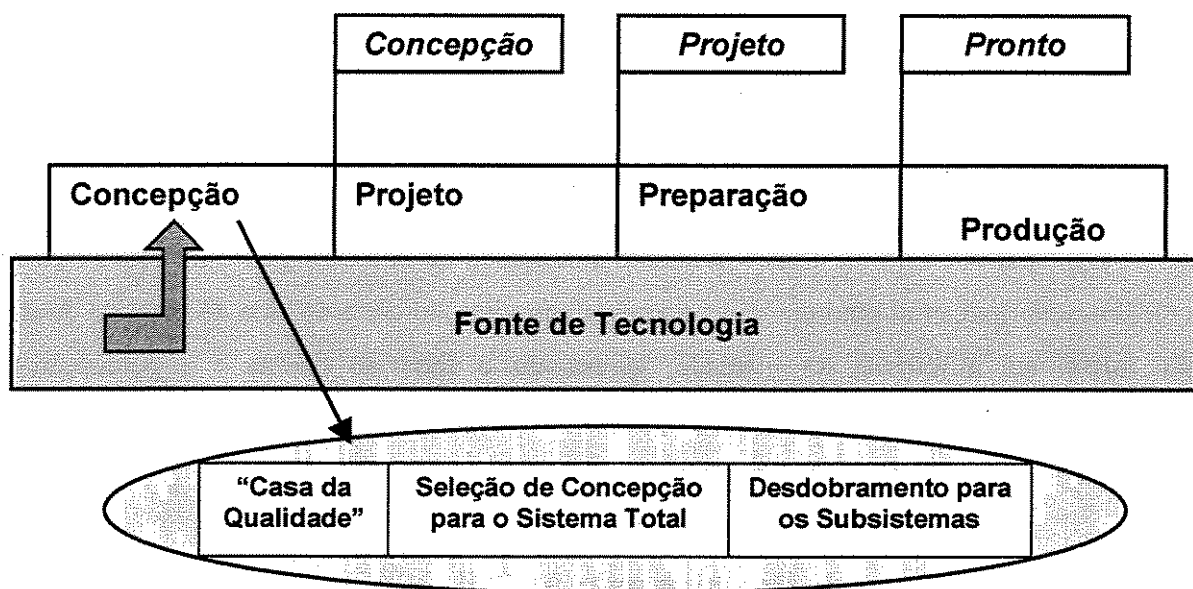


Figura 2.12 – Morfologia da metodologia proposta por Clausing (1994).

A Fase de Concepção é o início do desenvolvimento e possui três divisões: Casa da Qualidade (Quality Function Deployment – QFD), Seleção da Concepção para o Sistema Total e Desdobramento para as Especificações dos Subsistemas. Nesta fase são inseridas tecnologias para a resolução de problemas e alternativas à soluções de projetos.

Na Fase de Projeto há o detalhamento e avaliação dos dados e informações da Fase de Concepção, resultando em um projeto detalhado.

A terceira etapa é a Fase de Preparação para produção, que contempla os aspectos produtivos do produto, as condições de fábrica, recursos, logística, fornecimento e processos.

Após o término desta fase têm-se um produto pronto para ser produzido. As vantagens desta metodologia são:

- diminuir o tempo de desenvolvimento de novos produtos;
- aumentar a qualidade no produto, pois é baseada em ferramentas da Qualidade;
- conseqüente diminuição do custo total de projeto devido a diminuição e prevenção dos erros enquanto o produto está na fase de desenvolvimento;
- aumentar o comprometimento das pessoas com o resultado do projeto, promovendo trabalho em equipes e o envolvimento direto de todos os integrantes.

A principal intenção do desenvolvimento simultâneo de produtos é integrar todas as áreas da Organização Industrial para um gerenciamento completo do ciclo de vida do produto desde a idéia inicial até a retirada do mercado, garantindo o foco no cliente e a percepção da obrigatoriedade de novas mudanças nos produtos, caracterizando um sistema continuamente alimentado por novos dados e informações.

2.2.10 A Metodologia de Projetos pelo APQP (1995)

O guia denominado APQP (Advanced Product Quality Planning) publicada pela IOS (1995) foi desenvolvido em conjunto pela Daimler Chrysler, Ford Motor Company e General Motors para normalizar as ações, atividades, procedimentos, relatórios e nomenclatura técnica utilizada por estas companhias.

O objetivo do APQP (1995) é dar suporte aos desenvolvimentos de produtos e serviços em toda a cadeia de fornecedores e montadores automobilísticos. A utilização desta metodologia é requerimento obrigatório da norma QS 9000 publicada pela IOS (1998) para assegurar a qualidade exigida para este segmento.

O APQP exige que um conjunto mínimo de requerimentos sejam cumpridos para permitir o avanço à fase posterior de desenvolvimento. Cada requerimento corresponde a um passo da metodologia e estes podem ser relacionados conforme mostra a tabela 2.2.

Tabela 2.2: APQP: passos e requerimentos

Passos APQP	Requerimentos
Definição e Aprovação do Conceito	Planejar e definir o programa
Aprovação do Programa	Projeto do Produto e Verificação do Desenvolvimento
Protótipo	Projeto do Processo e Verificação do Desenvolvimento
Piloto	Validação do Produto e Processo
Lançamento	Avaliação e Ações Corretivas

Os requerimentos exigidos são enquadrados dentro de um planejamento adiantado da qualidade que, estruturalmente, define as informações e documentações de projeto necessárias para atender e assegurar a qualidade exigida pelo cliente, criando para cada requerimento determinadas saídas de processo. Para cada fase, as principais saídas são:

- Planejar e definir o programa: objetivos do projeto, objetivos de qualidade e confiabilidade, estrutura de produto preliminar, lista preliminar de produtos especiais e características do processo e plano de garantia do produto;
- Projeto do produto e verificação do desenvolvimento: FMEA de projeto (definido por Clausing (1994) com uma ferramenta que visa identificar as falhas de projeto por meio da análise das causas e efeitos de cada possível falha de projeto e evitar que estas aconteçam por meio da criação de um conjunto de ações para resolução dos problemas) , verificação de projeto, revisão de projeto, construção de protótipos, desenhos de engenharia, especificações de engenharia, especificações de materiais, modificações de desenhos e especificações de engenharia, requisições de novos equipamentos e ferramentas, características especiais do produto e processo, plano de controle do protótipo e teste dos equipamentos requisitados;
- Projeto do processo e verificação do desenvolvimento: especificações de embalagem, revisão do sistema de qualidade do processo/produto, fluxo do processo, leiaute de chão-de-fábrica, matriz de características, FMEA de processo (definido por Clausing (1994) com uma ferramenta que visa identificar as falhas de processo por meio da análise das causas e efeitos

de cada possível falha de processo e evitar que estas aconteçam por meio da criação de um conjunto de ações para resolução dos problemas), plano de controle do pré-lançamento, instruções de processo, plano de análise do sistema de medição e plano preliminar da capacidade produtiva do processo;

- Validação do produto e processo: corrida de produção, avaliação dos sistemas de medição, estudo preliminar da capacidade do processo produtivo, aprovação para produção das peças, testes de validação do produto, avaliação da embalagem, plano de controle do processo e aprovação do planejamento de qualidade, e
- Avaliação e ações corretivas: redução da variação do processo produtivo, satisfação do consumidor interno/externo e plano de melhoria contínua.

Como o APQP faz parte de um conjunto de normas integradas a QS9000, os resultados encontrados em desenvolvimentos de produtos sob esta condição, são suportados pela utilização de outras ferramentas que, embora não sejam exclusivas de projeto, auxiliam no cumprimento dos requisitos do APQP e acabam sendo emergidas na metodologia. Enquadram-se nestes termos o CAPP (Computer Aided Process Planning) que é o nome dado aos programas computacionais que auxiliam as atividades de planejamento do processo de produção, sistemas de ERP (Enterprise Resource Planning) que é o nome dado aos programas computacionais que englobam dados e controles de vendas, compras, programação de produção, estrutura de produto e de outras áreas da empresa e a obrigatoriedade da execução das atividades por times ou equipes de projeto.

Porém, essas infusões não alteram a morfologia do processo de projeto e são caracterizados como fontes adicionais de informação no sistema. Em termos de morfologia, o APQP pode ser apresentado conforme mostra a figura 2.13.

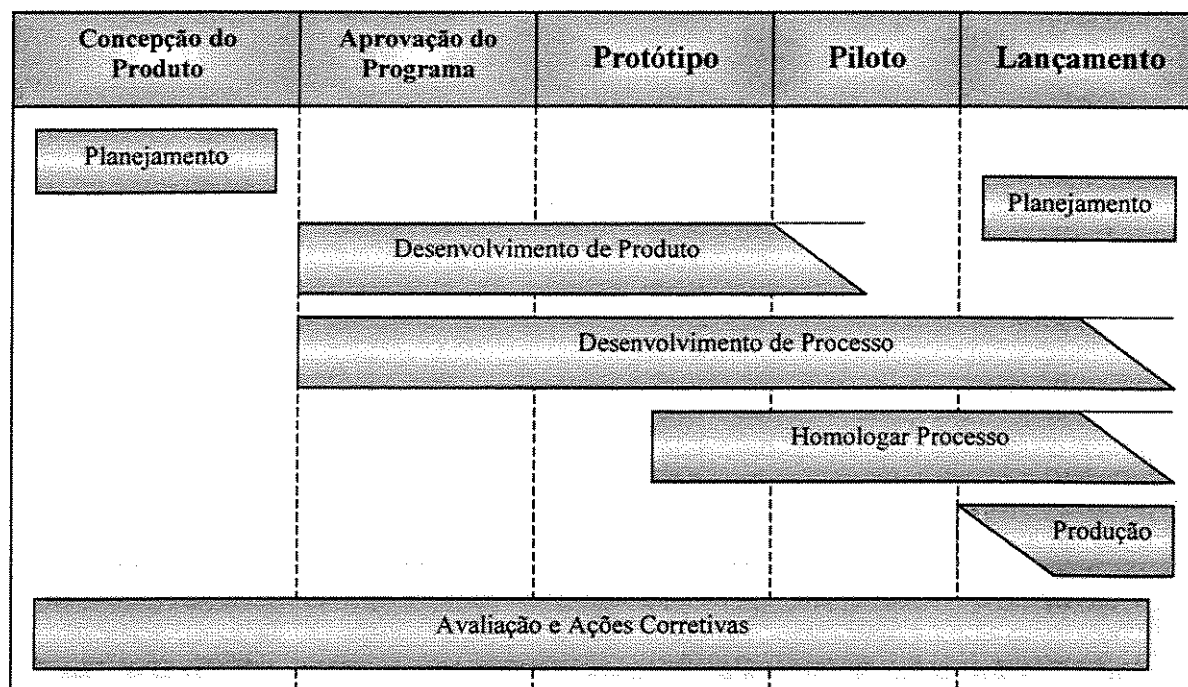


Figura 2.13 – A metodologia de projetos pelo APQP.

2.1.11 A Metodologia de Projetos por Pugh (1996)

A metodologia proposta por Pugh (1996) chamada de Total Design, busca englobar todas as atividades de projeto em uma sistemática abrangente e bem definida. Permite a adequação e inserção de diversas visões parciais de projeto durante o ciclo de desenvolvimento, diminuindo a fragmentação da disciplina de projeto e provando a capacidade de unificação de todas as tecnologias específicas dentro das etapas de projeto.

Os limites de projeto são delineados sob duas formas diferentes, a dinâmica e estática. A forma estática é relacionada ao modelo convencional de projeto onde a expansão de opções de projeto são restritas pelas práticas atuais e obtêm-se uma sintetização mínima do projeto. Já a forma dinâmica é relacionada a um modelo inovador de projeto onde a expansão de opções não é restrita pelas práticas atuais e obtêm-se então, uma sintetização máxima do projeto e melhores resultados. A figura 2.14 apresenta estas metodologias.

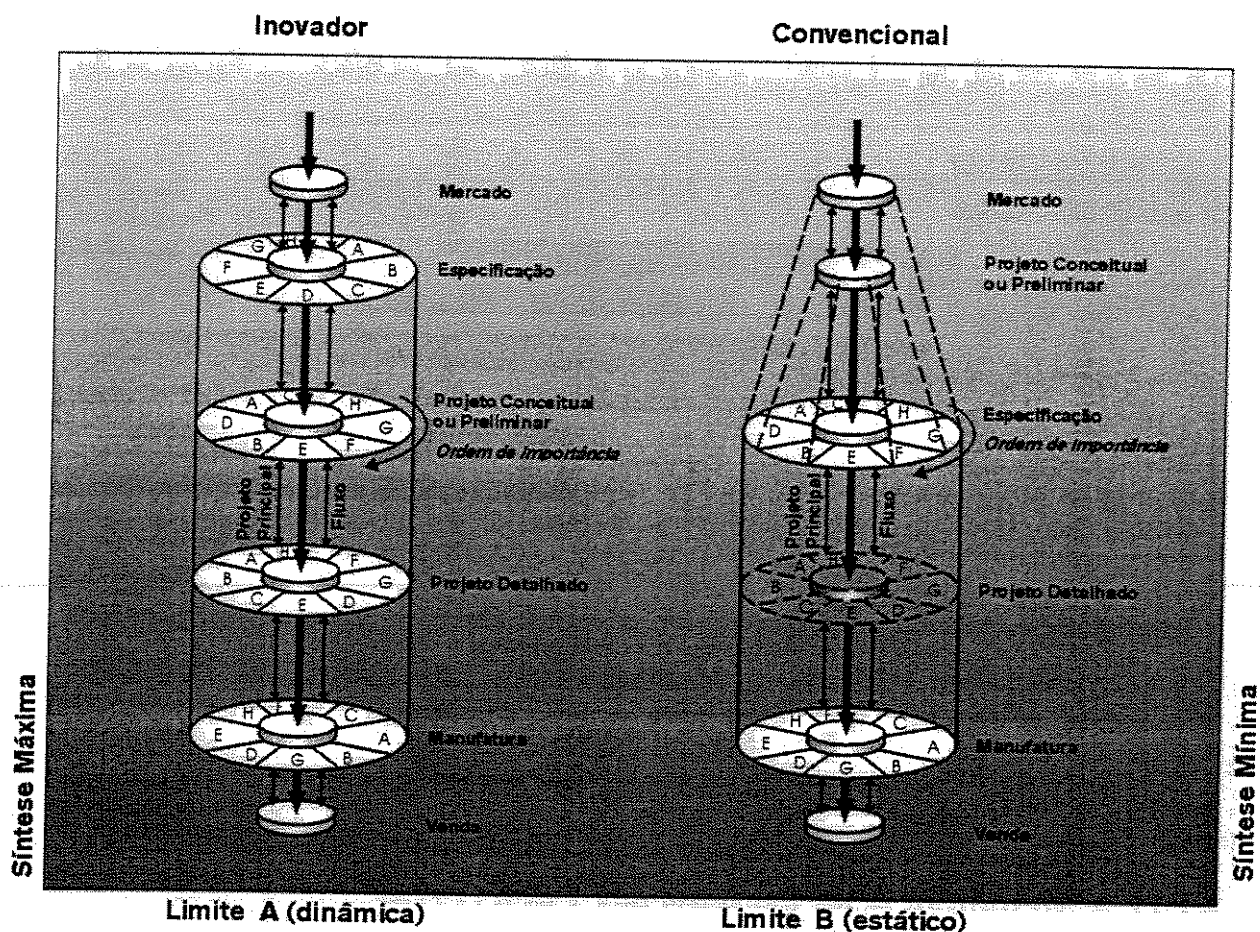


Figura 2.14 – A metodologia de projetos proposta por Pugh (1996) (A) dinâmica (B) estática.

Dentro de cada fase, representada pelos discos, são inseridas as aplicações das diversas técnicas, ferramentas e tecnologias pertinentes a cada visão parcial de projeto. A abordagem dinâmica considera nos requisitos da Fase de Especificação as informações de mercado e estas interagem sobre a Fase de Projeto Conceitual, o que não ocorre na abordagem estática.

2.1.12 A Metodologia de Projetos por Prasad (1996)

A metodologia apresentada por Prasad (1996) constitui-se de duas rodas que representam o produto integrado e a organização do processo de desenvolvimento. A harmonia entre as rodas simbolizam os interesses dos consumidores e a existência da Engenharia Concorrente para a organização industrial.

Os três discos concêntricos em cada roda são a essência da metodologia e representam o sincronismo entre as melhores práticas de desenvolvimento, os times de trabalho e o suporte necessário para a execução das tarefas. A figura 2.15 ilustra a metodologia.

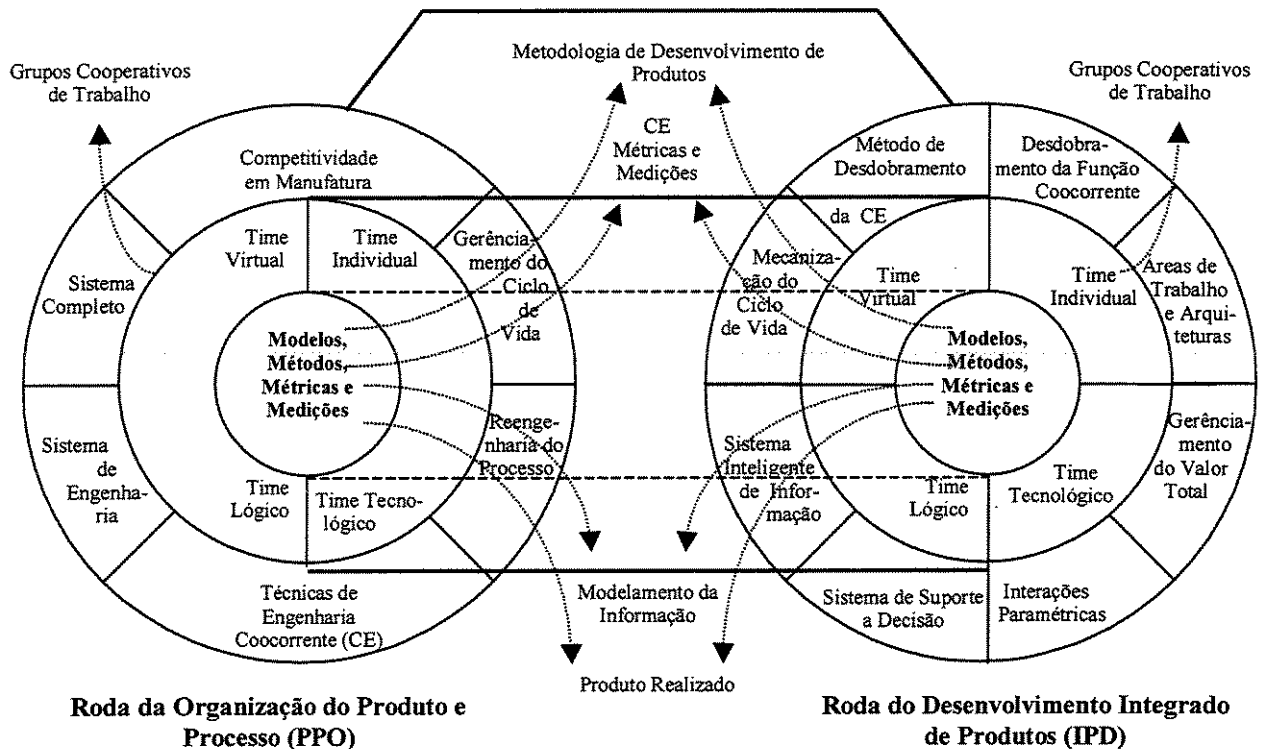


Figura 2.15 – A metodologia de projetos proposta por Prasad (1996)

A roda da esquerda é chamada de Roda da Organização do Produto e Processo (PPO) e fornecem ao desenvolvimento a estabilidade, a repetibilidade e o aumento da acuracidade nos resultados, fatores estes que norteiam o gerenciamento do desenvolvimento do produto dentro de um universo organizacional. O disco maior é dividido em seis partes:

- Competitividade em Manufatura;
- Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto;
- Reengenharia do Processo;
- Técnicas de Engenharia Concorrente;
- Sistema Otimizado de Engenharia, e

- Sistema Completo

A roda da esquerda é chamada de Roda do Desenvolvimento Integrado de Produto (IPD) e constitui a base de aplicação das práticas e métodos de Engenharia Concorrente. O disco maior é dividido em oito partes:

- Desdobramento da Função Concorrente;
- Arquiteturas e Áreas de Trabalho;
- Gerenciamento do Valor Total;
- Interações Paramétricas;
- Sistemas de Suporte a Decisão;
- Sistemas Inteligentes de Informação;
- Mecanização do Ciclo de Vida do Produto, e
- Desdobramento da Engenharia Concorrente.

Ambas as rodas possuem na formação do corpo os mesmos discos internos. O disco médio representa os times de trabalho e evidenciam a integração e cooperação entre grupos de diferentes focos de atuação em todo o processo de desenvolvimento. Os quatro grupos de trabalho são:

- Time Individual;
- Time Tecnológico;
- Time Lógico, e
- Time Virtual.

O disco pequeno coleta, classifica, trata e provém informações estruturadas que servem como guia no processo de execução do produto, no alinhamento com os objetivos propostos inicialmente e na apuração da eficácia da aplicação da Engenharia Concorrente. O disco é composto por:

- Modelos;
- Métodos;

- Métricas, e
- Medições.

Esta metodologia fornece a idéia de um processo de desenvolvimento de produto integrado e contínuo onde a mobilização, participação e cooperação da organização industrial são exigidas para manter o sincronismo e a dinâmica do processo de desenvolvimento de produto.

2.3 Comentários e conclusões

As metodologias de projeto apresentadas neste capítulo variam de acordo com a visão, experiência e escola que cada autor segue. No caso de empresas, estas variações também acontecem, criando metodologias específicas de projeto, aplicadas a um determinado segmento de produtos ou em empresas específicas.

As metodologias específicas de projeto, geralmente são desenvolvidas considerando aspectos culturais, conhecimentos acadêmicos adquiridos pelos profissionais envolvidos e as experiências vividas em desenvolvimentos de projetos semelhantes e por estes motivos ganham aplicabilidade industrial, ao menos no âmbito em que esta foi adotada como a metodologia padrão para desenvolvimento de novos produtos.

Deste modo pode ser possível a criação de dois cenários aparentemente opostos: o conjunto das metodologias de projetos desenvolvidas na academia e o conjunto das metodologias de projetos desenvolvidas na indústria.

A oposição entre estes dois conjuntos de metodologias deixa de existir quando percebe-se que em ambos existe uma linha mestra que então, permite criar um forte vínculo entre metodologias acadêmicas e industriais. Outro aspecto importante é a compilação de conceitos parciais de diversas metodologias, de modo a formar uma metodologia única.

Dentro destas visões parciais, a utilização da tecnologia de PR pode ser enquadrada de diversas formas, e o estudo de seu métodos, materiais e aplicações se faz necessário para

entendimento da relação entre metodologia de projeto e o uso de protótipos obtidos por sistemas de PR..

No próximo capítulo serão discutidos os métodos e materiais utilizados por diversos sistemas de PR, a fim de criar uma discussão propícia a fusão da PR e das metodologias de projeto.

Capítulo 3

Descrição dos Processos de Prototipagem Rápida

Apesar de ser uma tecnologia em desenvolvimento a PR oferece um grande número de sistemas e processos, cada qual com suas particularidades. Pham e Gault (1998) afirmam existir disponíveis no mercado cerca de dez sistemas capazes de construir protótipos que atendam os requisitos básicos de engenharia e cerca de oito sistemas em estágio de pesquisa.

Entre todos estes sistemas, Masood e Soo (2002) destacam a existência de vinte e uma empresas que comercializam máquinas de prototipagem e dez Universidades que pesquisam o assunto no mundo. A maioria destes fornecedores e Universidades estão situados nos Estados Unidos, Alemanha, Japão, China e Singapura.

Porém, a diversidade de sistemas muitas vezes confunde seus usuários no momento de distinguir entre a escolha de um processo ou outro, e esta dificuldade de seleção pode acarretar perda de eficiência na adoção da PR durante o desenvolvimento de produto e trazer para o projetista ou para a equipe de projeto certa desconfiança quanto à tecnologia.

Com o objetivo de esclarecer as particularidades de cada processo, neste capítulo são descritos os principais sistemas de PR e suas características de operação. Os sistemas foram selecionados de acordo com a classificação realizada por Campbell, Martorelli e Lee (2002),

apresentada na figura 2.2 deste trabalho. São relacionados também, os principais parâmetros que cada sistema oferece.

3.1 Sistemas de Prototipagem Rápida

3.1.1 Selective Laser Sintering (SLS)

A técnica da Sinterização Seletiva por Laser (SLS) descrita por Pham e Gault (1998) usa um feixe de laser para fundir seletivamente o material em pó contido nos reservatórios. As camadas da peça são construídas a cada passo dos cilindros dos reservatórios, que se movimentam para cima. O cilindro de construção, ao contrário dos cilindros dos reservatórios, se movimenta para baixo afim de manter todo o conjunto da máquina em um mesmo nível. A cada movimento do conjunto, o rolo nivelador carrega o pó para a construção de uma nova camada. O passo dos cilindros dos reservatórios define também, a espessura da camada a ser construída. Este processo se repete até o fim da construção da peça. A figura 3.1 apresenta um diagrama esquemático deste sistema.

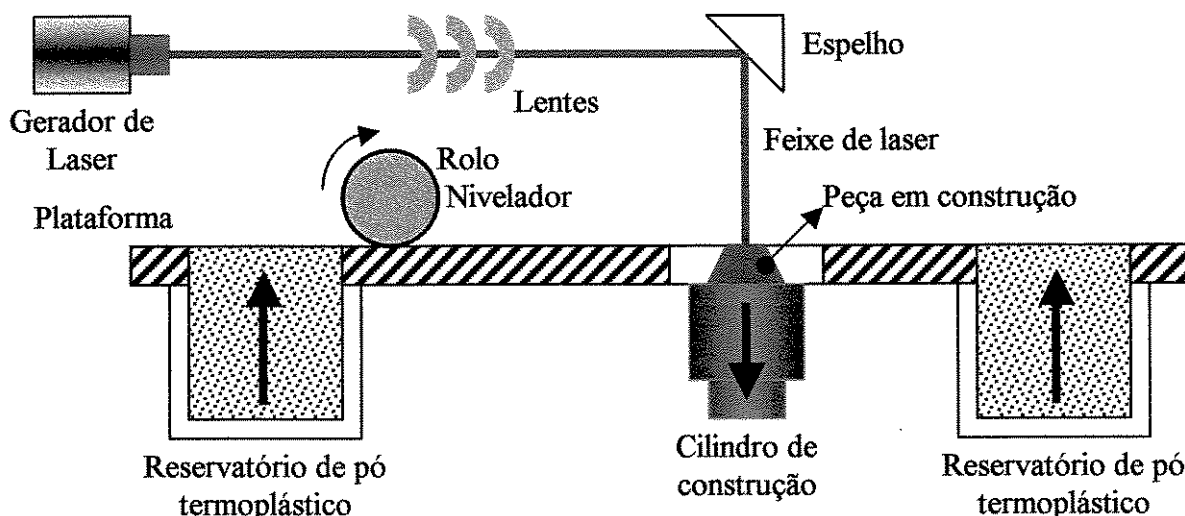


Figura 3.1 – Diagrama esquemático do sistema Sinterização Seletiva por Laser (SLS).

Esta técnica foi desenvolvida na Universidade do Texas e patenteada em 1989. Atualmente é produzida e comercializada pela DTM of Austin, Texas.

3.1.2 Gas Phase Deposition (GPD)

Neste processo, moléculas de um gás reativo são depositadas em um material particulado usando uma luz ou calor produzidos por um gerador de laser, transformando-o em sólido. Dickens (1995) descreve três métodos possíveis de construção através do tipo de incidência da luz ou do calor. São eles:

- SALD (Selective Area Laser Deposition): o sólido formado pelo gás depositado é o mesmo utilizado para formar a peça. Pode-se utilizar materiais como carbono, silicone e carbonetos;
- SALDVI (Selective Area Laser Deposition Vapour Infiltration): o gás se deposita entre os grãos do material particulado, e
- SLRS (Selective Laser Reactive Sintering): os raios de laser promovem uma reação entre o gás e o material particulado formando o sólido. Pode-se utilizar materiais como carbonetos e nitretos.

A figura 3.2 ilustra este processo de forma genérica não mencionando um sistema de incidência de luz ou de calor específico.

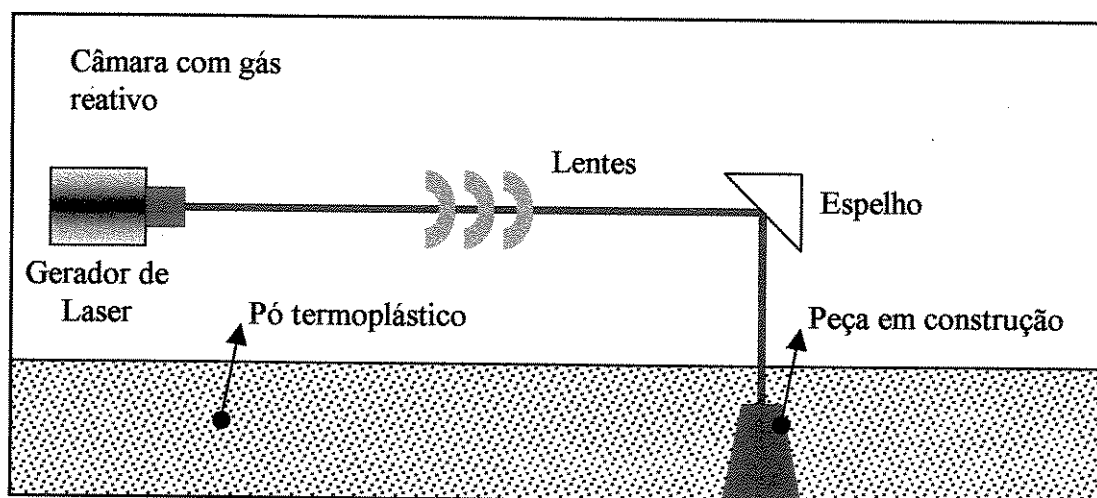


Figura 3.2 – Diagrama esquemático do sistema Gas Phase Deposition (GPD).

3.1.3 3D Ink-Jet Printing (3DP)

Esta classe de máquinas engloba todas as máquinas que utilizam a tecnologia de jato de tinta para construir as camadas de um protótipo. Yan e Gu (1996) descrevem o sistema e afirmam que em todos os processos os cabeçotes de impressão lançam jatos de cola sobre a camada de pó até que se forme a camada desejada. Os cabeçotes podem se movimentar ao longo dos eixos x e y.

As camadas da peça são construídas a cada passo dos cilindros de alimentação, que se movimentam para cima (eixo z). O cilindro de construção, ao contrário dos de alimentação, se movimenta para baixo afim de manter todo o conjunto da máquina em um mesmo nível. A cada movimento do conjunto, o rolo nivelador carrega o pó para a construção de uma nova camada. O passo dos cilindros de alimentação define também, a espessura da camada a ser construída. Este processo se repete até o fim da construção da peça. A figura 3.3 apresenta um diagrama esquemático deste processo.

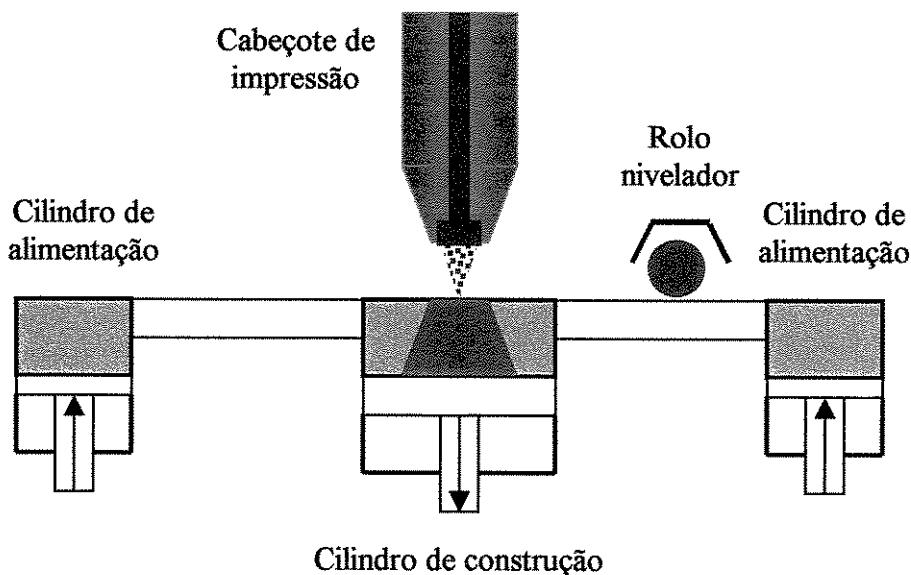


Figura 3.3 – Diagrama esquemático do sistema 3-D Ink-Jet Printing.

Esta técnica foi comercializada e desenvolvida por diferentes companhias e se diferem apenas por pequenos detalhes construtivos. Pham e Gault (1998) destacam a existência de quatro empresas que comercializam este tipo de sistema.

A máquina comercializada pela empresa Z-Corp, chamada de 3-D Printer, utiliza apenas um cabeçote de impressão e um reservatório de pó. A versão comercializada pela empresa 3D Systems é chamada de Thermo-Jet ou Multi-Jet Printer e utiliza um sistema de cabeçotes múltiplos instalados em um magazine. Este sistema é capaz de depositar material suficiente para completar uma camada inteira da peça em apenas um ciclo, o que lhe fornece rapidez de construção.

A terceira versão desta técnica é a desenvolvida e comercializada pela Sanders Prototype e conhecida como Model Maker Sanders, que utiliza um sistema duplo de cabeçotes. O primeiro deposita o material que forma a camada e o segundo o material que formará os suportes da peça. Para nivelar as camadas utiliza-se uma ferramenta de fresa que corta as sobras de material acima do topo da peça. Esta técnica apresenta alta acuracidade dimensional.

A última derivação desta técnica é a desenvolvida pela empresa BPM Inc., chamada de Ballistic Particle Manufacturing (BPM). Neste processo o cabeçote se movimenta em três direções (x, y e z) e lança o jato de maneira pontual sobre o material em pó. Atualmente este processo não está sendo comercializado.

3.1.4 Spatial Forming (SF)

Pham e Gault (1998) descrevem o sistema e destacam que este processo é utilizado em protótipos na área médica em aplicações onde a alta precisão dimensional e o pequeno tamanho da peça são requisitos técnicos fundamentais.

O negativo da peça é construído camada por camada através da deposição de material cerâmico e a cura é realizada por meio de luz ultravioleta. Este processo é repetido até que a formação do negativo da peça permita a construção da peça final através do preenchimento do espaço por um material metálico injetado. Após completado o processo, o protótipo é aquecido em uma atmosfera de nitrogênio para remoção do elemento de liga da parte negativa da peça e, também, para sinterizar ambos os materiais. Finalmente, a parte cerâmica pode ser removida por meio de ultrassom e obtêm-se a peça final.

3.1.5 Laminated Object Manufacture (LOM)

Yan e Gu (1996) descrevem que esta técnica, desenvolvida e comercializada pela Helisys, utiliza camadas de folhas adesivadas, coladas uma sobre a outra, para formar o protótipo. O material original consiste em um papel laminado com auto adesivo sensível ao calor fornecido em bobinas. Como mostra a figura 3.4, o sistema da bobina coletora avança o material sobre a plataforma de construção, onde existe uma base construída em papel e fita dupla-face. O rolo aquecido aplica uma pressão para colar o papel laminado com a base.

Um raio de laser focado nos contornos da primeira camada corta o papel e em seguida promove corte em formas de hachuras quadradas no lado negativo (externo) da peça. O material extra representado pela área hachurada na figura 3.4 é removido, facilitando o trabalho de pós-processamento. Durante a construção, o material extra trabalha como um suporte, auxiliando na construção de paredes finas e detalhes de forma geométrica complexa.

Após a formação da primeira camada, a plataforma de construção move-se para baixo e uma nova camada de material entra em processo devido ao acionamento do rolo coletor. Neste momento o rolo aquecido cola a segunda camada sobre a primeira e o material é novamente cortado pelo laser. Este procedimento é repetido até a completa formação da peça.

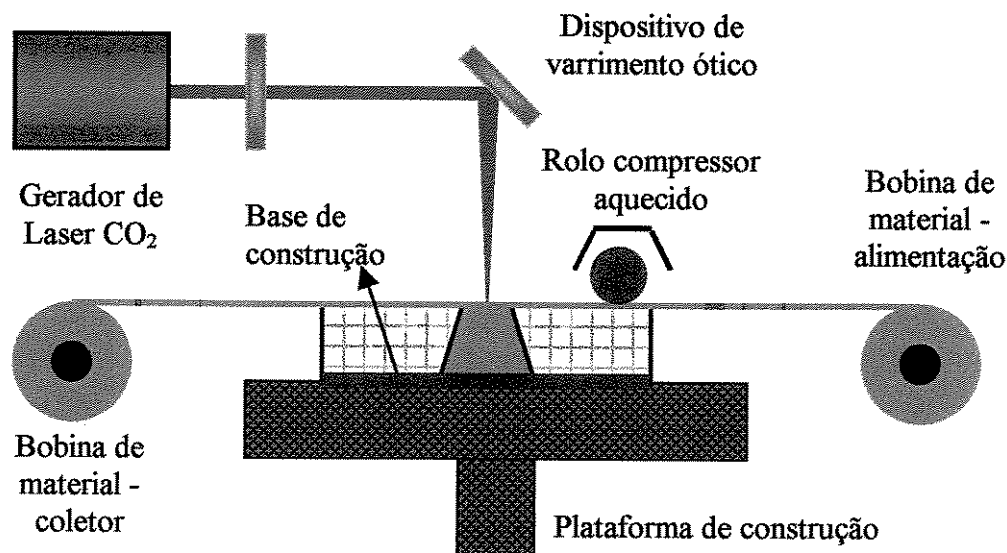


Figura 3.4 – Diagrama esquemático do sistema Laminated Object Manufacturing (LOM).

Devido a peça ser construída em papel, sua superfície tem de ser vedada e acabada com pintura ou verniz, para prevenir danos. Outras combinações de materiais foram desenvolvidos pela Helisys como plásticos, papel repelente a água, cerâmica e papel com incrementos metálicos.

3.1.6 Electrosetting (ES)

Pham e Gault (1998) descrevem que neste processo, eletrodos são impressos em um material condutivo como o alumínio. Após a impressão de todas as camadas, uma sobre a outra, a peça é submersa em um fluido eletro sensível e energizado. O fluido penetra entre as camadas fazendo a junção entre elas, completando a formação a peça. O pós processamento da peça exige a retirada da parte em alumínio e a drenagem do fluido eletro sensível.

O método de construção traz algumas vantagens para a peça final: alta densidade, boa compressibilidade, alta dureza superficial e alta adesão das camadas. Estas propriedades podem ser controladas pela máquina através dos parâmetros e valores de tensão e corrente aplicados ao alumínio.

3.1.7 Fused Deposition Modelling (FDM)

Yan e Gu (1996) descrevem o processo chamado Fused Deposition Modelling (FDM) que foi desenvolvido e é comercializado pela empresa Stratasys. A técnica utiliza uma combinação de extrusão de material plástico e deposição do material fundido em camadas.

A matéria-prima é fundida e aplicada por meio de um cabeçote de extrusão sobre a plataforma de construção que permanece em baixa temperatura. O cabeçote de extrusão percorre o perfil formado pelo fatiamento do modelo 3D, dando origem a primeira camada. Após o término da primeira camada, a altura da plataforma da máquina é ajustada e o processo se reinicia, retomando o ciclo de fabricação. A figura 3.5 mostra um esquema de funcionamento da máquina. Este sistema pode operar com diversos materiais plásticos como ABS, PC, elastômeros, Nylon e blendas diversas.

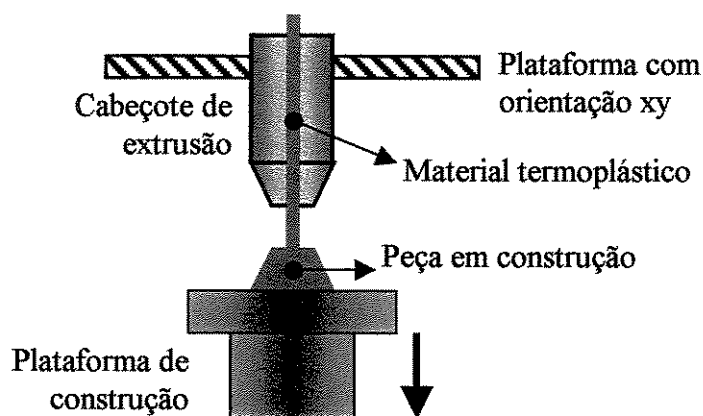


Figura 3.5 – Diagrama esquemático do sistema Fused Deposition Modeling (FDM).

3.1.8 Three Dimensional Welding (3DW)

Pham e Gault (1998) descrevem que este método propõe a construção do protótipo por meio de um robô que controla o depósito de material através de um arco de soda. As informações para confecção da peça partem direto de um arquivo CAD, ao contrário de outros sistemas de PR que utilizam um arquivo CAD triangularizado (*.stl).

Por se tratar de um método experimental, Dickens (1995) afirma que muitos problemas ainda precisam ser resolvidos como o super aquecimento, que causa o derretimento da parte já construída da peça e do acabamento superficial de baixa qualidade.

3.1.9 Shape Deposition Manufacturing (SDM)

O processo chamado Shape Deposition Manufacturing foi desenvolvido pela Stanford University em conjunto com a Carnegie Mellon University, no início da década de 90. Pham e Gault (1998) destacam que o diferencial deste processo é unir as principais vantagens oferecidas por três tipos de métodos construtivos que atuam em uma característica particular da peça em cada passo do processo, caracterizando o método como combinado.

A figura 3.6 ilustra o processo de formação da peça. No primeiro estágio, o material fundido é depositado através de um canhão sobre a plataforma de construção robotizada. A peça

é transferida para o segundo estágio onde uma espécie de fresadora 5 eixos remove o material em excesso formando a camada com a geometria e dimensões da fatia correspondente a peça final.

No terceiro estágio a camada é transferida para uma estação de alívio de tensões que controla o nível de tensão residual da peça. Após o término do terceiro estágio, a peça retorna a estação de deposição de material onde as camadas e suportes complementares serão adicionados até que a peça seja finalizada.

Cada estágio de construção fornece a peça final pelo menos uma característica técnica essencial:

- Primeiro estágio – Estação de Deposição: deposita o material fundido e este não recebe nenhuma incidência de raios laser ou ultravioleta para se solidificar, mantendo um bom grau de coesão e adesividade para receber as próximas camadas;
- Segundo estágio – Estação de Remoção de Material: por se tratar de um processo semelhante aos métodos de remoção de material já conhecidos, a acuracidade e precisão dimensional é mantida;
- Terceiro estágio – Estação de Alívio de Tensões: executa o tratamento das tensões residuais geradas durante o processo de resfriamento e remoção de material.

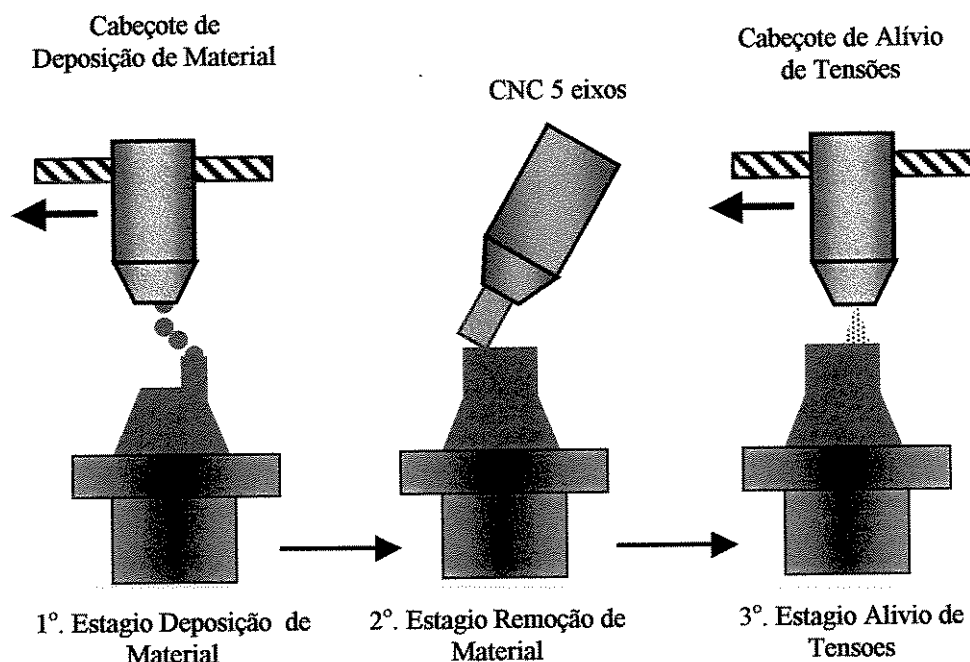


Figura 3.6 – Diagrama esquemático do sistema Shape Deposition Manufacturing (SDM).

3.1.10 Stereolithography Apparatus (SLA)

Hull (1988) afirma que a Estereolitografia (SLA) foi o primeiro sistema de Prototipagem Rápida a surgir no mercado no ano de 1987. Desenvolvido e comercializado pela empresa 3D Systems se tornou o sistemas mais vendido no mundo. Por este motivo esta tecnologia oferece bons resultados e facilidade de operação, se transformando no sistema mais empregado e com maior número de trabalhos científicos publicados no mundo.

Hull (1988) destaca que o processo consiste basicamente na fotopolimerização por camadas de uma resina líquida, ponto a ponto, através da aplicação de uma radiação ultravioleta ocasionada por um feixe de laser, o qual varre todo o perfil 2D gerado pelo fatiamento do modelo, como mostra a figura 3.7. Após esta etapa, a peça sofre uma pós-cura que completa a polimerização restando, então, a remoção dos suportes.

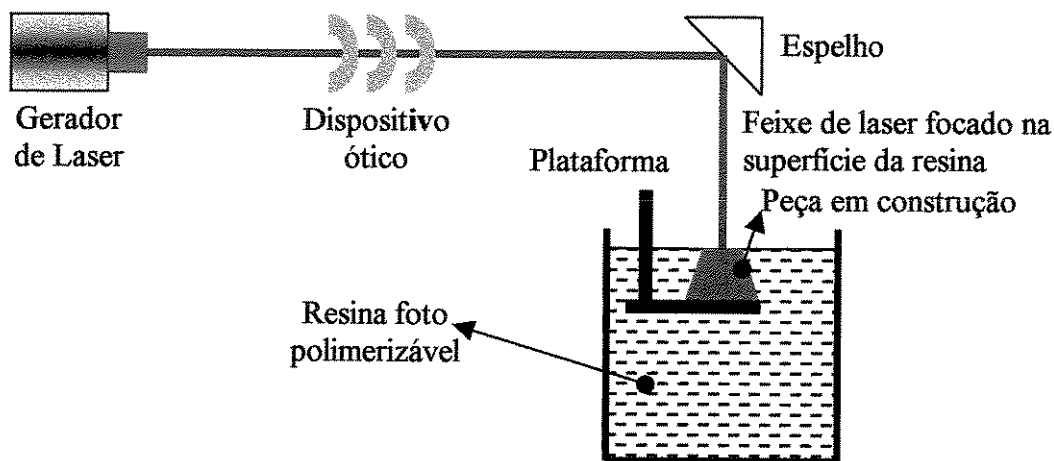


Figura 3.7 – Diagrama esquemático do sistema Estereolitografia (SLA).

3.1.11 Liquid Thermal Polymerization (LTP)

Este método é similar a Estereolitografia (SLA) exceto na utilização de uma resina termo sensível e de um gerador de laser infravermelho para criação das camadas. Pham e Gault (1998) destacam que estas diferenças causam alguns problemas na geração e controle do calor dissipado causando chupagem na peça, o que prejudica sua qualidade.

3.1.12 Beam Interference Solidification (BIS)

Este método, mostrado na figura 3.8, utiliza dois geradores de laser montados em 90° graus, emitindo raios laser em diferentes frequências para polimerizar uma resina em uma câmara de paredes transparentes. O gerador de laser número 1 excita o líquido para um estado reversível. Enquanto isso o gerador de laser número 2 polimeriza a resina excitada. A interferência entre os raios laser dos geradores número 1 e 2 na resina formam a peça.

Kruth (1991) relata que este método apresenta alguns problemas:

- sombras na peça devido a solidificação prévia da resina em alguns pontos da peça;
- deformações na superfície da peça devido a intensidade de absorção da luz produzida pelos raios laser, e

- dificuldade na intersecção dos raios de laser em pontos de diferentes temperaturas na resina.

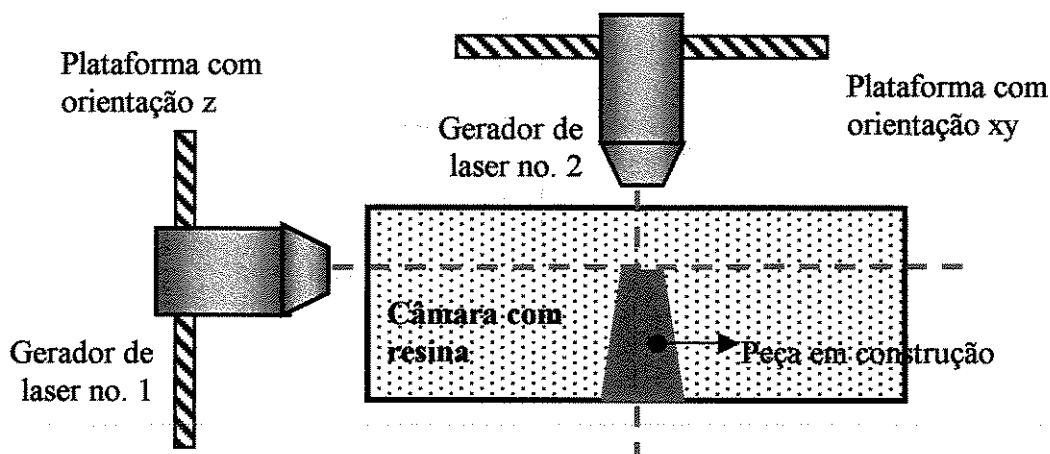


Figura 3.8 – Diagrama esquemático do sistema Beam Interference Solidification (BIS).

3.1.13 Solid Ground Curing (SGC)

Pham e Gault (1998) destacam que este sistema desenvolvido e comercializado pela empresa Cubital é similar a Estereolitografia, pois ambos utilizam raios ultravioleta para realizar a cura de uma resina fotopolimerizável.

O primeiro passo é a distribuição através de um jato, da resina fotopolimerizável sobre a plataforma de construção. Então, a máscara descritiva reproduz a máscara da camada a ser construída e imprime esta máscara na placa de vidro sobre a plataforma através de processo eletrostático. Neste instante, incide sobre a máscara luz ultravioleta e a camada da peça é formada com a cura da resina nesta área. Após a cura, o excesso de resina é recolhido pela máquina por um sistema de vácuo e a superfície é alinhada pelo dispositivo de nivelamento. O ciclo se repete até a completa formação da peça.

Este sistema permite a construção de peças grandes com boa qualidade dimensional. A figura 3.9 apresenta um diagrama esquemático do funcionamento da máquina.

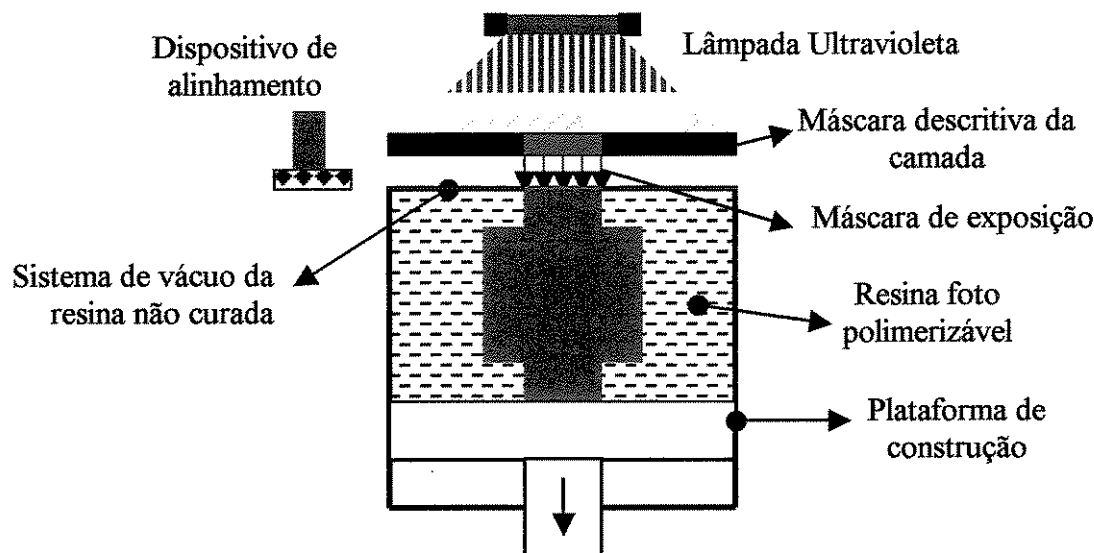


Figura 3.9 – Diagrama esquemático do sistema Solid Ground Curing (SGC).

3.1.14 Holographic Interference Solidification (HIS)

Pham e Gault (1998) descrevem que o método de construção utilizado por este processo é a projeção de uma imagem holográfica sobre uma resina causando a completa solidificação da superfície da peça. Os dados são obtidos diretamente do arquivo CAD, ao contrário de outros sistemas de PR que utilizam um arquivo CAD triangularizado (*.stl). Atualmente, não existem sistemas comerciais que utilizam este processo.

3.1.15 Ballist Particle Manufacture (BPM)

Este sistema opera a partir da aplicação de um jato de material fundido composto por diferentes substratos, que se unem através de uma solda fria, formando a peça. Em cada grão de material é aplicado uma carga eletrostática, no momento em que são expelidos pelo cabeçote de injeção, a fim de melhorar o assentamento das camadas.

O material deve ser expelido em uma atmosfera inerte contendo nitrogênio, para evitar oxidação e dispersão das partículas. A figura 3.10 representa este sistema.

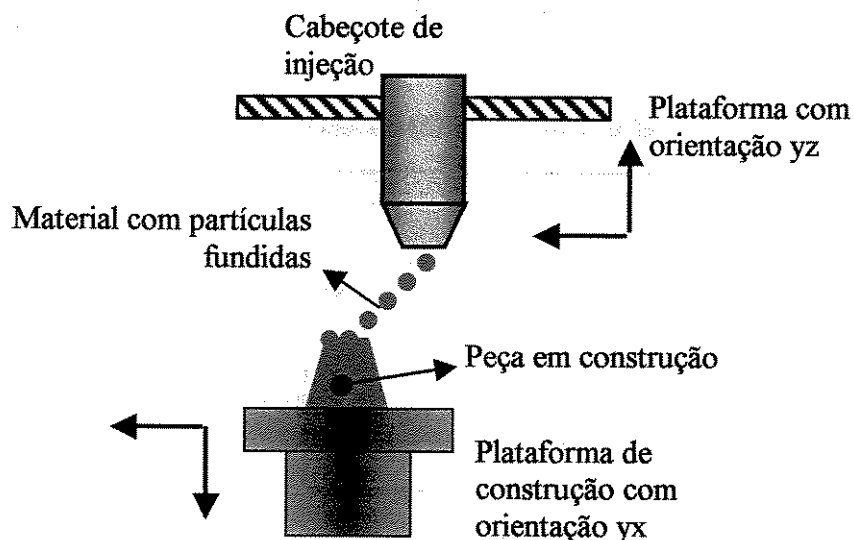


Figura 3.10 – Diagrama esquemático do sistema Ballistic Particle Manufacture (BPM).

Os parâmetros que afetam a qualidade da peça são: a carga eletrostática aplicada, a temperatura do material no momento da aplicação do jato e a velocidade das partículas de material.

Pham e Gault (1998) destacam como as principais vantagens do sistema:

- o baixo custo do protótipo e hora máquina;
- a possibilidade de utilizar alguns materiais metálicos para construção da peça;
- a composição da estrutura em grãos finos de material, e
- boas propriedades mecânicas que a peça apresenta.

Em contra partida, Kochan, Kai e Zhaohui (2002) relatam como desvantagens os fatos do sistema possuir compatibilidade com uma pequena gama de materiais comerciais e não conseguir aliar velocidade de construção e acuracidade geométrica/dimensional.

3.2 Atributos dos sistemas de Prototipagem Rápida

As particularidades dos sistemas de Prototipagem Rápida discutidos neste tópico estão divididos em dois grupos: sistemas comerciais e sistemas em pesquisa e desenvolvimento. O primeiro grupo, descrito na tabela 3.1, engloba todos os processos disponíveis no mercado e que são capazes de produzir protótipos em conformidade com os requisitos de projeto.

A tabela 3.1 também pode ser utilizada como um guia rápido de seleção do sistema mais adequado a necessidade de projeto. Para isto basta usar os atributos listados na tabela como parâmetros comparativos aos requisitos de projeto.

Tabela 3.1: Atributos dos sistemas de Prototipagem Rápida disponíveis no mercado.

ATRIBUTOS	SLA	SGC	BPM	FDM	SLS	3DP	LOM
Necessário pós-cura	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
Necessário suportes	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Material utilizado	Epoxy ou resina acrílica	Resina	Termoplástico ou cera	ABS, cera ou elastômeros	PA, metais, cera ou PC	Epoxy, elastômeros e cera	Papel, plásticos ou cerâmica
Necessário raio Laser	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
Espessura da camada (μm)	50	100 - 200	13 - 130	50 - 762	76	76 - 254	76 - 203
Resolução nos eixos xy (μm)	200-250	100	101	254	200-280	508	203-254
Acuracidade (μm)	± 100	± 500	± 25	± 127	± 51	± 127	± 127
Velocidade de varrimento (mm s^{-1})	5	8	310	380	0,001-0,008	0,007	508 (velocidade de corte)
Dimensão máxima da peça (mm^3)	500 x 500 x 584	500 x 350 x 500	300 x 150 x 220	254 x 254 x 254	330 x 380 x 425	355 x 457 x 355	813 x 559 x 508

Os dados da tabela 3.1 foram extraídos de catálogos comerciais e literatura técnica emitidos pelos fabricantes dos equipamentos. Os dados são referentes as máquinas mais sofisticadas e de maior capacidade produtiva. Os fabricantes consultados foram:

- SLA – 3D Systems disponível em <http://www.3dsystems.com/products/sla/viper/index.asp> consultado em 12 de Abril de 2003;
- SGC – Cubital's of Raanana, Israel disponível em <http://www.cubital.com/cubital/sgc/datasheet.htm> consultado em 12 de Abril de 2003;
- BPM – BPM Corporation disponível em <http://www.perceptionsystems.com/bpm/datasheet.htm> consultado em 12 de Abril de 2003;
- FDM – Stratasys disponível em <http://www.stratasys.com/global/fdm/index.htm> consultado em 12 de Abril de 2003;
- SLS – 3D Systems e DTM of Austin, Texas disponível em <http://www.3dsystems.com/products/sls/vanguard/datasheet.asp> consultado em 20 de Abril de 2003;
- 3DP – Z Corporation disponível em <http://www.zcorp.com/products/printersdetail.asp?ID=3> consultado em 12 de Abril de 2003, e
- LOM – Cubic Technologies Inc. disponível em <http://www.cubicttechnologies.com/page36.htm> consultado em 12 de Abril de 2003.

O grupo dos sistemas em estágio de pesquisa e desenvolvimento está representado na tabela 3.2. Os sistemas que estão em estágios mais avançados de desenvolvimento são o 3DW, SF e HIS. Alguns atributos não possuem dados devido a seus processos não possuírem valores experimentais medidos. Para estes sistemas as informações foram extraídas do site <http://www.cc.utah.edu/~asn8200/rapid.htm> consultado em 12 de Abril de 2003:

- LTP – Kaiserslautern University;
- BIS – Batelle Development Corporation;
- HIS – Quadtec Inc;
- 3DW – Thyssen Ag,e Cranfield University;
- SDM – Stanford University em conjunto com a Carnegie Mellon University;
- GPD – University of Texas;

- ES – Information Science Institute, University of Southern Califórnia, e
- SF – University of California at Davis e Leipzig University.

Tabela 3.2: Atributos dos sistemas de Prototipagem Rápida em estágio de pesquisa e em desenvolvimento.

ATRIBUTOS	LTP	BIS	HIS	3DW	SDM	GPD	ES	SF
Necessário pós-cura	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim		
Necessário suportes	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Material utilizado	Resina	Resina	Resina	Metal líquido	Metal	Gás reativo	Fluido eletro-set	Metal
Necessário raio Laser	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
Espessura da camada (μm)	100	ND*	Não aplicável	1450	ND*	ND*	ND*	0,5
Resolução nos eixos xy (μm)	100	ND*	ND*	300-600	ND*	ND*	ND*	10
Acuracidade (μm)	ND*	ND*	ND*	± 500	ND*	ND*	ND*	± 25
Velocidade de varrimento (mm s^{-1})	ND*	ND*	ND*	8	ND*	ND*	ND*	ND*
Dimensão máxima da peça (mm^3)	ND*	ND*	300 x 300 x 300	300 x 300 x 300	ND*	ND*	ND*	ND*

* ND: informação não disponível

3.3 Comentários e conclusões

Os diferentes métodos de construção de protótipos apresentados neste capítulo podem ser classificados de diferentes formas segundo alguns critérios estabelecidos: material empregado na construção do protótipo, método de solidificação ou junção das partículas do material e maneira de como o protótipo é construído.

No primeiro critério de classificação estão agrupadas as matérias-primas para construção do protótipo: polímeros como ABS, PA e PC; Epoxy; resinas poliméricas; resinas acrílicas; ceras;

elastômeros; papel; metais como cobre e alumínio e cerâmica. Estas matérias-primas podem ainda, serem agrupadas em três grupos principais: líquidos, partículas discretas e chapas sólidas.

No segundo critério estão agrupados os modos de como as matérias-primas são solidificadas ou unidas: fusão das partículas, junção das partículas, colagens de placas sólidas com adesivo, solidificação de um líquido polimérico, solidificação de um fluido por aquecimento elétrico e solidificação de um material fundido.

No terceiro critério estão agrupadas as formas de como os protótipos são construídos: ponto a ponto, camada por camada ou superfície holográfica.

O reconhecimento destes critérios serve como referência para a escolha de um método mais eficaz de construção quando for desenvolvido um novo sistema de PR. Pode-se, a partir destes critérios, criar um quadro morfológico e selecionar a melhor configuração para a construção de um novo sistema de PR.

Como informações adicionais para concepção de um novo sistema deve-se identificar como são utilizados os protótipos por seus usuários definindo assim, o que realmente o cliente quer e necessita. O Capítulo 4 apresenta o enquadramento da PR nas diferentes metodologias de projeto, suas diferentes formas de utilização e seus impactos no desenvolvimento de produtos.

Capítulo 4

Enquadramento da Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos

Protótipos são elementos conhecidos dentro do ambiente de Engenharia. As diferentes formas de utilização e conceitos atribuídos aos protótipos mudam de acordo com a experiência e comportamento dos projetistas, dos integrantes da equipe de projeto e da metodologia de projeto em que este é inserido.

De forma geral, qualquer modelo físico ou virtual que possa ser construído dentro de um determinado projeto passa a ser chamado de protótipo. Porém, cada tipo de protótipo possui características particulares que diferenciam e classificam sua forma de atuação e impactos dentro do desenvolvimento de produtos. Kaminski e Oliveira (2000) propõem uma divisão em quatro grupos principais:

- descritivos: permitem o entendimento de determinado sistema real ou fenômeno;
- preditivos: permitem prever (dentro dos limites do modelo) o comportamento do fenômeno ou sistema real;
- icônicos: são utilizados para visualização do produto em seus vários aspectos, e
- analógicos: protótipos ou modelos reduzidos do produto utilizados para avaliar o funcionamento através de medidas experimentais.

Os sistemas de Prototipagem Rápida são capazes de produzir protótipos que se enquadram dentro dos quatro grupos mencionados, bastando para isso, que o enfoque dado a análise do protótipo tenha objetivos diferentes. Em condições especiais, com um mesmo protótipo, pode-se analisar o problema com os quatro enfoques descritos e, a partir de um único protótipo, ter a possibilidade de realizar análises variadas.

Para validar as possibilidades de análise de um protótipo, alguns aspectos críticos devem ser considerados.

O primeiro aspecto define o nível de prototipagem que existe inserido em uma mesma análise, ou seja, se o produto completo é um protótipo, se um sistema é um protótipo, se um subsistema é um protótipo ou se o componente é um protótipo.

O segundo aspecto define o grau de representatividade do protótipo, ou seja, se o protótipo representa grosseiramente ou fielmente o comportamento da peça final. São considerados neste aspecto os dados relativos a material, forma geométrica e acuracidade dimensional.

O terceiro aspecto define o grau de amadurecimento do projeto de forma geral, ou seja, se o protótipo foi construído a partir de um projeto bem discutido - onde premissas e disciplinas de engenharia foram aplicadas - suas chances de sucesso através da identificação de problemas críticos que fogem ao ambiente de projeto são maiores. Deve-se evitar o uso do protótipo como único elemento do ato de projetar porque desta forma pode ocorrer a banalização do projeto.

4.1 Formas de utilização de protótipos no Processo de Desenvolvimento de Produtos

As interações entre as características dos protótipos e seus aspectos críticos definem as formas de utilização do protótipo no processo de desenvolvimento do produto. Para que as ações referentes à utilização da tecnologia de PR ocorram de forma satisfatória, faz-se necessário fundir um processo morfológico básico para qualquer metodologia de projeto, os fatores condicionantes e as formas de utilização de protótipos, resultando na criação da figura 4.1.

O processo morfológico básico proposto por Bach (1976) e apresentado no disco externo da figura 4.1, serviu como elemento de análise das metodologias discutidas no Capítulo 2. Em todas as metodologias estudadas foi constatado a existência desta linha mestra, sendo que para cada metodologia as etapas estão dispostas de formas diferentes.

Confrontando os fatores condicionantes, descritos nos dois discos internos da figura 4.1 com o processo morfológico básico proposto por Bach (1976), delimitou-se formas para utilização de protótipos dentro de qualquer processo de desenvolvimento de produtos.

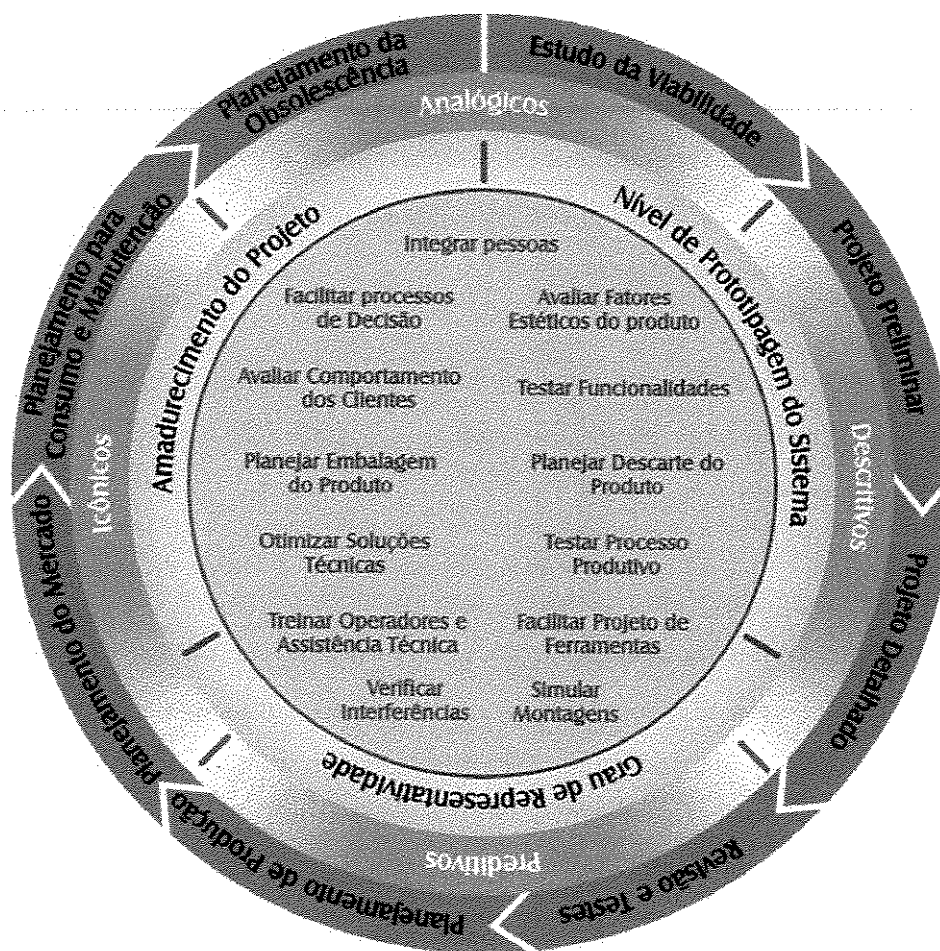


Figura 4.1 – Morfologia básica, fatores condicionantes e formas de utilização da PR no PDP.

Pode-se afirmar que a utilização de protótipos como elemento de integração de pessoas ocorre em qualquer nível e atividade do projeto, independente da metodologia utilizada e da

forma como é composta a equipe de projeto. Nesta afirmação, recorre o fato de profissionais que necessitam tomar decisões e partilhar informações importantes de projeto apresentarem dificuldades na visualização e entendimento de desenhos 2D e modelos matemáticos 3D.

Reuniões de análise crítica de projeto, discussões técnicas e a aplicação de algumas ferramentas de Qualidade como FMEA (Failure Model and Effect Analysis), podem ter suas sessões otimizadas, melhorando o nível das informações trocadas entre os integrantes quando da utilização de protótipos como elementos de integração.

Os processos de decisão também são facilitados quando há geração de informação concisa e de conteúdo plausível. A alimentação de informação dos processos decisórios é beneficiada pela oportunidade que o protótipo oferece de colocar todos os profissionais em um mesmo referencial e poder extrair de cada um o ponto de vista e impressão sobre o produto, eliminando problemas de falsa interpretação de desenhos.

A visualização do protótipo como um produto permite utilizar a tecnologia para produzir modelos conceituais e avaliar os fatores estéticos do produto final, como curvas, superfícies, forma, tamanho e ergonomia.

Esse tipo de avaliação quando estendida ao consumidor ou cliente final permite identificar a reação deste diante da proposta do produto. A pesquisa de aceitação ou pesquisa de mercado, pode ser realizada em uma etapa prévia de projeto e seus resultados retornam ao ciclo de desenvolvimento, tornando a voz do cliente uma parte integrante do projeto do produto.

No ambiente de projeto define-se as funcionalidades do produto, que são os parâmetros específicos de funcionamento para satisfazer determinadas funções para as quais este foi projetado. Estas funcionalidades podem ser testadas a partir das fases iniciais de desenvolvimento por meio de protótipos que condizem com as características, formas e precisão dimensional das peças projetadas.

Para o perfeito entendimento e validação dos testes funcionais, os protótipos são submetidos a condições iguais ou, em casos de testes de laboratório, a condições mais severas, a que a peça final irá trabalhar. Neste caso o protótipo obtido deverá reproduzir de maneira fiel o comportamento da peça final. Enquadram-se nesta aplicação protótipos para testes de túnel de vento, testes aerodinâmicos, testes de vibração, testes de fluxo de escoamento de fluidos entre outros. Após análises, os resultados destes testes retornam como informação para o desenvolvimento de produto para que sejam considerados no processo de ajuste, melhoria e correção do projeto.

Ainda dentro do ambiente de projeto, o protótipo pode ser usado para verificar a existência de interferências entre peças de um mesmo conjunto. Em casos de projeto de um sistema parcial de um produto existente, buscando um incremento, ajuste ou melhoria, os protótipos podem evitar problemas como interferências de encaixe, forma e posição entre a nova peça e as peças existentes que, em geral, não sofrem um ajuste de projeto após a finalização da ferramenta.

Com emprego de protótipos pode-se realizar simulações de montagem empregando elementos físicos que suportam as exigências críticas de montabilidade, que não foram consideradas ou plenamente exploradas durante o projeto da peça. Isto permite alinhar o projeto para um número menor de componentes, garantir projetos modulares, planejar montagens unidirecionais, facilitar fixações através da eliminação de componentes de fixação, enxergar oportunidades de automação e eliminar ajustes que dependem tempo e habilidades específicas. Caracteriza-se nestes aspectos importantes relações entre protótipos e técnicas como o DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) e Projeto Modular.

A integração entre projeto e manufatura e a consideração dos aspectos concernentes a estas áreas durante o ciclo de desenvolvimento, garantem a otimização das soluções técnicas a serem aplicadas no produto. Problemas de projeto e manufatura podem ter soluções quando protótipos são utilizados de maneira simultânea e integrada para verificação das necessidades de cada área.

A adoção desta prática é validada pela utilização do protótipo como elemento de verificação dos requisitos de projeto, de fabricação e de integração entre as áreas. Nesta forma de

utilização o protótipo pode auxiliar a aplicação de métodos que tornem o produto mais robusto tais como o Método Taguchi.

Na manufatura, os protótipos podem ser utilizados para testar o processo produtivo de forma a garantir um reconhecimento prévio do procedimento de montagem e auxiliar no planejamento da atividade de processo por meio da identificação de ferramentas, materiais indiretos de produção e dispositivos necessários. Podem ainda, ser utilizados diretamente na produção, como modelos para processos de fundição por cera perdida.

O treinamento de operadores e dos técnicos de serviços de pós-venda pode ser realizado por meio de protótipos e suas impressões, opiniões e sugestões serem utilizadas no desenvolvimento do projeto. Esta abordagem diminui o potencial de riscos da interpretação do produto no chão-de-fábrica, diminuindo os erros de montagem durante a fase de aprendizado e melhorando o atendimento do cliente em uma possível consulta.

A etapa de projeto e construção de ferramentas pode ser beneficiada com a utilização de protótipos como elemento de familiarização do projetista de ferramenta com o produto que será transformado a partir da ferramenta projetada e construída. Este profissional pode ter melhor visualização da peça e sugerir melhorias para simplificação da ferramenta e consequentemente, contribuir para a queda dos custos de confecção e manutenção.

O projeto da embalagem do produto se constitui em uma etapa importante dentro do ciclo de desenvolvimento devido ao fato de a embalagem proteger o produto e seus acessórios contra choques, intempéries e movimentação, além de se constituir custo adicional. Neste aspecto, os protótipos podem auxiliar o projeto de componentes da embalagem tais como calços, cintas, presilhas, bases e colunas. Estes mesmos componentes podem ser prototipados e sua eficácia testada.

O planejamento do descarte do produto pode ser auxiliado pela Prototipagem Rápida quando o seu desenvolvimento é realizado a partir de um protótipo do produto ou de um componente. Atualmente, as questões ambientais pressionam as empresas para que estas atendam

exigências quanto ao grau de reciclagem de seus produtos. O protótipo pode então, auxiliar no planejamento da desmontagem do produto e do destino que os componentes terão, se serão reciclados ou dispostos de maneira diferente, sem agredir o meio ambiente. De forma estratégica, as empresas podem usar esta atividade como propaganda positiva da sua marca e de seus produtos.

A discussão gerada a partir da figura 4.1, reforça as formas de utilização de protótipos no PDP e dispõe um conjunto de formas de aplicação que pode ser encarados como funções de projeto. As funções identificadas são:

- Integrar pessoas;
- Facilitar processos de decisão;
- Avaliar fatores estéticos do produto;
- Avaliar comportamento dos clientes;
- Testar funcionalidades;
- Verificar interferências;
- Simular montagens;
- Otimizar soluções técnicas;
- Testar processo produtivo;
- Treinar operadores e assistência técnica;
- Facilitar projeto de ferramentas;
- Planejar embalagem do produto, e
- Planejar descarte do produto.

Para melhor aproveitamento nas aplicações das funções de projeto, deve-se reconhecer a metodologia de projeto empregada e definir onde cada função se encaixa, traçando um planejamento para a tecnologia de PR com relação a metodologia de projeto adotada, afim de extrair seus melhores resultados.

4.2 Confronto entre as formas de utilização de protótipos e as metodologias de projeto estudadas

Este tópico traz um estudo comparativo das formas de utilização de protótipos descritas no tópico anterior, com as metodologias de projeto descritas no tópico 2.2 do capítulo 2. O objetivo é mostrar como e em qual fase os protótipos obtidos por PR podem ser utilizados nas diferentes metodologias caracterizando uma distinção entre as abordagens tradicional e simultânea.

Tal distinção é necessária devido ao total potencial da tecnologia de PR ser explorado somente nas metodologias que utilizam a Engenharia Simultânea como referencial de trabalho. Barkan e Iansiti (1993) afirmam que a não utilização de protótipos em abordagens simultâneas pode gerar falhas de interpretação do projeto e comprometer a qualidade final do produto.

Na Engenharia Simultânea as atividades são realizadas ao máximo em paralelo e a integração da equipe de projeto, geralmente multifuncional e multidisciplinar, são realizadas por meio de protótipos.

O estudo realizado pelo DARPA definiu Engenharia Simultânea da seguinte forma Prasad (1996): "Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e os processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Essa abordagem procura fazer com que as pessoas envolvidas no desenvolvimento considerem, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, prazos e requisitos dos clientes."

Já em abordagens tradicionais, a adoção da PR não apresenta-se totalmente explorada, devido as formas de aplicação estarem locadas em um departamento fechado, em cada etapa seqüencial de desenvolvimento.

Para realização das análises, as metodologias de projeto foram linearizadas e confrontadas com as formas de utilização de protótipos, gerando as tabelas apresentadas no Anexo I.

Na seleção das metodologias que se enquadram no conceito da abordagem simultânea, foram agrupadas as metodologias de projeto que contém características e fundamentos que permitem a aplicação da Engenharia Simultânea. Foram utilizados os seguintes fatores como elementos de classificação:

- adoção de equipes multifuncionais ou multidisciplinares;
- distribuição paralela de atividades e,
- consideração de informações do ciclo de vida do produto desde o início do projeto.

As metodologias selecionadas foram:

- Suh (1990);
- Clark e Fujimoto (1991);
- Womack, Jones e Roos (1992);
- Ertas e Jones (1993);
- Clausing (1993);
- APQP (1995);
- Pugh (1996), e
- Prasad (1996).

Na seleção das metodologias que se enquadram no conceito da abordagem tradicional, foram agrupadas as metodologias de projeto que contém etapas sequenciais e desencadeadas. Foram utilizados os seguintes fatores como elementos de classificação:

- trabalho focado nos projetistas e engenheiros;
- distribuição sequencial de atividades e,
- consideração das informações pertinentes ao ciclo de vida do produto inseridas em cada fase do projeto.

As metodologias selecionadas foram:

- Asimow (1968);
- Pahl e Beitz (1998);
- Blanchard e Fabrycky (1990), e
- VDI 2221 (1993).

Após esta classificação foi realizada a distribuição das formas de utilização de acordo com cada etapa de cada metodologia. Isto permitiu visualizar a utilização da PR para cada etapa, tendo como resultado um mapa de utilização. Para facilitar o entendimento das figuras 4.2 e 4.3 as formas de utilização foram codificadas conforme mostra a tabela 4.1.

Tabela 4.1: Formas de utilização de protótipos nas metodologia de projeto

Formas de Utilização	Nomenclatura
Integrar pessoas	F1
Facilitar processos de decisão	F2
Avaliar fatores estéticos do produto	F3
Avaliar comportamento dos clientes	F4
Testar funcionalidades	F5
Verificar interferências	F6
Simular montagens	F7
Otimizar soluções técnicas	F8
Testar processo produtivo	F9
Treinar operadores e assistência técnica	F10
Facilitar projeto de ferramentas	F11
Planejar embalagem do produto	F12
Planejar descarte do produto	F13

A análise da distribuição das formas de utilização permitiu atribuir pesos para cada forma de utilização em relação as etapas específicas de cada metodologia e formar, a partir do conjunto

de todas as metodologias com uma mesma abordagem, um gráfico de distribuição. A figura 4.2 mostra a distribuição para a abordagem tradicional.

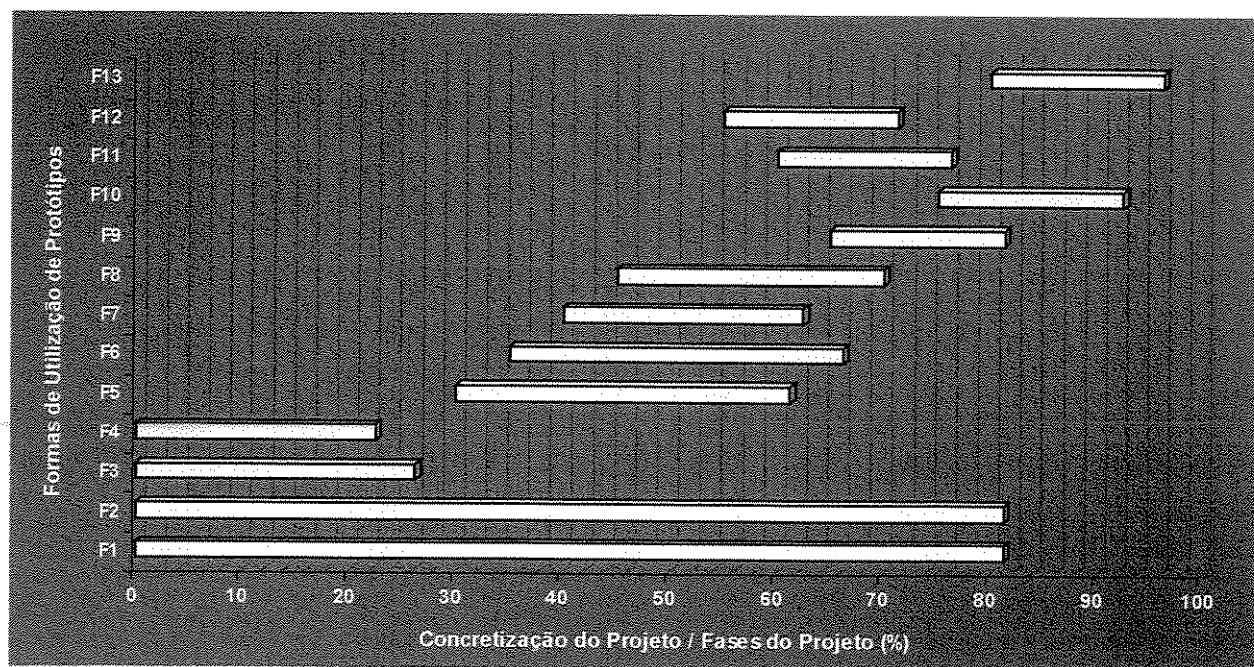


Figura 4.2 – Distribuição das formas de utilização de protótipos ao longo do ciclo de desenvolvimento para abordagem tradicional.

Nesta abordagem, destaca-se a pulverização das formas de utilização ao longo do ciclo de desenvolvimento, caracterizada pela forma linear de distribuição, que limita o potencial de utilização apenas para uma etapa específica. Como exemplo, destaca-se o uso da PR na etapa de Projeto Detalhado (situada na faixa entre 30 e 50% da concretização do projeto) estar relacionada somente ao ato de projetar, deixando de aproveitar o potencial para planejamento do processo ou testes de performance.

A análise através de marcos de projeto, posicionados a 10%, 30%, 50%, 70% e 90% do grau de concretização do projeto, mostra respectivamente, que 4, 2, 6, 6 e 2 formas de utilização estão sendo empregadas simultaneamente.

Este tipo de interrupção no ciclo de utilização do protótipo deve-se às formas de utilização específicas serem isoladas em cada etapa, não mantendo vínculos com as etapas anteriores e

subsequentes. Neste caso, o conceito de transformação da informação, onde a partir de uma informação de entrada existe uma transformação e obtêm-se uma saída, não é realimentado deixando de corrigir problemas de projeto em fases iniciais de desenvolvimento. Fatores importantes como o comportamento do cliente e o planejamento do descarte são radicalmente limitados.

A não continuidade na utilização do protótipo ao longo do ciclo de desenvolvimento é resultado da ausência de zonas de transição entre as etapas do projeto. A transição entre cada etapa ocorre a partir do fornecimento de um “pacote de informações”, tais como desenhos, especificações técnicas, procedimentos, que são considerados como resultado final de cada etapa e que, geralmente, não consideram informações importantes sobre o ciclo de vida do produto. Quem recebe estas informações muitas vezes não tem a visão global do projeto e portanto, não conhece as particularidades deste. Pugh (1996), Prasad (1996) e Clark e Fujimoto (1991) destacam que estes problemas são comuns na abordagem tradicional. Com isso o protótipo deixa de ser utilizado ao longo do desenvolvimento.

Outro fator predominante na abordagem tradicional é o fato de o sucesso do uso do protótipo estar ligado somente com o envolvimento do engenheiro/projetista no projeto, ou seja, as formas de utilização que efetivamente dão retorno se restringem entre o projeto preliminar e o projeto detalhado. Nestas fases pode-se usar o protótipo para testar funcionalidades, verificar interferências e simular montagens. A não consideração de aspectos do processo produtivo e ferramental durante as etapas de projeto preliminar e detalhado certamente ocasionaram erros nas etapas mais tardias do desenvolvimento.

Estes problemas durante o desenvolvimento ocasionam aumento no tempo e custo de desenvolvimento e diminui a qualidade do produto, não explorando todos os benefícios da adoção da tecnologia de PR. Desta forma, o potencial de utilização de protótipos não pode ser totalmente explorado nas metodologias de projeto com abordagem tradicional.

No caso da abordagem simultânea a distribuição das formas de utilização de protótipo, mostrada no gráfico da figura 4.3, apresenta comportamento diferente.

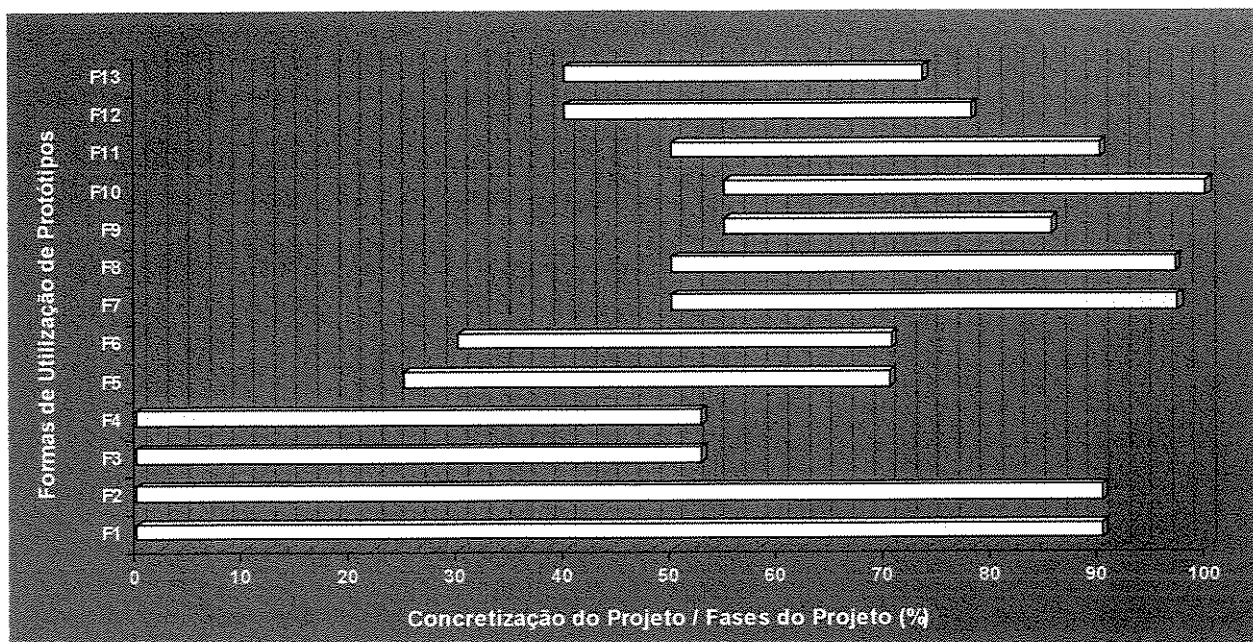


Figura 4.3 – Distribuição das formas de utilização de protótipos ao longo do ciclo de desenvolvimento para abordagem simultânea.

A distribuição das formas de utilização de protótipos na abordagem simultânea apresenta-se de maneira mais agrupada e consistente ao longo do ciclo de desenvolvimento. A medida em que o projeto evolui, existem formas de utilização que acompanham esta evolução por quase todo o ciclo, fazendo com que os desdobramentos das formas de utilização tenham um comportamento constante ao longo da concretização do projeto.

Este detalhe pode ser percebido pela ausência de espaços entre o início da utilização de protótipos em suas diversas formas. A análise através de marcos de projeto, posicionados a 10%, 30%, 50%, 70% e 90% do grau concretização do projeto, mostra respectivamente, que 4, 5, 8, 11 e 6 formas de utilização estão sendo empregadas simultaneamente.

A concentração das formas de utilização na faixa que abrange de 30 a 70% do grau de concretização do projeto, se referem ao tratamento e consideração dos requisitos de produto e do processo produtivo desde as fases iniciais de desenvolvimento, aumentando a difusão das

informações e o alcance dos benefícios da adoção da PR. O conceito de transformação da informação pode então, ser realimentado o que resulta em melhores resultados.

Como as equipes de projeto são formadas por membros de diferentes disciplinas, a informação gerada e compartilhada entre todos é mais concisa e portanto, corre menor risco de se perder informações ao longo do ciclo. Este fator também contribui para que o sucesso do uso do protótipo não esteja diretamente ligado ao engenheiro/projetista e sim, a toda a equipe de projeto, principalmente, pela abordagem de projeto adotada.

Os fatores apontados reduzem o custo e tempo de desenvolvimento e aumentam a qualidade do produto, permitindo a exploração total dos benefícios da adoção da tecnologia de PR para a abordagem simultânea.

4.3 Impactos da tecnologia de Prototipagem Rápida no Processo de Desenvolvimento de Produtos

São muitos os impactos quando da utilização de protótipos obtidos por sistemas de Prototipagem Rápida no Processo de Desenvolvimento de Produtos. A possibilidade de obter protótipos em estágios iniciais do PDP mudam as características do processo e o comportamento da equipe de projeto e diminui o caminho entre o conceito e o produto, fornecendo dinamismo ao desenvolvimento.

A dinâmica imposta pela utilização de protótipos têm impacto direto sobre o rendimento do trabalho e a qualidade final do produto.

Entendendo o PDP como um processo completo, integrado e com foco sempre no produto, os impactos da PR extrapolam as aplicações técnicas e atingem fatores de cunho estratégico, administrativo e de competitividade. Os principais fatores de competitividade como custo, qualidade, flexibilidade e tempo de resposta são influenciados diretamente com a adoção da PR.

O primeiro impacto da adoção da tecnologia de PR reflete nos custos. Os custos de desenvolvimento são reduzidos com a aplicação de protótipos devido a possibilidade de identificar erros nas fases iniciais de projeto. Embora a PR carregue consigo o estigma de um alto custo associado, antes da PR, os custos e tempo envolvidos para a confecção de protótipos eram ainda maiores e os esforços referentes a identificação e correção dos erros de projeto eram aplicados somente na fase de produção do produto. Estes sinalizavam ajustes e correções quando os produtos estavam prestes a serem lançados ou já se encontravam em mercado. As ações para correção nesta etapa de desenvolvimento demandam tempo e dinheiro comprometendo prazos, custos, performance e consequentemente a imagem/marca do produto no mercado.

A figura conhecida como “Regra de Dez”, apresentado por Meerkamm e Wartzack (2000), aplica-se a este caso:

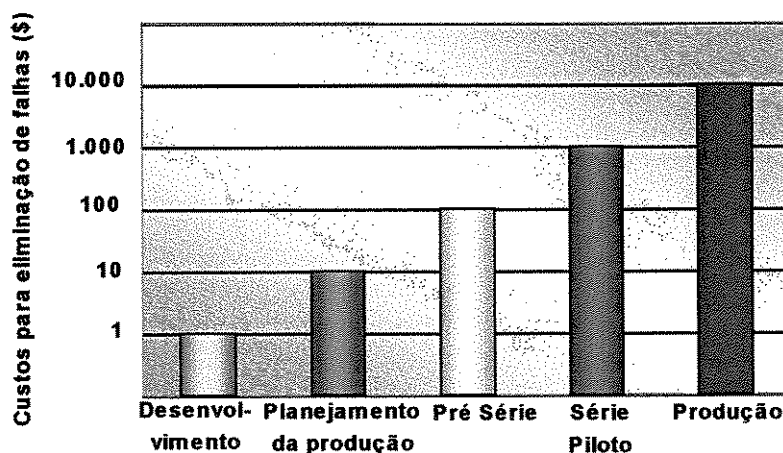


Figura 4.4 – A Regra de Dez por Meerkamm e Wartzack (2000).

A figura 4.4 mostra a evolução dos custos para resolução de erros ao longo do ciclo de vida do produto. Enquanto que na fase de Desenvolvimento tem-se baixo custo devido ao produto ainda estar na fase de projeto, este custo aumenta sensivelmente até a fase de Produção, sendo muito mais caro a correção de erros nas etapas associadas à manufatura e distribuição.

Com a identificação prévia dos erros de projeto, diminui-se o custo geral do desenvolvimento do produto e consequentemente os custos relacionados a produção, garantia e

assistência técnica. O projeto auxiliado por PR pode então, ser benéfico para todo o ciclo de vida do produto, em relação aos custos distribuídos em cada fase da vida do produto.

Como a PR passa a ser adotada dentro do PDP, é fundamental que ocorra a dedicação de investimentos em protótipos dentro do planejamento de custos do projeto. O PMBOK em PMI (2000) define o Plano de Custo como uma área de conhecimento específico, que inclui todos os custos para a realização das atividades planejadas e que possui os processos necessários para assegurar que o projeto será completado com as metas de custos e orçamentos estabelecidos.

A análise do projeto para identificar onde e quando deve ser usado protótipos, e quais peças devem ser prototipadas torna-se necessária, agregando mais um planejamento no plano geral de projeto, o plano de protótipos. Portanto, deve-se adicionar no plano geral de projeto os custos para confecção de protótipos. Esta prática pode tirar o estigma de que protótipos obtidos por sistemas de PR são caros devido a absorção deste serviço estar diretamente ligada ao custo geral do projeto.

Quando o protótipo passa a ser visto como um recurso adicional às ferramentas tradicionais de projeto, certamente a aplicação da PR representa uma melhora substancial na qualidade do produto.

A diminuição dos erros de projeto confere qualidade ao PDP além de evitar custos extras para consertá-los. A possibilidade de testar funcionalidades com maior confiabilidade, aspectos mercadológicos com maior certeza de entendimento do público alvo e planejar o processo produtivo antecipadamente, garantem a possibilidade de alinhar os desejos dos consumidores com o produto, promovendo o conceito de satisfação total do cliente, pré-requisito para a competitividade.

Na proporção em que os erros diminuem o tempo de cada etapa também diminui. A relação direta destes dois impactos está baseada na possibilidade de prever problemas de projeto e corrigi-los nas fases iniciais do desenvolvimento. A figura 4.5 mostra o fluxo de desenvolvimento de uma peça com e sem o uso da PR.

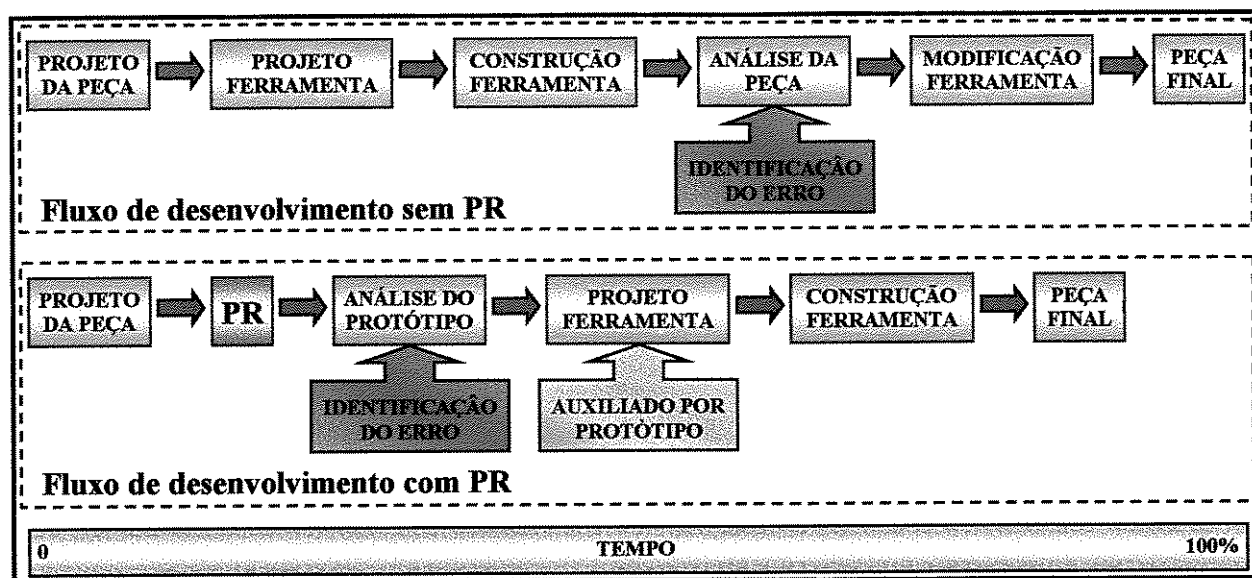


Figura 4.5 – Fluxo de desenvolvimento de uma peça com e sem PR.

O contraste das abordagens permite visualizar uma redução significativa no tempo de desenvolvimento de cada etapa, por meio de duas interações básicas que ocorrem após a utilização de protótipos: identificação dos erros de desenvolvimento durante a etapa de projeto da peça e não mais após a construção da ferramenta e melhoria no processo de entendimento da peça durante o projeto da ferramenta. Estas duas interações são responsáveis pela não ocorrência de modificações na ferramenta devido a erros de projeto.

Modificações em ferramentas acarretam custos e prazos adicionais ao planejado no desenvolvimento além de, dependendo do tamanho da modificação, fragilizar ou até mesmo necessitar da construção uma nova ferramenta, comprometendo o prazo de lançamento do produto.

A figura 4.5 mostra o fluxo como sendo unitário, ou seja, para um conjunto peça/ferramenta de cada vez. Em sua grande parte, os projetos englobam o desenvolvimento e construção de mais de uma peça/ferramenta. É comum em um projeto de atualização estética de uma linha de refrigeradores a construção de 15 a 25 ferramentas e para a atualização de uma linha de carros, de 15 a 50 ferramentas. Nestes cenários, é necessário considerar o fluxo apresentado na figura 4.3 para cada conjunto peça/ferramenta dentro do projeto, aumentando significativamente

o potencial de risco de erros de projeto, modificações e atraso. A PR neste contexto, auxilia na redução dos riscos potenciais de desenvolvimento.

Para aplicações onde a inovação está presente, a PR se enquadra como um elemento de verificação do que foi projetado e desenvolvido, trazendo a possibilidade de identificação de problemas durante o desenvolvimento. Estas informações retornam ao ciclo de projeto, para refino da base tecnológica associada à inovação. Nesta aplicação a PR reduz os riscos de processos que envolvem inovação, transformando-se em uma importante aliada à inovação tecnológica.

A possibilidade de construir protótipos a partir de modelamentos 3D e obtê-los com precisão dimensional e características geométricas muito próximas a peça final aumentam a confiabilidade dos testes funcionais. Devido a este fato, idéias e propostas de projeto podem ser testadas rapidamente e estes resultados considerados durante o desenvolvimento.

Para o PDP, esta possibilidade amplia o campo de análises em fases iniciais do projeto e o aproveitamento destes resultados e informações diminuem o potencial de erros de desenvolvimento.

Como os protótipos são construídos para verificação do cumprimento dos requisitos de projeto, e a partir dos ensaios e testes são geradas análises com os mais variados enfoques, pode-se afirmar que a utilização da PR produz um fenômeno sistêmico que ocorre a cada iteração entre os requisitos de projeto e os resultados de testes: o fator aprendizagem.

Aprender com PR significa observar o comportamento dos protótipos durante os testes, interpretar resultados de ensaios e convergir estas informações aos requisitos de projeto. Transportando os vetores observar, interpretar e convergir com o auxílio de PR, para as cinco disciplinas de aprendizagem defendidas por Senge (1990), que são maestria pessoal ligada ao autoconhecimento, modelos mentais ligados ao modo de como as pessoas enxergam o mundo, objetivos comuns que relacionam o compartilhamento dos objetivos, aprendizado em grupo que relacionam as habilidades coletivas e ações coordenadas e pensamento sistêmico que envolve um

grupo de ferramentas e procedimentos para melhorar o processo de aprendizagem, pode-se a partir da utilização da PR, criar um ambiente propício a aprendizagem organizacional prevendo problemas e estudá-los antes que estes aconteçam.

Dentro do PDP, Barkan e Iansiti (1993) defendem um padrão de aprendizagem acelerado devido ao uso freqüente de protótipos. Os fatores por eles analisados são o tempo e o grau de acabamento do produto ou processo, descrevendo o comportamento de dois projetos, um com o uso freqüente de protótipos e outro com o uso limitado.

Para o projeto com uso freqüente de prototipagem existe um aumento no número de interações e diminuição do tempo de desenvolvimento. Para o projeto com uso limitado de prototipagem existe um número menor de interações e consequentemente o tempo de desenvolvimento aumenta.

A taxa em que ocorre o aprendizado sobre o projeto também é maior na condição de prototipagem freqüente. A figura 4.6 ilustra este padrão.

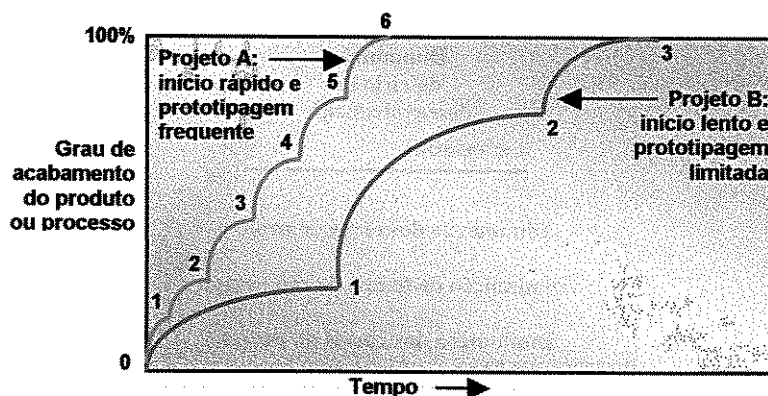


Figura 4.6 – Padrão de aprendizado com o uso freqüente de protótipos e com o uso limitado
Barkan e Iansiti (1993).

Como o aumento de interações no PDP diminui o tempo de desenvolvimento e este fenômeno se caracteriza um importante dado administrativo, a PR pode servir como uma ferramenta de verificação do andamento do projeto, definindo marcos de projeto, atividades de verificação técnica e chaves de decisão vai-não vai, englobados no cronograma de projeto.

Como exemplo, pode-se atrelar a medida de desempenho do time de projeto com a apresentação de protótipos que descrevem as soluções aos problemas de projeto, pode-se verificar a eficácia técnica desta solução e decidir o prosseguimento ou não do projeto. A verificação dos erros de projeto e a certeza de que o trabalho está direcionado para o caminho certo são fatores de motivação para equipe de projeto.

Desta forma, a PR extrapola o âmbito técnico e passa a atuar no âmbito administrativo, formando interações entre as duas áreas. A exploração destas interações, têm impacto na redução do tempo de desenvolvimento do produto. Este impacto, classificado aqui como superior, é o principal ganho da adoção da PR no PDP.

De acordo com o referencial teórico desenvolvido pode-se construir uma classificação para os impactos da utilização de protótipos dentro do PDP e distribuí-los em diferentes posições, conforme mostrado na figura 4.7.

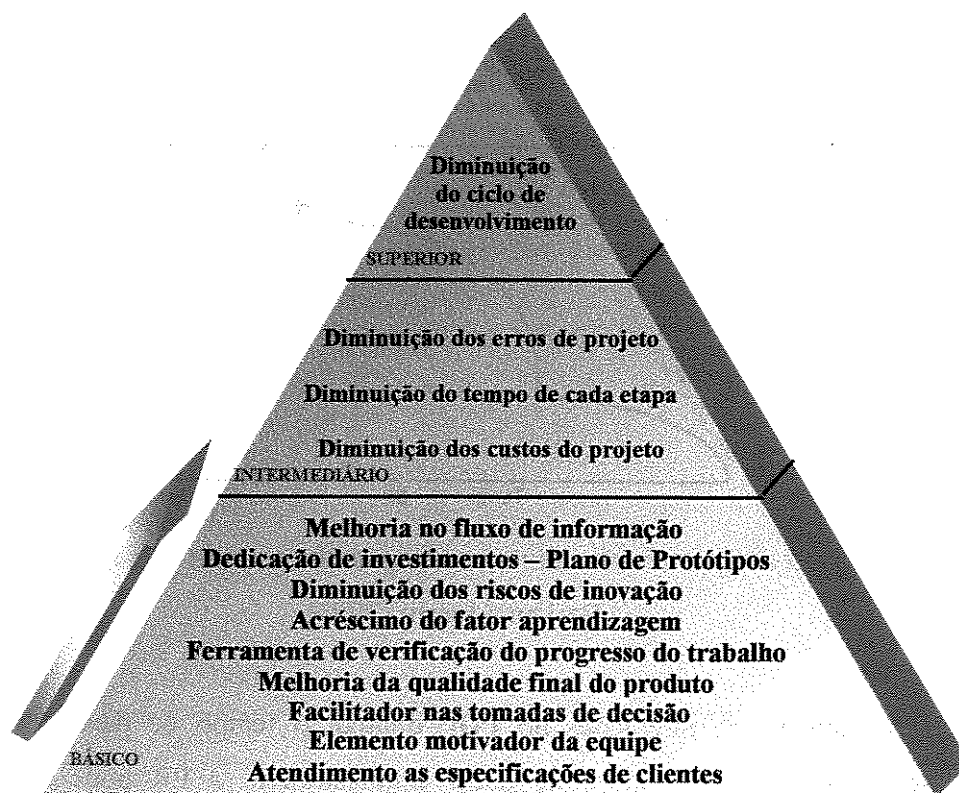


Figura 4.7 – Classificação dos impactos da PR no PDP.

A medida em que os impactos básicos são desdobrados, suas características afetam os impactos intermediários e estes por sua vez, convergem para um impacto único, classificado como superior, que é a redução do ciclo de desenvolvimento, principal objetivo a ser alcançado pelas empresas que buscam competitividade, devido a necessidade de introduzir novos produtos no mercado, em períodos cada vez menores.

A adoção da PR produz, então, diferentes impactos no ambiente do PDP, descritos na figura 4.7, e estes são frutos dos diferentes papéis que cada empresa desempenha perante a tecnologia. Uma abordagem exploratória em todos os impactos citados é uma prática que colabora para a redução do ciclo de desenvolvimento.

4.4 Comentários e conclusões

Os impactos da utilização de protótipos obtidos por sistemas de PR trazem benefícios a todos os envolvidos no PDP.

Como as atividades que sofrem o incremento da utilização de protótipos estão alocadas como responsabilidade da equipe de projeto, estes aproveitam diretamente os benefícios da tecnologia, possibilitando um alto rendimento da atividade de projeto.

As atividades de projeto executadas no âmbito do desenvolvimento extrapolam este ambiente e passam a exercer influências em ambientes externos. Este fenômeno causa o surgimento de benefícios indiretos da adoção da tecnologia para os clientes e conseqüentemente para a área de Marketing.

Considerando o PDP com uma abrangência ampla, desde a identificação da oportunidade de mercado, seja ela latente ou explícita, até a obsolescência do produto, tanto os benefícios diretos como os indiretos apontam para dentro do PDP, aumentando a eficiência do ciclo. Neste caso a PR passa a ser intrínseca ao PDP, ou seja, a atividade de obter protótipos, analisá-los e explorá-los transformasse em atividades obrigatória do projeto.

Dentro desta condicionante, a equipe de projetos tem seu comportamento modificado quando da utilização de protótipos. Se o comportamento da equipe se altera, todo o PDP sofre alterações para adequar-se a adoção desta nova ferramenta de auxílio ao desenvolvimento.

A abordagem teórica desenvolvida neste capítulo indica a existência de mudanças no PDP devido a adoção da tecnologia de PR. Esta mudança somente pode ser confirmada com o estudo de casos práticos.

O Capítulo 5 apresenta quatro estudos de casos onde estes aspectos serão investigados, identificados e comentados.

Capítulo 5

Estudos de Casos da Aplicação da Prototipagem Rápida

A metodologia empregada na pesquisa depende diretamente do objetivo do estudo, sua amplitude, natureza e do assunto abordado. Quando algo é pesquisado, procura-se descrever e compreender fenômenos ou acontecimentos, necessitando de uma coleta de dados relacionados ao assunto, que permita descrevê-lo de maneira clara e inteligível.

Neste contexto, a pesquisa pode ser classificada sob diferentes critérios a partir do seu objetivo. Gil (1993) classifica as pesquisas com base em dois critérios diferentes. A primeira classificação dá-se com base em seus objetivos gerais, sendo útil para o estabelecimento de seu fundamento teórico, e divide-as em três grandes grupos: descritivas, explicativas e exploratórias.

As pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. Pesquisas explicativas são consideradas as mais complexas e são caracterizadas por uma preocupação principal de identificar os fatores determinantes ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. É o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, pois explica a razão e o porquê dos fenômenos.

As pesquisas exploratórias visam proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm

como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições sobre o tema. Triviños (1987) reforça esta idéia afirmando que os estudos exploratórios são aqueles que permitem ao investigador aumentar a sua experiência, aprofundando seu estudo e adquirindo um maior conhecimento a respeito de um problema. Podem ainda servir para levantar possíveis problemas de pesquisa. A pesquisa apresentada neste trabalho se enquadra nesta classificação.

O segundo critério classifica-as segundo o delineamento da pesquisa, ou seja, de acordo com os procedimentos técnicos de coleta e análise dos dados. Aqui também podem ser distintos dois grandes grupos de delineamentos: as chamadas fontes de papel e aquele que obtém os dados através das pessoas.

No primeiro grupo, as chamadas fontes de papel, estão a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental. Cabe salientar que na maioria dos trabalhos científicos é exigido uma pesquisa bibliográfica, porém algumas pesquisas são desenvolvidas exclusivamente por meio dessas fontes. É o caso de grande parte dos estudos exploratórios.

No segundo grupo, onde os dados são conseguidos pelo pesquisador através de outras pessoas, encontram-se a pesquisa experimental que pode ser dividida em quatro tipos de acordo com a maneira que o trabalho de pesquisa é realizado.

O primeiro tipo é a chamada pesquisa pós-fato onde o experimento ocorre baseado num fato já ocorrido. O segundo tipo é o levantamento, que consiste na interrogação direta das pessoas que são o foco da pesquisa. O terceiro tipo é a chamada pesquisa-ação, onde o pesquisador e os pesquisados interagem de forma cooperativa ou participativa e o quarto tipo é o estudo de caso, que caracteriza-se por um estudo profundo e completo dos casos, a fim de aumentar o conhecimento a respeito do tema. Para desenvolvimento deste trabalho o estudo de caso foi o tipo escolhido para analisar os vários aspectos da adoção da Prototipagem Rápida.

Como principal justificativa da escolha do estudo de caso como método de pesquisa recorre o fato de este método permitir o estudo de uma situação real e a análise dos resultados da aplicação da Prototipagem Rápida no Processo de Desenvolvimento de Produto. Para melhor

amparar tecnicamente as conclusões a cerca do tema e promover maior confiabilidade nos resultados, optou-se pela aplicação de múltiplos estudos de casos.

Como universo da pesquisa deste trabalho define-se as grandes empresas classificadas conforme o critério do Sebrae (2003), indústria acima de 499 empregados, que possuem áreas de Desenvolvimento de Produtos e que utilizem a tecnologia de Prototipagem Rápida em sua rotina de projeto.

Os estudos de casos foram realizados em quatro grandes empresas, divididas em diferentes setores: automobilístico, eletrodoméstico, eletrônico e metal-mecânico. Este tipo de pesquisa foi utilizado para validar a teoria desenvolvida nos tópicos anteriores e confrontá-la com a prática e experiência dos profissionais que utilizam a tecnologia de PR. Para isto, foi necessário caracterizar individualmente o Processo de Desenvolvimento de Produto e a tecnologia de Prototipagem Rápida e após este reconhecimento, integrá-las, para investigar os aspectos que envolvem esta fusão.

A pesquisa pode ainda, ser classificada em relação aos tipos de dados que são obtidos durante o desenvolvimento do trabalho. Selltitz (1974), classifica a pesquisa em três tipos, sendo dois básicos e um derivado dos dois primeiros:

- Qualitativa: onde o conhecimento está associado à expressão conceitual e não numérica dos fatos observados. Neste caso, adotam-se questões mais abertas, amostragem pequena e a análise é subjetiva e interpretativa;
- Quantitativa: o conhecimento está vinculado a medidas numéricas e mensuráveis do fenômeno analisado. Utilizam-se questões fechadas com grandes amostras. Não há pré-requisitos rígidos para os entrevistadores e em geral, é realizada por meio de questionários e a análise dos dados é estatística, e
- Semiquantitativa; misto dos dois tipos anteriores onde se utiliza uma forma de atribuição de valores para se quantificar os dados coletados.

Foi utilizado neste trabalho, as pesquisas qualitativas e semiquantitativas. Para os itens semiquantitativos utilizou-se a escala proposta por Likert (1971), que tem como objetivo estabelecer uma escala numérica para mensuração de dados intangíveis. Quanto maior o número, mais favorável a opinião do entrevistado sobre o assunto.

O instrumento de coleta de dados utilizado foi um questionário composto de perguntas fechadas e abertas, dividido em quatro partes, que pode ser visto no Anexo II deste trabalho. Por se tratar de um estudo de caso, os cuidados e critérios propostos por Goetz e LeCompte (1984) foram atribuídos ao questionário. Foram acrescentados ao instrumento de pesquisa fatores de adequação ao ambiente em que este foi aplicado, a clareza das questões através de linguagem simples, a caracterização parcial dos assuntos envolvidos e a posterior fusão entre eles, a formulação correta do que se deseja investigar e o foco na validade conceitual da pesquisa, a partir de uma seleção dos entrevistados por meio da relevância da experiência destes na utilização da tecnologia de PR.

A primeira parte repete a pesquisa realizada pelo Product Development and Management Association (PDMA) em 1996, descrita no Capítulo 1, figura 1.1. Esta pesquisa busca comparar o grau de utilização e o grau de importância atribuídos à diferentes ferramentas de engenharia, utilizadas no desenvolvimento de produtos, e alinhar os resultados deste trabalho com o referencial teórico adotado. A segunda parte caracteriza o processo de desenvolvimento de produto por meio da identificação de características básicas relativas a este processo. Nesta sessão, as questões foram divididas em quatro grupos básicos:

- O primeiro grupo foca a obtenção de informações sobre o modelo de distribuição das atividades através da identificação da força de trabalho empregada e do montante de projetos desenvolvidos e em desenvolvimento;
- O segundo grupo foca a identificação dos recursos utilizados no desenvolvimento, principalmente o investimento dedicado a este processo e é dirigida ao uso da tecnologia de PR, a fim de identificar a utilização da PR nos desenvolvimentos anteriores e nos atuais;

- O terceiro grupo destaca a parte organizacional do desenvolvimento, identificando a estrutura e formação da equipe de projeto de acordo com o tamanho do projeto. Também são focos de pesquisa a autonomia, liderança e forma de trabalho das equipes de projeto, e
- O quarto grupo foca o fluxo de informação e ocorre a partir da difusão de informações dentro da equipe de projeto em relação a morfologia de projeto adotada.

A terceira parte busca caracterizar a tecnologia de PR no âmbito industrial, identificando como a tecnologia torna-se disponível a estes profissionais, quais os sistemas mais empregados, as impressões, entendimentos e avaliação da qualidade dos protótipos e o nível de amadurecimento do projeto.

Na quarta parte ocorre a fusão entre o método utilizado no processo de desenvolvimento e a tecnologia de PR. Nesta sessão, o objetivo é identificar os motivos da adoção da tecnologia de PR, como e quais modificações ocorreram no desenvolvimento, os valores agregados ao PDP, a frequência de uso em cada etapa do desenvolvimento e os impactos causados pela tecnologia de PR dentro do PDP.

As perguntas apoiadas pela escala proposta por Likert (1971), de 5 pontos, referem-se ao grau de utilização e importância das ferramentas de projeto de Engenharia, a qualidade dos protótipos e aos impactos da tecnologia de Prototipagem Rápida no Processo de Desenvolvimento de Produto.

Para ampliar a gama de opiniões e a qualidade dos dados colhidos, os questionários foram aplicados em profissionais que atuam diretamente com a Prototipagem Rápida, com nível superior em Engenharia e vivência prática no desenvolvimento de produtos.

Os respondentes foram classificados em dois grupos. Um grupo chamado de Gestor da Tecnologia, responsável pela adoção e gerenciamento da Prototipagem Rápida na empresa e o outro grupo chamado de Usuários da Tecnologia, engenheiros ou projetistas de produto que

utilizam a Prototipagem Rápida no dia-a-dia. Para aplicar o questionário foi obrigatória a presença de um representante de cada grupo.

As entrevistas foram agendadas com os dois entrevistados de cada empresa, no local de trabalho destes. Para familiarizar os entrevistados com assunto e deixá-los mais a vontade e seguros, antes do início do preenchimento do formulário foi realizada uma explanação sobre os objetivos do trabalho. Os resultados brutos da pesquisa são apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Resultados brutos da pesquisa.

		Parte 1	Parte 2	Parte 3	Parte 4
Quantidade de perguntas		1	15	14	7
Perguntas respondidas		1	15	14	7
		Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4
Quantidade de entrevistados por empresa	Gestores	1	1	1	1
	Usuários	1	1	1	1

Como fator limitador da pesquisa destaca-se a ausência de um estudo de caso em uma empresa do setor aeronáutico. Esta limitação se deve ao fato de o Processo de Desenvolvimento de Produto ser considerado sigiloso pelas empresas, pois envolvem fatores de competitividade e sobrevivência destas no mercado.

Os resultados encontrados nos estudos de casos, a partir das perguntas formuladas, são mostrados e discutidos nos próximos quatro tópicos apresentados neste Capítulo. Cada tópico é dedicado a uma parte do questionário, conforme a divisão apresentada anteriormente. O Anexo III apresenta os dados brutos para cada pergunta do instrumento de coleta de dados.

5.1 Pesquisa de contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de Engenharia

A pesquisa realizada entre os membros da Product Development and Management Association (PDMA), (1996), cujo objetivo era identificar o grau de importância de algumas ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento de produto, apontou a Prototipagem Rápida como a ferramenta mais importante, a frente da Engenharia Simultânea, Projeto para a Manufatura, CAD, CAE, Análise de Valor, FMEA, Simulação de Performance e Realidade Virtual. Esta pesquisa levantou também o grau de utilização de cada tecnologia, sendo em ordem decrescente de utilização CAD, Engenharia Simultânea, Projeto para a Manufatura, CAE, Análise de Valor, Prototipagem Rápida, FMEA, Simulação de Performance e Realidade Virtual. Os resultados são apresentados na figura 1.1, Capítulo 1.

Como estes resultados não fornecem, isoladamente, embasamento para a responder as perguntas, objetos deste estudo, a repetição da pesquisa realizada pelo PDMA, 1996 se fez necessária como exemplo, para reconhecer a posição dos entrevistados em relação as ferramentas e tecnologias apresentadas. A figura 5.1 mostra os resultados encontrados.

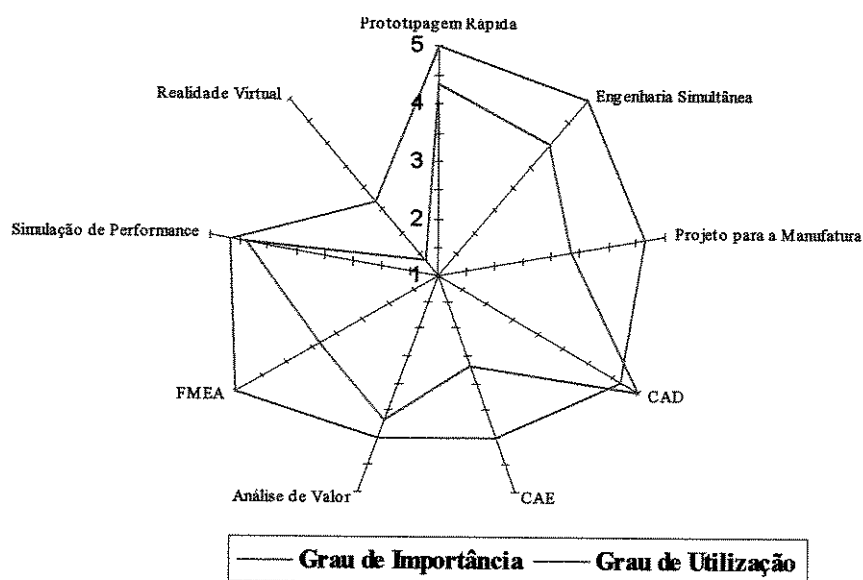


Figura 5.1 Contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de engenharia.

Em ordem decrescente, os resultados encontrados para o grau de importância são Prototipagem Rápida, Engenharia Simultânea, FMEA, Projeto para a Manufatura, CAD, Simulação de Performance, CAE, Análise de Valor e Realidade Virtual e para o grau de utilização são CAD, Prototipagem Rápida, Simulação de Performance, Engenharia Simultânea, Análise de Valor, Projeto para a Manufatura, FMEA, CAE e Realidade Virtual. Para facilitar o entendimento em relação ao grau de importância, um resumo dos resultados é apresentado na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Resumo dos resultados da primeira parte dos estudos de casos para o grau de importância.

Grau de Importância		
Pos.	Estudo de Caso	Índice
1	Prototipagem Rápida	5,0
2	Engenharia Simultânea	5,0
3	FMEA	5,0
4	Projeto para a Manufatura	4,6
5	CAD	4,6
6	Simulação de Performance	4,6
7	CAE	4,0
8	Análise de Valor	4,0
9	Realidade Virtual	2,6

Os resultados das duas pesquisas apresentaram, em relação ao grau de importância, uma mudança de posição entre as ferramentas FMEA, Projeto para a Manufatura, CAD, Simulação de Performance, CAE e Análise de Valor.

A importância atribuída ao FMEA deve-se ao fato de ser uma ferramenta exigida em todos procedimentos de desenvolvimento de produto utilizados pelas empresas estudadas. Devido ao requisito de obrigatoriedade, os resultados alcançados com o FMEA são os principais indicadores de falhas de projetos e a necessidade de saná-los geram ações que são implementadas ao longo do

desenvolvimento do produto, diminuindo o potencial de problemas de projeto chegarem a linha de produção.

A Simulação de Performance também ganha importância a medida que testes funcionais são realizados em estágios iniciais de projetos. Os resultados destes testes retornam como informações de ajustes/correções para o projeto do produto causando uma diminuição no índice de falhas do produto. A Prototipagem Rápida colabora diretamente neste resultado, pois fornece os protótipos para os testes de performance.

As ferramentas Projeto para a Manufatura, CAD, CAE e Análise de Valor apesar de terem suas posições alteradas obtiveram índices de valores próximos, o que não influenciam os seus graus de importância.

As ferramentas classificadas como de maior importância são as mesmas para as duas pesquisas, confirmando os benefícios que estas trazem para o PDP.

A importância da Prototipagem Rápida é destacada pela possibilidade que esta ferramenta fornece de obter protótipos rapidamente e utilizá-los na aplicação de outras ferramentas como em uma sessão de FMEA, em testes de performance, no auxílio a visualização e entendimento do processo de montagem da peça ou produto e como facilitador na utilização dos conceitos de Engenharia Simultânea.

A Prototipagem Rápida permite aos integrantes de equipes multifuncionais, que trabalham sob os conceitos de Engenharia Simultânea, melhorar o grau de entendimento e visualização do produto, eliminando dúvidas interpretações de documentos de Engenharia como desenhos técnicos e modelos 3D.

A Realidade Virtual se manteve como a menos importante devido ao fato de ser uma tecnologia de alto custo associado e de pouca difusão na área de desenvolvimento de produto. Quando a Realidade Virtual se tornar disponível e acessível a todos, certamente será considerada de grande importância ao PDP.

Em relação ao grau de utilização, a tabela 5.3 apresenta um resumo dos resultados obtidos na pesquisa.

Tabela 5.3: Resumo dos resultados da primeira parte dos estudos de casos para o grau de utilização.

Grau de Utilização		
Pos.	Estudo de Caso	Índice
1	CAD	5,0
2	Simulação de Performance	4,3
3	Prototipagem Rápida	4,2
4	Engenharia Simultânea	4,0
5	Análise de Valor	3,6
6	Projeto para a Manufatura	3,3
7	FMEA	3,2
8	CAE	2,6
9	Realidade Virtual	1,3

Os resultados das duas pesquisas apresentaram, em relação ao grau de utilização, uma mudança de posição entre as ferramentas Simulação de Performance, Prototipagem Rápida, Engenharia Simultânea, CAE e Projeto para a Manufatura.

Um fator predominante na análise dos resultados do grau de utilização é a disponibilização de recursos ao qual os profissionais de cada empresa tem acesso. No caso da Simulação de Performance, todas as empresas estudadas possuem laboratórios próprios que cobrem cerca de 80% dos testes de desenvolvimento e 50% dos testes de homologação. Como os testes são realizados desde o início do desenvolvimento e os resultados aplicados ao PDP, esta ferramenta passa a ser bastante utilizada.

Com o aumento dos testes funcionais, a opção por simulações auxiliadas por computador (CAE) diminuem, explicando o posicionamento desta tecnologia. Durante o desenvolvimento de

alguns componentes ou peças, os serviços de CAE considerados mais avançados e de maior dificuldade, como a análise por elementos finitos, são adquiridos de escritórios de serviços conforme necessidade do projeto. A manutenção e custos envolvidos em programas deste tipo são considerados caros.

Em contrapartida, os protótipos obtidos por sistemas de PR ganham espaço a medida em que a quantidade de testes e simulações aumentam durante o desenvolvimento e favorecem o emprego dos conceitos de Engenharia Simultânea.

Porém, as dificuldades encontradas para vencer as barreiras departamentais e implantar a Engenharia Simultânea ainda acontecem em grandes empresas, apesar de ser uma ferramenta considerada importante e necessária. Resistências hierárquicas e comportamentais são as mais citadas como fatores que impedem a adoção deste conceito.

O Projeto para a Manufatura encontra dificuldade de aplicação devido às equipes de projeto praticarem pouco os conceitos desta ferramenta durante o desenvolvimento.

Os sistemas CAD são muito utilizados, pois a difusão e variedade de programas permitem adequar as necessidades de cada empresa aos atributos de diversos programas. O CAD se tornou para as empresas um “commodity”.

O resultado mais contraditório entre o grau de importância e o grau de utilização é relativo ao FMEA. Enquanto esta ferramenta é avaliada como muito importante, a sua utilização não é tão grande quanto ao grau de importância atribuído.

Apesar da obrigatoriedade exigida nos procedimentos de desenvolvimento de produto das empresas estudadas, a ferramenta somente é utilizada em projetos considerados grandes, com o argumento de que é despendido muito tempo nas sessões de preparação da matriz de FMEA e que nos projetos pequenos não há tempo hábil para execução desta atividade.

A aplicação desta pesquisa, na primeira parte dos estudos de casos, permitiu entender como os entrevistados no ambiente que os cercam, vêem estas importantes ferramentas de auxílio ao projeto de Engenharia e identificar a criação de uma relação, centrada na tecnologia de Prototipagem Rápida, com outras ferramentas de projeto tais como Engenharia Simultânea, Projeto para a Manufatura, FMEA e Simulação de Performance.

Esta relação se expandida a outras ferramentas de projeto pode criar um linha mestra para o uso da PR no auxílio a execução e planejamento de todas as atividades de Engenharia dentro do ciclo de vida de um produto.

Para clarear o ambiente em que a pesquisa foi aplicada, o tópico seguinte mostra e discute os resultados encontrados na delimitação do ambiente de projeto por meio da investigação da metodologia de projeto empregada.

5.2 Caracterização do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

A segunda parte dos estudos de casos é focada no PDP. A intenção é caracterizar de forma ampla, o estilo de desenvolvimento de produto adotado pela empresa, isentando dos impactos da adoção da tecnologia de PR.

A isenção permite o reconhecimento do PDP de forma imparcial, pois não retrata mudanças ocorridas pelo uso de protótipos rápidos.

Nesta parte dos estudos de casos investigou-se as metodologias de projeto empregadas, o arranjo organizacional, a distribuição das atividades de desenvolvimento, recursos utilizados e o fluxo organizacional.

Por serem influenciados pela adoção da tecnologia de PR, os demais fatores que definem o PDP são discutidos no tópico 5.4 deste trabalho.

Para preservar a identidade dos profissionais e empresas que participaram dos estudos, onde houver dados que mencionem informações de uma determinada empresa, esta será designada por uma nomenclatura: empresa 1, E1; empresa 2, E2; empresa 3, E3 e empresa 4, E4. Como informações complementares são citados os três parâmetros principais que definem a localização da empresa em relação ao espaço de desenvolvimento (ED): tempo de vida do produto, variações e diversificações do produto e tamanho dos lotes em fabricação.

A quantidade de funcionários envolvidos no PDP, a quantidade de projetos em desenvolvimento, a frequência de uso da PR nestes projetos e o investimento médio anual são os pontos abordados no gráfico da figura 5.2.

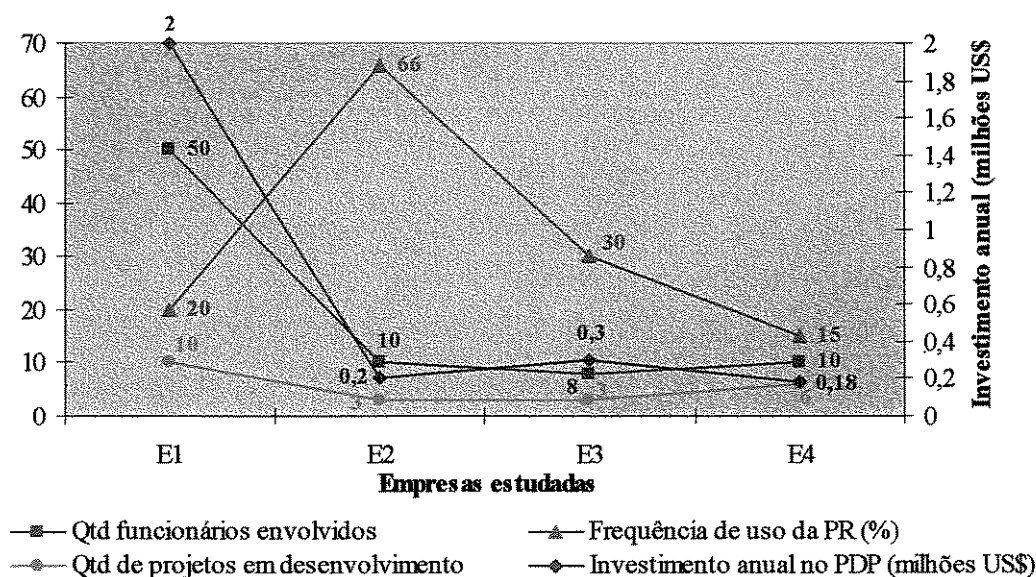


Figura 5.2 Funcionários envolvidos, projetos em desenvolvimento, uso da PR e investimento anual no PDP.

A empresa E1 possui a maior quantidade de funcionários envolvidos com o PDP, maior investimento anual e maior número de projetos em desenvolvimento. Estes dados são validados pelo tipo de produto que esta empresa produz, uma linha de produtos com 3 plataformas básicas e 4 variações por plataforma, altos lotes de produção e tempo de vida médio.

No entanto, a empresa E1 não possui uma frequência de uso de protótipos tão alta. Isto se deve ao aproveitamento da força de desenvolvimento e das soluções técnicas para toda a plataforma de produtos, ou seja, o protótipo se torna uma peça intercambiável entre diversos projetos. Em projetos modulares, existe a possibilidade de se otimizar a utilização de protótipos, bastando a realização de um plano mútuo de utilização de protótipos entre os projetos em andamento.

A quantidade de pessoas ligadas ao PDP e o investimento anual se justificam para a empresa E1, devido ao número de projetos elevado e a participação de representantes de diversas áreas durante o desenvolvimento.

A empresa E2 possui a maior frequência de utilização de protótipos no PDP. Os produtos por ela produzidos são específicos para um determinado produto de seu cliente. Como estes produtos são parcialmente dedicados, a parte interna sofre pequenas adequações e a parte externa deve ser totalmente nova, cada projeto representa um novo protótipo. Estes produtos têm tamanhos de lotes médios e tempo de vida médios.

Os valores de investimento e a quantidade de funcionários envolvidos são relativos a quantidade de projetos em desenvolvimento e as características de “tropicalização” e ajuste destes as condições brasileiras. Pesa também, a utilização de projetos desenvolvidos na matriz da empresa, na Europa.

A empresa E3 produz uma alta variedade de produtos derivados a partir de conceitos de modularidade. Por se tratar de produtos de dimensão reduzida (dimensões máximas $x = 100$ mm; $y = 100$ mm e $z = 80$ mm) e alto grau de padronização, o número de funcionários envolvidos com o PDP é reduzido. Os produtos possuem tamanhos de lotes grandes e longo tempo de vida.

Esta empresa utiliza, na íntegra, os projetos desenvolvidos na matriz, localizada na Europa e de um segundo centro de desenvolvimento, localizado nos EUA. A utilização de protótipos em seus desenvolvimentos se deve ao fato de possuir atividades de checagem de projeto obrigatórias

em seu procedimento de desenvolvimento e o protótipo tem validade como instrumento de verificação.

A empresa E4 produz uma baixa variedade de produtos em grandes lotes e com um longo tempo de vida. O acréscimo do uso da PR se deve a busca de novos mercados e novas aplicações, para produtos que possam ser desenvolvidos em conjunto com seu potencial cliente, aproveitando o parque fabril já instalado.

No ambiente de desenvolvimento, os funcionários envolvidos no PDP, desenvolvem produtos utilizando dois focos distintos:

- produtos novos derivados do ramo de atuação de domínio: desenvolvimento interno em conjunto com seus fornecedores utilizando conhecimento adquirido, e
- produtos novos derivados da necessidade de expansão da carteira de produtos: desenvolvimento em conjunto com clientes e fornecedores, aproveitando o conhecimento adquirido nos processos internos em conjunto com o conhecimento que o cliente têm de seu próprio produto.

Na segunda condição de desenvolvimento, o investimento no PDP passa a ser dividido com o cliente, que trabalha como parceiro, adquirindo além do produto, a solução à um problema do seu produto específico.

No caso da empresa E4 não existe interferência técnica nos projetos desenvolvidos no Brasil e não há a adoção de projetos provenientes da sua matriz, localizada na Europa.

Neste estudo, a análise da frequência de uso da PR entre os projetos desenvolvidos e já implementados no período de um ano e os projetos em desenvolvimento confirma a tendência de aumento na utilização da PR no PDP, conforme mostra a figura 5.3.

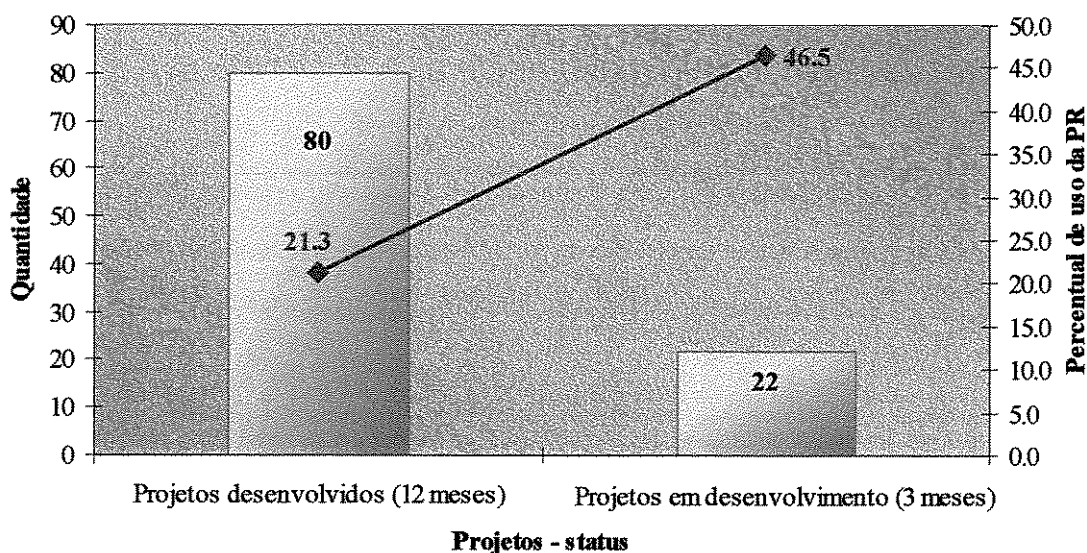


Figura 5.3 Tendência de uso da PR entre projetos desenvolvidos e projetos em desenvolvimento.

O aumento no uso da PR é resultado do avanço da tecnologia, do alcance e disposição de máquinas e serviços e da disposição dos projetistas e das equipes de projeto em adotar esta ferramenta, dentro da metodologia de projeto, como um meio de auxílio ao projeto.

As metodologias de projeto passam, então, a incorporar atividades relacionadas ao planejamento da utilização de protótipos como um passo ou requerimento que deve ser analisado e cumprido assim como, o planejamento da qualidade, o planejamento do processo produtivo e o planejamento logístico.

A estrutura organizacional do desenvolvimento é um fator de destaque no sucesso do trabalho, do produto e da empresa. As participações podem ser requeridas conforme a necessidade de projeto por duas maneiras distintas. A primeira quando determinada área presta serviço ao projeto e a outra quando esta mesma área cede um representante ao projeto.

Por apresentar condições que diferem o tipo de participação de cada representante e área no desenvolvimento a tabela 5.4 destaca a composição das áreas participantes de acordo com o tamanho do projeto.

Tabela 5.4: Participação das áreas da empresa em projetos de grande, médio e pequeno porte.

Áreas da empresa	Empresas estudadas											
	E1			E2			E3			E4		
	Tamanho dos projetos											
	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte
Vendas/Marketing	●	●		●	●	●				●	●	●
Design	●	●					●	●	●	●	●	●
Engenharia de Produto	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Engenharia de Processos	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Qualidade	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Suprimentos	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Logística	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Controladoria	●	●		●	●	●				●	●	●
Produção	●	●	●				●	●	●	●	●	●
Assistência Técnica	●	●	●	●	●	●	●					
Fornecedores	●	●					●			●	●	●
Clientes	●	●					●			●	●	●

Analisando a tabela 5.4 identifica-se que as participações variam de empresa para empresa. Porém, existe um conceito em comum entre as empresas E1 e E3 e as empresas E2 e E4.

Para as empresas E1 e E3 as participações acontecem conforme o tamanho do projeto, envolvendo mais áreas em um grande projeto e menos áreas em projetos menores. Este tipo de escopo requer do gerente de projeto uma visão ampla do processo de desenvolvimento e uma análise precisa dos impactos dos projetos para identificar a influência deste em cada área.

A adoção deste escopo pode criar dois comportamentos dentro da empresa. O primeiro é a aplicação de esforços somente onde necessário evitando assim, desperdícios. A segunda, antagônica a primeira, é a ausência de alguma área necessária ao desenvolvimento e que ao não ser considerada desde do início, acarreta atrasos e prejuízos ao projeto.

Para as empresas E2 e E4 as participações das áreas são compulsórias em qualquer tamanho de projeto. Neste escopo cada área analisa o projeto no início e identifica onde deve atuar, sendo requerida pelo gerente de projeto somente neste momento. É interessante ressaltar que a empresa E2 não possui a área de Design devido ao seu produto não interferir na estética do produto do seu cliente e a empresa E4 não possui Assistência Técnica devido ao fato de seu distribuidor assumir esta função.

Neste escopo os conflitos causados por uma análise errônea do gerente de projetos têm menos impacto, pois a decisão e distribuição do trabalho é consenso entre todas as áreas. A análise das áreas participantes definem, dentro do PDP, uma distribuição do trabalho conforme o avanço das fases de desenvolvimento mas, não define como é montado o time ou equipe de projeto, não permitindo um reconhecimento de qual abordagem está sendo empregada, se tradicional ou simultânea.

Um dos fatores que definem a modificação de escopo é a existência de equipes ou times de projeto contra a existência de um processo desencadeado onde a informação é enviada ao responsável pela próxima fase do desenvolvimento. A figura 5.4 apresentada por Rozenfeld, Amaral, Toledo e Carvalho (2000) mostra a existência das abordagens tradicional e simultânea.

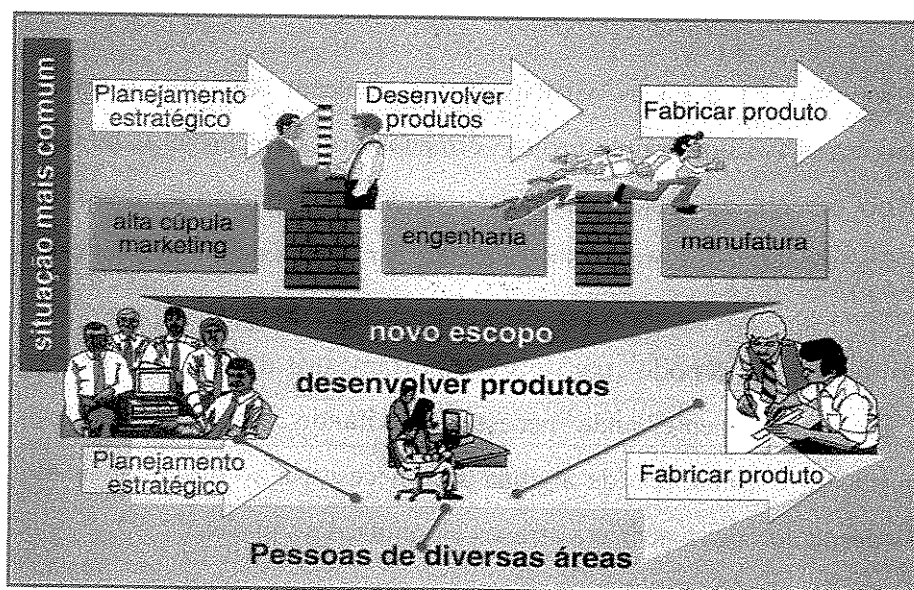


Figura 5.4 Abordagens tradicional e simultânea no PDP.

A parte superior da figura 5.4 representa o modelo tradicional de desenvolvimento de produtos em que as fases são independentes e somente ao seu final é desencadeada a fase seguinte. Na parte inferior da figura 5.4 têm-se a representação de um desenvolvimento de produtos simultâneo, com participação de profissionais de diferentes áreas. Percebe-se a integração entre todos os departamentos da organização industrial, conferindo dinamismo ao trabalho.

Para as empresas estudadas, a composição de cada time de desenvolvimento em relação ao tamanho do projeto é apresentada na tabela 5.5.

Tabela 5.5: Participação de representantes de cada área da empresa em times de desenvolvimento para projetos de grande, médio e pequeno porte.

Áreas da empresa	Empresas estudadas											
	E1			E2			E3			E4		
	Tamanho dos projetos											
	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte
Vendas/Marketing	●			●	●	●				●		
Design	●	●					●	●	●	●		
Engenharia de Produto	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Engenharia de Processos	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Qualidade	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Suprimentos	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Logística	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Controladoria	●	●		●	●	●				●	●	●
Produção							●	●	●	●	●	●
Assistência Técnica	●	●		●	●	●	●					
Fornecedores							●			●	●	●
Clientes							●			●	●	●

A tabela 5.5 mostra que as empresas E1, E3 e E4 utilizam mais representantes para projetos de maior porte, enquanto a empresa E2 mantém as representações independente do tamanho do projeto.

A formação de equipes de desenvolvimento mostra um comportamento típico da abordagem simultânea, onde a participação multifuncional enriquece o ciclo de desenvolvimento por meio da alimentação de informações de diferentes naturezas como logística, assistência técnica, processo produtivo, entre outros.

A utilização destas informações em fases iniciais de desenvolvimento garantem a diminuição dos problemas de projeto e a consideração de aspectos de todo o ciclo de vida do produto.

Como exemplo, pode ser considerado no desenvolvimento informações pertinentes a qualquer posição do ciclo de vida do produto como informações sobre a possibilidade de substituir uma fixação por parafusos por um encaixe simples entre duas peças, de substituir determinado fornecedor por motivos logísticos, de como facilitar a manutenção do produto em campo até de como melhorar a desmontagem do produto para um possível descarte.

As vantagens do time multifuncional são muitas e as empresas estudadas já perceberam estes benefícios e começaram a adotar a filosofia do desenvolvimento simultâneo, baseada na sinergia de seus participantes, que trabalham em equipes multifuncionais, formadas por pessoas de diversas áreas e que oportunamente, podem contar com o auxílio de fornecedores e clientes. Os trabalhos são suportados por técnicas, métodos e recursos integrados que garantem a obtenção de melhores resultados.

A estrutura multifuncional consegue trabalhar e prever ações com informações preliminares de engenharia, o que representa maturidade e confiança no trabalho. Dependendo do tamanho do projeto e a influência deste sobre as atividades departamentais, o representante dedica um maior período de tempo e mais força de trabalho ao projeto.

Apesar do arranjo em equipe e da dedicação de tempo ao projeto, os representantes acumulam as novas tarefas oriundas de um novo projeto com o serviço proveniente do dia-a-dia da sua função original, acarretando um peso extra sobre sua rotina. Este excesso de serviço

compromete o resultado final do projeto mas, é tolerado devido ao número reduzido de funcionários no quadro de pessoal forçado pela intensa campanha de redução de custos.

Em todos os casos estudados é utilizado um líder de projeto como responsável pelos assuntos administrativos e técnicos relativos ao projeto. Apesar da participação de representantes de todos os departamentos, o estilo de gerenciamento deste líder nas empresas E1, E2 e E3 é o de convencer os membros do time a cooperar, devido as grandes influências de interesses departamentais durante o desenvolvimento do trabalho e na empresa E4 é o focado nas formas sociais, organizacionais e gerenciais, demonstrando boa maturidade do time de desenvolvimento e menor conflito entre departamentos.

Nesta estrutura não são eliminados os conflitos entre hierarquias, pois o papel do líder ou gerente de projeto é o mesmo de um superior imediato. Estes tipos de conflitos, típicos de estruturas matriciais continuam a ocorrer com a adoção da Engenharia Simultânea sendo necessário a criação de novos métodos de trabalho e ferramentas para diminuição destes obstáculos.

Mesmo com os conflitos internos gerados, as decisões do time de desenvolvimento são respeitadas, pois todos julgam que a equipe tem experiência e conhecimento para tomar a melhor decisão.

Nestas condições, pode-se classificar o PDP como sendo uma ordem lógica de execução onde cada representante do time alimenta o ciclo de desenvolvimento com informações pertinentes às necessidades do produto.

Desta forma, as metodologias de projeto encontradas nos estudos variam de acordo com a visão, aspectos culturais, experiências vividas em desenvolvimentos de projetos semelhantes e conhecimentos acadêmicos adquiridos pelos profissionais envolvidos. Estas variações criam metodologias específicas de projeto, aplicadas a um determinado segmento de produtos ou em empresas específicas. Por estes motivos ganham aplicabilidade industrial, ao menos no âmbito em que esta foi adotada como a metodologia padrão para desenvolvimento de novos produtos.

Independente das visões parciais existentes, identifica-se uma linha mestra em comum composta das seguintes etapas básicas: Estudo de Viabilidade, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Revisão e Testes, Planejamento da Produção, Planejamento de Mercado, Planejamento para Consumo e Manutenção e Planejamento para Obsolescência. Estas etapas confirmam o proposto por Back (1976).

5.3 Caracterização da tecnologia de Prototipagem Rápida (PR)

Caracterizada as metodologias de projeto dentro do PDP, a tecnologia de PR foi investigada para identificar como esta torna-se disponível a estes profissionais, quais os sistemas mais empregados, as impressões, entendimentos, avaliação da qualidade dos protótipos, grau de prototipagem inserido em uma mesma análise e o nível de amadurecimento do projeto, constituindo assim a terceira parte dos estudos de caso.

O conhecimento da tecnologia de PR por parte dos profissionais ocorre através de visitas técnicas/comerciais e a participação em feiras especializadas e congressos. O serviço de prototipagem é adquirido em sua maior parte de escritórios de serviço e em sua menor parte de institutos que desenvolvem pesquisas na área.

O trabalho dos escritórios de serviços em buscar e desenvolver novos cliente é mais forte que os institutos de pesquisa. Nas regiões de São Paulo e Campinas existe maior oferta de serviços de PR, enquanto que nas outras regiões do Brasil existem poucos fornecedores.

O tempo médio de entrega dos protótipos desde o envio do modelo 3D até a peça em mãos é de aproximadamente 10 dias. Os processos de cotação e aprovação do orçamento alongam este prazo em cerca de 4 dias. Apesar do cumprimento da parte burocrática, os prazos são considerados bons. Como forma de diminuir os prazos e melhorar as condições de serviços, pode-se estudar uma forma de convênio entre os detentores de máquinas de PR e seus principais clientes, diminuindo a parte burocrática do processo.

Para facilitar o entendimento e análise dos dados, a quantidade de projetos que utilizaram o auxílio da PR foi dividida entre projetos de grande, médio e pequeno porte. Estes dados e o tempo que cada empresa utiliza a PR é mostrado na figura 5.5.

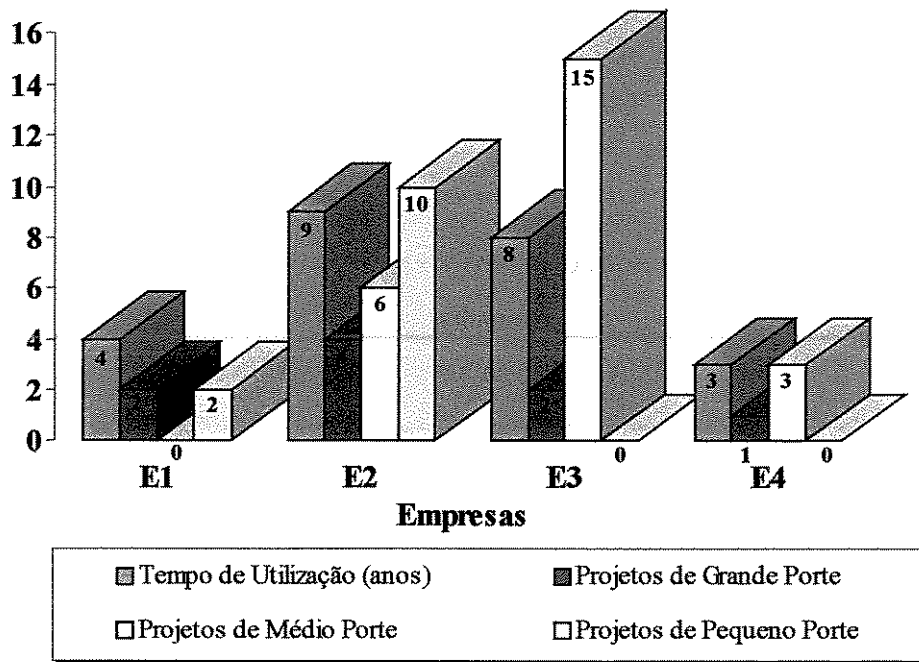


Figura 5.5 Tempo de uso e projetos desenvolvidos com o auxílio da PR.

As empresas E2 e E3 são as que utilizam a PR a mais tempo e consequentemente, são as que mais desenvolveram projetos com auxílio da tecnologia, reforçando a afirmação de que a PR passa a fazer parte do cotidiano das equipes de projetos. As empresas E1 e E4 utilizam a menos tempo, mas reconhecem a necessidade da ferramenta e indicam um crescimento do uso em novos projetos.

A figura 5.5 também confirma uma tendência de uso da PR em projetos de tamanhos pequenos e médios e não somente em grandes projetos. Este fato diminui o estigma de que protótipos obtidos por PR são caros e que somente podem ser utilizados em projetos com alto investimento associado.

A figura 5.6 mostra os valores percentuais para cada tamanho de projeto.

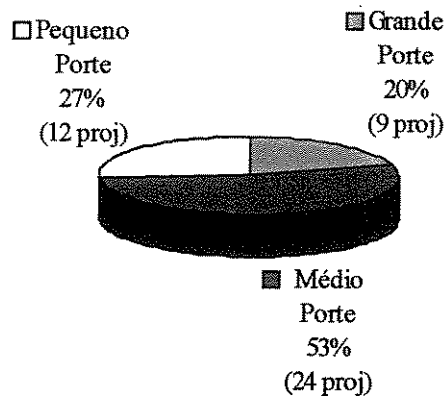


Figura 5.6 Percentual dos projetos desenvolvidos com o auxílio da PR em relação ao seu tamanho.

Os projetos de médio e pequeno porte são responsáveis por 80% das aplicações da PR no PDP. Os protótipos estão sendo utilizados em projetos de rotina como o ajuste ou melhoria de um produto, pequenas modificações, reduções de custos e racionalização. Com estes dados conclui-se que: os protótipos obtidos por sistemas de PR já fazem parte do dia-a-dia de projetistas e equipes de projeto nas grandes empresas.

Os sistemas mais empregados são a Estereolitografia (SLA) e a Sinterização Seletiva por Laser (SLS). As características dos protótipos obtidos pelos dois sistemas são similares as necessidades técnicas dos produtos que estes representam, permitindo prever dentro dos limites do modelo, o comportamento do fenômeno ou sistema estudado e avaliar o funcionamento da peça por meio de medidas experimentais.

Para análise destes fenômenos existe a ocorrência de dois níveis diferentes de prototipagem inseridos. O primeiro é quando o produto completo é um protótipo e o segundo quando o componente de um produto é um protótipo.

No primeiro nível as medidas encontradas nos ensaios e a análise dos resultados são diretamente influenciados pelo comportamento do protótipo durante o teste, fator este que deve ser incorporado aos outros fatores de influência como fator principal.

No segundo nível as medidas encontradas nos ensaios e a análise dos resultados são influenciadas indiretamente pelo comportamento do protótipo, fator este que deve ser incorporado aos outros fatores de influência. Neste tipo de análise pode-se obter dados mais confiáveis do protótipo devido ao conhecimento que já se tem adquirido do sistema utilizado como base.

Por estes motivos de influência é consenso que os protótipos obtidos por sistemas de PR apresentam médio grau de fidelidade. Porém, na análise da representatividade dos protótipos existe uma diferenciação entre as análises, testes realizados e opiniões por empresas que produzem produtos com fatores dimensionais e estruturais mais rigorosos e as que produzem produtos com requisitos menos rigorosos.

No caso de requisitos mais rigorosos a avaliação da qualidade do protótipo, englobando aspectos dimensionais, de resistência mecânica, acabamento, durabilidade e representatividade, são classificados como de qualidade média e que necessitam evolução para atendimento pleno das exigências. Para os casos de requisitos menos rigorosos a qualidade é considerada alta, necessitando evoluções em menos aspectos. A tabela 5.6 apresenta os principais parâmetros de qualidade dos protótipos e uma codificação indicativa para entendimento do gráfico da figura 5.7.

Tabela 5.6: Parâmetros de qualidade para protótipos obtidos por sistemas de PR.

Parâmetros	Nomenclatura
Acuracidade dimensional	P1
Resistência Mecânica	P2
Material	P3
Acabamento Superficial	P4
Representatividade	P5
Forma	P6
Rugosidade	P7
Durabilidade	P8

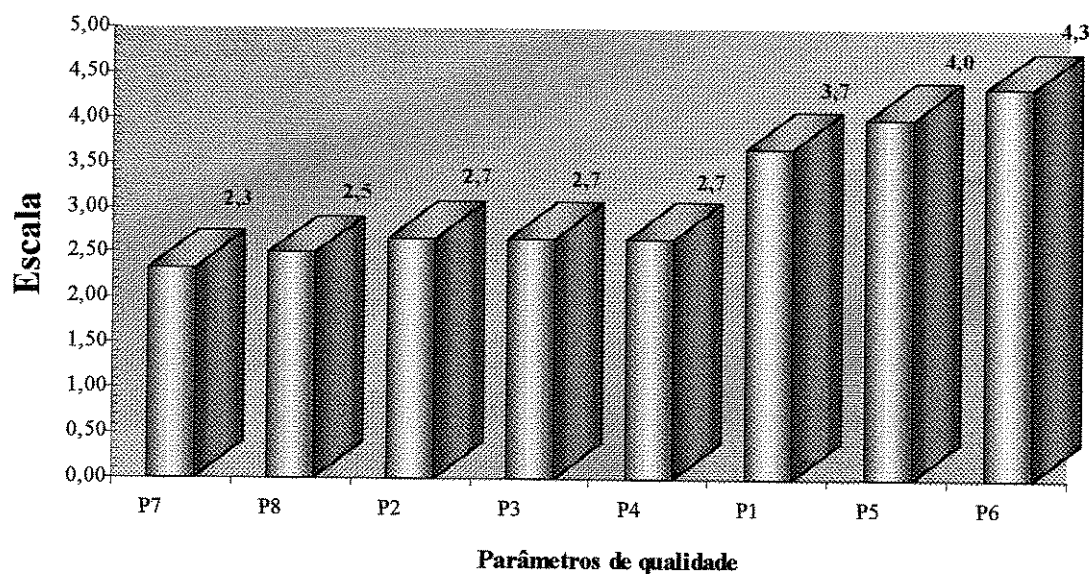


Figura 5.7 Classificação dos parâmetros de qualidade para protótipos obtidos por sistemas de PR.

Analisando o gráfico da figura 5.7 as melhorias requeridas são melhor acabamento superficial, melhor durabilidade quando submetido a testes práticos, maior resistência mecânica principalmente ao comportamento a solicitações de carregamento e alta temperatura, maior diversidade de materiais e melhor acabamento superficial.

As análises por meio de protótipos são realizadas em dois estágios de amadurecimento do projeto. Quando realizadas em um baixo grau de amadurecimento, percebe-se que os problemas detectados com os protótipos podiam ser identificados com o auxílio de sistemas CAD. Neste tipo de análise não extrai-se todo o potencial da utilização de protótipos, pois a correção de projeto ocorre em um estágio inicial e a prototipagem não se torna frequente.

Os principais problemas detectados nos protótipos e que poderiam ser identificados durante o projeto no sistema CAD são referentes a estruturação da peça, alívios de massa, algumas interferências de montagem e leiaute.

Quando os protótipos são obtidos em um nível médio do amadurecimento do projeto, estes permitem identificar fatores de projeto e processo, como a manipulação do item pelo operador durante a montagem, que dificilmente seriam identificados em sistemas CAD e otimizam a solução técnica do sistema como um todo ou do componente isoladamente.

Os protótipos podem representar peças de diferentes materiais e conceitos de fabricação. Neste estudo de caso os protótipos foram utilizados no desenvolvimento de peças plásticas, estampadas e injetadas em metal. A distribuição dos percentuais das aplicações para cada tipo de processo é mostrada na figura 5.8.

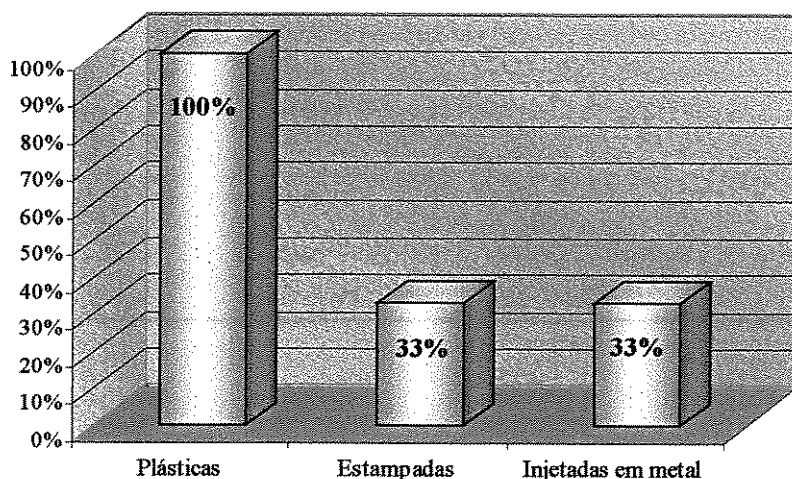


Figura 5.8 Utilização da PR no desenvolvimento de peças obtidas por diferentes processos de fabricação.

No caso de peças plásticas, os protótipos representaram peças obtidas pelos processos de injeção, extrusão e vácuo formação. Os processos de obtenção de protótipos favorecem a semelhança entre peças plásticas, obtidas por qualquer processo produtivo, e os protótipos, pois na maioria dos casos, os sistemas utilizam polímeros como matéria-prima.

Já para as peças estampadas obtidas por corte, repuxo e dobra e para peças injetadas em metal, 80% dos protótipos obtidos em SLA e SLS foram construídos em plásticos e serviram somente para verificação de montagem. Os 20% restante, dirigidos às peças estampadas e injetadas em metal, foram obtidos a partir da mistura de um metal em pó mais uma resina plástica, processo comum a SLS. Estes protótipos em metal puderam ser testados em relação a resistência.

Os protótipos obtidos por PR conseguem, em nível de projeto, representar de forma satisfatória os produtos desenvolvidos por todas as empresas estudadas. Porém, não representam

os produtos desenvolvidos por nenhuma delas, deixando a desejar em aspectos de resistência mecânica, acabamento superficial e durabilidade.

As características técnicas que dependem dos materiais também devem ser melhoradas. Um caminho identificado nesta pesquisa é o aproveitamento de materiais comerciais para a construção do protótipo. Isto forneceria ao projetista e equipe de projeto uma análise mais precisa do comportamento do protótipo quando submetido aos ensaios, além de diminuir os custos dos mesmos.

5.4 Caracterização da PR na metodologia de projetos e no PDP

Na quarta parte dos estudos de casos ocorre a fusão entre as metodologias de projeto e a tecnologia de PR no PDP. O objetivo é identificar os motivos da adoção da tecnologia de PR, como e quais modificações ocorreram no desenvolvimento, os valores agregados ao PDP, a frequência de uso em cada etapa do desenvolvimento e os impactos causados pela tecnologia de PR dentro do PDP.

A tecnologia de PR foi adotada pelas empresas estudadas com o objetivo de reduzir custos e prazos de desenvolvimento por meio da diminuição de erros de projeto, para apresentação dos projetos a clientes e para percepção da estética do produto junto aos departamentos de Design.

As exigências de redução dos custos e dos prazos de desenvolvimento são atributos latentes de qualquer empresa que deseja ser competitiva, suprimindo as necessidades de seus clientes com o lançamentos de novos produtos no mercado e se mantendo viva em mercados tão competitivos e vorazes quanto os atuais.

A colaboração da PR permite injetar no PDP novas maneiras de se desenvolver produtos. Os valores agregados ao ciclo de desenvolvimento são o realinhamento do projeto as necessidades dos consumidores por meio da identificação de possíveis desvios do escopo inicial, diminuir os custos e impactos de correções de produtos em fases avançadas de desenvolvimento, melhorar o tempo de introdução de novos produtos no mercado, fornecer aprendizado contínuo

ao envolvidos e eliminar desperdícios em tempo, dinheiro, recursos, ferramentas e processo produtivo.

A aquisição de novos valores no PDP mudou o comportamento dos times de desenvolvimento para melhor, aumentando a confiança do time na certeza da escolha da melhor proposta técnica. Nas disciplinas de aprendizagem aumentou o conhecimento e entendimento do time sobre o projeto em desenvolvimento e melhorou a disponibilidade de informação permitindo a quem não tem conhecimentos técnicos de leitura de desenho entender e discutir o projeto, enriquecendo o resultado final.

A facilidade em entender o projeto a partir da manipulação do protótipo trouxe outras vantagens ao PDP. Como a utilização de ferramentas de qualidade no PDP torna-se cada vez mais frequente e a formação dos grupos responsáveis por aplicar estas ferramenta deve ser multidisciplinar, envolvendo muitas vezes até os consumidores, a facilidade de entendimento do projeto através de protótipos colabora de maneira significativa no resultado, evitando dúbias interpretações.

As empresas estudadas usam protótipos como material auxiliar nas sessões de FMEA, DFMA e FTA. Podem ainda ser usados nas ferramentas DOE, CAAP, Projeto Modular, em desdobramentos do QFD e em métodos como Taguchi que certamente se enquadram na metodologia de projetos.

De acordo com a linha mestra proposta Back (1976) e identificada em todos os estudos de casos realizados, as formas de utilização de protótipos na metodologia de projetos variam conforme a fase.

Estas fases estão dispostas em uma ordem lógica de execução e podem ser empregadas nas duas abordagens discutidas neste trabalho, a abordagem tradicional e a simultânea.

A classificação das formas de utilização alocadas nas fases específicas das metodologias de projetos podem ser vistas nos gráficos das figuras 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.16, 5.17 e 5.18.

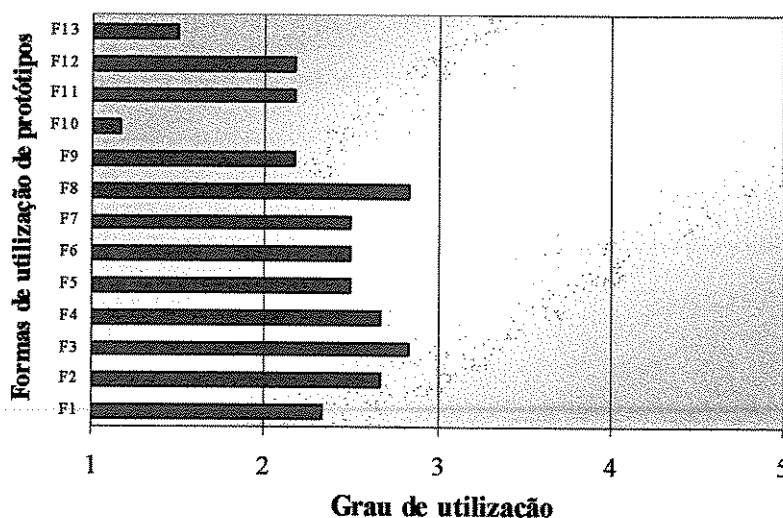


Figura 5.9 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Estudo de Viabilidade.

A fase de Estudo de Viabilidade compreende a geração e avaliação de concepções de projetos de produtos ou de projetos puramente técnicos. Estas propostas de concepções são geradas das necessidades de mercado ou de uma necessidade interna da organização, que deseja obter um avanço ou corrigir um problema no seu sistema de manufatura.

Para que a PR possa auxiliar nesta fase, algumas propostas devem estar esboçadas em sistemas CAD que utilizem modelamentos 3D. Como neste estágio de desenvolvimento, a geração de modelamentos 3D não é comum devido a inexistência de definições técnicas, dificilmente se aplica a PR nesta etapa. Os recursos despendidos com atividades relativas à projetos em sistemas CAD se situam nas fases de Projeto Preliminar e Projeto Detalhado, onde já existe uma concepção definida.

Os sistemas CAD podem ser empregados na fase de Estudo de Viabilidade para gerar modelamentos 3D de propostas estéticas para pesquisas de apreciação e avaliação do produto por seu público alvo.

Neste contexto, a utilização do protótipo auxilia, em termos de viabilidade, as atividades de avaliação da suposta melhor solução técnica, dos fatores estéticos, do comportamento do cliente, das funcionalidades do produto além de integrar pessoas e facilitar os processos decisórios na escolha da opção de projeto de maior viabilidade.

Seguindo o ciclo de desenvolvimento, a figura 5.10 apresenta a distribuição para a fase de Projeto Preliminar.

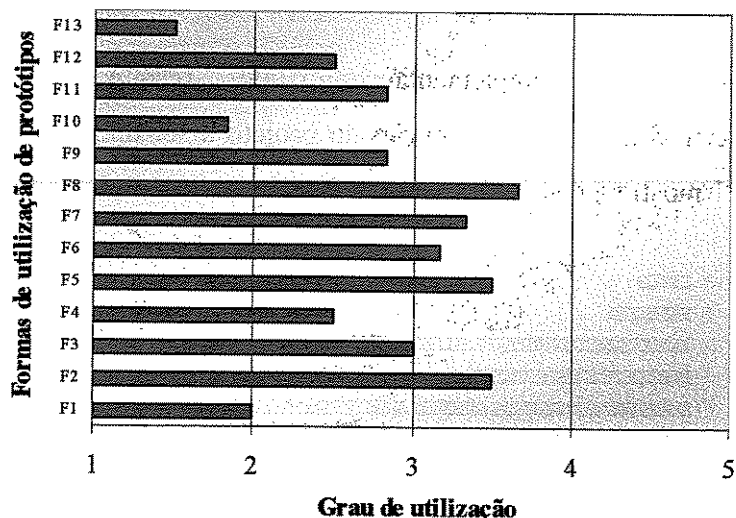


Figura 5.10 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Projeto Preliminar.

A fase de Projeto Preliminar recebe as informações da fase de Estudo de Viabilidade para desenvolver um conjunto de soluções para cada proposta formulada e indicar qual é o melhor caminho a ser seguido.

Percebe-se nesta fase um acréscimo no uso de protótipos causado pelo início do projeto técnico do produto, pela continuidade das pesquisas de mercado e pelo refinamento das propostas. Nesta fase deve-se definir qual das alternativas apresenta maior potencial técnico/comercial. Para isto, utilizam-se ferramentas de análises técnicas, como principais parâmetros de controle de produto, faixas de controle, tipos de materiais, tolerâncias, adaptações de produtos existentes, fatores de uso do produto, desgaste de forma geral e análises de mercado como complemento de pesquisas de opinião de consumidores, estimativa inicial de custo, disponibilidade de materiais e recursos e investimento estimado.

A PR auxilia as atividades de desenvolvimento na fase de Projeto Preliminar contribuindo para otimizar as soluções técnicas, testar as funcionalidades do produto, simular montagens, verificar interferências, avaliar fatores estéticos e facilitar os processos de decisão.

Nesta fase existe um aproveitamento maior do potencial dos protótipos, sendo utilizado também para avaliar comportamento de clientes, analisar o processo produtivo, avaliar projetos de ferramentas e planejar a embalagem do produto.

Todas as funções citadas se complementam para que o resultado final aponte a melhor proposta técnica/comercial, formando a concepção do projeto a ser detalhado na fase de Projeto Detalhado. A figura 5.11 mostra a distribuição para a fase de Projeto Detalhado.

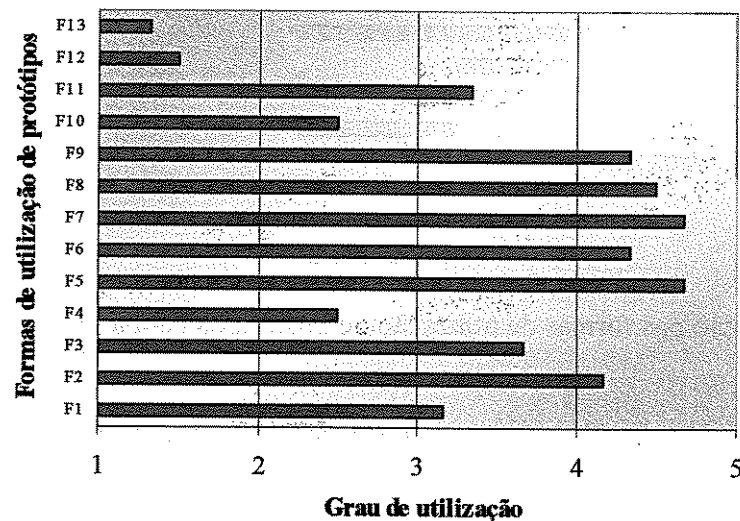


Figura 5.11 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Projeto Detalhado.

Nesta fase do desenvolvimento o projeto começa a ser detalhado dos níveis macros até aos níveis básicos, decompondo as informações provenientes da fase de Projeto Preliminar em informações exatas de Engenharia.

A decomposição das informações gera um conjunto de componentes e especificações de Engenharia que correspondem a um projeto realizável e viável do ponto de vista construtivo e econômico.

As atividades técnicas contidas nesta fase são responsáveis diretas pela aplicação dos conceitos, técnicas e ferramentas das disciplinas de Engenharia. Como os protótipos são ferramentas auxiliares a projetos de Engenharia e nesta fase o projeto se encontra detalhado, não propício às significativas modificações de concepção, eles são usados para testar funcionalidades, simular montagens, otimizar soluções técnicas, verificar interferências, testar processo produtivo e facilitar os processos de decisão.

As funções complementares como avaliar fatores estéticos, facilitar projetos de ferramentas, integrar pessoas (fornecedores, equipe de desenvolvimento e clientes) e treinar operadores e assistência técnica colaboram para sintetização do projeto e a certeza de que todos os fatores que envolvem o desenvolvimento foram considerados, avaliados e que, para cada um exista ao menos um requisito de projeto.

Neste estágio do desenvolvimento os aspectos dimensionais, de capacidade, tolerâncias, formas, estrutura e materiais estão todos definidos. Desta forma os protótipos gerados condizem com as especificações de projeto e permitem avaliar, com certa confiança, o que foi projetado.

As análises identificam erros, melhorias e ajustes de projeto e podem, também, solucionar determinados aspectos incertos de projeto ou que geraram dúvidas durante o desenvolvimento.

Os protótipos obtidos nesta fase podem seguir dois caminhos diferentes em relação a sua avaliação. O primeiro é o protótipo avaliado que mostrou-se eficiente para a identificação de erros de projeto e que permitiu mudanças no projeto antes que fossem disparadas ações de construção de ferramentas e testes de performance com caráter de aprovação. O segundo é o considerado aprovado onde as verificações de projetos foram feitas e o que foi projetado realmente condizia com os requisitos de projeto.

O primeiro tipo de protótipo deve ser retrabalhado ou em casos extremos, outro protótipo deverá ser construído para seguir para a fase de Testes e Revisões. O protótipo do segundo tipo não apresenta problemas em seguir para a próxima fase pois, não foram necessárias modificações ou correções. A figura 5.12 apresenta a distribuição para a fase de Revisão e Testes.

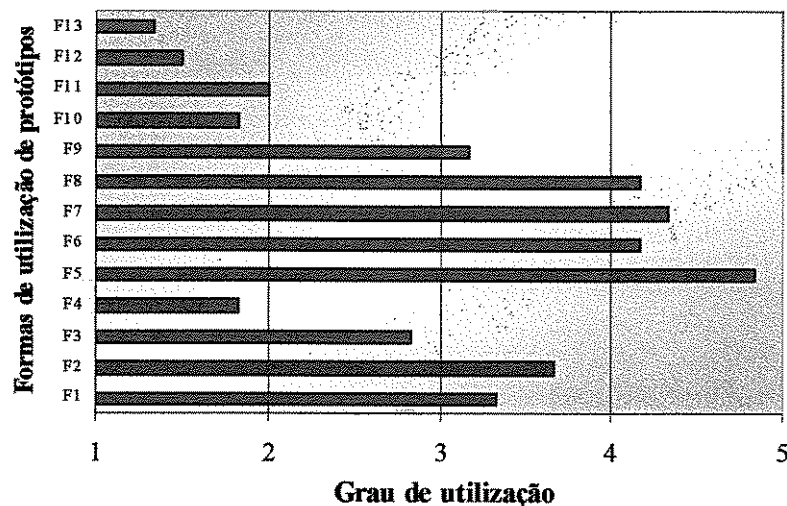


Figura 5.12 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Revisão e Testes.

A fase de Revisão e Testes complementa e, muitas vezes, é realizada em conjunto com a fase de Projeto Detalhado porque os resultados obtidos nos testes laboratoriais e de campo devem realimentar o projeto e este, ajustado ou corrigido. Os testes desta fase são divididos em dois grupos: os considerados como de desenvolvimento e os de homologação do produto.

Os resultados dos testes de desenvolvimento medem a performance do produto e a análise comparativa com os resultados de experiências passadas ou de valores pré estabelecidos, norteando as ações de projeto. Se os resultados não satisfazem aos requisitos, estas informações devem realimentar o processo de detalhamento de projeto, se satisfazem podem ser repetidos os testes para homologação do conceito desenvolvido para o projeto/produto ou considerados aprovados sem a necessidades de novos testes.

A PR colabora com o desenvolvimento do projeto por meio das atividades de testar funcionalidades do produto, simular montagens, verificar interferências, otimizar soluções técnicas, integrar pessoas e facilitar os processos de decisão.

As atividades complementares para esta fase são: testar processo produtivo, avaliar fatores estéticos, facilitar projeto de ferramentas e treinar operadores e assistência técnica.

Após testes e revisões efetuadas no projeto, o desenvolvimento está liberado para seguir para a fase de construção de ferramentas e refinação e certificação dos aspectos produtivos. A figura 5.13 mostra a distribuição para a fase de Planejamento da Produção.

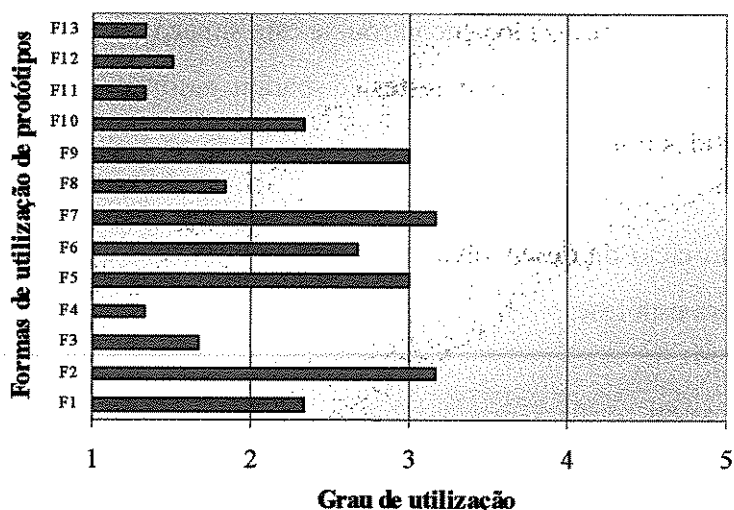


Figura 5.13 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento da Produção.

Nesta fase ocorre o planejamento detalhado do processo produtivo, a construção de ferramentas e dispositivos de fabricação, preparação das utilidades fabris e estimativa do custo de produção do produto.

As principais atividades auxiliadas pela PR são a simulação de montagens, testar o processo produtivo, testar a funcionalidade do produto, verificar interferências, treinar operadores e assistência técnica, integrar pessoas e facilitar os processos de decisão.

O processo produtivo pode ser planejado com o auxílio de protótipos nas atividades que requerem simulação da montagem do produto, sendo possível fazer testes de montabilidade para medir o tempo gasto, os movimentos dos operadores, necessidades de automação e ferramentas e planejar o espaço utilizado para o suprimento e produto transformado. Dentro deste escopo a PR pode auxiliar programas como o CAPP.

Para testes mais completos, os processos produtivos precisam ser medidos considerando uma quantidade mínima de peças. Neste caso, o protótipo obtido por sistemas de PR deixam de ser usados, e para suprir a necessidade de pequenos lotes, a PR é substituída pela tecnologia de Rapid Tooling (RT) que pode fornecer protótipos em uma quantidade suficiente para estes tipos de testes. Nos estudos de casos realizados encontrou-se esta situação no caso da empresa E2, que após a aprovação do projeto detalhado e testes, dispararam automaticamente a construção de algumas ferramentas obtidas por RT.

A próxima fase do ciclo de desenvolvimento é o Planejamento de Mercado. A figura 5.14 mostra a distribuição para esta fase.

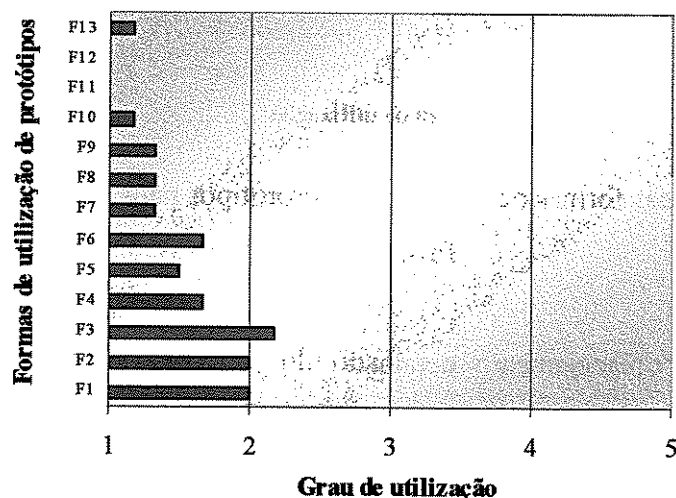


Figura 5.14 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento do Mercado.

As atividades que devem ser desenvolvidas nesta fase são o planejamento da armazenagem e distribuição do produto, as campanhas e materiais de propaganda e o ajuste do projeto do produto conforme seu comportamento durante transporte.

A PR pode auxiliar esta fase do desenvolvimento através das atividades de integrar pessoas, facilitar dos processos de decisão, avaliar fatores estéticos, comportamento de clientes e verificar interferências. Estas atividades estão relacionadas com a embalagem do produto. Porém, percebe-

se a ausência das formas de utilização F11 (facilitar projetos de ferramentas) e F12 (planejar embalagem do produto). As atividades complementares não são tão auxiliadas pela PR nesta fase.

A atividade F12, apesar de parecer correta para esta fase do desenvolvimento, acontece em fases anteriores a esta pois, neste estágio, a embalagem já está sendo testada e as necessidades de planejamento de distribuição estão sendo consideradas, o que evidência a necessidade da embalagem já existir para a fase de Planejamento do Mercado.

A figura 5.15 mostra a distribuição para a fase de Planejamento para Consumo e Manutenção.

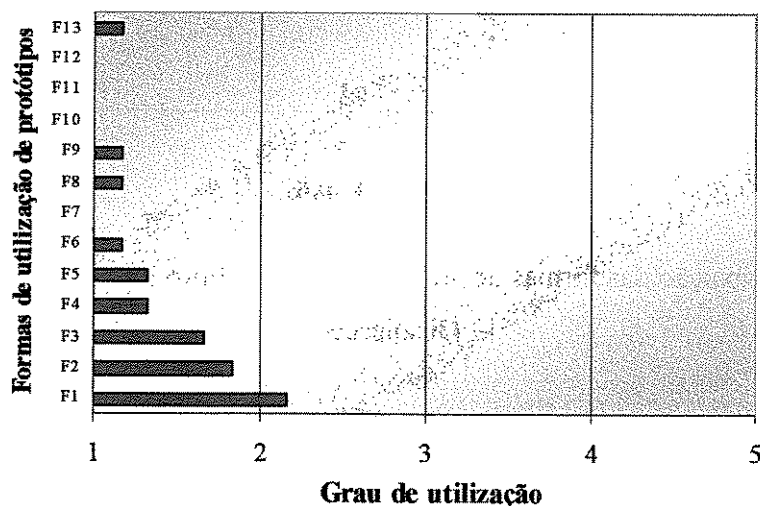


Figura 5.15 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento para Consumo e Manutenção.

Esta fase visa a atribuição de aspectos de consumo ao projeto do produto, adicionando ao desenvolvimento a manutenção do produto, fatores de confiabilidade, segurança no manuseio/operação e vida útil.

A utilização da PR nesta fase auxilia as atividades de integrar pessoas e facilitar o processo de decisão. As formas complementares não apresentam peso neste estágio devido aos aspectos concernentes ao consumo e manutenção serem realizados de forma concorrente com outras

atividades de projeto ao longo do desenvolvimento. Isto explica a ausência das formas de utilização F7, F10, F11 e F12.

A distribuição para a fase de Planejamento da Obsolescência é apresentada na figura 5.16.

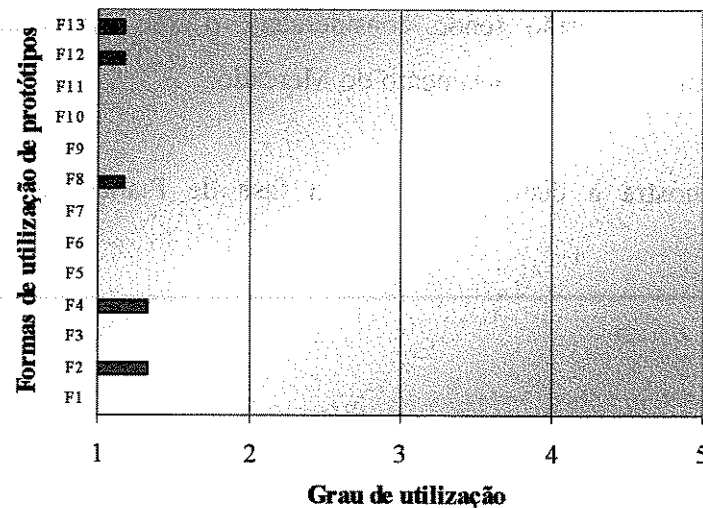


Figura 5.16 Distribuição das formas de utilização de protótipos para a fase de Planejamento da Obsolescência.

Todos os produtos possuem uma expectativa de vida útil, seja ela por senilidade ou por critérios técnicos. O planejamento da obsolescência do produto é muito importante para a empresa. A utilização de informações de produtos que chegaram ao fim de sua vida útil podem reduzir o custo de assistência técnica e atender políticas e normas ambientais quanto ao correto descarte do produto.

A consideração dos aspectos de obsolescência durante a execução do projeto não tem sido muito aplicado. As empresas possuem normas próprias ou utilizam normas internacionais para selecionar os materiais e processos proibidos, mas não fazem um estudo tão profundo quanto a obsolescência.

As atividades auxiliadas pela PR nesta fase são facilitar processos de decisão, otimizar soluções técnicas, planejar embalagem do produto, planejar descarte do produto e avaliar

comportamento de clientes. Todas as atividades técnicas são relativas a análise de materiais proibidos conforme norma e a avaliação de comportamento de clientes é a oportunidade de usar a preocupação ambiental como ferramenta de propaganda e marketing.

Todas as formas de utilização de protótipos obtidos por PR nas metodologias de projeto adotadas pelas empresas causam impactos no PDP. Estes impactos foram investigados para confrontar com a classificação apresentada na figura 4.7. Para facilitar o entendimento dos resultados foi atribuída uma nomenclatura para os impactos de acordo com a tabela 5.7.

Tabela 5.7: Impactos da utilização de protótipos no PDP.

Impactos	Nomenclatura
Diminuição dos custos do projeto	Imp1
Diminuição dos erros de projeto	Imp2
Diminuição do tempo de cada etapa	Imp3
Dedicação de investimentos – Plano de protótipos	Imp4
Diminuição dos riscos de inovação	Imp5
Acréscimo do fator aprendizagem	Imp6
Melhoria no fluxo de informação	Imp7
Ferramenta de verificação do progresso do trabalho	Imp8
Melhoria da qualidade final do produto	Imp9
Elemento motivador da equipe	Imp10
Atendimento as especificações de clientes	Imp11
Facilitador nas tomadas de decisão	Imp12

Os resultados da investigação são mostrados na figura 5.17.

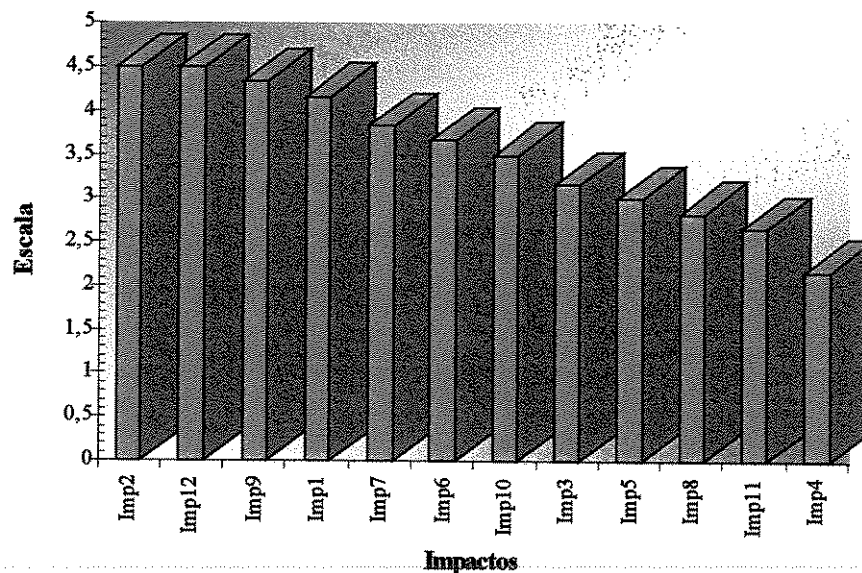


Figura 5.17 Classificação dos impactos da utilização de protótipos no PDP.

Os impactos considerados de maior influência no PDP são a diminuição dos erros de projeto, facilitador nas tomadas de decisão, melhoria na qualidade final do produto e diminuição dos custos de projeto. Destes impactos dois estão classificados como intermediários na figura 4.7 reforçando suas importâncias para o PDP.

A diminuição dos erros de projetos acontece devido ao uso do protótipo em análises de montagem e interferência por meio da manipulação do protótipo, movimentação impossibilitada em sistemas CAD. Se são descobertos erros durante o projeto e se são consertados, a qualidade final do produto aumenta e os custos de correções em etapas avançadas de desenvolvimento não evitados.

A colaboração do protótipo em tomadas de decisão se dá por meio do nivelamento de informação sobre o projeto que o protótipo transfere a todos os envolvidos no desenvolvimento. Quanto mais pessoas entendem o projeto, melhores serão as decisões por elas tomadas.

Os impactos considerados de média influência no PDP são melhoria no fluxo de informação, acréscimo do fator aprendizagem, elemento motivador da equipe e diminuição do

tempo de cada etapa. Destes impactos três são classificados como básicos e um como intermediário na figura 4.7.

A melhoria no fluxo de informação é fruto do mesmo fator que facilita a tomada de decisão, o entendimento do projeto propiciado pelo protótipo.

A aprendizagem aumenta conforme os defeitos são descobertos e suas causas e efeitos identificados. Este ciclo de análise leva os integrantes de projeto a absorverem conhecimento e isso é motivador para qualquer profissional.

A diminuição do tempo de cada etapa ocorre pelos valores agregados ao PDP quando da utilização de protótipos, erros são descobertos em fases iniciais de desenvolvimento, maior fluxo de informação e certeza nas tomadas de decisão.

Os impactos considerados de menor influência são diminuição dos riscos de inovação, ferramenta de verificação do progresso do trabalho, atendimento as especificações de clientes e dedicação de investimentos (plano de protótipos). Estes impactos são considerados como básicos na classificação mostrada na figura 4.7.

Os resultados encontrados para estes impactos foram influenciados por alguns fatores que fogem ao PDP das empresas estudadas. A diminuição dos riscos de inovação está ligada a um processo de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia e não ao desenvolvimento de produtos portanto, em outro ambiente.

Para ser utilizado como ferramenta de verificação do andamento do projeto, a direção da empresa deve adotar a PR também como uma ferramenta gerencial, ligando bons projetos a protótipos bem utilizados durante o desenvolvimento. Se adotado como ferramenta de projeto, existe a necessidade de se prever os custos da PR dentro do projeto. Quando este investimento não é planejado, a justificativa de utilização de protótipos durante o desenvolvimento torna-se complicada e difícil. O plano de protótipo é fundamental em qualquer planejamento de projeto.

O atendimento as especificações de clientes também são controlados e medidos por outras ferramentas de projeto, como o QFD. Desta forma, este impacto sofre influência de outras ferramentas.

5.5 Comentários e conclusões

A repetição da pesquisa realizada pelo PDMA, 1996 permitiu definir o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto, em especial a PR para as quatro empresas estudadas e definir após 8 anos, a posição em que estas se encontram dentro do PDP.

A caracterização do PDP mostrou como são aplicados os recursos nesta área, como os times de projeto trabalham durante o desenvolvimento e qual é a forma organizacional empregada, demonstrando que o PDP se aproxima de uma ordem lógica de execução onde cada representante do time alimenta o ciclo de projeto com informações pertinentes às necessidades do produto. No entanto, as metodologias de projetos encontradas na investigação alternam durante o seu desenvolvimento, características da abordagem tradicional e simultânea devido a influências departamentais envolvidas.

As fases que compõem a linha mestra do desenvolvimento de produtos proposta por Back (1976) foi confirmada, podendo ser empregada dentro de qualquer abordagem adotada. De todas as fase envolvidas no PDP a que se mostrou de menor interesse para as empresas e seus requerimentos somente são cumpridos sob condições compulsórias é o Planejamento para Descarte.

A caracterização da tecnologia de PR identificou a visão e entendimento dos profissionais que trabalham diretamente com ela e permitiu identificar como o serviço de prototipagem se torna disponível às empresas.

As oportunidades de melhorias da tecnologia de PR estão situadas nos atributos que envolvem aspectos de qualidade como acabamento, durabilidade e resistência mecânica. As

aplicações da PR se concentram em desenvolvimentos de peças plásticas e em menor frequência no desenvolvimento de peças estampadas e injetadas em metal.

Ficou evidente que a tecnologia de PR também é afetada pela banalização da disciplina de projeto, pois existem diversos problemas que são identificados nos protótipos que poderiam ser identificados durante o projeto em sistemas CAD.

A caracterização da tecnologia de PR no PDP permitiu quantificar as formas de utilização de protótipos e os impactos que estes causam no PDP, confirmando as classificações desenvolvidas na parte teórica deste trabalho.

Os impactos e a concentração da utilização da PR ocorre com maior frequência nas etapas de Projeto Preliminar, Projeto Detalhado e Revisão e Testes, sendo opinião em comum que seu resultado é melhor nas fases de detalhamento do projeto e testes funcionais. A figura 5.18 mostra um gráfico com a concentração das formas de utilização de protótipos ao longo do desenvolvimento.

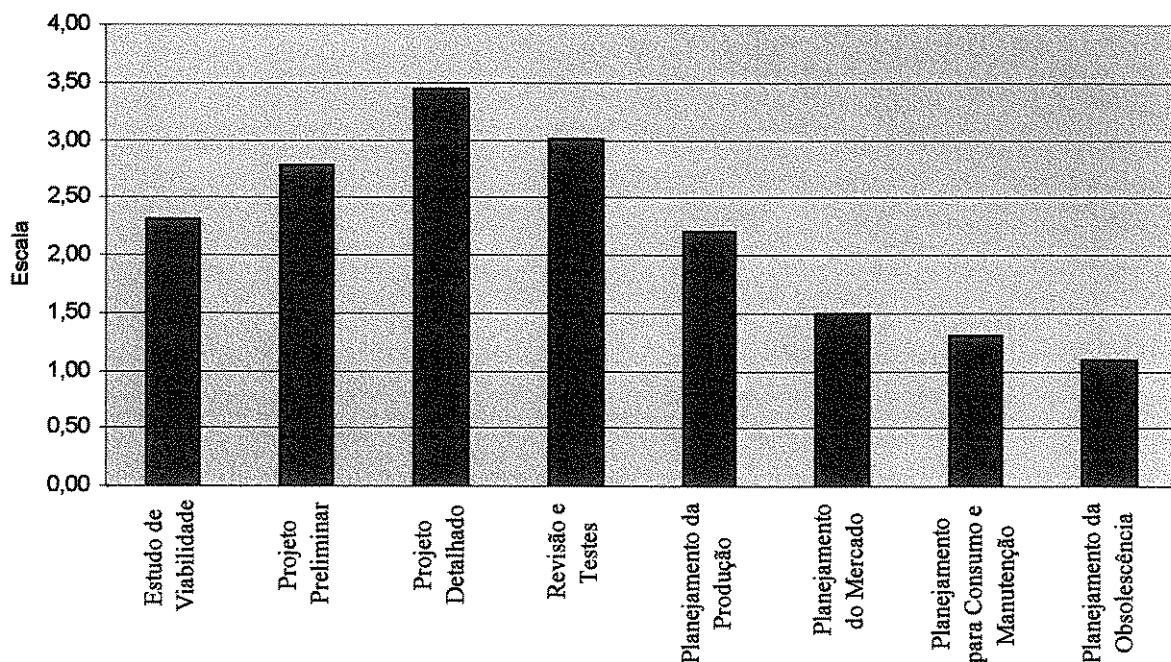


Figura 5.18 Concentração das formas de utilização de protótipos nas fases do PDP.

Os valores agregados ao PDP através da adoção da tecnologia de PR se mostram na direção da diminuição do ciclo de desenvolvimento, da diminuição dos custos de desenvolvimento, na diminuição dos erros de projetos e na diminuição de cada etapa do projeto.

Os estudos de casos permitiram convergir o referencial teórico desenvolvido à prática em desenvolvimento de projetos em grandes empresas, validando seu conteúdo e teor.

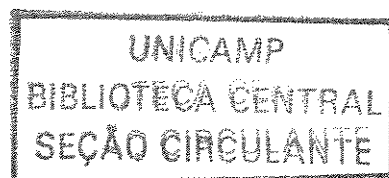
Capítulo 6

Conclusões Finais e Sugestões para Futuros Trabalhos

O vínculo criado entre a metodologia de projeto empregada por grandes empresas e a tecnologia de PR, permite a utilização de protótipos em todas as fases do ciclo de desenvolvimento de produtos, não caracterizando falha ou abstinência da metodologia de projeto em relação a PR. Não existe metodologia de projeto que não permita a utilização de protótipos obtidos por sistemas de PR.

A investigação mostrou que o potencial de uso de protótipo é totalmente extraído nas fases iniciais de projeto até as fases que envolvem mais conhecimentos técnicos das disciplinas de Engenharia, como nas fases de Estudo de Viabilidade, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Revisão e Testes e Planejamento da Produção. A partir da fase de Planejamento de Mercado a PR pode ser utilizada porém, o seu potencial não é totalmente aproveitado e a aplicação de tecnologias provenientes da PR, como o Rapid Tooling (RT) se tornam viáveis devido as quantidades de peças e qualidade exigidas neste estágio do desenvolvimento serem maiores que em condições de projeto.

Dentro do PDP, os projetistas e equipes de projeto utilizam a PR, em ordem decrescente de utilização, para facilitar os processos de decisão, testar funcionalidades, simular montagens, verificar interferências, otimizar soluções técnicas, testar processo produtivo, integrar pessoas, avaliar fatores estéticos, avaliar comportamento de clientes, facilitar projeto de ferramentas,



treinar operadores e assistência técnica, planejar embalagem do produto e planejar descarte do produto.

Os benefícios trazidos pela utilização de protótipos ao PDP são frutos das seguintes vantagens: identificação de erros de projeto em fases iniciais do desenvolvimento, fornecer embasamento as decisões tomadas e torná-las mais certas, permitir um substancial acréscimo de qualidade ao produto por meio da resolução antecipada de problemas, reduzir custos de desenvolvimento devido as modificações ocorrerem em fases de projeto e não quando as ferramentas estão em construção ou prontas, promover ciclos de aprendizagem a cada interação falha-causa-efeito-correção e colocar todos os envolvidos no desenvolvimento em um mesmo patamar de informação devido a possibilidade de visualização e entendimento do projeto após análise “em mãos” do protótipo.

As atividades de projeto executadas no âmbito do desenvolvimento extrapolam este ambiente e passa a exercer influências em ambientes externos. Este fenômeno causa o surgimento de benefícios indiretos da adoção da tecnologia para os clientes e consequentemente para a área de Marketing.

Como as atividades que sofrem o incremento da utilização de protótipos estão alocadas como responsabilidade da equipe de projeto, estes aproveitam diretamente os benefícios da tecnologia, possibilitando um alto rendimento da atividade de projeto.

Apesar das vantagens de utilização de protótipos já suplantarem as desvantagens, existem alguns pontos de melhoria da tecnologia que devem ser pesquisados para que se encontrem alternativas que incrementem estes aspectos. Os principais pontos de melhoria encontrados nos estudos de casos são relativos a qualidade do protótipo e a disponibilidade de material. Aspectos de qualidade como rugosidade, durabilidade, resistência mecânica e acabamento superficial precisam ser melhorados.

Quanto a disponibilidade de materiais, a principal queixa é a diferença de comportamento entre os materiais do protótipo e o material especificado para peça, o que gera uma necessidade

de extrapolação e aproximação dos resultados encontrados em testes de performance. Neste caso, a criação de um grupo de materiais que representem o comportamento de uma série de materiais comerciais seria uma solução. Por exemplo, um material que represente um grupo de Polietileno, outro que represente um grupo de Poliestireno.

As vantagens criadas pela utilização de protótipos e a adoção da tecnologia faz surgir diferentes impactos dentro do PDP. Estes impactos atingem diferentes frentes na formação técnica e organizacional do desenvolvimento de produtos causando modificações de comportamento dos profissionais e melhoria dos resultados alcançados.

Os impactos podem ser classificados conforme sua ordem de atuação no PDP. Os principais impactos são a diminuição dos erros de desenvolvimento, facilitador nas tomadas de decisão, melhora na qualidade final do produto, redução dos custos de desenvolvimento, geração de informações claras contribuindo para melhoria do fluxo de informação, diminuição do tempo de execução de cada tarefa, diminuição dos riscos de inovação, marco de verificação do progresso do trabalho e atendimento às especificações de clientes. Os impactos da utilização de protótipos obtidos por sistemas de PR trazem benefícios a todos os envolvidos no PDP.

Estes impactos causam uma transformação na forma de agir de projetistas e equipes de projeto, caracterizando a existência de um novo comportamento movido pelo acréscimo do fator aprendizagem e pela motivação dos envolvidos em poder visualizar e testar rapidamente seu projeto. Isto fornece embasamento para as decisões, dando segurança quanto a escolha da melhor solução técnica.

Dentro desta condicionante, a equipe de projetos tem seu comportamento modificado quando da utilização de protótipos. Se o comportamento da equipe se altera, todo o PDP sofre alterações para adequar-se a adoção desta nova ferramenta de auxílio ao desenvolvimento.

Considerando o PDP com uma abrangência ampla, desde a identificação da oportunidade de mercado, seja ela latente ou explícita, até a obsolescência do produto, tanto os benefícios diretos como os indiretos apontam para dentro do PDP, aumentando a eficiência do ciclo. Neste

caso a PR passa a ser intrínseca ao PDP, ou seja, a atividade de obter protótipos, analisá-los e explorá-los transformasse em atividades obrigatórias do projeto.

A abordagem teórica desenvolvida neste trabalho confirma as mudanças no PDP devido a adoção da tecnologia de PR. Esta mudança pôde ser confirmada com os estudos de casos desenvolvidos e abriu novas frentes para a realização de futuros trabalhos.

No âmbito das metodologias de projeto, pode-se investigar a PR do ponto de vista da formação da disciplina de projeto, podendo ser enquadrada como um princípio geral ou uma disciplina operacional dentro de um projeto particular.

No âmbito dos sistemas de PR, pode-se desenvolver uma nova forma de se obter protótipos que contenha as características técnicas e de qualidade no estágio atual mais as evoluções requeridas na área da qualidade e material do protótipo utilizando por exemplo, os princípios do Projeto Axiomático.

Estes desenvolvimentos podem então, serem utilizados na construção de um sistema que permita produzir peças de formas geométricas complexas em escala industrial e com as exigências de qualidade deste setor.

No âmbito da fusão entre PR e PDP, pode-se mapear o PDP com auxílio dos princípios da Manufatura Enxuta e definir onde estão os desperdícios e os valores agregados deste processo.

Enfim, somente a junção e integração das pesquisas na área de PR e PDP serão capazes de introduzir mudanças que envolvam melhorias e inovações. A tecnologia e a área de conhecimento podem parecer distantes, porém não é possível imaginá-las de outra forma que não sejam unidas.

Referências Bibliográficas

- Asimow, M. *Introdução ao projeto: fundamentos do projeto de engenharia*. São Paulo: Mestre Jou, 1968, 171p.
- Back, N. *Metodologia de projetos de produtos industriais*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1976, 389p.
- Barkan, P. , Iansiti, M. Prototyping: a tool for rapid learning in product development. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, v.1, pp.125-134, 1993.
- Beaman, J. J. Rapid prototyping in Europe and Japan, historical perspective. 1.ed. Texas: JTEC/WTEC, 1997, Cap. 3, Historical perspective, pp.16-26.
- Bernard, A. Rapid product development case studies and a data integration analysis. *Computers in Industry*, v.43, pp.161-172, 2000.
- Blanchard, B. S., Fabrycky, W. J. *Systems engineering and analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 1990, 721p.
- Bullinger, H. J. , Warschat, J. , Fischer, D. Rapid product development. *Computers in Industry*, v.42, pp.99-108, 2000.

- Campbell, R. I. , Martorelli, M. , Lee, H. S. Surface roughness visualisation for rapid prototyping models. *Computer-Aided Design*, v.34, (10), pp. 717-725, 2002.
- Carvalho, J. , Godoy, R. M. , Schiavon, F. L. Técnicas de prototipagem e ferramental rápido no desenvolvimento de peças plásticas. In: PlastShow, São Paulo, Brasil. 2002.
- Chua, C. K. , Chou, S. M. , Wong, T. S. Study of the state-of-art rapid prototyping technologies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.14, pp.146-152, 1998.
- Clark, K. B., Fujimoto, T. *Product development performance: strategy, organization, and management in the world auto industry*. Boston: Harvard Business School, 1991, 409 p.
- Clark, K. B., Wheelwright, S. C. *Managing new product and process development: text and cases*. New York: Free Press, 1992, 896p.
- Clausing, D., *Total quality development: a step-by-step guide to world class concurrent engineering*. New York: ASME Press, 1994, 506p.
- Deckard, C. R. , Beaman, J. J. Recent advances in selective laser sintering. *Production Research and Technology*, v. 40, (1), pp.447-452, 1987.
- Dickens, P. M. Research developments in rapid prototyping. In: International Mechanical Engineering Conference, Austin. *Proceedings... IMechE: Journal of engineering manufacture*, Part B, 1995, v. 209, pp. 261-266.
- Ertas, A., Jones, J. C. *The engineering design process*. New York: Wiley Text Books, 1993, 624p.
- Eyerer, P. , Wiedemann, B. , Dusel, K. H. , Keller, B. Materials for solid freeform manufacturing processes. *Computers in Industry*, v.28, pp.35-45, 1995.

- Geiger, M. , Steger, W. Design for manufacturing with generative production processes and a neutral test environment. *Computers in Industry*, v.28, pp.29-33, 1995.
- Gil, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 3ª Edição, São Paulo: Editora Atlas, 1993, 206p.
- Goetz, J., & LeCampte, M. *Ethnography and qualitative design in educational research*. San Diego, CA: Academic Press, 1984, 292p.
- Hull, H. W. 3D Systems: stereolithography. 3D Systems Published, 1988.
- International Organization for Standardization, EUA. QS 9000, Quality system requirements. EUA, 1998, 113p.
- International Organization for Standardization, EUA. APQP, Advanced product quality planning. EUA, 1995, 101p.
- Jacobs, P. F. Rapid prototyping and manufacturing, fundamentals of stereolithography. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 1992, 344p.
- Junghoon, H. , Lee, K. , Hu, Z. , Kim, J. Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition. *Computer-Aided Design*, v.34, (10), pp.741-754, 2002.
- Kai, C. C. 3D rapid prototyping technologies and key development areas. *Computing and Control Engineering Journal*, v.14, pp.200-206, 1994.
- Kai, C. C., Fai, L. K., Chu-Sing, L. *Rapid prototyping: principals and applications*. 2ª Edição, New York: World Scientific Publishing. 2003, 448p.

- Kaminski, P. C., Oliveira, J. H. S. A. A prototipagem rápida inserida nas diferentes fases de um projeto como instrumento de inovação. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), Caucaia, Ceará. 2000.
- Kochan, D. Solid freeform manufacturing – advanced rapid prototyping. Amsterdam: Elsevier, 1993, 565p.
- Kochan, D. Intelligent production technology future-oriented vision or industrial reality. *Computers in Industry*, v.28, pp.3-10, 1995.
- Kochan, D. , Kai, C. C. , Zhaohui, D. Rapid prototyping issues en 21st century. *Computers in Industry*, v.39, pp.3-10, 1999.
- Kruth, J. P. Material increment manufacturing by rapid prototyping techniques. In: CIRP, Cincinatti. *Proceedings... Annals of the CIRP*, 1991, v.40, (2), pp. 603-614
- Kuzman, K. , Nardin, B. , Marjan, K. , Jurkosek, B. The integration of rapid prototyping and CAE in mould manufacturing. *Journal of material Processing Technology*, v.11, pp.279-285, 2001.
- Lee, K. H. , Woo, H. Use of reverse engineering method for rapid product development. *Computers Industry Engineering*, v.35, (1-2), pp. 21-24, 1998.
- Likert, R. *Novos padrões de administração*. 1^a Edição, São Paulo: Editora Pioneira. 1971, 307p.
- Masood, S. H. , Soo, A. A rule based expert system for rapid prototyping system selection. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, v.18, pp.267-274, 2002.
- Meerkamm, H., Wartzack, S. Potencial dos projetos orientados a manufatura. *Revista Máquinas e Metais*, n° 415, pp.136-147, 2001.

- Meister, D., *Human factors: theory and practice*. New York: Wiley-Interscience Press, 1971, 415p.
- Miller, J. L. , Grote, K. H. Solid free form manufacturing technologies as an important step in the product development process. *Computers in Industry*, v.28, pp11-16, 1995
- Nyaluke, A. , Na, D. , Leep, H. R. , Parseaei, H. R. Rapid prototyping: applications in academic institutions and industry. *Computers Industry Engineering*, v.29, (1-4), pp.345-349, 1995.
- Nyaluke, A. , Nasser, B. , Leep, H. R. , Parseaei, H. R. Rapid prototyping work space optimization. *Computers Industry Engineering*, v.31, (1-2), pp.103-106, 1996.
- Pahl, G., Beitz, W. *Engineering design: a systematic approach*. London: Design Council, 1988, 397p.
- Pham, D. T. , Gault, R. S. A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v.38, pp.1257-1287, 1998.
- Prasad, B. *Concurrent engineering fundamentals: integrated product and process organization*. New Jersey: PTR Prentice Hall, 1996, 528p.
- Pugh, S. *Creating innovative products using total design*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1996, 527p.
- Rosenau, M. D. *The PDMA handbook of new product development*. 1ª Edição, New York: John Willey and Sons, 1996, 636p.
- Rozenfeld, H., Amaral, D. C., Toledo, J. C., Carvalho, J. *Fábrica do futuro: entenda hoje como sua indústria vai ser amanhã*. 1.ed. Reading: Editora Banas, 2000, cap. 6, O processo de desenvolvimento de produtos, pp. 55-64.

- Selltiz, W. *Métodos de pesquisa nas relações sociais*. 1ª Edição, São Paulo: Editora E. P. U., 1974.
- Senge, P. M. *A quinta disciplina: arte, teoria e prática da organização de aprendizagem*. 14ª. Edição, São Paulo: Editora Best Seller, 1990, 443p.
- Serviço de apoio as micros e pequenas empresas (Sebrae), *Classificação das empresas conforme seu porte*. Disponível em <http://www.sebrae.com.br/br/ued/index.htm> consultado em 20 de Novembro de 2003.
- Suh, N. P. *The principles of design*. New York: Oxford University Press, 1990, 401p.
- The Project Management Institute Inc. (PMI). *A guide to the project management body of knowledge*. Philadelphia: PMI Publications, 2000, 219p.
- Triviños, A. N. S. *Introdução a pesquisa em ciências sociais*. 1ª Edição, São Paulo: Editora Atlas, 1987, 175p.
- Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. VDI-2221; Systematic approach to the development and design of technical systems and products. Düsseldorf, 1993, 44p.
- Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. VDI-2222; Methodic development of solution principles. Düsseldorf, 1997, 63p.
- Volpato, N. Prototipagem rápida/Ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto. *Máquinas e Metais*, n.401, pp.76-89, 1999.
- Wall, M. B. , Ulrich, K. T. , Flowers, W. C. Evaluating prototyping technologies for product design. *Research in Engineering Design*, v.3, (1), pp.163-177, 1992.

- Wiedemann, B. , Jantzen, H. A. Strategies and applications for rapid product process development in Daimler-Benz AG. *Computers in Industry*, v.39, pp.11-25, 1999.
- Wohlers, T. Rapid Prototyping's impact worldwide. In: Symposium on Automotive Technology and Automation Conference (ISATA), Stuttgart, Alemanha. 1995.
- Wohlers, T. Rapid prototyping state of the industry: 1997 worldwide progress report. Dearborn: Society of Manufacturing Engineering, 1997, 647p.
- Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D. *A máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1992, 347p.
- Yan, X. , Gu, P. A review of rapid prototyping technologies and systems. *Computer Aided Design*, v.28, (4), pp.307-318, 1996.
- Yoshikawa, H. Design philosophy: the state of the art. In: CIRP, Dearborn. *Proceedins... Annals of the CIRP*, 1993, v.38, (2), pp. 579-586

Anexo I

As tabelas deste anexo foram obtidas a partir das metodologias de projeto estudadas no Capítulo 2 e da relação entre as formas de utilização de protótipos para cada fase de cada metodologia, estudadas no Capítulo 4.

Identificou-se onde e de qual forma poderiam ser empregados protótipos para auxílio de uma determinada atividade em todas as fases de todas as metodologias e estas interações foram destacadas. Para agrupar as metodologias em dois grupos distintos, tradicional e simultânea, utilizou-se critérios baseados na forma estrutural das equipes de desenvolvimento, na forma de distribuição das atividades de projeto e o tratamento dado às informações pertinentes ao projeto. Seguiu, também, as escolas adotadas pelos autores.

A atribuição de pesos para cada forma de distribuição utilizada em cada fase das metodologias propostas, permitiu montar os gráficos apresentados nas figuras 4.2 e 4.3 do Capítulo 4, que mostram a distribuição das formas de utilização de protótipos para as abordagens tradicional e simultânea, respectivamente. Os resultados de cada fase de cada metodologia foram totalizados conforme a fórmula 1.

$$\sum_{i=1}^n F_i = 100\% \quad (1)$$

		FASES - METODOLOGIAS ABORDAGEM SIMULTÂNEA												
		1 - Integrar pessoas	2 - Facilitar processos de decisão	3 - Avaliar fatores estéticos do produto	4 - Avaliar comportamento dos clientes	5 - Testar funcionalidades	6 - Verificar interferências	7 - Simular montagens	8 - Otimizar soluções técnicas	9 - Testar processo produtivo	10 - Treinar operadores e assistência técnica	11 - Facilitar projeto de ferramentas	12 - Planejar embalagem do produto	13 - Planejar descarte do produto
ERTAS e JONES	1) Conceituação	•	•	•	•									
	2) Análise de viabilidade	•	•	•	•									
	3) Decisão para prosseguir	•	•	•	•									
	4) Formação da equipe de projeto	•	•											
	5) Projeto preliminar	•	•	•	•									
	6) Projeto detalhado													
	6.1) Testes de desenvolvimento	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
	6.2) Testes de qualificação	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
	7) Planejamento para produção													
	7.1) Construção de ferramental	•	•					•	•	•	•	•		
	8) Teste de homologação													
CLAUSING	8.1) Produção	•	•											
	1) Concepção	•	•	•	•									
	2) Projeto	•	•	•	•		•	•	•					
	3) Preparação	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
PUGH	4) Produção	•	•					•	•	•		•		
	1) Projeto conceitual ou preliminar	•	•	•	•									
	2) Especificação	•	•	•	•									
	3) Projeto detalhado	•	•			•	•	•	•		•	•	•	•
	4) Manufatura	•	•				•	•		•	•	•		
	5) Vendas													
	1) Especificação	•	•	•	•									
	2) Projeto conceitual ou preliminar	•	•	•	•	•	•							
	3) Projeto detalhado	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•
	4) Manufatura	•	•	•	•			•		•	•	•		
SUH	5) Vendas								•	•	•			
	Domínio do consumidor	•	•	•	•									
	Domínio funcional	•	•											
	Domínio físico	•	•	•	•									
	Domínio do processo	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•

		FASES - METODOLOGIAS ABORDAGEM SIMULTÂNEA												
		1 - Integrar pessoas	2 - Facilitar processos de decisão	3 - Avaliar fatores estéticos do produto	4 - Avaliar comportamento dos clientes	5 - Testar funcionalidades	6 - Verificar interferências	7 - Simular montagens	8 - Otimizar soluções técnicas	9 - Testar processo produtivo	10 - Treinar operadores e assistência técnica	11 - Facilitar projeto de ferramentas	12 - Planejar embalagem do produto	13 - Planejar descarte do produto
CLARK e FUJIMOTO		1) Conceito	•	•	•	•								
		2) Planejamento do produto	•	•	•	•							•	•
		3) Projeto avançado, estilo e layout	•	•	•	•	•	•	•				•	•
		4) Projeto dos componentes	•	•		•	•	•	•				•	•
		5) Construção dos protótipos	•	•		•	•	•	•					
		5.1) Testes	•	•		•	•	•	•					
WOMACK, JONES e ROOS		6) Planejamento e execução do processo						•		•	•	•		
		Liderança	•	•										
		Trabalho em equipes multifuncionais	•	•	•	•					•			
		Comunicação	•	•							•			
APQP		Desenvolvimento simultâneo	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		1) Concepção do produto												
		1.1) Planejamento	•	•	•	•								
		2) Aprovação do programa												
		2.1) Desenvolvimento do produto	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		2.2) Desenvolvimento do processo	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
		3) Protótipo	•	•		•								
		3.1) Homologar produto	•	•		•	•	•	•	•	•	•		
		4) Piloto												
		4.1) Homologar processo								•				
		5) Lançamento												
		5.1) Planejamento												
		5.2) Produção												
PRASAD	PPO	Competitividade em manufatura	•	•				•	•	•	•	•		
		Gerenciamento do ciclo de vida do produto	•	•	•	•					•			•
		Reengenharia do processo	•	•		•			•					
		Técnicas de engenharia coocorrente	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Sistema otimizado de engenharia	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Sistema completo (grupos cooperativos)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	IPD	Desdobramento da função coocorrente	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Arquiteturas e áreas de trabalho	•	•	•	•			•		•			
		Gerenciamento do valor total	•	•	•	•			•		•			
		Interações paramétricas												
		Sistema de suporte a decisão	•	•	•	•			•					
		Sistemas inteligentes de informação	•	•	•	•					•			
		Mecanização do ciclo de vida do produto	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•
		Desdobramento da engenharia coocorrente	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

FASES - METODOLOGIAS ABORDAGEM TRADICIONAL		1 - Integrar pessoas	2 - Facilitar processos de decisão	3 - Avaliar fatores estéticos do produto	4 - Avaliar comportamento dos clientes	5 - Testar funcionalidades	6 - Verificar interferências	7 - Simular montagens	8 - Otimizar soluções técnicas	9 - Testar processo produtivo	10 - Treinar operadores e assistência técnica	11 - Facilitar projeto de ferramentas	12 - Planejar embalagem do produto	13 - Planejar descarte do produto
ASIMOW	1) Estudo de exeqüibilidade	●	●	●	●									
	2) Projeto preliminar	●	●	●	●									
	3) Projeto detalhado	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	4) Planejamento da produção	●	●					●	●	●	●	●		
	5) Planejamento para distribuição										●		●	
	6) Planejamento para consumo										●			
	7) Planejamento para descarte													●
BLANCHARD e FABRYCKY	1) Projeto conceitual													
	1.1) Estudo de viabilidade	●	●	●	●									
	1.2) Plano avançado do produto	●	●	●	●									
	2) Projeto preliminar													
	2.1) Análise do sistema funcional	●	●											
	2.2) Síntese preliminar	●	●											
	2.3) Otimização do sistema	●	●						●					
	2.4) Síntese e definição do sistema	●	●											
	3) Projeto detalhado													
	3.1) Projeto do sistema/produto	●	●						●				●	●
	3.2) Desenvolvimento do protótipo	●	●			●	●	●	●					
	3.3) Teste e avaliação do protótipo	●	●			●	●	●	●					
	4) Produção e/ou construção	●	●				●	●		●	●	●		
PAHL e BEITZ	5) Utilização e suporte													
	6) Disponibilização													
	1) Esclarecimento da tarefa													
	1.1) Esclarecer a tarefa	●	●	●	●									
	1.2) Elaborar a especificação	●	●	●	●									
	2) Projeto conceitual													
	2.1) Identificar problemas essenciais	●	●											
	2.2) Estabilizar funções estruturais	●	●	●										
	2.3) Pesquisar princípios para solução	●	●			●								
	2.4) Combinar e concretizar soluções	●	●			●	●		●					
	2.5) Avaliar critérios técnicos e econômicos	●	●	●		●	●		●					
	3) Personificação do projeto													
	3.1) Desenvolver desenhos e leiautes preliminares	●	●											
	3.2) Selecionar os melhores desenhos e leiautes	●	●											
	3.3) Refinar e avaliar critérios técnicos e econômicos	●	●			●	●	●	●					
	3.4) Otimizar e completar os desenhos	●	●			●	●	●	●					
	3.5) Checar os erros e os efeitos do custo	●	●			●	●	●						
	3.6) Preparar lista preliminar de peças	●	●											
	4) Projeto detalhado													
	4.1) Finalizar os detalhes	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●
	4.2) Completar desenhos detalhados e documentos	●	●			●	●	●		●	●	●	●	●
	4.3) Checar todos os documentos	●	●											

VDI 2221		FASES - METODOLOGIAS ABORDAGEM TRADICIONAL												
		1 - Integrar pessoas	2 - Facilitar processos de decisão	3 - Avaliar fatores estéticos do produto	4 - Avaliar comportamento dos clientes	5 - Testar funcionalidades	6 - Verificar interferências	7 - Simular montagens	8 - Otimizar soluções técnicas	9 - Testar processo produtivo	10 - Treinar operadores e assistência técnica	11 - Facilitar projeto de ferramentas	12 - Planejar embalagem do produto	13 - Planejar descarte do produto
1) Esclarecer e especificar tarefas		●	●	●	●									
2) Detectar funções e estrutura		●	●											
3) Pesquisar soluções principais		●	●											
4) Dividir em módulos		●	●											
5) Projetar módulos principais		●	●			●	●							
6) Projetar produto completo		●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●
7) Elaborar manual de usuário		●	●											

Anexo II

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS DA PESQUISA ENQUADRAMENTO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA (PR) NA METODOLOGIA DE PROJETOS DE GRANDES EMPRESAS

_____, _____ de _____ de 2004
Identificação dos entrevistados

Nome	Cargo	Forma de atuação
		Usuário
		Gestor

Parte 1. Pesquisa de contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de engenharia. Baseada na pesquisa realizada pelo Product Development and Management Association (PDMA), 1996.

1.1 Para as ferramentas listadas na tabela abaixo, atribua valores em uma escala de 1 a 5, conforme orientação do quadro indicativo, para descrever o grau de utilização e o grau de importância de cada ferramenta.

Quadro Indicativo

Grau de utilização	5 = sempre utilizada	3 = utilização média	1 = nunca utilizada
Grau de importância	5 = essencial	3 = importante	1 = sem importância

Ferramentas	Grau de utilização	Grau de importância
Engenharia Simultânea		
Projeto para a Manufatura		
CAD		
CAE		
Análise de Valor		
FMEA		
Simulação de Performance		
Realidade Virtual		
Prototipagem Rápida		

Parte 2. Caracterização do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).

Em relação ao tamanho do projeto, classificando-o em três tipos a saber: projeto de grande porte ou uma família de produtos, projeto de médio porte ou variante de um produto existente e projeto de pequeno porte ou projeto de um sistema parcial, melhoria ou ajuste. Temos:

2.1 Quantidade média de funcionários envolvidos com PDP: _____

2.2 Quantidade média de projetos (grande, médio e pequeno porte) desenvolvidos por período (ano): _____ / _____

2.3 Quantidade de projetos (grande, médio e pequeno porte) em desenvolvimento: _____

2.4 Dos projetos executados qual foi a frequência de uso da PR? _____ %

2.5 Dos projetos em andamento qual é a frequência de uso da PR? _____ %

2.6 Qual o investimento médio anual em PDP? _____ mi/US\$

2.7 Em termos gerais quais áreas da empresa participam de cada desenvolvimento?

Áreas	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte
Design			
Eng. Produto			
Processos			
Qualidade			
Suprimentos			
Logística			
Controladoria			
Produção			
Assistência Técnica			
Fornecedores			
Clientes			

2.8 Para cada tamanho de projeto como é composto o time de projeto?

Áreas	Grande Porte	Médio Porte	Pequeno Porte
Design			
Eng. Produto			
Processos			
Qualidade			
Suprimentos			
Logística			
Controladoria			
Produção			
Assistência Técnica			
Fornecedores			
Clientes			

2.9 O time de projeto trabalha:

- ☐ Individualmente e cada um recebe o trabalho após o término do outro, seqüencialmente.
- ☐ Em equipes multifuncionais dedicando um determinado período de tempo para o projeto.
- ☐ Em equipes multifuncionais com dedicação integral.

2.10 É utilizado um líder de projeto como responsável pelo time?

- ☐ Sim ☐ Não

2.11 Qual é o estilo de liderança que a empresa cobra do líder de projeto?

- ☐ Caracterização por formas sociais e organizacionais.
- ☐ Convencer os membros do time a cooperar.

2.12 As decisões do time de projeto são respeitadas por todos?

- ☐ Sim ☐ Não

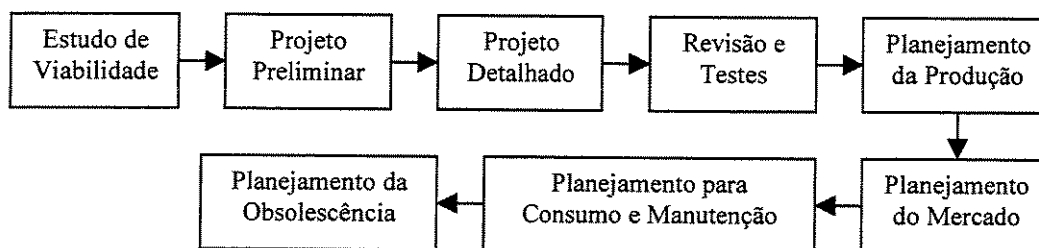
2.13 Os membros do time conseguem trabalhar e prever ações com:

- ☐ Informações preliminares de engenharia.
- ☐ Informações exatas de engenharia.

2.14 O PDP que a empresa trabalha aproxima-se de:

- ☐ Uma seqüência de atividades onde cada departamento é responsável somente pelas informações geradas em seus domínios.
- ☐ Uma ordem lógica de execução onde cada representante do time alimenta o ciclo de projeto com informações pertinentes as necessidades do produto.

2.15 A morfologia de projeto apresentada abaixo é válida para o PDP da empresa?



☐ Sim

☐ Não

Parte 3. Caracterização da tecnologia de Prototipagem Rápida.

3.1 Como conheceu a tecnologia de Prototipagem Rápida?

☐ Revistas técnicas ☐ Revistas científicas ☐ Feiras ☐ Congressos/Simpósios
☐ Visita técnica/comercial ☐ Outros: _____

3.2 Há quantos anos utiliza a Prototipagem Rápida?

_____ anos

3.3 Quantos projetos foram desenvolvidos utilizando o auxílio da Prototipagem Rápida?

Grande porte _____ Médio porte _____ Pequeno porte _____

3.4 Quais foram os processos de Prototipagem Rápida utilizados?

☐ SLA ☐ SLS ☐ LOM ☐ FDM ☐ 3DP ☐ SGC ☐ BPM

3.5 Estes serviços foram adquiridos de:

☐ Escritórios de serviços ☐ Institutos de pesquisa ☐ Outros: _____

3.6 Qual é o tempo de entrega dos protótipos após envio dos modelos matemáticos 3D?

_____ dias

3.7 Os protótipos foram utilizados no desenvolvimento de peças:

☐ Plásticas ☐ Estampadas ☐ Injetadas em metal ☐ Outro: _____

3.8 De forma ampla, os protótipos utilizados podem ser entendidos como elementos que:

- ☐ permitem o entendimento de determinado sistema real ou fenômeno
- ☐ permitem prever, dentro dos limites do modelo, o comportamento do fenômeno ou sistema real
- ☐ permitem a visualização do produto em seus vários aspectos
- ☐ permitem avaliar o funcionamento de peça por meio de medidas experimentais

3.9 Qual é o nível de prototipagem inserido em uma mesma análise?

- ☐ produto completo é um protótipo
- ☐ um sistema é um protótipo
- ☐ um sub-sistema é um protótipo
- ☐ o componente é um protótipo

3.10 Qual é o grau de representatividade dos protótipos obtidos por sistemas de PR?

☐ fiel ☐ alto grau de fidelidade ☐ médio grau de fidelidade ☐ baixo grau de fidelidade

3.11 Quando da utilização de protótipos qual era o grau de amadurecimento do projeto?

☐ alto ☐ médio ☐ baixo

3.12 Quais problemas de projeto, que foram detectados no protótipo, poderiam ser detectados durante o projeto no sistema CAD?

3.13 Em uma escala gradativa de 1 a 5, onde números maiores representam melhor qualidade, como classifica-se a qualidade dos protótipos em relação aos parâmetros listados abaixo?

- | | | |
|--|---|---------------------------------------|
| ☐ Acuracidade dimensional | ☐ Acabamento superficial | ☐ Rugosidade |
| ☐ Resistência mecânica | ☐ Representatividade | ☐ Durabilidade |
| ☐ Material do protótipo | ☐ Forma | ☐ |

3.14 Estes parâmetros com o grau de qualidade avaliado são suficientes para representar, em nível de projeto, os produtos/componentes desenvolvidos pela empresa?

- ☐ Sim ☐ Não

Por que?

Parte 4. Caracterização da tecnologia de Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos.

4.1 Por quais motivos optou-se pela utilização da Prototipagem Rápida no PDP?

4.2 De que forma a utilização da Prototipagem Rápida agregou valor no PDP?

4.3 Por que e como o valor obtido pela adoção da PR mudou o comportamento dos times de projeto?

4.4 As etapas específicas de Projeto Preliminar e Projeto Detalhado foram afetadas de que forma com o emprego da Prototipagem Rápida?

4.5 Os protótipos já foram utilizados para apoio a aplicação de quais ferramentas?

- ☐ FMEA (Failure Model and Effect Analysis)
- ☐ QFD (Quality Function Deployment)
- ☐ DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)
- ☐ Projeto Modular
- ☐ Método Taguchi
- ☐ FTA (Fault Tree Analysis)
- ☐ DOE (Design of Experiments)
- ☐ CAAP (Computer Aided Process Planning)
- ☐ Outras: _____

4.6 Em uma escala gradativa de 1 a 5, onde números maiores representam maior grau de utilização, como classificam-se as formas de utilização dos protótipos na sua empresa em relação ao ciclo de desenvolvimento padrão apresentado?

Ciclo padrão Formas de utilização	Estudo de Viabilidade	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Revisão e Testes	Planejamento da Produção	Planejamento do Mercado	Planejamento para Consumo e Manutenção	Planejamento da obsolescência
Integrar pessoas								
Facilitar processos de decisão								
Avaliar fatores estéticos								
Avaliar comportamento de clientes								
Testar funcionalidades								
Verificar interferências								
Simular montagens								
Otimizar soluções técnicas								
Testar processo produtivo								
Treinar operadores e assistência técnica								
Facilitar projeto de ferramentas								
Planejar embalagem do produto								
Planejar descarte do produto								

4.7 Em uma escala gradativa de 1 a 5, onde números maiores representam maior impacto da adoção da tecnologia de RP dentro do PDP, como classifica-se o impacto da utilização de protótipos em relação aos pontos citados?

- ☐ redução do custo de desenvolvimento
- ☐ diminuição dos erros de desenvolvimento
- ☐ diminuição do tempo de execução da etapa
- ☐ planejamento de investimentos para protótipos dentro do custo total do projeto
- ☐ diminuição dos riscos de inovação
- ☐ acréscimo do fator aprendizagem
- ☐ geração de informações claras contribuindo para melhoria do fluxo de informação
- ☐ ferramenta de verificação do andamento do trabalho
- ☐ melhoria da qualidade do produto final
- ☐ aumento da motivação da equipe
- ☐ atendimento as especificações de clientes
- ☐ facilitador nas tomadas de decisão
- ☐ aumento da motivação da equipe

Anexo III

Dados brutos da pesquisa

Parte 1. Pesquisa de contraste entre o grau de importância e o grau de utilização de ferramentas de projeto de engenharia.

	Grau de Utilização								Grau de Importância							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Engenharia Simultânea	3	3	5	4	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Projeto para Manufatura	3	3	5	4	2	2	5	3	5	5	5	4	4	4	5	5
CAD	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4
CAE	3	3	3	2	2	2	3	3	5	5	5	4	3	3	3	4
Análise de Valor	1	3	5	3	5	5	3	4	3	3	5	4	5	5	3	4
FMEA	3	3	5	3	3	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Simulação de Performance	5	5	5	5	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5	3	4
Realidade Virtual	1	1	3	2	1	1	1	1	3	3	3	3	2	2	3	2
Prototipagem Rápida	3	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5

Parte 2. Caracterização do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).

2.1 Quantidade média de funcionários envolvidos com PDP:

E1 = 50 ; E2 = 10 ; E3 = 8 e E4 = 10

2.2 Quantidade média de projetos (grande, médio e pequeno porte) desenvolvidos por período (ano):

E1 = 50 ; E2 = 6 ; E3 = 4 e E4 = 16

2.3 Quantidade de projetos (grande, médio e pequeno porte) em desenvolvimento:

E1 = 10 ; E2 = 3 ; E3 = 3 e E4 = 6

2.4 Dos projetos executados qual foi a frequência de uso da PR?

E1 = 7% ; E2 = 33% ; E3 = 30% e E4 = 15%

2.5 Dos projetos em andamento qual é a frequência de uso da PR?

E1 = 20% ; E2 = 66% ; E3 = 60% e E4 = 40%

2.6 Qual o investimento médio anual em PDP?

E1 = 2 mi/US\$; E2 = 0,2 mi/US\$; E3 = 0,3 mi/US\$ e E4 = 0,18 mi/US\$

2.7 Em termos gerais quais áreas da empresa participam de cada desenvolvimento?

Áreas	Grande Porte								Médio Porte								Grande Porte							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Design	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x	x	x					x	x	x	x
Eng. Produto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Processos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Qualidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Suprimentos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x
Logística	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x
Controladoria	x	x	x	x			x	x	x	x	x				x	x			x	x			x	x
Produção	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x	x	
Assistência Técnica	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x					x	x	x	x				
Fornecedores	x	x			x	x	x	x	x	x						x	x						x	x
Clientes	x	x			x	x	x	x	x	x						x	x						x	x

2.8 Para cada tamanho de projeto como é composto o time de projeto?

Áreas	Grande Porte								Médio Porte								Grande Porte							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Design	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x							x	x		
Eng. Produto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Processos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Qualidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Suprimentos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x
Logística	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x
Controladoria	x	x	x	x				x	x	x	x	x			x	x			x	x			x	x
Produção					x	x	x	x					x	x	x	x					x	x	x	x
Assistência Técnica	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x							x	x				
Fornecedores					x	x	x	x							x	x							x	x
Clientes					x	x	x	x						x	x								x	x

2.9 O time de projeto trabalha:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Individualmente e cada um recebe o trabalho apos o término do outro, seqüencialmente								
Em equipes multifuncionais dedicando um determinado período de tempo para o projeto	x	x	x	x	x	x	x	x
Em equipes multifuncionais com dedicação integral								

2.10 É utilizado um líder de projeto como responsável pelo time?

	1	2	3	4	5	6	7	8
É utilizado um líder de projeto como responsável pelo time?	S	S	S	S	S	S	S	S

*S = Sim

2.11 Qual é o estilo de liderança que a empresa cobra do líder de projeto?

	1	2	3	4	5	6	7	8
Caracterização por formas sociais e organizacionais							x	x
Convencer os membros do time a cooperar	x	x	x	x	x	x		

2.12 As decisões do time de projeto são respeitadas por todos?

	1	2	3	4	5	6	7	8
As decisões do time de projeto são respeitadas por todos?	S	S	S	S	S	S	S	S

*S = Sim

2.13 Os membros do time conseguem trabalhar e prever ações com:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Informações preliminares de Engenharia	x	x	x	x	x	x	x	x
Informações exatas de Engenharia								

2.14 O PDP que a empresa trabalha aproxima-se de:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Uma sequência de atividades onde cada departamento é responsável somente pelas informações geradas em seus domínios								
Uma ordem lógica de execução onde cada representante do time alimenta o ciclo de projeto com informações pertinentes as necessidades do produto	x	x	x	x	x	x	x	x

2.15 A morfologia de projeto apresentada é válida para o PDP da empresa?

	1	2	3	4	5	6	7	8
A morfologia de projeto apresentada é válida para o PDP da empresa?	S	S	S	S	S	S	S	S

Parte 3. Caracterização da tecnologia de Prototipagem Rápida.

3.1 Como conheceu a tecnologia de Prototipagem Rápida?

	1	2	3	4	5	6	7	8
Revistas técnicas	x	x			x			
Revistas científicas	x							
Feiras	x	x	x	x	x			
Congressos/Simposios	x	x	x					
Visita técnica/comercial	x		x	x	x	x	x	x

3.2 Há quantos anos utiliza a Prototipagem Rápida?

E1 = 4 ; E2 = 9 ; E3 = 8 e E4 = 3

3.3 Quantos projetos foram desenvolvidos utilizando o auxílio da Prototipagem Rápida?

	E1	E2	E3	E4
Grande Porte	2	4	2	1
Médio Porte	0	6	15	3
Pequeno Porte	2	10	0	0

3.4 Quais foram os processos de Prototipagem Rápida utilizados?

	1	2	3	4	5	6	7	8
SLA	x	x	x	x	x	x		
SLS	x	x	x	x	x	x	x	x
LOM								
FDM					x	x		
3DP								
SGC								
BPM								

3.5 Estes serviços foram adquiridos de:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Escritorios de servicos	x	x	x	x	x	x	x	x
Institutos de pesquisa	x	x			x	x		

3.6 Qual é o tempo de entrega dos protótipos após envio dos modelos matemáticos 3D?

E1 = 7 dias ; E2 = 7 dias ; E3 = 7 dias e E4 = 10 a 15 dias

3.7 Os protótipos foram utilizados no desenvolvimento de peças:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Plásticas	x	x	x	x	x	x	x	x
Estampadas					x	x		
Injetadas em metal			x	x			x	x

3.8 De forma ampla, os protótipos utilizados podem ser entendidos como elementos que:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Permitem o entendimento de determinado sistema real ou fenômeno	x	x			x	x	x	x
Permitem prever, dentro dos limites do modelo, o comportamento do fenômeno ou sistema real	x	x	x	x				
Permitem a visualização do produto em seus vários aspectos	x	x		x	x	x	x	x
Permitem avaliar o funcionamento da peça por meio de medidas experimentais	x	x	x					

3.9 Qual é o nível de prototipagem inserido em uma mesma análise?

	1	2	3	4	5	6	7	8
Produto completo é um protótipo			x	x			x	x
Um sistema é um protótipo								
Um sub-sistema é um protótipo								
O componente é um protótipo	x	x			x	x	x	x

3.10 Qual é o grau de representatividade dos protótipos obtidos por sistemas de PR?

	1	2	3	4	5	6	7	8
Fiel								
Alto grau de fidelidade	x	x					x	x
Médio grau de fidelidade			x	x	x	x		
Baixo grau de fidelidade								

3.11 Quando da utilização de protótipos qual era o grau de amadurecimento do projeto?

	1	2	3	4	5	6	7	8
Alto								
Médio	x	x			x	x	x	x
Baixo			x	x				

3.12 Quais problemas de projeto, que foram detectados no protótipo, poderiam ser detectados durante o projeto no sistema CAD?

- “Erros de montagem e manipulação de componentes”
- “Leiaute”
- “Poucos problemas podem ser pegos na fase de Cad, a não ser em modeladores que permitem análise de montagem. Mesmo assim o protótipo refina a visualização de problemas como a análise de folgas, interferências, forças e fragilidade”
- “A montagem adequada no produto final poderia ser um item a ser detectado no CAD porém, através dos protótipos, é possível observar características como robustez, manuseio e volume que no CAD não são permitidos”
- “estruturação e alívios de massa”

3.13 Em uma escala gradativa de 1 a 5, onde números maiores representam melhor qualidade, como classifica-se a qualidade dos protótipos em relação aos parâmetros listados?

	1	2	3	4	5	6	7	8
Acuracidade dimensional	5	5	4	3	4	2	3	3
Resistência mecânica	3	3	2	2	3	3	2	3
Material do protótipo	3	3	3	2	2	2	3	3
Acabamento superficial	4	4	2	2	2	2	2	3
Representatividade	5	4	3	4	4	3	5	4
Forma	5	5	4	5	4	3	5	4
Rugosidade	4	3	2	2	2	1	2	3
Durabilidade	3	3	1	2	2	3	3	3

3.14 Estes parâmetros com o grau de qualidade avaliado são suficientes para representar, em nível de projeto, os produtos/componentes desenvolvidos pela empresa?

- “Sim. Os níveis de tolerâncias exigidas no tipo de produto que fabricamos são compatíveis com os obtidos por PR. Existe uma divergência em relação a resistência mecânica das peças obtidas por PR”
- “Sim. No nosso segmento de produtos onde a exigência de resultados em ensaios de Laboratório de Vida não é o principal foco, a utilização de protótipos obtidos por PR sempre foi suficiente”
- “Não. Limitações de resistência mecânica e durabilidade”
- “Sim, por que a maioria dos produtos já existem e são apenas novas opções de utilização”
- “Sim, por que podemos retrabalhar o protótipo para atingir os objetivos mínimos de avaliação do projeto. O protótipo não consegue caracterizar exatamente como o produto final trabalhará, porém juntando a experiência de produção de outros componentes, ele pode chegar a um nível bom de entendimento e segurança do projeto”
- “Não. Algumas características como resistência mecânica e acabamento superficial devem ser avaliadas com peças de mesmo material especificado, que normalmente não é possível na PR”

Parte 4. Caracterização da tecnologia de Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos.

4.1 Por quais motivos optou-se pela utilização da Prototipagem Rápida no PDP?

- “Aumentar o grau de conhecimento e entendimento do projeto, visando o amadurecimento do projeto e minimizando as possibilidades de erro. Objetivo final é reduzir e cumprir os prazos e evitar custos de correções”
- “Para amenizar a probabilidade de erros, para melhor negociação com os *Designers* evitando assim investimentos sem necessidades”
- “Redução de custos e prazos de desenvolvimento”
- “Para se fazer estudos de montagem, testes leves e visualização em clientes”
- “Dar maior segurança na funcionalidade do projeto, testes de montagem e visual”

- “Sanar algumas dúvidas relativas à forma do produto”
- “Necessidade de um protótipo com boa fidelidade para apresentação ao cliente”

4.2 De que forma a utilização da Prototipagem Rápida agregou valor no PDP?

- “Prazos, aprendizado e custo de correções”
- “A possibilidade de se obter o produto final antes de investimento em ferramental”
- “Redução do ciclo de desenvolvimento com menor custo total e melhor *Time-to-market*”
- “Melhorou o processo de desenvolvimento”
- “Os protótipos se tornaram mais econômicos pois antes eram feitos em centros de usinagem e ficavam apenas parecidos com o produto final”
- “A PR pode evitar custos com correções em ferramentas, encurtar prazos evitando desperdício de tempo e vender projetos para clientes indecisos”
- “Algumas situações nos fez mudar totalmente o rumo ou foco do projeto evitando um futuro desgaste relativo a questionamentos quanto ao rumo tomado no processo”

4.3 Por que e como o valor obtido pela adoção da PR mudou o comportamento dos times de projeto?

- “Devido ao aumento da confiabilidade e conhecimento do time e do projeto final”
- “Maior confiabilidade no conhecimento do time quanto ao resultado do projeto”
- “Maior confiança e liberdade para avaliar propostas”
- “Hoje, mesmo que não tem uma visão tridimensional quando avalia um desenho, consegue discutir ações e melhorias através de protótipos”
- “Porque possibilita que todos trabalhem no projeto com mais certeza de que ele vai realmente funcionar e tudo o que se previu seja realmente o melhor para o projeto”
- “Por que através da rapidez e fidelidade da PR, os profissionais envolvidos no projeto se mantêm mais confiantes e pouco menos preocupados com futuros problemas com o produto. O problema seria uma rejeição do produto principalmente relacionado à forma, que muitos dos acusadores se apoiam mencionando que puderam ter o produto palpável para uma melhor análise”

4.4 As etapas específicas de Projeto Preliminar e Projeto Detalhado foram afetadas de que forma com o emprego da Prototipagem Rápida?

- “Projeto Preliminar: não sofreu influência, pois a PR é aplicada após esta etapa”
- “Projeto Detalhado: a lapidação e aperfeiçoamento do projeto é influenciada diretamente pela PR”
- “Minimiza a possibilidade de erros e aumenta o conhecimento”
- “Após o uso da PR foram adaptadas melhorias ao projeto antes da finalização do mesmo”
- “Redução dos prazos e custos, maior liberdade e diversidade de alternativas”
- “Maior segurança com relação a solução adotada”
- “Refinamento do projeto”
- “Muita coisa do que se define no Projeto Preliminar é mudado após a confecção, visualização e teste de um protótipo. Isto consequentemente contribui para alterações e definições do Projeto Detalhado”
- “Geraram um melhor embasamento para o projeto”

4.5 Os protótipos já foram utilizados para apoio a aplicação de quais ferramentas?

	1	2	3	4	5	6	7	8
FMEA (Failure Model and Effect Analysis)	x	x	x	x	x	x	x	x
QFD (Quality Function Deployment)								
DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)			x	x				
Projeto Modular								
Método Taguchi								
FTA (Fault Tree Analysis)			x	x				
DOE (Design of Experiments)								
CAAP (Computer Aided Process Planning)								

4.6 Em uma escala gradativa de 1 a 5, onde números maiores representam maior grau de utilização, como classificam-se as formas de utilização dos protótipos na sua empresa em relação ao ciclo de desenvolvimento padrão apresentado?

*O ciclo foi dividido em duas partes para melhor visualização da tabela.

Formas de Utilização	Ciclo Padrão																															
	Estudo de Viabilidade								Projeto Preliminar								Projeto Detalhado								Revisão e Testes							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Integrar pessoas	1	1	1	2	5	1	5	3	1	1	1	2	5	1	3	2	4	4	1	2	5	1	4	4	4	4	1	2	5	1	5	5
Facilitar processos de decisão	1	1	1	1	5	3	5	4	1	1	4	3	5	5	5	4	4	4	3	4	5	5	3	4	4	4	3	3	5	2	4	4
Avaliar fatores estéticos	1	1	1	1	5	4	5	5	1	1	1	2	5	5	5	4	4	4	1	3	5	5	3	4	4	4	1	2	5	1	2	4
Avaliar comportamento de clientes	1	1	4	3	1	5	4	2	1	1	3	2	1	5	4	3	1	1	4	3	1	5	3	2	1	1	4	2	1	1	3	2
Testar funcionalidades	1	1	1	1	4	3	5	4	1	1	5	4	5	5	4	3	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5	5	5	4	5	
Verificar interferências	1	1	1	1	5	3	4	4	1	1	3	3	5	5	4	3	5	5	3	4	5	4	4	5	5	5	3	4	5	2	5	4
Simular montagens	1	1	1	2	5	3	4	3	1	1	4	3	5	5	4	4	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	4	5	4	3	5	4
Otimizar soluções técnicas	1	1	1	3	5	5	4	3	1	1	5	4	5	5	5	3	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	4	3	5	4
Testar processo produtivo	1	1	1	2	5	2	3	2	1	1	2	2	5	5	3	4	4	4	4	5	5	5	4	4	2	2	4	3	4	2	5	3
Treinar operadores e assistência técnica	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	4	3	1	2	3	3	1	2	4	3	1	3	1	1	1	1	1	2	5	3
Facilitar projeto de ferramentas	1	1	1	2	4	3	3	2	1	1	1	3	5	5	4	3	4	4	1	3	1	5	5	4	1	1	1	1	1	4	4	3
Planejar embalagem do produto	1	1	1	2	4	3	3	2	1	1	3	2	5	1	4	3	1	1	1	1	1	1	4	3	1	1	1	1	1	1	4	2
Planejar descarte do produto	1	1	1	2	3	1	2	1	1	1	1	1	3	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2

Formas de Utilização	Ciclo Padrão																															
	Planejamento da Produção								Planejamento do Mercado								Planejamento para Consumo e Manutenção								Planejamento da Obsolescência							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Integrar pessoas	1	1	1	1	5	1	5	4	1	1	1	1	3	1	5	3	3	3	1	2	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Facilitar processos de decisão	4	4	1	2	5	1	4	4	1	1	1	1	3	1	5	3	1	1	1	1	4	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	2
Avaliar fatores estéticos	1	1	1	2	5	1	1	1	1	1	1	1	5	1	4	3	1	1	1	1	4	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Avaliar comportamento de clientes	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	5	2	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	3	2
Testar funcionalidades	4	4	1	2	5	1	3	4	1	1	1	1	1	1	4	2	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Verificar interferências	3	3	1	2	5	1	3	3	1	1	1	1	2	1	4	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Simular montagens	5	5	1	3	4	1	3	3	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Otimizar soluções técnicas	1	1	1	1	3	1	4	3	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Testar processo produtivo	4	4	1	2	4	1	4	4	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Treinar operadores e assistência técnica	3	3	1	1	1	1	5	4	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Facilitar projeto de ferramentas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Planejar embalagem do produto	1	1	1	1	1	1	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Planejar descarte do produto	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1

4.7 Em uma escala gradativa de 1 a 5, onde números maiores representam maior impacto da adoção da tecnologia de RP dentro do PDP, como classifica-se o impacto da utilização de protótipos em relação aos pontos citados?

	1	2	3	4	5	6	7	8
Redução do custo de desenvolvimento	4	5	5	4	5	3	3	4
Diminuição dos erros de desenvolvimento	5	5	4	5	5	5	3	4
Diminuição do tempo de execução de cada etapa	2	2	5	4	3	4	3	2
Plano de investimentos para protótipos dentro do custo total de projetos	5	1	3	3	3	3	2	3
Diminuição dos riscos de inovação	1	1	4	3	4	5	3	3
Acréscimo do fator aprendizagem	4	4	3	4	4	5	2	3
Geração de informações claras contribuindo para a melhoria do fluxo de informações	5	5	3	4	3	4	3	4
Ferramenta de verificação do andamento do trabalho	4	4	2	3	1	4	2	3
Melhoria da qualidade final do produto	5	5	3	5	5	5	3	4
Aumento da motivação da equipe	4	4	3	4	4	3	3	3
Atendimento as especificações de clientes	1	1	3	2	5	4	2	3
Facilitador nas tomadas de decisão	4	5	4	4	5	5	4	4

Apêndice A

Glossário

CAD – Computer-Aided Design: tecnologia que permite engenheiros e projetistas usar computadores para executar o trabalho de desenho e projeto. Os programas computacionais podem executar desenhos 2D e 3D. Para os desenhos 3D existem programas que executam modelos por superfície e sólidos.

CAE – Computer-Aided Design: programas computacionais que auxiliam a análise do comportamento de peças e produtos durante o estágio de projeto.

Ciclo de vida do produto: conjunto de estágios que o produto percorre de seu nascimento até sua morte: idéia, concepção, desenvolvimento, introdução no mercado, crescimento, maturidade, declínio, obsolescência e descarte.

Cliente: pessoa ou empresa que se interessa pela compra de um determinado produto ou serviço.

Conceito: descrição clara da idéia de um novo produto que inclui os atributos e os requisitos do cliente. Pode ser representado por um protótipo.

Custo do ciclo de vida: o custo total de aquisição e operação de um produto após o início de uso deste. Os custos associados incluem: custo de suprimentos, custos de treinamento, custo de manutenção, custos de garantia e suporte técnico.

Descarte do produto: forma como o produto, suas partes ou componentes serão destinados após sua obsolescência técnica ou funcional.

Desenvolvimento: a parte funcional da organização responsável por converter idéias e requisitos de cliente em produtos. Compreende a fase de conceito do produto até o lançamento no mercado.

Desenvolvimento de produtos: processo que engloba estratégia, organização, geração do conceito, planejamento do produto e do mercado e comercialização de um novo produto.

DFMA – Design for Manufacturability: consideração dos aspectos de manufatura nos estágios de projeto do produto e desenvolvimento do processo produtivo, facilitando a fabricação dos componentes e montagem do produto.

Distribuição: o método utilizado para escoar o produto do local de produção até o local onde este vai ser vendido ou usado.

DOE – Design of Experiments: método estatístico para avaliar os parâmetros de produto e processo simultaneamente.

ED - Espaço de desenvolvimento: modelo gráfico indicativo da posição e da tendência de desenvolvimento que uma empresa apresenta.

Especificação: descrição detalhada das características de um atributo ou do funcionamento de um produto ou serviço.

Estratégia: a visão, missão e valores de uma organização.

Família de produtos: conjunto de produtos derivados de uma plataforma básica. Os membros da família geralmente, possuem peças, componentes e montagens comuns.

Fase do projeto: conjunto de atividades comuns a um contexto dispostas em ordem cronológica, que devem ser cumpridas, para que a evolução do projeto aconteça.

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis: técnica utilizada em estágios de desenvolvimento do produto ou processo para identificar eventuais falhas, avaliar suas consequências e definir um plano de ação para eliminação ou minimização das falhas.

Função: descrição abstrata do trabalho que um produto realiza para atender uma necessidade do cliente ou descrição das atividades e responsabilidades de uma pessoa durante o período de trabalho.

Idéia: forma embrionária de um novo produto, serviço ou solução de um problema.

Inovação: o ato de inventar algo para trazer uma idéia ou conceito à sua forma final.

ISO9000: conjunto de cinco normas auditáveis emitidas pela International Standards Organization que estabelece o papel do sistema de qualidade em uma companhia e é utilizada para avaliar se a companhia pode obter a certificação de acordo com as normas. Especificamente a norma ISO 9001 é relacionada a novos produtos.

Líder de projeto: a pessoa responsável pelo gerenciamento do projeto de um novo produto ou serviço até sua introdução no mercado.

Linha de produtos: grupo geral de produtos comercializados pela organização e disponíveis para o mercado.

Lançamento: o processo o qual um novo produto ou serviço é introduzido ao mercado para início da fase de vendas.

Manufaturabilidade: a capacidade de produzir produtos de maneira fácil e efetiva a um custo mínimo e máxima confiabilidade.

Marca do produto: um nome, termo, descrição ou símbolo que serve para identificar um produto ou seu fabricante.

Método: caminho pelo qual se chega a um determinado resultado.

Metodologia de projeto: estudo dos caminhos utilizados para a execução de um projeto. Conjunto de métodos utilizados para a execução do projeto.

Morfologia de projeto: estudo das formas de apresentação, disposição e estruturação de uma metodologia de projeto.

Novos produtos: o termo utilizado para um produto que não faz parte dos produtos de mercado de um empresa.

Obsolescência: fase em que o produto ou serviço cai em desuso por motivos técnicos, econômicos ou sociais.

Organização de aprendizagem: a organização que continuamente acrescenta experiência e aprendizado em sua rotina de trabalho e que transforma este aprendizado em um importante aliado ao seu processo de trabalho, gerando conhecimento. Esta transformação deve fazer parte do negócio principal da organização.

Planejamento da Manufatura: a atividade de determinar os melhores processos de fabricação que serão aplicados a um novo produto.

Planejamento do Projeto: atividade de determinar as informações e requisitos que o projeto deve atender e recursos que deve utilizar.

Plataforma de Produtos: projeto do produto e seus componentes que visa aumentar a padronização e encontrar soluções que permitam ser aplicadas em uma família de produtos. Desta forma pode-se criar derivações de produtos de uma maneira mais rápida.

Processo de Desenvolvimento de Produtos: um disciplinado e definido conjunto de tarefas e fases que descreve o processo repetitivo de uma organização transformar idéias em produtos.

Processo de Revisão de Fase: processo adicional de avaliação onde ocorre a revisão das tarefas realizadas em um estágio anterior. Serve como etapa de reconhecimento e ajuste para certificar se os requisitos de projeto neste estágio estão atendendo os requisitos iniciais de projeto.

Produto: termo utilizado para descrever um objeto, serviço ou conhecimento que pode ser vendido. O produto possui um conjunto de funções, benefícios e atributos que os tornam atraentes e fazem com que supram as necessidades de quem o adquire.

Projeto Robusto (Método Taguchi): o projeto do produto para que este não seja sensível às variações de fabricação e uso, tornando-o, um produto que atenda às exigências do cliente em um determinado ambiente.

Protótipo: modelo que representa um produto ou componente. Pode ser físico, virtual, funcional e estético.

Protótipo estético: protótipo destinado à avaliação estética do componente ou produto para se extrair impressões, sentimentos e efeitos de forma.

Protótipo físico: protótipo obtido por qualquer sistema de manufatura.

Protótipo funcional: protótipo destinado à execução de testes de performance e que possuem características semelhantes ou próximas aos componentes e produtos que estes representam.

Protótipo virtual: protótipo obtido por meios eletrônicos que permitem ou não a interface do homem com o mesmo.

Qualidade: uma coleção de atributos que deve estar presente nos produtos para que estes representem ou superem as expectativas do cliente.

QFD – Quality Function Deployment: um método estruturado que emprega análise por meio de matrizes para ligar um requisito de mercado a um requisito de projeto e a um requisito de fabricação.

Realidade Virtual (RV): tecnologia que permite o usuário interagir com cenários criados gerados em ambientes 3D, simulando situações ou fenômenos reais.

Requisitos do cliente: um conjunto de informações que permite que o cliente resolva seu problema ou o que o cliente gostaria de encontrar em um produto.

Sucesso do produto: quando um produto atinge ou supera os objetivos e performance definidos previamente. Pode ser retratado em sucesso financeiro, de mercado, técnico e de contribuição ao sucesso da organização.

Tarefa: é uma atividade básica que deve ser realizada para que um problema seja resolvido ou parte de algo seja solucionado.

Tempo de ciclo: o tempo gasto para a realização de uma operação, do início até o seu término. No âmbito do desenvolvimento de um novo produto se inicia a partir de uma idéia e termina no descarte do produto. Os estágios e fases deste ciclo variam de acordo com cada companhia.

Tempo de introdução no mercado: o espaço de tempo desde o início do desenvolvimento até a introdução do produto no mercado.

Time de projeto: um grupo de indivíduos responsável por planejar e executar o desenvolvimento de um projeto.

Time multifuncional: um grupo de indivíduos de diferentes áreas funcionais da organização que são agrupados para resolver determinado problema ou desenvolver um projeto que requer conhecimento, treinamento e capacidade adquirida em suas respectivas áreas.

Valor: qualquer princípio que leva uma pessoa ou empresa a aumentar sua relação de desempenho e preço.

Valor agregado: ações e atividades que melhorem a relação desempenho/preço criando vantagens competitivas.

Viabilidade: conjunto de tarefas que engloba conhecimento técnico e de mercado a fim de esclarecer como podem ser resolvidas as principais questões de projeto e descrever suas limitações.

Voz do Consumidor: processo que visa identificar as necessidades dos consumidores, suas opiniões e soluções e transportar estas informações para o desenvolvimento de produtos.