

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR MICAEL ZIRONDI

..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 13/02/2009


.....
ORIENTADOR

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

Aplicação do *Thinking Process* no Ambiente de Desenvolvimento de Produtos

Autor: Micael Zirondi

Orientador: Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini

18/2009

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

Aplicação do *Thinking Process* no Ambiente de Desenvolvimento de Produtos

Autor: Micael Zironi
Orientador: Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: 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, 2009
S.P – Brasil

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

Z68a Zironi, Micael
Aplicação do Thinking Process no Ambiente de
Desenvolvimento de Produtos / Micael Zironi. --
Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Franco Giuseppe Dedini.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Produtos novos. 2. Administração de produto. I.
Dedini, Franco Giuseppe. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III.
Título.

Título em Inglês: Thinking Process Application in a Product Development
Environment

Palavras-chave em Inglês: New product , Product development

Área de concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Gilberto Francisco Martha de Souza, Klaus Schützer

Data da defesa: 13/02/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

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

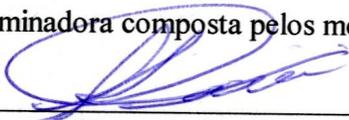
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Aplicação do *Thinking Process* no Ambiente
de Desenvolvimento de Produtos**

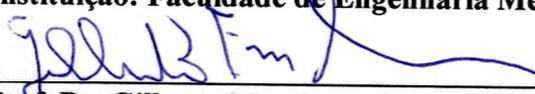
Autor: **Micael Zironi**

Orientador: **Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação



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



Prof. Dr. Gilberto Martha
Instituição: Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos - USP



Prof. Dr. Ing. Klaus Schützer
Instituição: Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – UNIMEP

Campinas, 13 de Fevereiro de 2009

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha esposa Raquel e aos meus filhos Vicenza e Filippo

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

A Deus, por ter me dar força e preparar tudo para que esse trabalho fosse realizado.

Aos meus pais pela oportunidade da vida.

À minha esposa e filhos pelo incentivo e pela compreensão da minha ausência.

Ao meu orientador Franco Giuseppe Dedini, pela orientação e paciência, pelas proveitosas discussões dos assuntos mais variados e por compartilhar comigo valiosos momentos de reflexão e criatividade.

Ao meu amigo o autor e consultor Eduardo Corrêa de Moura, pela orientação na aplicação da metodologia da teoria das restrições.

Ao meu amigo Prof. Dr. Shiruojie (施若杰), da Universidade de Estudos Internacionais de Xi'an (西安外国语大学), pela interatividade criativa e humana.

Aos engenheiros Estefanía Caviedes, do Equador e Mao Yuhong (毛宇红), da China, pela importante contribuição de literaturas.

À Whirlpool S/A Eletromésticos pelas informações fornecidas para a realização dessa pesquisa, em especial ao amigo José Júlio Pereira (JJ), Vice-Presidente de Operações da Whirlpool Ásia, pelo incentivo e disponibilização de tempo.

À Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, que nos proporcionou a oportunidade para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Melhor é a sabedoria do que as armas de guerra...

Eclesiastes, 9:18

Resumo

ZIRONDI, Micael, *Aplicação do Thinking Process no Ambiente de Desenvolvimento de Produtos*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 164 p. Dissertação (Mestrado)

Um ambiente de desenvolvimento de produtos é um sistema complexo, com múltiplas interações entre políticas, práticas, estruturas de trabalho, recursos materiais e pessoas. Em um mercado cada vez mais exigente e competitivo, sua melhoria é essencial para o êxito das empresas e para satisfazer as necessidades dos consumidores. Esta pesquisa tem por objetivo contribuir na melhoria do ambiente de desenvolvimento de produto, através da aplicação do *Thinking Process*, uma abordagem sistêmica que utiliza os fundamentos do processo do raciocínio lógico da metodologia da teoria das restrições (*Theory of Constraints*). Esta pesquisa explora as potencialidades do *Thinking Process* em duas situações: uma “ampla” e outra “específica”. A primeira mostra os fatores de ineficiências do processo de desenvolvimento de produto; identifica suas “causas raízes” e propõe soluções sistêmicas para superação dessas ineficiências. A segunda aplicação utiliza a metodologia do *Thinking Process* como ferramenta para auxiliar o desenvolvimento técnico de um produto, no caso, uma lavadora de roupas para o mercado chinês. A seqüência processual da metodologia aplicada em situações muito distintas dentro do ambiente de desenvolvimento de produto confirmou o seu potencial de aplicabilidade, prevalecendo o caráter sistêmico da metodologia no entendimento do todo, eliminando-se o caráter deficiente provocado pela fragmentação dos sistemas.

Palavras Chave:

Desenvolvimento de Produto, Metodologia de Projeto, *Thinking Process*, Restrições do Desenvolvimento de Produto

Abstract

ZIRONDI, Micael, *Thinking Process Application in a Product Development Environment*, Campinas, : Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 164 p. Dissertação. (Master Degree in Mechanical Engineering)

A product development environment is complex with multiples interactions between policies, practices, job structures, materials and people resources. In a more demanding and competitive market, product development process improvement is essential for any company's success and customer satisfaction. This research objective is to give a contribution to improve the environment of product development, through the application of Thinking Process, a systemic approach that uses the foundations of the logic thinking applied at Theory of Constraints. This research explores the potentialities of the Thinking Process in two different situations: "general" and "specific". First one shows the factors of inefficiency of the product development process; identifies "root causes" and proposes systemic solutions for overcoming inefficiencies. The second application utilizes the Thinking Process methodology as a tool to help the technical development of a product, in the case, one wash machine for the Chinese market. Process sequence of the methodology applied in very distinct situations within the environment of product development has confirmed its potential of applicability, prevailing the systemic aspect of the methodology in the overall understanding, eliminating the lack of efficiency caused by the fragmented systems.

Key Words:

Product Development, Design Methodology, *Thinking Process*, Product Development Constraints

Índice

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xvi
Nomenclatura	xvii
Abreviações	xvii
Siglas.....	xviii
Glossário	xix

Capítulo 1

Introdução e Organização do Trabalho.....	1
1.1 Introdução	1
1.2 Apresentação do problema	2
1.3 Relevância do trabalho	3
1.4 Objetivos	4
1.5 Estrutura do trabalho	5

Capítulo 2

Revisão de literatura	6
2.1 O processo de desenvolvimento de produto (PDP).....	6
2.2 Metodologias para o processo de desenvolvimento de produtos	11
2.3 Comunicação e organização do PDP	23
2.3.1 Comunicação	23
2.3.2 Estrutura organizacional	25
2.4 Ferramentas para o desenvolvimento de produtos	28
2.4.1 <i>Quality Function Deployment</i> – QFD (Desdobramento da Função Qualidade) ..	29
2.4.1.1 Abordagens do QFD	29
2.4.1.2 Partes da matriz QFD	31
2.4.2 Projeto axiomático	33
2.4.3 Abordagem de Pugh	35
2.4.4 Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA).....	36
2.4.4.1 Tipos de FMEA – Failure Mode and Effect Analysis	37
2.4.5 Teoria da resolução de problemas inventivos – TRIZ	38
2.4.5.1 Premissas do TRIZ	38
2.4.5.2 Princípios inventivos e matriz de contradições	39
2.4.6 Design for Six Sigma – DFSS	40
2.4.7 Projeto robusto – método Taguchi para a otimização de parâmetros	44
2.5 Sumário	46

Capítulo 3

A Teoria das Restrições	47
3.1 A Teoria das restrições, uma visão geral	47
3.2 As premissas da teoria das restrições	49
3.3 Os cinco passos focalizadores e o <i>Thinking Process</i>	51
3.4 Simbologia usada na construção das Árvores Lógicas	54
3.5 Árvore da Realidade Atual	56
3.6 Diagrama de resolução de conflitos	57
3.7 Árvore da Realidade Futura	58
3.8 Árvore de Pré-Requisitos	59
3.9 Árvore de Transição	60
3.10 Sumário	61

Capítulo 4

Aplicação do <i>Thinking Process</i> no PDP de uma empresa de eletrodomésticos.....	62
4.1 Efeitos indesejados relatados no PDP	63
4.1.1 Organização para Aplicação do TP	64
4.2 O referencial de partida para a aplicação do TP	65
4.2.1 A missão	67
4.2.2 As condições necessárias	68
4.3 Efeitos indesejados.....	70
4.4 Árvore da realidade atual	71
4.5 Análise das causas raízes	75
4.6 Validação lógica das injeções: Árvore da Realidade Futura	92
4.6.1 Identificando obstáculos à implementação: Árvore de Pré-requisitos	95
4.7 Sumário	98

Capítulo 5

Aplicação do <i>Thinking Process</i> para o desenv. de uma lavadora de roupa	99
5.1 Lavadora de roupa: histórico.....	100
5.2 O produto lavadora de roupas	107
5.2.1 Fatores que influenciam o projeto do produto.....	107
5.2.2 Aspectos construtivos das lavadoras.....	108
5.2.3 Sistema de lavagem.....	110
5.2.4 O Mercado Global	111
5.3 Motivações para o desenv. de uma lavadora compacta no mercado chinês.....	113
5.3.1 Oportunidade de Mercado.....	113
5.3.2 Limitação de espaço nas residências	115
5.3.3 Tendência para produtos compactos.....	116
5.4 Requisitos para o desenvolvimento do produto compacto.....	118
5.4.1 Estrutura típica de uma lavadora HA.....	118
5.5 Aplicação do TP para o desenvolvimento do produto	122
5.6 Efeitos indesejáveis e ARA – Árvore da Realidade Atual.....	123
5.7 Análise das Causas Raízes	127
5.8 Validação lógica das injeções: Árvore da Realidade Futura.....	132
5.8.1 Identificando obstáculos à implementação: Árvore de Pré-Requisitos	133
5.9 Sumário	143

Capítulo 6

Conclusões e Sugestões para pesquisas futuras	144
6.1 Conclusão	144
6.2 Contribuições	146
6.3 Sugestões para pesquisas futuras	146
Referências Bibliográficas	147
Apêndice A	155
Apêndice B	159

Lista de Figuras

Figura 2.1	Influência percentual sobre o custo do produto	9
Figura 2.2	Custo de mudanças nas diversas fases do desenvolvimento do produto	9
Figura 2.3	Modelo funil de “fase” e “revisões”	12
Figura 2.4	Macro-fases e fases do processo de desenvolvimento de produtos	13
Figura 2.5	Processo de desenvolvimento de produtos	16
Figura 2.6	Etapas que compõem a morfologia do roteiro crítico de projeto	17
Figura 2.7	Modelo padrão de comunicação	24
Figura 2.8	Organização matricial	25
Figura 2.9	Modelos de organização para desenvolvimento de novos produtos	26
Figura 2.10	Círculo de comunicação	30
Figura 2.11	A casa da qualidade	32
Figura 2.12	Domínios do projeto axiomático	34
Figura 2.13	Exemplo de matriz Pugh.....	36
Figura 2.14	Fases do DMAIC	42
Figura 2.15	A função perda de Taguchi.....	45
Figura 3.1	Analogia da corrente	49
Figura 3.2	Meta e condições necessárias.....	50
Figura 3.3	Os ciclos da teoria das restrições	52
Figura 3.4	Simbologia usada nas árvores lógicas do TP	55

Figura 3.5	Árvore da realidade atual.....	56
Figura 3.6	Diagrama de resolução de conflitos	57
Figura 3.7	Árvore da realidade futura	58
Figura 3.8	Estrutura de uma árvore de pré-requisitos.....	60
Figura 4.1	Missão das etapas.....	66
Figura 4.2	Página um da ARA.....	72
Figura 4.3	Página dois da ARA	73
Figura 4.4	Diagrama de resolução de conflitos	75
Figura 4.5	DRC para R2, P2	76
Figura 4.6	DRC para R1,P1	77
Figura 4.7	Ação das injeções IJ(107)-1 e IJ (107)-2	78
Figura 4.8	DCR para P1,P2	79
Figura 4.9	Forma final da DCR- 01	80
Figura 4.10	Forma final da DCR- 02	81
Figura 4.11	Forma final da DCR- 03	83
Figura 4.12	Forma final da DCR- 04	86
Figura 4.13	Forma final da DCR- 05	89
Figura 4.14	ARF Árvore da realidade futura página 1	93
Figura 4.15	ARF Árvore da realidade futura página 2	94
Figura 4.16	APR para Identificar e desdobrar a VOC	96
Figura 4.17	APR Gerar e utilizar a base de módulos e conceitos reutilizáveis	97
Figura 4.18	APR Uso eficaz do know how suportado por ferramentas analíticas	98
Figura 5.1	Lavadora Maytag, inventada em 1907	101
Figura 5.2	Lavadora de Fischer	102
Figura 5.3	Esboço da patente de Fischer.....	103
Figura 5.4	Exemplos de lavadoras	105
Figura 5.5	Sistemas de lavagem.....	109
Figura 5.6	Tamanho do mercado chinês de lavadoras de roupas HA e VA	113
Figura 5.7	Tamannho do mercado chinês de lavadoras HA	114
Figura 5.8	Leiaute de um apartamento chinês de 90m ²	115

Figura 5.9	Razões de preferências do consumidor por produtos compactos	116
Figura 5.10	Componentes externos de uma lavadora HA (estrutura)	119
Figura 5.11	Componentes internos de uma lavadora HA (unidade de lavagem)	120
Figura 5.12	Aplicação do TP para desenvolvimento de novos produtos	122
Figura 5.13	Árvore da Realidade Atual - ARA	124
Figura 5.14	Problema central e objetivo estratégico.....	126
Figura 5.15	Diagrama de resolução do conflito.....	127
Figura 5.16	DRC para R2, P2 e R1,P1	129
Figura 5.17	Ação das injeções IJ -1 e IJ-2	130
Figura 5.18	Árvore da realidade futura - ARF	132
Figura 5.19	APR 1 - Árvore de pré requisitos – Injeção 1.....	134
Figura 5.20	Módulos das lavadoras Standard e Compacta	137
Figura 5.21	Diferenciação estética de cores e grafismo	138
Figura 5.22	APR - 2 Árvore de pré requisitos – Injeção 2.....	139
Figura 5.23	Gabinete das lavadoras Compacta e Standard	140
Figura 5.24	Cesto da Lavadora	142

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Comparativo entre as principais metodologias de projeto no PDP	19
Tabela 4.1	Estratégia para realização de ensaios	92
Tabela 5.1	Aplicações de patentes para lavadoras elétricas.....	104
Tabela 5.2	Capacidade de carga e profundidade dos produtos compactos	117
Tabela 5.3	Classificação de módulos e componentes.....	137

Nomenclatura

Abreviações

C2C - Metodologia de desenvolvimento de projeto da empresa Whirlpool. “*Consumer to Consumer*” – do consumidor para o consumidor

CTQ - Característica crítica de qualidade

DA - Projeto axiomático

DP's - Parâmetros de projetos

FR's - Requisitos funcionais

GF - Gerente funcional

GP - Líder do projeto peso pesado - *Chief Engineer*

HA – Lavadora de eixo horizontal - *Horizontal Axis washing machines*

INJ - Injeções

PV's - Domínio do processo

TOC - Teoria das Restrições - *Theory of constraints*

TP - *Thinking Process*

TQM - *Total Quality Management*

TRIZ - Teoria da resolução de problemas inventivos

VA – Lavadora de Eixo Vertical - *Vertical axis washing machines*

VOC - Voz do consumidor

Siglas

ARA - Árvore da realidade atual

APR - Árvore de pré requisitos

ARF – Árvore da realidade futura

CAD - Projeto assistido por computador

CAE - Engenharia assistida por computador

CAM - Manufatura assistida por computador

CC - Corrente crítica

CR - Restrição

DBR - Tambor, pulmão, corda

DFMA - Projeto para manufatura e montagem

DFSS – Projeto Seis Sigma - *Design for Six Sigma*

DRC - Diagrama de resolução de conflitos

EI's - Efeitos Indesejáveis

ES - Engenharia simultânea

FMEA- *Failure Mode and Effect Analysis*

IRC - Índice de reclamação de campo

PDP - Processo de desenvolvimento de produto

QFD - Desdobramento da função qualidade

Glossário

Seguem as definições de alguns termos com significado específico utilizados no texto:

Aplicação ampla do TP: Aplicação da metodologia do *thinking process* do processo de desenvolvimento de produto.

Aplicação específica do TP: Aplicação específica do *thinking process* no desenvolvimento técnico de um produto.

Conceito: Agregado de tecnologias (subconjunto ou peça) para atender determinadas funções técnicas ou requisitos funcionais.

Conceito reutilizável: é um conceito cuja aplicação requer pequenas adaptações, com mínimo risco técnico envolvido.

Curva de *trade-off*: conjunto de dados que caracterizam os limites da região de funcionalidade de um módulo ou conceito reutilizável, cobrindo toda uma gama de possíveis aplicações, em determinadas condições de operação.

Fatores de controle: Fatores ou variáveis de projeto cujo nível ou condição pode ser alterado sem aumento apreciável no custo unitário de manufatura.

Fatores de ruído: Fatores do ambiente de manufatura e uso que são impossíveis de serem controlados, ou cujo controle implica aumento importante do custo unitário de manufatura.

Índice de Valor Agregado: Relação entre o índice de importância funcional F e a soma do índice de problemas P mais o índice de custo C do item em questão:

$$V = \frac{F^2}{P + C}$$

Onde :

F - Índice de Importância Funcional: indicador da importância relativa das funções que o item executa, sob a ótica do consumidor.

P - Índice de Problemas: indicador do nível relativo de problemas funcionais apresentado pelo item.

C - Índice de Custo: indicador do custo relativo do item.

Obs. 1: Os índices F, P e C são todos definidos numa mesma escala (tipicamente 0 a 10).

Obs. 2: O aumento do valor agregado pode ser realizado através de decisões ou modificações técnicas que: a) melhorem o desempenho das funções úteis ou que agreguem novas funções úteis, ou b) reduzam ou eliminem problemas (falhas ou funções prejudiciais), ou ainda c) reduzam o custo do item, sem prejuízo da funcionalidade.

Injeções: Idéias inovadoras para soluções do conflito oculto por traz das restrições.

Metodologia de projetos: Processo de desenvolvimento incluindo recursos, revisões, responsabilidades e atividades de cada fase.

Processo de desenvolvimento de produto: Seqüência lógica dos passos do desenvolvimento de produto.

Projeto: Programa de desenvolvimento de produto.

Projeto de engenharia: detalhamento técnico de um conceito (subconjunto ou peça).

Projeto de engenharia customizado: subconjunto ou peça que, devido às suas particularidades de projeto e detalhamento técnico, não pode (em sua presente forma) ser usado em outro produto.

Recursos: verba e pessoas necessárias à realização do projeto.

Robustez: Condição de projeto que torna o desempenho funcional do produto minimamente sensível aos fatores de ruído, ao menor custo unitário de manufatura.

TIRO: Técnica Intuitiva para Remoção de Obstáculos. Prática através da qual um indivíduo toma decisões imediatas, usualmente com base apenas na experiência passada e/ou na análise superficial de dados incompletos ou errôneos. É o oposto de tomar decisões por consenso, após investir tempo em trabalho de equipe, no qual se utilizam métodos e ferramentas analíticas para orientar a obtenção e análise de dados.

Capítulo 1

Introdução e Organização do Trabalho

1.1 Introdução

O aumento constante das exigências dos consumidores por uma ampla variedade de produtos e serviços com melhor qualidade, menor custo e atendimento cada vez mais rápido, cria um ambiente de intensos desafios para as empresas. Para responder a essas exigências e lidar com um ambiente de intensa competitividade, o processo de desenvolvimento de produtos exerce um papel fundamental. Segundo Clark e Fujimoto (1991), a sobrevivência das empresas no mercado depende do aperfeiçoamento de seu processo de desenvolvimento de novos produtos. Para Morgan (2002), a habilidade de desenvolver produtos inovadores e de alta qualidade num ciclo de desenvolvimento radicalmente curto faz a diferença entre as empresas de alto desempenho e as demais empresas.

O processo de desenvolvimento de produtos traz uma grande vantagem competitiva para as empresas. No entanto, poucas alcançam um patamar de excelência no desempenho do seu processo de desenvolvimento de produtos de uma forma contínua e sustentável. Pois, conseguir ser realmente eficaz depende de muitos fatores que afetam esse ambiente. Algumas propostas de melhoria podem ser mais vantajosas do que outras, mas variam de projeto para projeto ou entre companhias. São comuns iniciativas como aumentar a verba de despesas para pesquisa e desenvolvimento, buscar uma nova tecnologia, introduzir novas ferramentas e técnicas de

desenvolvimento. Clark e Fujimoto (1991), dizem que um desenvolvimento de produto efetivo não é uma questão de escolher o sistema de planejamento de projeto correto, implementar o QFD (Desdobramento da Função Qualidade), instalar um avançado sistema computacional de auxílio ao projeto como o CAD (Projeto Assistido por Computador), ou incorporar a ES (Engenharia Simultânea). Todas essas práticas e ferramentas são válidas, mas não são suficientes para garantir o sucesso. Tudo isso precisa estar aliado à consistência total do processo de desenvolvimento, incluindo estrutura organizacional, habilidades técnicas, processo de solução de problemas, cultura e estratégia.

Dito de outro modo, um ambiente de desenvolvimento de produtos é um sistema complexo, com múltiplas interações entre políticas, práticas, estruturas de trabalho, recursos materiais e pessoas. Otimizá-lo é um desafio permanente, teórico e prático. O presente trabalho utiliza a abordagem sistêmica da Teoria das Restrições criada por Goldratt (1990), com foco no *Thinking Process*, aplicando-o em dois aspectos: um “amplo” e outro “específico”. No primeiro, a aplicação se dará no próprio processo de desenvolvimento de produto, que passa a ser caracterizado como um sistema. Nele se identifica e trata-se as restrições fundamentais ocultas nos diversos efeitos indesejáveis e que são fatores limitantes para o desempenho de qualquer ambiente de desenvolvimento de produto. O segundo, aqui denominado de “específico” se refere à aplicação do *Thinking Process* como ferramenta para auxiliar o desenvolvimento técnico de um produto, no caso uma lavadora de roupa.

1.2 Apresentação do problema

Partindo-se das deficiências observadas em um ambiente de desenvolvimento de produto e identificando os pontos críticos que afetam seus fatores de sucesso (custo, prazo e qualidade) fomos estimulados, por um lado, a buscar maneiras de melhorar o processo de desenvolvimento de produto e por outro, o próprio desenvolvimento técnico do produto. Embora a literatura existente analise e proponha soluções para muitos dos problemas, com estudos direcionados para os diversos elementos que compõem o ambiente de desenvolvimento de produto tais como princípios, políticas, estrutura organizacional, ferramentas, metodologias, formas de comunicação etc, sua

abordagem, de maneira geral, é muito limitada quando se trata da identificação das “causas raízes” geradoras de muitos problemas dentro de um ambiente de desenvolvimento de produtos.

Assim, um dos desafios é encontrar uma ferramenta capaz de identificar corretamente as “causas raízes” dos “efeitos indesejáveis”, tanto para o próprio processo de desenvolvimento de produto, quanto para o desenvolvimento técnico do produto, pois somente através dessa identificação se poderá fazer recomendações efetivas de soluções sistêmicas dos problemas.

Uma ferramenta que se propõe identificar e tratar as restrições fundamentais que afetam os fatores de desempenho de sistemas é o *Thinking Process* – TP. Em linhas gerais, o TP é uma abordagem sistêmica baseada na aplicação dos fundamentos do processo de raciocínio lógico (*Thinking Process*) e da metodologia da teoria das restrições (*Theory of Constraints*), criada por Goldratt (1990). Um dos desafios na presente pesquisa é explorar a potencialidade de aplicação dessa ferramenta, conforme detalhado nos objetivos desse trabalho.

1.3 Relevância do Trabalho

As abordagens atuais de desenvolvimento de produtos nas empresas, independente das suas formas de organização, processos e metodologias compartilham problemas comuns (“efeitos indesejáveis”) que limitam o desempenho do desenvolvimento de produtos nos seus fatores de sucesso (custo, prazo e qualidade). Apesar da ampla literatura já produzida sobre o tema, a prática das empresas demonstra que existem fatores limitantes fundamentais na maneira de como o processo de desenvolvimento de produtos é pensado, gerenciado e executado. E como é de conhecimento comum, o processo de desenvolvimento de produto como um todo não tem sido objeto de muito estudo e que há muita oportunidade para melhorá-lo, pois apresentam relevantes pontos fracos e dentre eles o desenvolvimento do próprio produto e a cooperação das equipes.

Em um mercado cada vez mais exigente e competitivo, o processo de desenvolvimento de produto é essencial para o êxito das empresas. A eficiência é medida através da sua capacidade de desenvolver produtos inovadores de alta qualidade no menor tempo possível. Esse fato por si torna relevante o desenvolvimento de uma pesquisa que possa otimizar tal processo.

Mais especificamente, essa pesquisa se torna relevante por sugerir a aplicação de uma ferramenta, no caso o *Thinking Process*, que permite identificar e tratar as causas dos possíveis problemas do desenvolvimento de produto. Vale ressaltar que tal ferramenta é pouco explorada em suas potencialidades e formas de contribuição dentro do ambiente de desenvolvimento de produto.

Outra importante relevância da aplicação do *Thinking Process* no presente trabalho é a contribuição do resultado da sua aplicação tanto em um caso “amplo”, quanto em um “específico”. No “amplo”, uma vez constatada a sua efetividade, sua aplicação poderá ser difundida para outros ambientes de desenvolvimento de produto, já que a lista de sintomas em tais ambientes não é exclusiva da empresa aqui analisada. No caso “específico”, a contribuição principal consiste da utilização do *Thinking Process* como ferramenta auxiliar ao desenvolvimento técnico de produto.

1.4 Objetivos

O objetivo mais geral desse trabalho é contribuir no campo de desenvolvimento de novos produtos, sugerindo melhorias no seu processo de desenvolvimento através da aplicação da metodologia do *Thinking Process*. De forma mais pontual, o objetivo desse trabalho é explorar as potencialidades de aplicação do *Thinking Process* em duas situações: uma “ampla” e outra “específica”.

A “ampla”, que será aplicada no processo de desenvolvimento de produto, visa relatar os fatores de ineficiências desse processo; identificar as “causas raízes” dessas ineficiências; e apresentar soluções sistêmicas para superação de tais problemas na caracterização do novo ambiente de desenvolvimento de produto.

A aplicação “específica” trata da exploração da potencialidade do *Thinking Process* como ferramenta para auxiliar o desenvolvimento técnico de um produto, no caso uma lavadora de roupas para o mercado chinês.

1.5 Estrutura do trabalho

Este estudo está assim estruturado: o primeiro capítulo, com a introdução, relevância, objetivos e estrutura do trabalho. O segundo, onde se revisa a literatura sobre o processo de desenvolvimento de produto, com foco nas metodologias, formas de organização e ferramentas, construindo-se uma visão ampla dos elementos e características mais comuns dos atuais processos de desenvolvimento de produtos nas empresas.

O terceiro, onde se apresenta a metodologia da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* - TOC), proposta por Goldratt (1990), Moura e Dettmer (2000), incluindo a origem de sua aplicação, fases de execução, representações gráficas usuais e procedimentos de aplicação.

O quarto capítulo apresenta uma aplicação “ampla” do *Thinking Process* no PDP de uma empresa de eletrodomésticos. Na referida aplicação identifica-se os aspectos fundamentais que vão caracterizar o novo ambiente de desenvolvimento de produtos na solução de suas restrições.

O capítulo quinto traz um histórico da lavadora de roupa; os fatores que influenciam o projeto do produto; os aspectos construtivos da lavadora; sistema de lavagem; perspectivas mercadológicas; requisitos para o desenvolvimento do produto e aplicação do *Thinking Process* no desenvolvimento técnico de um produto, no caso uma lavadora de roupas para o mercado chinês.

O capítulo seis apresenta as conclusões, relata as contribuições e sugere tópicos para pesquisas futuras.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Existe uma quantidade substancial de literaturas relacionadas ao desenvolvimento de produtos. Sabe-se que o “*Know how*” tecnológico (CAE, CAM), a capacitação e motivação pessoal fazem parte de qualquer ambiente de desenvolvimento eficaz. Entretanto, como em última instância o que define um ambiente de desenvolvimento de produto é a sistemática de trabalho e as ferramentas analíticas utilizadas para a tomada de decisões de projetos, priorizam-se na literatura aqui revisada os aspectos funcionais do processo de desenvolvimento de produtos, mais precisamente suas metodologias, formas de organização e ferramentas para desenvolvimento e solução de problemas.

2.1 O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP)

A empresa que segmentou cuidadosamente o mercado escolheu seu público-alvo, identificou as suas necessidades e determinou o seu posicionamento no mercado, está em uma melhor situação para desenvolver novos produtos (Kotler, 2000).

O desenvolvimento de produtos consiste em um conjunto de atividades para chegar às especificações de projeto de produto e de seu processo de produção, a partir das necessidades do

mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, considerando as estratégias competitivas da empresa (Rozenfeld *et al.*, 2006).

As empresas que não desenvolvem novos produtos correm grande risco de não serem competitivas no mercado. Os produtos que estão sendo vendidos são vulneráveis a mudanças tanto nas necessidades e gostos dos clientes quanto diante do surgimento de novas tecnologias. Também podem perder sua competitividade com o encurtamento do tempo de vida do produto no mercado e o aumento da competitividade nacional e internacional. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de produtos é um risco. Várias empresas multinacionais têm perdido milhões de dólares no lançamento de produtos e serviços que por vários motivos não tiveram sucesso no mercado.

Kotler (2000) relaciona algumas causas de fracasso do desenvolvimento de novos produtos: *a)* quando um executivo de alto nível insiste em implementar uma idéia favorita, apesar da investigação de mercado mostrar resultados desfavoráveis; *b)* quando a idéia é boa, mas se superestima o tamanho do mercado; *c)* o projeto do produto não está bem realizado; *d)* o posicionamento do produto no mercado é incorreto; *e)* não se faz promoção eficaz ou o produto tem um preço excessivo; *f)* quando os custos de desenvolvimento são muito mais altos do que o esperado; *g)* os concorrentes reagem de forma mais agressiva que o considerado.

Wheelwright e Clark (1992) afirmam que existem três forças fundamentais que interferem na competitividade de desenvolvimento de produto. Uma intensa competição internacional, que cria uma enorme pressão para desenvolver produtos de alta qualidade, mais rápido e mais barato. O aumento da fragmentação do mercado, que demanda produtos mais específicos para nichos de mercado cada vez menores e, finalmente, a constante e rápida mudança tecnológica que amplia o campo de escolhas disponíveis para as empresas, criando uma grande complexidade.

Além dos fatores mencionados anteriormente, pode-se acrescentar vários outros que também influenciam o desenvolvimento de novos produtos:

- *Escassez de idéias importantes em certas áreas*: restam poucas formas de melhorar alguns produtos básicos.
- *Restrições sociais e do governo*: às vezes alguns requisitos e regulamentações governamentais limitam a inovação.
- *Alto custo do processo de desenvolvimento*: uma empresa tem que gerar várias idéias para encontrar uma que seja suficientemente boa para ser desenvolvida.
- *Escassez de capital*: muitas empresas podem ter boas idéias, mas não conseguem os recursos necessários para o desenvolvimento.
- *Ciclos de vida de produto mais curtos*: quando um novo produto tem sucesso, os rivais podem copiar rapidamente.

Diante de tais fatores, a questão mais importante para uma empresa é fazer com que o desenvolvimento de produto seja bem sucedido. Outro fator chave para o sucesso é ter um conceito de produto bem definido antes de desenvolvê-lo. Entre outros fatores que são mencionados estão a sinergia tecnológica e de marketing, a qualidade de execução em todas as fases e o atrativo do mercado (Kotler, 2000).

O desenvolvimento de produtos é considerado uma grande oportunidade para as empresas que querem aumentar a sua competitividade e participação de mercado. A contribuição do PDP como fonte de vantagens competitivas está cada vez mais enfatizada. Estima-se que 85% do custo do ciclo de desenvolvimento de um produto é reflexo da fase de projeto e que são possíveis reduções de mais de 50% no tempo de lançamento de um produto, quando os problemas de projeto são identificados e resolvidos com antecedência, reduzindo o número de alterações e os tempos de manufatura, gerando competitividade (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Na Figura 2.1 pode-se observar que a fase de projeto representa somente 5% da contabilidade de custo no desenvolvimento de um produto, porém as decisões tomadas nessa fase são responsáveis por até 70% do custo total do desenvolvimento do produto. Se essa fase for

negligenciada, o efeito da escala de custos de mudanças do produto nas diversas fases de desenvolvimento será muito maior, bem como o aumento do custo final do produto, conforme demonstra a Figura 2.2).

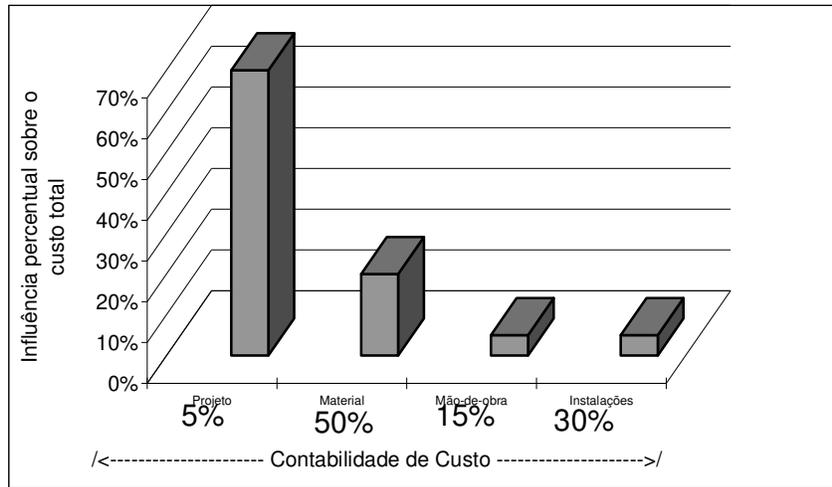


Figura 2.1 Influência percentual sobre o custo do produto.
(Smith e Reinertsen (1991), citado por Alvarenga, 2006)

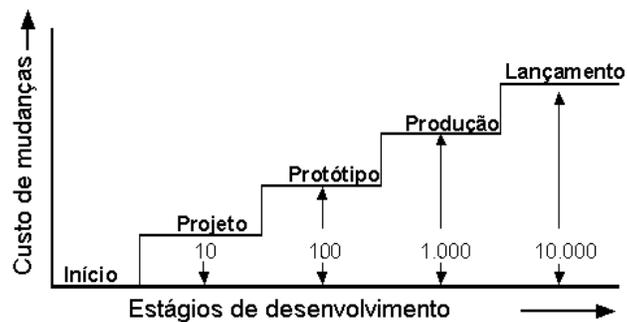


Figura 2.2 – Custo de mudanças nas diversas fases do desenvolvimento do produto,
(Smith e Reinertsen, 1991, citado por Alvarenga, 2006).

A qualidade, incluindo a confiabilidade, funcionalidade e satisfação do consumidor; o custo, incluindo o custo do produto e de desenvolvimento; o tempo que a empresa leva do desenvolvimento do conceito à entrega do produto ao mercado são os principais indicadores de desempenho do PDP.

O desempenho do produto no mercado e a eficiência da qualidade no processo de desenvolvimento dependem da gestão da empresa, ou seja, o modelo de gestão determina o modo que a empresa desenvolve produtos, através da sua estratégia, forma de organização e gerenciamento. O desenvolvimento bem sucedido de produtos apresenta um padrão de coerência e consistência no decorrer do todo o processo de desenvolvimento em uma forma estruturada.

O desenvolvimento sistemático e estruturado de produto torna possível a racionalização de recursos tanto no setor de desenvolvimento, quanto na execução do projeto propriamente dito. Também gera um cronograma mais realístico, devido a previsibilidade dos passos e etapas pré definidas. Atualmente é reconhecido o fato de que a sistematização do processo de desenvolvimento de produto é a abordagem mais adequada para o desenvolvimento de sistemas complexos e automação de um processo de projeto, além de ser uma estrutura que permite o desenvolvimento e treinamento dos profissionais Back e Forcellini (2000).

Para Pugh (1991) uma das maneiras que as empresas voltadas para o desenvolvimento de produtos tem adotado para coordenar essas atividades é o uso do *phase and gates* (etapas e revisões). Nessa abordagem os grupos funcionais trabalham sob o cronograma macro que contém os pontos de revisão pelos quais o projeto deve ser avaliado. O projeto só deverá seguir adiante se os critérios predeterminados forem cumpridos. Segundo Smith e Reinertsen (1998), uma falha significativa da abordagem *phase and gates* é que ela direciona ou induz ao acúmulo de trabalho a ser revisado, causando filas e um longo tempo de desenvolvimento.

McGrath *et al.* (1992), caracterizam o processo sistemático de desenvolvimento de novos produto como sendo o veículo de inúmeros benefícios às empresas, pois torna possível a disponibilização mais rápida do produto no mercado, promove uma maior sinergia entre a equipe

de desenvolvimento e o consumidor, diminui os custos de desenvolvimento e melhora a eficiência operacional.

Segundo Baxter (1995), os métodos sistemáticos de projeto pré-estabelecem uma abordagem interdisciplinar, abrangendo todas as áreas do processo de desenvolvimento de produtos. Esse processo possibilita que a interação entre as ciências sócio-econômicas, tecnologia e arte aplicada seja facilitada. O processo sistemático e estruturado de desenvolvimento de produto é também conhecido como “metodologia de desenvolvimento de projeto”, Back (1997).

2.2 Metodologias para o processo de desenvolvimento de produtos

Embora o projeto de componentes, sistema ou produto tenha características e complexidades próprias, à medida que um projeto é iniciado e desenvolvido, o desdobramento da seqüência de eventos numa ordem cronológica forma um modelo quase sempre comum a vários projetos (Back, 1983).

McGrath *et al.* (1992), definem um modelo conhecido com funil, onde a parte maior fica para a esquerda determinando o início do processo de desenvolvimento e caracterizando o grande número de possibilidades conceituais. O lado menor fica para a direita caracterizando a entrega do produto ao mercado. Ao longo do funil estão dispostas as fases e pontos de revisão como mostrado na Figura 2.3

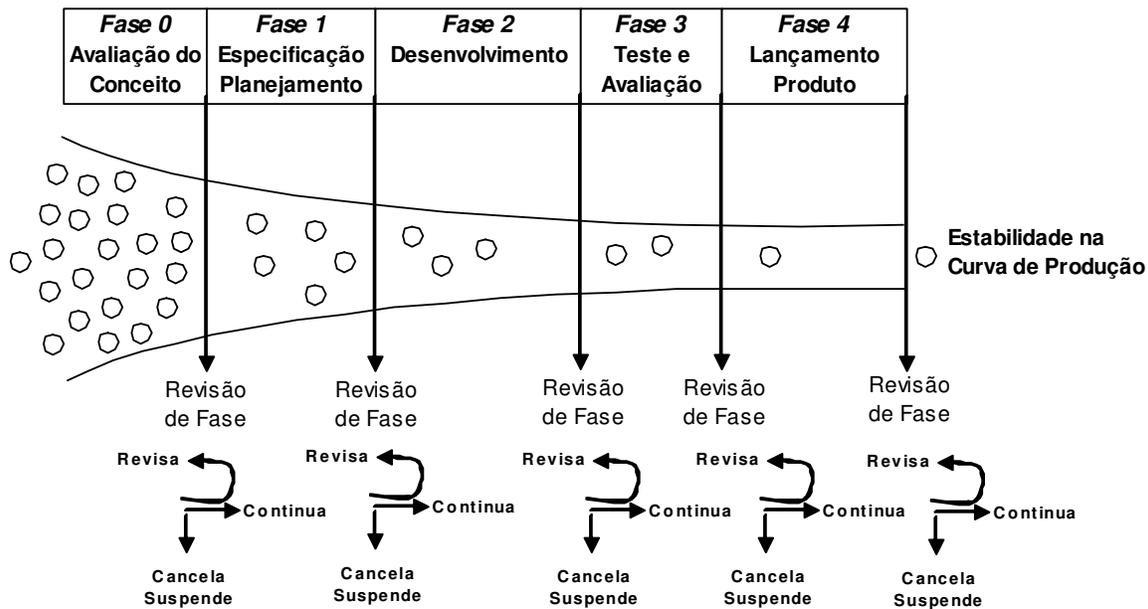


Figura 2.3 Modelo funil de “fase” e “revisões”, (McGrath *et al.*, 1992)

Na fase 0 – “Avaliação da Concepção” – avaliam-se as oportunidades de mercado e seu alinhamento com a estratégia da empresa. Nessa fase fundamentalmente avalia-se e seleciona-se o melhor conceito entre os vários conceitos possíveis, para que o mesmo possa ser levado adiante. Na fase 1 – “Planejamento e especificação” – busca-se a determinação da funcionalidade e da viabilidade técnica do desenvolvimento. Na fase 2 – “Desenvolvimento” – objetiva-se o detalhamento do produto. Na fase 3 – “Teste e avaliação” – completam-se os testes de aprovação do produto e preparação para o início de produção. Na fase 4 – “Lançamento do Produto” – inicia-se e produção e estabiliza-se o processo. Esse modelo não contempla a fase de descontinuação do produto no mercado.

As metodologias de uma maneira geral apresentam macros fases e fases dentro de um modelo de referência. O modelo proposto por Rozenfeld *et al.*, 2006, (Figura 2.4), é composto de três macro fases: “Pré-desenvolvimento”, onde se faz o planejamento do projeto; “Desenvolvimento de Produtos”, que compreende a elaboração do projeto do produto (dividida

em três fases: Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado); e “Pós desenvolvimento”, que engloba a implementação e o acompanhamento dos processos de manufatura na produção e liberação do produto para lançamento do mesmo no mercado, encerrando-se o projeto.

As fases de Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado correspondem as fases de Estudo de Viabilidade, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado do modelo proposto por Dedini e Cavalca (2001); Back e Forcellini (1997); e Alvarenga (2006).



Figura 2.4 Macro-fases e fases do processo de desenvolvimento de produtos (Rozenfeld *et al.*, 2006)

As fases de “Planejamento estratégico do produto” e “Planejamento do projeto”, que estão compreendidas na macro-fase de “Pré-desenvolvimento”, orientam o desenvolvimento do produto através da identificação das necessidades do mercado transportadas num plano de produto, que faz parte da estratégia de negócio da empresa. Identificação do plano estratégico de produtos, planejamento de marketing, elaboração do escopo do projeto, definição do patrocinador, determinação das equipes de desenvolvimento e gerenciamento fazem parte dessas fases que servem como base para orientar as macro-fases seguintes que engloba o de “Desenvolvimento e pós-desenvolvimento de produtos”.

Na fase de “Projeto informacional” ou “Estudo de viabilidade” é onde se determina as especificações do projeto do produto. Essa especificação é baseada na tradução das informações

coletadas dos consumidores como suas necessidades explícitas ou latentes; requisitos de projeto e requisitos de clientes. Um importante laboratório dessa fase é o uso da experiência de projetos anteriores, comportamentos de produtos da concorrência em comparação com os requisitos do novo produto. Através da experiência e maturidade do grupo, referências em aplicações similares e métodos de criatividade são geradas um conjunto de alternativas e princípios de soluções para o projeto que são filtradas de acordo com sua viabilidade técnica e econômica, caracterizando a entrega dessa fase.

A fase de “Projeto Conceitual” ou “Projeto Preliminar” tem por objetivo analisar as soluções apresentadas no “estudo de viabilidade” e escolher o conceito que melhor atende aos objetivos do projeto. Análises críticas detalhadas envolvendo aspectos de manufaturabilidade, segurança, fornecedores, processos fabris e testes são alguns dos importantes parâmetros para selecionar o melhor conceito. Nessa fase também são desenvolvidas atividades como a determinação das funções do produto, que por sua vez são desdobradas em requisitos do projeto; determinação da estrutura do produto em sistemas e componentes através de um *macro lay out*. Ainda nessa fase são otimizados os parâmetros de produtos; revisadas as patentes; considerados as possíveis normas, regulamentações e aspectos legais de saúde e segurança que podem afetar o projeto e outros aspectos como materiais e processo de fabricação. Nessa fase também são construídos as primeiras maquetes ou protótipos não funcionais para verificar a conformidade das especificações, análise de aspectos visuais e estéticos. Após a definição do *lay out* final, inicia-se o plano de fabricação e elaboração de protótipos funcionais, assim como os primeiros testes. No final dessa fase já é possível estabelecer uma estimativa de cálculo do custo do produto, que em combinação com outros aspectos estimativos de volumes, despesas e investimento se faz uma análise preliminar de viabilidade econômica que serve de parâmetro para a continuidade da fase seguinte.

A fase de “Projeto detalhado”, como o próprio nome sugere, é a fase de se obter os detalhes da definição conceitual. Nessa fase são aprovados os protótipos, elaboradas as descrições de engenharia através da síntese das especificações dos componentes em desenhos. São detalhados os documentos que promovem o fluxo de informações entre a engenharia,

planejamento, suprimentos e produção. Também se detalha o plano de manufatura e solicitação da liberação do investimento. O protótipo é construído de acordo com as especificações finais do produto e processo de fabricação para que os testes sejam o mais representativo possível das condições finais de produção e os resultados mais fiéis para permitir a retroalimentação do projeto com as informações geradas. Uma série de outros documentos como manual de instruções, catálogo de peças, são elaborados nessa fase. Aqui a análise da viabilidade econômica do projeto é feita com precisão, pois os dados de entrada – investimento, custo de material, volumes, preço, custo com atividades de desenvolvimento, lançamento, etc – são bastante representativos. Essa análise econômica é a base para solicitação da aprovação do investimento.

“Acompanhar produto/processo” é a primeira fase da macro-fase “Pós-Desenvolvimento”. O lote piloto de produtos é produzido para verificar os procedimentos de montagem e treinar operadores identificando possíveis não conformidades de produtos/processo. Outras atividades como a implementação do sistema de qualidade, revisões de processos e sistemas produtivos, treinamentos internos na manufatura e externos envolvendo assistência técnica vendas e pós vendas são características dessa fase. Os produtos provenientes da corrida piloto, serão testados de acordo com as normas específicas de performance, homologação e conformidade. Os resultados desses testes em conjunto com o piloto do teste produtivo, retroalimentam o projeto para os ajustes.

O “Lançamento do produto” é segunda fase da macro-fase “Pós-desenvolvimento”. Nessa fase a sinergia entre manufatura, vendas e marketing começa a ficar mais efetiva e uma atenção especial na comunicação entre as áreas precisa ser reforçada com relação aos pontos críticos do lançamento. Marketing e vendas implementam os planos de divulgação e promoção comercial através de literaturas técnicas e catálogos. Um lote inicial é produzido para uma verificação final da conformidade do produto e comportamento do processo quanto ao atendimento dos requisitos do projeto. Após a aprovação desse lote inicia-se a produção escalonada de pequenos lotes (*rump up*). O lançamento do produto é realizado através da apresentação e divulgação nos meios de comunicação. As métricas do projeto estabelecidas nessa fase podem ser auditadas quanto a sua conformidade após alguns meses do lançamento do

produto no mercado, com o intuito de garantir a qualidade ou a concretização das metas de produção, vendas, desempenho do produto, retorno financeiro etc.

Dedini e Cavalca (2001); Neto *et al.*, (2008) a partir do estudo das metodologias de vários autores, desenvolveram uma morfologia do roteiro crítico de projeto que auxilia nas etapas necessárias para a criação de um novo produto e promove a melhoria contínua no desenvolvimento de novos produtos com maior qualidade. Após as etapas concluídas, obtém-se um relatório com os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do projeto. (Figura 2.5).

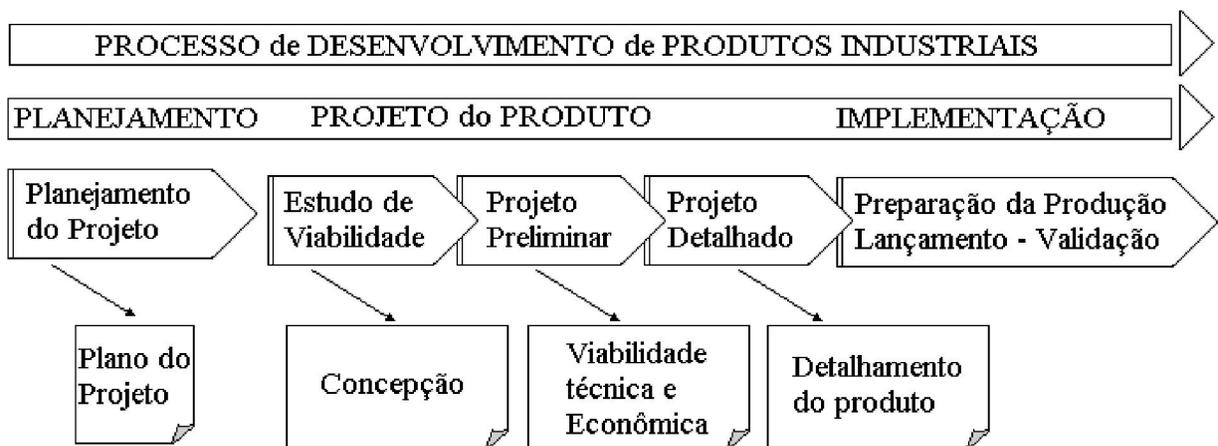


Figura 2.5 – Processo de desenvolvimento do produto (Neto *et al.*, 2008)

Na Figura 2.6 pode-se observar três fases do projeto que envolve o desenvolvimento de produto: *Estudo de viabilidade*, *Projeto preliminar* e *Projeto detalhado*, as quais são analisadas na sequência do texto.



Figura 2.6 – Etapas que compõem a morfologia do roteiro crítico de projeto (Neto *et al*, 2008)

Estudo de viabilidade: Nesta fase é importante identificar corretamente a necessidade para justificar o investimento e tempo de desenvolvimento. Depois de se estudar e conhecer o problema do projeto, ou a necessidade, realiza-se um esboço das idéias para a criação de soluções alternativas viáveis. Depois se elaboram desenhos, maquetes, diagramas, etc. Além disso, é necessário analisar a possibilidade de construção das concepções realizadas considerando-se custo, materiais, tecnologia envolvida, horas de trabalho, tempo de desenvolvimento, entre outros fatores. Deve-se calcular o valor do produto (soma dos custos da matéria-prima, mão de obra, energia e capital), estimar o potencial de mercado e a lucratividade e quantificar o total de ativos e passivos utilizados no projeto de desenvolvimento e produção do produto.

Algumas das ferramentas que se usam nesse estudo são a pesquisa de mercado, o QFD (Desdobramento da Função Qualidade), o diagrama funcional e o quadro funcional ou morfológico. O estudo de viabilidade gerará vários documentos que serão apresentados ao responsável pelo gerenciamento do projeto para decidir se o projeto deverá continuar ou não (Neto *et al*, 2008).

Projeto Preliminar. O objetivo desta fase é estabelecer qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção para o projeto. Cada uma das soluções alternativas geradas fica sujeita à análise detalhada para identificar as melhores e piores idéias. Nesta fase também se estabelecem os limites de controle para cada parâmetro do projeto e os limites de tolerância nas características dos elementos constituintes do projeto. Avaliam-se os materiais, processos construtivos, assim como o arranjo dos componentes e suas formas geométricas. Através de ferramentas matemáticas se constroem modelos que permitem prever o seu desempenho. Assim, é estabelecida uma otimização de caráter geral (técnico construtivo/ econômico/ desempenho) e um ou mais conceitos são liberados para o detalhamento. Elaboram-se protótipos funcionais, para testar as características de desempenho e são elaborados protótipos em escala (ou maquetes) para verificar problemas de montagem e processo, bem como de aceitação (valores estéticos). Confiabilidade, otimização técnica / funcional, e valoração são pontos fundamentais desta fase (Neto *et al*, 2008).

Projeto Detalhado. Nesta etapa do projeto, detalha-se a melhor solução construtiva identificada na etapa anterior, cada componente é calculado, desenhado e aprimorado a fim de se chegar a um produto manufaturável. Outra atividade que se realiza é a construção de protótipos de pré-série, que servem para verificar possíveis problemas de montagem ou de adequação (Neto *et al*, 2008).

Um apanhado das principais metodologias, segundo os vários autores está sintetizado na Tabela 2.1 criada por Alvarenga (2006). Ela mostra as características comuns das atividades que ocorrem nas fases do projeto, assim como as ferramentas mais utilizadas para cada fase respectiva.

Tabela 2.1 - Comparativo entre as principais metodologias de projeto no PDP (Alvarenga, 2006).

Autor (Ano da publicação)	Forma de apresentação da metodologia	Fases envolvidas no processo de projeto	Principais ferramentas e documentos utilizados
Asimow (1968)	Através de um fluxograma contendo fases e passos	<p>Fase 1: Estudo de exequibilidade. Estabelecimento da necessidade; exploração do problema de projeto; identificação de parâmetros, principais restrições e critérios; geração de soluções; análise de soluções quanto a possibilidade de realização física, viabilidade econômica e financeira.</p> <p>Fase 2: Projeto preliminar. Seleção dos melhores soluções; análise das soluções (modelagem matemática, refinamento); seleção da melhor alternativa.</p> <p>Fase 3: Projeto detalhado. Detalhamento da solução e de suas partes (desenhos técnicos de montagem e de componentes); construção e teste do protótipo; revisões do projeto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Informações de mercado; -Informações técnicas; -Fatores econômicos e financeiros; -Registros de experiências e de técnicas; -Análise matemática; -Resultados dos testes.
Pahl & Beitz, (1971)	Através de um fluxograma contendo entradas e saídas que informam as ações a serem executadas nessa metodologia.	<p>Fase 1: Planejamento da tarefa - Clarificação da tarefa e elaboração das especificações de projeto</p> <p>Fase 2: Projeto conceitual-Identificação dos problemas ; estabelecimento da estrutura de funções; pesquisa por princípios de solução; combinação de variantes de concepções; avaliação segundo os critérios técnicos e econômicos.</p> <p>Fase 3: Projeto Preliminar - Desenvolvimento de <i>layouts</i> e formas; seleção dos melhores leiautes preliminares; refinamento e avaliação sob critérios técnicos e econômicos; otimização, verificação de erros, controle de custos,preparação de lista das partes preliminares e os documentos de produção</p> <p>Fase 4: Projeto Detalhado- desenhos detalhados e documentos para produção; verificação de todos os documentos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Questionários - Informação de mercado - Lista de requisito de projeto - Síntese funcional - Lista de princípios de solução - Matriz morfológica - Critérios para seleção de combinações; - <i>Checklists</i>; - Projeto para modularização, projeto para ergonomia; projeto para estética, projeto para reciclagem, projeto para fácil manutenção, projeto para mínimo risco, projeto para mínimo custo, projeto para padronização, projeto para qualidade; - Métodos de avaliação; - Modelos; - <i>Layouts</i> - Desenhos detalhados

Blanchard e Fabrick (1981)	Através de um fluxograma contendo passos	<p>Definição da necessidade: Identificação de desejos por sistemas.</p> <p>Projeto conceitual: Estudo da viabilidade; análise das necessidades; requisitos operacionais; concepção da manutenção; planejamento avançado do sistema.</p> <p>Projeto preliminar: Análise funcional do sistema; síntese preliminar e alocação de critérios de projeto; otimização do sistema; definição e síntese do sistema.</p> <p>Projeto detalhado: Projeto do produto do sistema; desenvolvimento do protótipo do sistema; teste e avaliação do protótipo do sistema.</p> <p>Produção e/ou construção: Avaliação do sistema; modificações para ações corretivas.</p> <p>Utilização e suporte: Avaliação do sistema; modificações para ações corretivas.</p> <p>Descarte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ciclo de vida do produto; - Lista de questões; - Pesquisa de mercado; - Estudo da viabilidade; - Plano de suporte logístico; - Métodos de pesquisa; - Requisitos de projeto; - Requisitos de produção e/ou construção; - Requisitos de avaliação.
Back (1983)	Através de um fluxograma contendo etapas e dados	<p>Estudo da viabilidade: Análise de necessidade; exploração de sistemas envolvidos; síntese de soluções alternativas; viabilidade física; viabilidade econômica, conjunto de soluções possíveis.</p> <p>Projeto preliminar: seleção da melhor solução, formulação do modelo matemático, análise de sensibilidade e compatibilidade das variáveis, otimização dos parâmetros, teste do processo e previsão do desempenho, simplificação.</p> <p>Projeto detalhado: especificação de subsistemas, especificação de componentes, descrição das partes, desenho de conjuntos de montagem, verificação de dimensões e a padronização, liberação do projeto para fabricação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Informações de mercado; - Informações tecnológicas; - Criatividade; - Análise de viabilidade física e econômica; - Análise de compatibilidade, estabilidade e sensibilidade; - Métodos de otimizações; - Avaliação de desempenho; - Recursos matemáticos; - Projeto para fabricação, projeto para modularização, projeto para ergonomia; - Testes de laboratório; - Ferramentas computacionais (CAD, CAE, etc) - normas; - catálogos; - <i>Layouts</i> - Desenhos detalhados
Ullman (1992)	Através de um digrama contendo fases.	<p>Fase 1: Desenvolvimento, planejamento e especificação. Entendimento do problema, desenvolvimento dos requisitos do cliente, assegurar competitividade, geração de requisitos de engenharia, estabelecimento dos objetivos de engenharia e planejamento do projeto.</p> <p>Fase 2: Projeto conceitual: Desenvolvimento de conceitos, desenvolvimento da decomposição funcional, geração conceitos a partir das funções, avaliação dos conceitos, seleção do melhor conceito.</p> <p>Fase 3: Projeto do produto: Geração do produto, definição do produto e fabricação, avaliação e refinamento do produto, avaliação do desempenho do produto, otimização do produto, avaliação de custos, finalização do produto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - - Informações de mercado; - Questionários; - QFD; - Avaliação e julgamento da viabilidade; - Exame passa / não passa; - Avaliação matriz de decisão - Método Pugh; - modelos; - <i>Layouts</i>; - Desenhos detalhados
VDI 2221	Através de um	Fase 1: Esclarecimento da tarefa: Esclarecimento e formulação da tarefa.	<ul style="list-style-type: none"> - Informações de mercado;

(1987)	fluxograma contendo passos	<p>Fase 2: Projeto conceitual: Verificação das funções e de suas estruturas, pesquisa por princípios de solução, divisão em módulos.</p> <p>Fase 3: Desenvolvimento do conceito: Configuração dos módulos principais e configuração do produto total.</p> <p>Fase 4: Projeto detalhado: Preparação de instruções de execução e uso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Questionários; - Entrevistas; - Lista de condições e restrições; - Lista de requisitos; - Especificações de projeto; - Síntese funcional; - Lista de princípios de solução; - Métodos de criatividade; - Considerações técnicas e econômicas; - <i>Layouts</i>; - Desenhos detalhados.
Hubka(1988)	Através de um diagrama contendo fases, passos e documentos de projetos.	<p>Fase 1: Elaboração do problema: Elaboração das especificações.</p> <p>Fase 2: Projeto conceitual. Estabelecimento das estruturas de funções; estabelecimento das concepções.</p> <p>Fase 3: Layout. Estabelecimento do layout preliminar; estabelecimento do layout dimensional.</p> <p>Fase 4: Elaboração. Detalhamento e elaboração.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Especificações de projeto; - Síntese funcional; - Matriz morfológica; - Concepções esquemáticas; - Análise do valor; - CAD, CAM - <i>Checklist</i> - <i>Layouts</i> preliminares; - <i>Layouts</i> dimensionais; - Desenhos detalhados; - Desenhos de montagens.
Baxter (1995)	Através de um digrama contendo as fases	<p>Fase1: Planejamento do produto- especificação da oportunidade: Pesquisa das necessidades de mercado; análise de produtos concorrentes, seleção sistemática de oportunidades, especificação do estilo.</p> <p>Fase 2: Projeto conceitual: geração de idéias, análise funcional; seleção das idéias, análise das possibilidades de falha e seus efeitos, construção e testes do protótipo.</p> <p>Fase 3: Projeto Detalhado: especificação dos materiais, novos componentes, procedimentos de montagem, componentes padronizados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Informação de mercado; - Criatividade; - Técnica de Tjalve (permutação das características do produto), - - Técnica MESCRAI (modificar, eliminar, substituir, combinar, rearranjar, adaptar e inverter); - <i>Checklist</i>; - Matriz de seleção;
Ertas e Jones (1993)	Através de um fluxograma contendo passos	<p>Passo 1: Identificação e reconhecimento das necessidades</p> <p>Passo 2: Conceituação de projeto</p> <p>Passo 3: Análise de viabilidade</p> <p>Passo 4: Processo decisório e liberação de fundos</p> <p>Passo 5: Determinação das responsabilidades e equipe de projeto</p> <p>Passo 6: Projeto preliminar</p> <p>Passo 7: Projeto detalhado e testes de qualificação</p> <p>Passo 8: Planejamento produtivo e ferramentas e produção.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Informação de mercado; - Ferramentas computacionais (CAD, CAE); - QFD; - Análise do valor; - Matriz de decisão; - Análise de custo; - Desenhos detalhados;

			- Testes
Dedini e Cavalca (2001)	Através de um fluxograma contendo etapas.	<p>Fase 1: Estudo da viabilidade: Identificação da necessidade, elaboração de conjunto de soluções alternativas, verificação da viabilidade física, verificação da viabilidade econômica financeira.</p> <p>Fase 2: Projeto preliminar: Seleção da melhor solução, especificação dos parâmetros de projeto, simulação, análise de sensibilidade dos parâmetros, otimização, testes, simplificação,</p> <p>Fase 3: Projeto detalhado: Detalhamento da melhor solução, verificação de formas construtivas, confecção de desenhos detalhados, de conjunto e de montagem, elaboração de lista final de peças, fabricação de protótipos em série, confecção de memorial de cálculos, elaboração de manuais de montagem, instalação, operação manutenção.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Informações do mercado; - Métodos de criatividade; - Análise do valor; - Matriz de seleção; - Ferramentas computacionais (CAD, CAE); - Confiabilidade; - Testes experimentais; - Desenhos detalhados; - <i>Layouts</i>
Rozenfeld <i>et al.</i> (2006)	Através de um diagrama contendo fases e macrofases	<p>Fase 1: Projeto informacional: desenvolvimento de um conjunto de informações, análise de tecnologias disponíveis, pesquisa em normas e patentes, pesquisa por produtos concorrentes, detalhamento do ciclo de vida do produto, identificação dos requisitos dos clientes, definição dos requisitos do produto, definição das especificações do produto, viabilidade econômica e financeira.</p> <p>Fase 2: Projeto conceitual: Modelamento funcional do produto, desenvolvimento de princípios de soluções, desenvolvimento das alternativas de solução para o produto, definição da arquitetura do produto, análise de sistemas, subsistemas e componentes (SSCs), definição da ergonomia e estética do produto, definição de fornecedores, seleção da concepção do produto, definição do plano macro de processo, atualização da viabilidade econômica e financeira.</p> <p>Fase 3: Projeto detalhado: Criação e detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes, codificação dos SSCs, cálculo e desenho dos SSCs, especificação de tolerâncias, integração dos SSCs, desenhos detalhados, configuração do produto, decisão em fazer ou comprar SSCs, desenvolvimento de fornecedores, planejamento do processo de fabricação e montagem, projeto de recursos de fabricação, avaliação dos SSCs e configuração do produto, otimização do produto e processo, criação de material de suporte do produto, projeto da embalagem, planejamento do fim da vida do produto, teste e homologação do produto, monitoramento da viabilidade econômica e financeira.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Questionários; - Entrevistas; - <i>Checklists</i>; - Matrizes de mapeamento; - Estrutura de desdobramento do ciclo de vida; - Criatividade (TRIZ); - QFD; - Diagrama de Mudge; - Matriz de atributos; - Análise do valor; - Estruturas de funções (FAST); - Matriz de decisão; - Catálogos; - Matriz indicadora de módulos; - Matriz de interfaces; - DFX; - Normas; - CAD, CAE, CSM, CAM; - Confiabilidade;

2.3 Comunicação e organização do PDP

A comunicação efetiva entre os integrantes do processo de desenvolvimento de produtos, assim como a forma com que a empresa se organiza influi nesse desenvolvimento. Segundo Wheelwright e Clark (1992); Clark e Fujimoto (1991), o desenvolvimento de produtos em estruturas tradicionais departamentais tem sido um dos maiores desafios para o trabalho em equipe e também para as lideranças de projetos, inclusive nas mais maduras organizações. Os autores também reforçam que a integração interfuncional promovida pela forma de comunicação e estrutura organizacional das equipes de projeto torna-se uma arma poderosa no desenvolvimento de produtos onde a rapidez em direção ao mercado é um elemento competitivo chave.

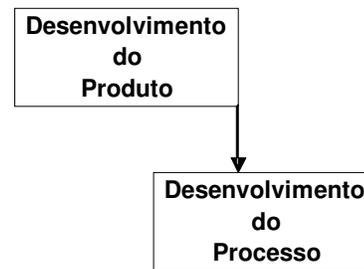
2.3.1 Comunicação

Wheelwright e Clark (1992) comentam que a integração aumenta com ações de gestão de recursos humanos como, por exemplo, reforçar a importância da integração através de atitudes e treinamentos em ferramentas e atividades interfuncionais. Também são importantes treinamentos técnicos que promovem o trabalho em equipe e estimulam a integração como QFD e DMFA, por exemplo. O padrão de comunicação estabelecido entre os elos da seqüência lógica do projeto, como por exemplo, *marketing* e engenharia de produto ou desenvolvimento de produto e desenvolvimento de processo, aumentam na medida em que avançam e produzem mais interações, conforme o modelo teórico mostrado na Figura 2.7.

1. COMUNICAÇÃO SEQUENCIAL



2. COMUNICAÇÃO SOBREPOSTA



3. COMUNICAÇÃO INTENSIVA



4. COMUNICAÇÃO SIMULTÂNEA

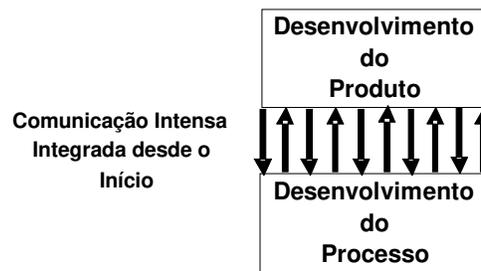


Figura 2.7 Modelo padrão de comunicação (Wheelwright e Clark, 1992)

No modelo teórico apresentado por Wheelwright e Clark (1992) estão descritos quatro padrões de comunicação: sequencial, sobreposta, intensiva e simultânea. A Comunicação sequencial é caracterizada por ser esparsa, unidirecional, longa e tardia. Essa comunicação é feita de um elo para outro através de um grande lote de informação acumulada e transmitida de uma só vez e numa só direção.

A Comunicação sobreposta apresenta um pequeno avanço em relação à anterior e antecipa o início do relacionamento e contatos preliminares dos elos. A sobreposição é gerada principalmente pela tentativa de reduzir o tempo de projeto. Esse processo traz a sensação dos grupos estarem trabalhando de forma simultânea, mas na verdade eles seguem trabalhando sem a informação completa, com ciclos de solução de problemas distintos e ainda em uma forma de comunicação unidirecional.

A Comunicação intensiva é mais freqüente, proporcionando uma integração mais efetiva através do início de um fluxo mais contínuo e bidirecional da informação. Nesse caso, ao invés das informações chegarem em um grande lote e de uma só vez, elas são disponibilizadas preliminarmente promovendo as interações e discussões dos riscos e potenciais restrições com mais antecedência, mas ainda assim existe uma defasagem temporal no início do trabalho.

A Comunicação simultânea é a mais rica, sendo sincronizada, bidirecional, intensa e em tempo real sendo elemento essencial para a resolução de problemas integradamente. Os elos estão efetivamente integrados desde o início, em discussões intensas, representando assim o grau máximo de contribuição para a integração interfuncional. Outro aspecto fundamental da integração interfuncional, como dito anteriormente, é a organização do trabalho em equipe.

2.3.2 Estrutura organizacional

As empresas e ou equipe de projeto podem ser organizadas de muitas maneiras diferentes. Segundo Syan (1994) e Chiusoli (1996), o processo de engenharia simultânea se adapta melhor a estrutura organizacional chamada matricial (Figura 2.8). Esse tipo de organização é a superposição ou cruzamento de dois tipos de estruturas: a permanente, caracterizada pelos grupos funcionais ou departamentos e a transitória, que existe apenas durante o período do projeto nos quais as pessoas estão alocadas. Essa formação organizacional matricial gera a formação dos grupos multifuncionais.

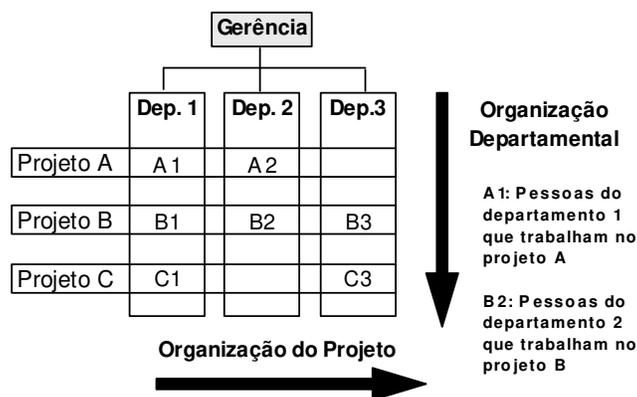


Figura 2.8 Organização matricial (Chiusoli, 1996)

Clark e Fujimoto (1991) e Wheelwright e Clark (1992) apresentam quatro categorias dominantes de organização para as equipes de desenvolvimento de produto: estrutura de projeto funcional tradicional, estrutura de projeto “peso leve”, estrutura de projeto “peso pesado”, estrutura de projeto “autônoma”. Todas essas categorias serão analisadas a seguir e estão representadas na Figura 2.9, onde os departamentos são representados pelos retângulos verticais (D1, D2, D3, etc), que são supervisionados por gerentes funcionais (GF). A linha cheia horizontal representa a influência do gerente de projeto (GP) na estrutura organizacional. Os retângulos pontilhados representam sua área de influência na integração interna do projeto. Os níveis operacionais, tais como engenheiros, profissionais de marketing, suprimentos e outros são os representantes departamentais assinalados pelo círculo cinza, que quando atua em um determinado projeto passa a ser o representante (R).

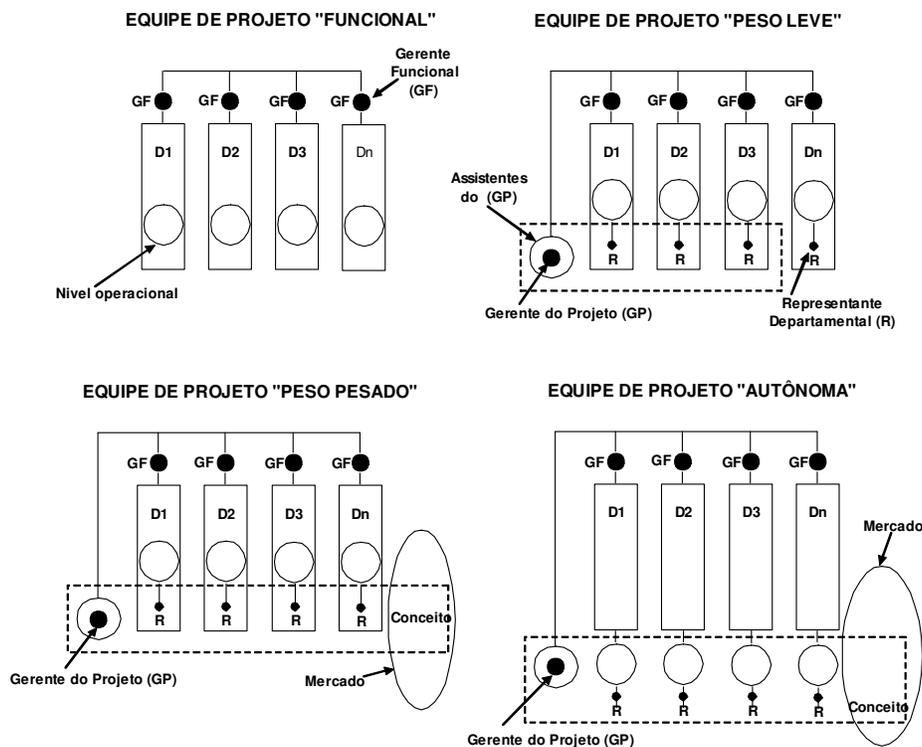


Figura 2.9 Modelos de organização para desenvolvimento de novos produtos (Clark e Fujimoto, 1991)

Estrutura de projeto “funcional tradicional” – Nessa estrutura os representantes de cada área funcional respondem para o seu respectivo gerente funcional, o qual é responsável pela alocação de recursos e pela coordenação dos esforços de desenvolvimento nos departamentos, tendo, portanto, uma fraca caracterização de equipe de projeto.

Estrutura de projeto “peso leve” – A organização básica é a funcional, mas o arranjo já contempla claramente a formação da equipe de projeto e também a caracterização de um gerente de produto (GP), que é responsável pela coordenação das atividades de desenvolvimento dos diversos representantes (R), que foram indicados pelos gerentes funcionais (GF). Os representantes continuam com suas atribuições nos departamentos de origem além da participação no projeto, sendo o elo de ligação dos representantes de um grupo com os outros grupos e também com o GP. Nesse caso, os GP são chamados de “peso leve”, pois os representantes ainda continuam reportando-se a um gerente funcional e participam dos projetos solicitados através desse GF, que por sua vez tem um status e poder maior que os GP. Nessa estrutura os GP não possuem responsabilidade em relação ao conceito do produto e nem contato direto com o mercado.

Estrutura de projeto “peso pesado” – Apesar da organização ainda ser funcional, nessa estrutura o GP é mais fortalecido quando comparado com as propostas anteriores, tendo mais responsabilidade e influência na organização. Ele tem completa responsabilidade sobre o projeto, desde o planejamento de recursos, passando pela integração externa com os clientes até o desenvolvimento do conceito e o lançamento do produto no mercado. Isso é mostrado pela interseção entre o mercado e zona de influência do GP (Figura 2.9). O GP também tem acesso direto e responsabilidade completa sobre os representantes das áreas funcionais, bem como todos os outros profissionais participantes do projeto. Normalmente o GP nesse tipo de estrutura é um gerente senior ou diretor com experiência e autonomia para as tomadas de decisões, às vezes até mais importante que as decisões tomadas pelos gerentes funcionais (Clark e Fujimoto, 1991).

Estrutura de projeto “autônoma” – Nessa estrutura Wheelwright e Clark (1992) mostram que a equipe de projeto se desliga totalmente da estrutura funcional e se dedica em tempo integral

ao desenvolvimento do produto, inclusive com alocação física conjunta dos profissionais. Característica essa não observada na estrutura “peso pesado”. Os profissionais reportam somente ao GP e ao fim do projeto reassumem as suas posições na estrutura organizacional. Nesse tipo de estrutura aumenta-se o foco no projeto, propiciando-se uma melhor coesão dos profissionais na busca dos resultados. A influência departamental é pequena. Há uma melhora na comunicação da equipe, mas em contra partida existe uma tendência de se buscar as melhores soluções locais sem uma avaliação do todo. Esse tipo de estrutura também conta com um gerente de projeto “peso pesado”, assim como no modelo apresentado anteriormente. A integração externa também é uma das vantagens desse tipo de equipe. E como o próprio nome diz, a autonomia é a grande característica desse tipo de estrutura. Autonomia para se criar seus próprios códigos de regras e conceitos de trabalho; planejamento das etapas do projeto, desde a concepção até a entrega; gerenciar os recursos humanos e tecnológicos; criar os métodos de avaliação e recompensa dos profissionais. Se por um lado é dada tanta autonomia, por outro há um elevado grau de cobrança pela alta administração quanto ao alcance do resultado final do projeto.

Outra categoria de estrutura é apontada por Clausing (1994) e Smith e Reinertsen (1998) chamada de estrutura de projeto “autônoma e independente”. Nessa estrutura os profissionais são membros exclusivos da equipe de projeto, não possuindo um lugar na estrutura funcional. Essa estrutura se assemelha a estrutura “autônoma”, mas sem a dissolução do time após a entrega do projeto. A equipe permanece a mesma para o próximo projeto, mantendo o produto como o foco central. Clark e Fujimoto (1991), Clausing (1994) e Smith e Reinertsen (1998) apontam as estruturas “peso pesado”, “autônoma” e “autônoma independente” como as que trazem os melhores resultados e podem ser utilizadas com sucesso em ambientes de engenharia simultânea.

2.4 Ferramentas para o desenvolvimento de produtos

Inúmeras ferramentas e métodos são utilizados de uma forma sistemática para o desenvolvimento de produtos. Selecionou-se alguma das principais no intuito de mostrar suas características e benefícios no processo de desenvolvimento de produto.

2.4.1 *Quality Function Deployment* - QFD (Desdobramento da Função Qualidade)

O Desdobramento da Função Qualidade, conhecido como QFD, teve o seu início em 1965 quando foi aplicado por Yoji Akao e Katsuyoshi Ishihara no campo do controle de qualidade (Mizuno e Akao, 1994). Entre 1977 e 1984, a metodologia foi aplicada na indústria automotiva em empresas como a Toyota.

O QFD é um processo, uma metodologia para planejar produtos e serviços. Os desejos e as necessidades do consumidor são convertidos em requisitos de desenvolvimento de produtos e serviços, novos ou melhorados. O QFD tem a sua origem no consumidor e ajuda a organização a aumentar seu foco no cliente. Somente através desse foco é que a organização começa a entender o que é necessário fazer para aumentar a satisfação do cliente (Ronald G. Day, 1993). Esta metodologia usa um formato de matriz para capturar o número de temas pertinentes e vitais ao processo de planejamento.

2.4.1.1 Abordagens do QFD

Clausing (1993) foi um dos pioneiros em trabalhar com QFD. Segundo ele, a aplicação do QFD no desenvolvimento de produtos é uma resposta aos principais problemas encontrados no processo tradicional de projeto (por exemplo: não escutar as sugestões e necessidades reais do consumidor, ter problemas na comunicação de informação entre projeto e produção, entre outros) Nos métodos tradicionais usados, as necessidades do cliente são recebidas pelo departamento de Marketing que transmitirá essa informação ao Planejamento de Produto. Como resultado, a necessidade inicial do cliente pode sofrer alterações, gerando um produto que não responde às expectativas do segmento de mercado ao qual está dirigido (Figura 2.10).

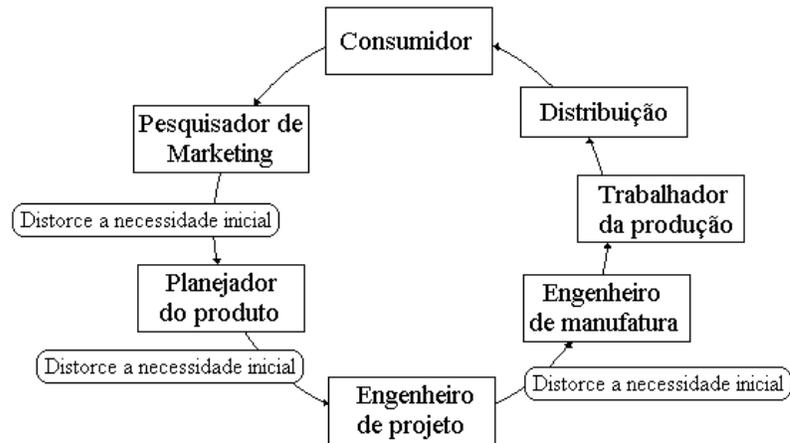


Figura 2.10 - Círculo de comunicação (Clausing,1993).

A abordagem de Akao contempla quatro perspectivas distintas de desdobramento: desdobramento da qualidade, da tecnologia, da contabilidade e desdobramento do custo. Neste modelo se sugere o uso de técnicas como os Métodos Taguchi, FMEA, Engenharia e Análise de Valor, Engenharia de Gargalos, entre outras para ter um sistema estruturado que permita o desenvolvimento de produtos e serviços que estejam diretamente relacionados com as necessidades do cliente (Mizuno, 1994).

Bob King reorganiza o sistema de Akao agrupando todas as matrizes em uma única matriz denominada Matriz das Matrizes e esquematiza os desdobramentos de maneira mais ordenada incluindo o conceito do Método de Seleção de Stuart Pugh, que assegura a introdução da inovação no processo do QFD. Neste modelo são utilizadas 30 matrizes (Deschamps, 1996).

Macabe foi o primeiro em apresentar a abordagem de quatro matrizes que direcionam o desenvolvimento do produto ou serviço, desde os requisitos dos clientes até a fabricação.

- Matriz 1: Requisitos do Cliente - Requisitos de Projeto
- Matriz 2: Requisitos de Projeto - Características das Partes
- Matriz 3: Características das Partes - Operações de Fabricação
- Matriz 4: Operações de Fabricação - Requisitos de Produção

2.4.1.2 Partes da matriz QFD

A matriz QFD tem duas partes principais. A parte horizontal da matriz contém informação relativa ao cliente. A parte vertical da matriz contém informação técnica que responde aos *inputs* do cliente. (Figura 2.11)

A parte do cliente. O cliente expressa os seus desejos e necessidades na sua própria linguagem. Cabe à empresa adequar as palavras do cliente a uma linguagem que possa ser utilizada internamente para descrever e medir cada *input* do cliente. Em outras palavras, a voz do cliente é o dado de entrada básico para iniciar o QFD.

A Parte técnica. Uma vez que a parte do cliente tem sido determinada na matriz, o primeiro passo para desenvolver a parte técnica consiste em determinar como a organização vai responder a cada voz. Os requisitos técnicos ou de desenho para descrever e medir cada voz do cliente são colocados no topo da matriz. Os requisitos técnicos representam o como a organização responderá às necessidades e desejos do cliente. No centro da matriz onde os requisitos do cliente e os requisitos técnicos se cruzam, abre-se uma oportunidade para se registrar a intensidade dessa relação. Cada um dos requerimentos técnicos pode ser examinado no laboratório para depois prover a base que permite avaliar o rendimento da empresa *versus* competidores. Esses resultados são colocados na seção da matriz titulada “avaliações técnicas competitivas”.

A informação na matriz poder se examinada pela equipe QFD e podem ser definidas metas para cada requerimento técnico. Isso representa o “quanto”. Os itens o “que” e “como”, as “relações” e o “quanto” são as quatro partes básicas da matriz QFD.

No triângulo do topo da matriz se coloca as avaliações realizadas ao comparar cada requisito técnico com os outros requisitos. A forma triangular desta matriz de correlação dá à matriz QFD a aparência de um teto. É por isso que a matriz é também conhecida como a “casa da qualidade” (Ronald G. Day, 1993).

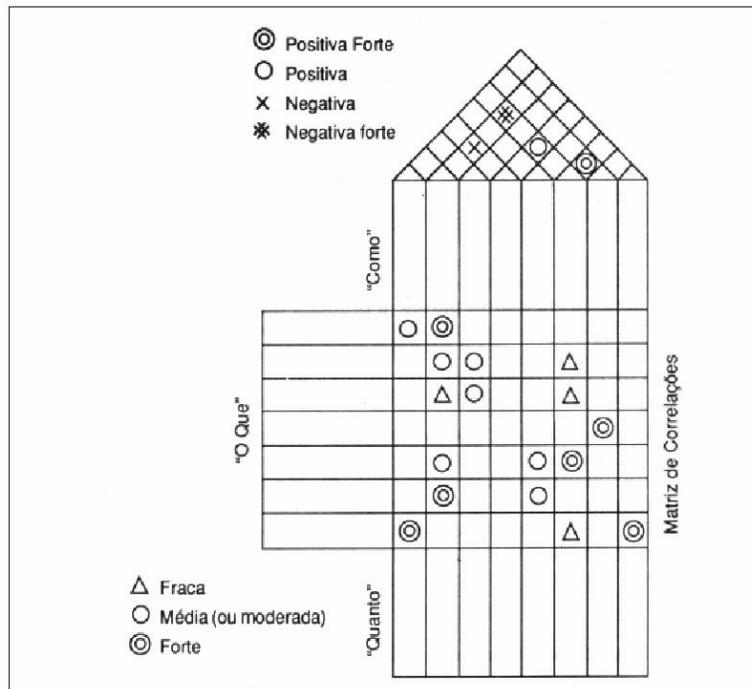


Figura 2.11 A Casa da Qualidade

O QFD é dividido em quatro fases:

Fase 1- Planejamento do Produto. O objetivo desta fase é identificar as necessidades do cliente (através da Voz do Consumidor - VOC) e as oportunidades competitivas assim como também determinar os requerimentos globais de desempenho do produto e as metas para os requisitos do produto.

Fase 2- Desdobramento da Concepção. Seleciona-se o melhor conceito de projeto e se identificam as partes críticas e as características críticas das partes definindo as suas metas.

Fase 3- Planejamento do Processo. Aqui se determina a melhor combinação processo/desenho e se identificam os parâmetros críticos do processo e as suas metas.

Fase 4 - Planejamento da Produção. O objetivo é traduzir as determinações das fases anteriores em termos de atividades operacionais, de forma que todos os envolvidos entendam o que precisa ser controlado para satisfazer os itens chaves da VOC.

Ao utilizar o QFD a organização lançará ao mercado melhores produtos, já que estes foram criados com base nos desejos e necessidades manifestadas pelo próprio cliente, o que aumenta a oportunidade dos produtos cumprirem e até superarem as expectativas do consumidor. Se a metodologia é utilizada corretamente, pode-se obter diminuições importantes em custos e no tempo de desenvolvimento do produto, aumentando a qualidade e a satisfação do cliente.

2.4.2 Projeto axiomático

Suh (1995) delimita o projeto de sistemas através de axiomas, destacando principalmente a independência dos requisitos funcionais. O projeto axiomático proposto por Suh tem como conceito básico o fato de que as atividades de projetos geralmente seguem os seguintes passos:

- 1) Entender as necessidades do cliente;
- 2) Definir o problema que deve resolver para satisfazer essas necessidades;
- 3) Selecionar e conceituar a solução através de sínteses;
- 4) Analisar e otimizar a solução proposta;
- 5) Conferir se o resultado satisfaz as necessidades do cliente.

O projeto axiomático consiste numa interface entre o que se quer atingir e o como atingir. Depois que foram identificadas e entendidas, as necessidades dos clientes se transformam em requisitos funcionais (FRs) que as descrevem e posteriormente se identificam os parâmetros de projeto (DPs), que são o *como* atingir essas necessidades.

O projeto axiomático (DA) possui quatro domínios. (Figura 2.12)

1. *Domínio do cliente* - caracterizado pelas necessidades dos clientes (CAs);
2. *Domínio funcional* - necessidades dos clientes traduzidas em requisitos funcionais (FRs);
3. *Domínio físico* - identificação dos parâmetros de projeto (DPs) para satisfazer as FRs especificadas;
4. *Domínio do processo* - especificação das variáveis que podem produzir os parâmetros (PVs).

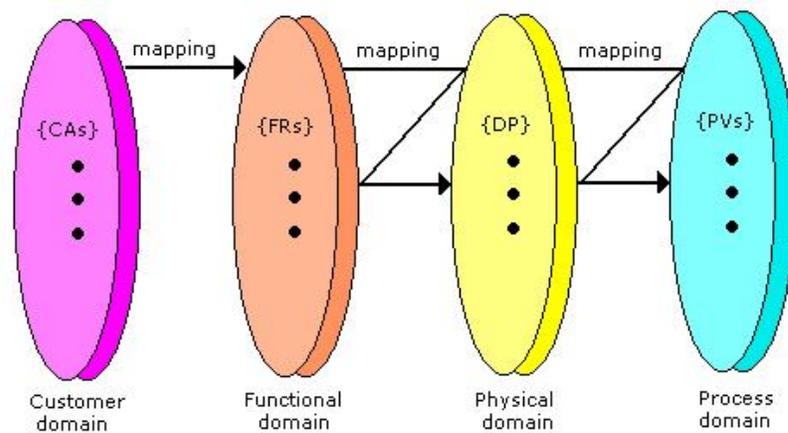


Figura 2.12 - Domínios do Projeto Axiomático (Suh, 1995)

As necessidades dos clientes devem ser traduzidas em requisitos de projetos (FRs). Durante esse processo deve-se tomar as decisões corretas baseadas no Axioma da Independência. Quando existem vários conceitos que satisfazem o Axioma da Independência, o Axioma da Informação deve ser usado para a escolha da melhor solução.

Axioma da Independência (Axioma 1): Mantém a independência dos requisitos funcionais (FRs). Num desenho aceitável, os DPs e os FRs estão relacionados de forma tal que um DP específico pode ser ajustado para satisfazer seu FR correspondente sem afetar os outros FRs.

Axioma da Informação (Axioma 2): Minimiza a informação contida no projeto. Dentre os vários projetos que satisfazem o axioma 1, o melhor tem o mínimo de informação contida, o que significa a máxima probabilidade de sucesso.

Como benefício, o DA permite o desenvolvimento de sistemas complexos e produtos rápida e sistematicamente sem depender de longos e custosos ciclos de projeto – construção – teste. Além disso, permite estruturar e organizar o processo de projeto aumentando a habilidade dos projetistas e engenheiros para que possam ser inovadores, facilitando o trabalho em equipe. O DA tem se convertido em uma guia para projetos robustos, já que fornece um caminho sistemático para satisfazer vários requerimentos funcionais criando ao mesmo tempo sistemas integrados.

2.4.3 Abordagem de Pugh

O método proposto por Pugh (1990) foi baseado em sua própria experiência prática como projetista e gerente de projetos. O objetivo era ter uma visão total da atividade de projeto que fosse melhor que as visões tecnológicas parciais.

O seu modelo foi conhecido como “Total Design” e abrange seis etapas que são aplicáveis a qualquer tipo de projeto. Cada etapa é representada por um cilindro que significa o conjunto específico de conhecimentos empregados e compostos por diversas visões tecnológicas parciais. As etapas são:

- 1) Entendimento das necessidades do cliente;
- 2) Especificação: Utilizar ferramentas (Utilização do método QFD);
- 3) Fase Conceitual do projeto;
- 4) Detalhamento do projeto (Utilização do método Taguchi);
- 5) Fabricação;
- 6) Disponibilização para o mercado.

A Matriz Pugh (Figura 2.13) é uma matriz que ajuda a determinar quais itens ou potenciais soluções são mais importantes ou melhores que outras. Geralmente é feita depois de se ter capturado a Voz do Cliente (VOC) e antes do projeto. É uma ferramenta usada para facilitar a disciplina, um processo para geração e seleção de conceitos. Vários conceitos são avaliados de acordo com as suas características positivas e negativas. Essa matriz permite comparar diferentes conceitos; criar conceitos alternativos fortes; atingir um conceito ótimo que pode ser híbrido ou variante do melhor de outros conceitos.

Matriz de decisão: Longo tempo de espera					
Critério Problemas	Comportamento do consumidor 5	Fácil de resolver 2	Efeito em outros sistemas 1	Velocidade para resolver 2	
Consumidor esperando o anfitrião	Alta - Nada que o consumidor possa fazer 3x5=15	Média - Envolve o anfitrião 2x2=4	Alta - Conduzir a um inicial mal atendimento 3x1=3	Alta - Observação mostra mesas disponíveis 3x2=6	28
Consumidor esperando pela garçon	Média - O consumidor pode comer alguma entrada 2x5=10	Média - Envolve o anfitrião e o garçon 2x2=4	Média - O consumidor ainda se sente não atendido 2x1=2	Baixo - Garçons envolvidos em muitas atividades 1x2=2	18
Consumidor esperando por comida	Média - O ambiente é agradável 2x5=10	Baixo - Envolve o garçon e a cozinha 1x2=2	Média - Pode resultar em viagens extras para a cozinha 2x1=2	Baixa - A cozinha é muito apertada 1x2=2	16
Consumidor esperando pela conta	Low - O consumidor consegue relaxar tomando um café 1x5=5	Média - Envolve o garçon e o anfitrião 2x2=4	Média - Pode-se notar consumidores esperando por mesa 2x1=2	Baixa - Sistema computadorizado de conta é necessário 1x2=2	13

Figura 2.13 - Exemplo de Matriz Pugh (Nancy R. Tague's *The Quality Toolbox*, 2004)

2.4.4 Análise do Tipo e Efeito de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis*) - FMEA

A Análise do Tipo e Efeito de Falha – FMEA - foi criada pela indústria aeroespacial em 1960. A primeira empresa a usá-la foi a Ford em 1972. A FMEA é uma ferramenta de planejamento de qualidade que, de forma sistemática e analítica, permite identificar e eliminar os possíveis problemas potenciais que estão associados com o projeto e a fabricação de um produto. Este é o objetivo desta metodologia, analisar e detectar falhas potenciais antes que se produza uma peça e/ou produto. Com a sua utilização, o que se procura é diminuir as chances do produto ou processo falhar, aumentando assim a sua confiabilidade¹.

Para a aplicação da FMEA se prepara um documento que, de forma sistemática, reflete os pensamentos gerados pelas pessoas diretamente envolvidas no projeto ou no processo estudado. Este documento serve para determinar as falhas potenciais e quais causas dessas falhas devem ser eliminadas com maior prioridade. Também permite controlar os avanços realizados para eliminá-las. A norma QS 9000 menciona o FMEA como um dos documentos necessários para um fornecedor submeter uma peça/produto à aprovação da montadora.

¹ (Campos, Siqueira. *DFSS (Design For Six Sigma)*. <http://www.siqueiracampos.com> Acesso em: 10 jun. 2007).

2.4.4.1 Tipos de FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*

Existem dois tipos de análises FMEA: a de processo e a de produto, também conhecida como FMEA de projeto. O objetivo da FMEA de processo é identificar e evitar falhas no planejamento e execução do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto, enquanto que o objetivo da FMEA de produto é identificar e evitar as falhas que poderiam ocorrer com o produto dentro dos limites das especificações do projeto.

Os passos para a construção da FMEA são os seguintes:

- 1) Determinar a função do processo/produto.
- 2) Identificar as possíveis falhas.
- 3) Determinar o possível efeito dessas falhas (avaliar a severidade conforme as consequências que a falha pode produzir sobre o cliente ou outros processos).
- 4) Identificar as causas mais prováveis para cada falha.
- 5) Avaliar a ocorrência de cada falha (ponderação).
- 6) Avaliar os controles atuais para cada causa de falha, estabelecendo uma medida da probabilidade de detectar a falha antes que atinja o cliente.
- 7) Assinalar prioridades.
- 8) Recomendar ações para resolver o problema e assinalar responsabilidades.
- 9) Tomar notas das ações praticadas e medir os seus efeitos.

Como benefício o FMEA ajuda a manter a imagem corporativa através do aumento da satisfação do cliente/consumidor com os produtos. Esta ferramenta aumenta a confiabilidade do produto e do processo, reduzindo os custos de desenvolvimento e permitindo uma melhora contínua baseada em dados reais, ordenados e verificáveis.

As pessoas envolvidas no processo ou produto trabalham em equipe e passam a ter um melhor conhecimento dos problemas, graças à informação levantada através do FMEA, criando ao mesmo tempo um registro histórico que pode ser utilizado como base para análises futuras.

2.4.5 Teoria da resolução de problemas inventivos - TRIZ

A Teoria da Resolução dos Problemas Inventivos – TRIZ foi desenvolvida pelo engenheiro russo Henrich Altshuller, entre 1946 e 1985. Altshuller estudou milhares de patentes e descobriu que há leis objetivas na evolução de sistemas técnicos e, portanto, essa evolução não é um processo ao acaso. Foi assim que ele apresentou oito padrões de evolução de sistemas técnicos, os quais podem ser usados para desenvolver sistemas e resolver problemas.

Altshuller publicou o seu primeiro artigo sobre TRIZ em 1956. Entre 1961 e 1979 escreveu os livros básicos, descrevendo o método em forma ordenada e introduzindo o nome TRIZ no texto “A criatividade como uma ciência exata” (Isoba, 2007)². O TRIZ é um método sistemático para incrementar a criatividade. Surpreende pela rapidez e qualidade dos resultados obtidos, sendo o único método com uma extensa quantidade de aplicações nos processos, produtos e serviços. Apesar do método ter sido usado em maior porcentagem para a resolução de problemas técnicos, hoje em dia a TRIZ é utilizada também em atividades administrativas e centros educativos.

Os principais métodos e ferramentas da TRIZ são: Princípios Inventivos e Matriz de Contradições; Análise C-S (Campo-Substância); Método da Separação; Método das Partículas; Efeitos Físicos, Químicos, Geométricos e Biológicos; Idealidade; Análise Funcional e o ARIZ (Algoritmo da Resolução de Problemas Inventivos).

2.4.5.1 Premissas do TRIZ

Existem dois tipos de problemas que o ser humano deve enfrentar: problemas com soluções previamente conhecidas e problemas com soluções desconhecidas. Aqueles com soluções conhecidas usualmente podem ser resolvidos com informações obtidas de textos técnicos ou pela

² Isoba, Oscar. *TRIZ o la Teoría de Resolución de los Problemas Inventivos*:
<http://www.gestiopolis.com/innovacion-emprendimiento/teoria-de-resolucion-de-los-problemas-inventivos-triz.htm>
Acesso em: 26 nov. 2007.

consulta a especialistas. Estas soluções seguem um padrão de resolução de problemas. Para problemas com soluções desconhecidas é preciso mais que experiência e conhecimento. Se necessita a perspicácia, a criatividade e a inovação.

2.4.5.2 Princípios inventivos e matriz de contradições

O TRIZ se fundamenta em parâmetros de engenharia e princípios inventivos. Os parâmetros de engenharia são a generalização das grandezas envolvidas em problemas técnicos que devem ser maximizadas, minimizadas, ou mantidas, dependendo do problema. Os princípios inventivos são as sugestões das soluções possíveis para um dado problema.

O processo consiste em se fazer uma análise do sistema técnico para escolher os parâmetros que devem ser melhorados, verificando se eles são contraditórios ou não. Se não for encontrada nenhuma contradição (técnica ou física), os princípios inventivos podem ser usados livremente visando o melhoramento de cada um dos parâmetros. Mas se existirem contradições, deve-se agrupar os parâmetros contraditórios dois a dois. Depois disso se revisam na matriz de contradições os princípios inventivos mais adequados. Nas colunas estão os parâmetros de engenharia a melhorar, e nas linhas, os parâmetros que são prejudicados com a melhora dos parâmetros das colunas. Nesse cruzamento da linha com a coluna estão os princípios inventivos utilizados anteriormente para a solução da contradição por ordem de frequência de uso. Finalmente, quando os princípios inventivos são identificados, procura-se uma solução.

Como benefício o TRIZ permite obter inovação de maneira sistêmica e ajuda aos projetistas e engenheiros da qualidade a resolver os conflitos técnicos ao aplicar princípios de invenção padronizados. Esta metodologia conduz ao conhecimento científico e técnico que são necessários para resolver qualquer problema de engenharia e tem se convertido numa ferramenta eficaz para a previsão tecnológica. A empresa pode se beneficiar do uso das soluções obtidas com o método convertendo-as em novas patentes.

2.4.6 Design for Six Sigma - DFSS

Em 1980, o engenheiro Bill Smith, da divisão de comunicações da Motorola, teve a possibilidade de demonstrar como o processo de produção da Motorola poderia ser otimizado. O objetivo era resolver a alta porcentagem de reclamações relativas a falhas do produto dentro do período de garantia. Em vez de usar os métodos de qualidade tradicionais, ele mediu o número de defeitos por milhão de oportunidades no processo. Esse método foi padronizado e denominado Seis Sigma. Depois da Motorola, várias outras empresas o aplicaram, como a Allied Signal e a General Electric, que mundialmente se transformou em uma das empresas líderes em programas Seis Sigma.

Frederick Gauss foi quem desenvolveu o conceito matemático que é usado no processo Seis Sigma e a sua curva de distribuição normal descreve como está distribuída a probabilidade de variações no processo causarem falhas. A letra grega “sigma” (σ) é tradicionalmente usada para representar o desvio padrão, que é o parâmetro de dispersão em torno da média de uma distribuição normal. O “nível sigma” de um processo é a distância, expressa em unidades de desvio padrão, entre a média e os limites de tolerância especificados, assumindo que a média esteja centrada no valor nominal.

Seis Sigma é uma iniciativa liderada pela alta direção, cujo objetivo é melhorar radicalmente o desempenho dos processos empresariais, com foco em reduzir a variação de parâmetros chave para a satisfação dos clientes (Moura, 2002). A iniciativa de Seis Sigma tem se popularizado devido ao seu enfoque frente às iniciativas de TQM, que geralmente precisavam de foco. A implantação desta ferramenta se inicia pelo levantamento da satisfação do cliente, suas necessidades e requisitos, que associados aos objetivos estratégicos do negócio, definirão os projetos prioritários. Com base nestes dados serão estabelecidas as Características Críticas para a Qualidade (CTQs) em cada processo e se começará a aplicação com o método DMAIC³.

³ Campos, Siqueira. *DFSS (Design For Six Sigma)*. <http://www.siqueiracampos.com> Acesso em: 10 jun. 2007.

O DMAIC (Figura 2.14) é uma abordagem estruturada que promove o uso integrado de vários métodos e ferramentas em projetos de melhoramento cujo objetivo é reduzir drasticamente a variabilidade do desempenho de atributos relevantes para a satisfação dos clientes. É a espinha dorsal do Seis Sigma para melhoramento contínuo de processos existentes. As fases do DMAIC são (Moura, 2002):

- *Define (Definir)* → Na primeira fase é definido o foco de melhoria que deve ser de alta relevância para o cliente e os objetivos da empresa. Especificam-se os principais requerimentos do cliente que são relevantes para o tema selecionado que correspondem às características críticas denominadas CTS (Critical To Satisfaction). Com base nesses dados, é definido o objetivo de melhoria.
- *Measure (Medir)* → Realiza-se um mapeamento do processo, visualizando em detalhe os fornecedores, as entradas, as atividades, as saídas e os clientes. Definem-se quais variáveis serão medidas, como serão coletados os dados e o método de medição. Através de ferramentas estatísticas se mede o desempenho do processo para estimar-se a variabilidade, verificando se o processo é suficientemente capaz.
- *Analyze (Analisar)* → Identificam-se causas potenciais e a equipe explora e pesquisa as relações de causa e efeito existentes. Realizam-se experimentos e medições que permitem refutar ou confirmar as hipóteses apresentadas. Logo, a equipe prioriza e/ou quantifica o efeito das causas sobre a variável, selecionando as que mais contribuem na redução da variabilidade.
- *Improve (Melhorar)* → Nesta fase geram-se soluções conceituais para o tratamento das causas selecionadas e se identificam as variáveis de maior impacto sobre a variabilidade para ajustá-las no seu ponto ótimo explorando oportunidades de simplificação e redução de custos no processo. A solução selecionada é revisada e se realizam testes piloto para avaliar a nova capacidade do processo.
- *Control (Controlar)* → Realiza-se um plano de implementação da solução incorporando as melhorias obtidas ao processo, revisando e atualizando a padronização e a documentação do processo e treinando o pessoal envolvido nas mudanças.

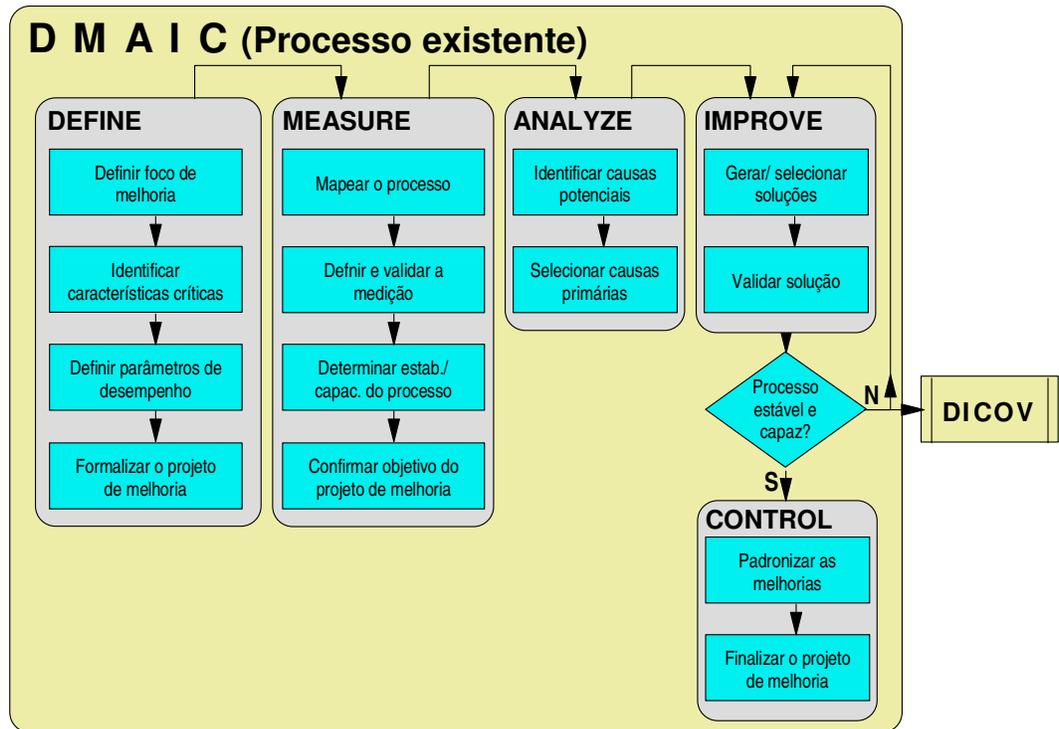


Figura 2.14 - Fases do DMAIC (Moura, 2002)

Mais recentemente, várias empresas têm reconhecido que para assegurar a competitividade não é suficiente a redução da variabilidade proporcionada pelo Seis Sigma na manufatura. É necessária uma atuação mais preventiva no ciclo de desenvolvimento do produto. Tal constatação deu origem ao “Design for Six Sigma” (DFSS) que é a aplicação dos princípios de Seis Sigma para desenvolvimento de novos produtos e processos. Se cada vez que se desenvolver um novo produto for uma situação distinta, ao melhorar um processo existente, se faz necessário adotar uma metodologia distinta do DMAIC. Porém, diferentemente do que acontece com o DMAIC, ainda não existe um método universalmente aceito para o DFSS. Enquanto algumas empresas praticam o DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify), outras adotam o IDDOV (Identify opportunity, Define requirements, Develop concept, Optimize design, Verify and launch) ou praticam o DIDOV (Define, Innovate, Design, Optimize, Validate) e há as que preferem o DICOV (Define, Innovate, Configure, Optimize, Validate).

A seguir uma breve descrição do DMADV:

- *Define (Definir)* → Identificar a meta do projeto e os requerimentos (internos e externos) do cliente.
- *Measure (Medir)* → Medir e determinar as necessidades e especificações do cliente; *benchmarking* dos competidores e da indústria.
- *Analyze (Analisar)* → Avaliar as opções do processo para satisfazer as necessidades do cliente.
- *Design (Projetar)* → Detalhar o processo para satisfazer as necessidades do cliente.
- *Verify (Verificar)* → Analisar o rendimento do projeto e capacidade para satisfazer as necessidades do cliente.

Ao longo de cada etapa da metodologia adotada para o DFSS, as empresas usam diversas ferramentas já de longa data conhecidas e aplicadas na indústria, tais como QFD, FMEA, DOE etc. Entretanto, um dos méritos do DFSS é introduzir uma metodologia integradora das diferentes ferramentas analíticas, apoiando de maneira mais eficiente o processo de desenvolvimento do produto, pois permite que os profissionais apliquem seu conhecimento com maior eficácia e realizem suas decisões de projeto com maior exatidão.

O DFSS é uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de produtos e processos adaptados às necessidades do cliente. Ela ajuda a reduzir o tempo de lançamento de produtos reduzindo custos, aumentando a qualidade dos produtos e a satisfação do cliente.

2.4.7 Projeto robusto - método Taguchi para a otimização de parâmetros

O Dr. Taguchi é reconhecido como um dos mais expressivos líderes do movimento mundial pela Qualidade, tendo iniciado o desenvolvimento do Projeto Robusto há mais de 30 anos, no Japão. Projeto Robusto é uma metodologia desenvolvida por ele, cujo fim é otimizar economicamente o desempenho funcional de um produto ou processo, tornando-o minimamente sensível (robusto) aos fatores que causam variabilidade na produção e no uso, reduzindo ao mesmo tempo o custo de manufatura (Moura, 2000).

A abordagem tradicional de engenharia para desenvolvimento de produtos depende tipicamente de vários “loops” do ciclo “projeto-protótipo-teste” e se concentra na análise de falhas e resolução pontual dos problemas que surgem, usualmente tentando isolar e estudar uma causa de cada vez ou, alternativamente, investigando apenas um número reduzido de fatores cada vez. Fazer isso tem um alto custo, consome muito tempo e nem sempre os resultados obtidos nos experimentos são reproduzidos durante a fabricação em alta escala e no campo.

O método Taguchi de Projeto Robusto consiste em uma abordagem de engenharia para realizar experimentos. Apresenta diversas características distintas da abordagem estatística tradicional para Delineamento de Experimentos (DOE, Design of Experiments): grande ênfase em medir e otimizar a função básica do produto, buscando aumentar a eficiência na transformação de energia realizada pelo mesmo, ao invés de medir sintomas de variação da função; separação entre fatores de controle e fatores de ruído, com base no custo para controle dos mesmos; experimentos com maior quantidade de fatores de controle em três níveis (tipicamente de 8 a 13 fatores simultaneamente); uso dos fatores de ruído para “forçar” a variabilidade da resposta; uso de um *layout* experimental “cruzado”, a fim de detectar interações entre o conjunto dos fatores de controle e os fatores de ruído (tais interações permitem identificar o nível robusto de cada fator de controle); uso da relação sinal/ruído como indicador numérico da robustez; uso de arranjos ortogonais altamente fracionados, com ênfase no estudo de efeitos principais dos fatores de controle sobre a relação sinal/ruído e a resposta média.

Segundo Taguchi, a qualidade é a mínima perda que um produto causa à sociedade após ter sido expedido, e é medida pelo desvio que uma característica funcional apresenta em relação ao valor esperado da mesma. Os fatores de ruído causam esses desvios, trazendo como resultado perdas monetárias percebidas pelos clientes. Tais perdas podem ser avaliadas através da "função perda quadrática" proposta por Taguchi. (Figura 2.15)

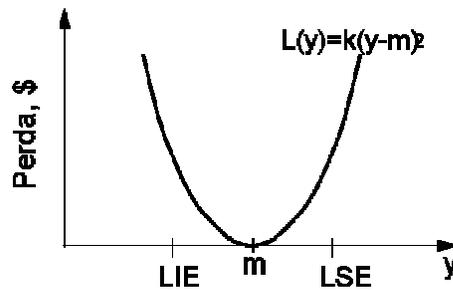


Figura 2.15 - A função perda de Taguchi

A maximização da robustez (medida pela relação sinal/ruído, em decibéis) equivale a minimizar a “função perda para a sociedade”. Implementar a robustez no projeto significa encontrar a melhor combinação dos fatores de controle que torne a função do produto/processo estável na presença dos fatores de ruído. Para medir a robustez, usa-se a relação sinal/ruído que é um número diretamente proporcional ao “grau de idealidade” na transformação de energia realizada pelo produto ao executar sua função básica para o cliente.

$$S/N = \frac{\text{Energia Útil (energia transformada na função requerida)}}{\text{Energia Perdida (energia transformada em outras coisas)}}$$

A relação S/N é medida em uma escala logarítmica em decibéis (dB). A definição original desta medida é:

$$dB = 10 \log \frac{\text{Potência do sinal}}{\text{Potência do ruído}}$$

A partir deste conceito tradicionalmente usado na Engenharia de Comunicações, Taguchi desenvolveu seis fórmulas básicas para a relação sinal/ruído, de acordo com cada situação experimental típica. A abordagem de Taguchi aumenta consideravelmente a eficácia dos experimentos e sua reprodutibilidade final. Como resultado, os produtos cujos parâmetros de projeto tenham sido “robustecidos” apresentam menor variabilidade funcional, mesmo quando submetidos a uma grande variedade de condições no ambiente de uso (Moura, 2000). E como benefício do projeto robusto destaca-se o aumento do *know-how* tecnológico e a eficácia da equipe de desenvolvimento, a redução da variabilidade funcional dos produtos e processos e a redução do custo e tempo de desenvolvimento.

2.5 Sumário

No presente capítulo, revisou-se parte da vasta literatura sobre o processo de desenvolvimento de produtos. Focou-se fundamentalmente nas metodologias, formas de organização e suas principais ferramentas. Assim construiu-se uma visão ampla dos elementos e características mais comuns dos atuais processos de desenvolvimento de produtos nas empresas. Sobre a literatura referente ao TP (*Thinking Process*), uma ferramenta que permite identificar e tratar as restrições fundamentais que afetam os fatores de desempenho de sistemas e processos organizacionais e técnicos, optamos por abordá-la no capítulo seguinte, dado a sua relevância dentro do presente trabalho. Em linhas gerais, o TP é uma abordagem sistêmica através da aplicação dos fundamentos do processo de raciocínio lógico (*Thinking Process*) da metodologia da teoria das restrições (*Theory of Constraints*), criada por Goldratt (1990).

Capítulo 3

A Teoria das Restrições

O presente capítulo revisa a literatura da Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), com ênfase no Processo de Raciocínio Lógico (TP – *Thinking Process*). Discorre sobre o seu surgimento, apresenta a seqüência lógica de seus “passos”, as representações gráficas típicas de suas árvores e diagramas e suas simbologias características. Esse detalhamento é essencial para se compreender a ferramenta e saber como aplicá-la na prática, conforme veremos nos capítulos 4 e 5 do presente trabalho.

3.1 A Teoria das restrições, uma visão geral

Criada pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt na década de 80, a Teoria das Restrições fundamentou-se inicialmente em programas de computação com o objetivo de desenvolver e implementar um sistema de programação de produção com capacidade restrita em resolver problemas de chão de fábrica. Este sistema ficou conhecido como OPT (*Optimized Production*

Technology) e sua aplicação tornou-se para muitos sinônimo de “Teoria das Restrições”. Entretanto, ficou constatado na prática que o simples uso de um software não iria garantir à empresa um processo auto-sustentável de melhoria contínua. Era necessário, antes de mais nada, que fossem quebrados certos paradigmas que regem as organizações, mudando a forma de agir e pensar das pessoas (Goldratt e Fox, 1989).

Em síntese, a Teoria das Restrições é uma metodologia de abordagem sistêmica, especificamente concebida para identificar as poucas e fundamentais restrições que limitam a evolução de um sistema organizacional e técnico complexo, ou problemas raízes (restrições) por trás de qualquer sintoma indesejado de um sistema. Além da identificação das restrições a ferramenta também permite tratá-las através da geração e comprovação de novas idéias que solucionam o conflito gerador da restrição. Ao falar de restrição podemos dizer que é qualquer elemento que impede que o sistema atinja sua meta de ganhar mais dinheiro agora e no futuro. (Srikanth e Umble, 1990).

Segundo Cox III e Spencer (2002), o gerenciamento das restrições permite planejar e controlar a produção e a venda de produtos e serviços. Esta metodologia reconhece o poderoso papel que a restrição (recurso limitante) desempenha na determinação da saída do sistema de produção como um todo. Assim, os gerentes podem perceber melhorias imediatas no resultado de suas organizações e, através de uma abordagem focalizada de aprimoramento contínuo, podem planejar para suprir também as necessidades futuras.

A primeira experiência bem sucedida de abordar o que foi depois chamado de “o Processo de Raciocínio da Teoria das Restrições” se deu através da publicação de “A Meta” (Goldratt e Cox, 1995), um livro técnico escrito de maneira romanceada por Goldratt juntamente com Jeff Cox. Goldratt interessou-se cada vez mais no estudo da TOC e suas ferramentas e fundou a Avraham Y. Goldratt Institute em 1986, com o propósito de gerar e disseminar conhecimento através dos Processos de Raciocínio Lógico.

3.2 As premissas da teoria das restrições

Esta teoria fundamenta-se em algumas premissas básicas, ou axiomas, discutidas a seguir (Moura e Dettmer, 2000).

Premissa básica 1 – O Elo Mais Fraco. Os sistemas são análogos a correntes (Figura 3.1).

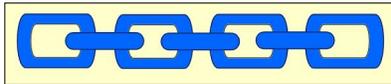


Figura 3.1 Analogia da corrente (Moura & Dettmer, 2000)

Uma corrente é um sistema cujos componentes são seus elos individuais. O desempenho global da corrente sempre estará limitado ao nível de solicitação que pode suportar seu elo mais fraco. Da mesma maneira, num dado momento, o desempenho de uma organização (empresa, divisão, unidade de negócios ou área funcional) estará limitado por algumas poucas restrições. A premissa 1 tem algumas derivações práticas importantes: esforços de melhoria realizados para reforçar qualquer elo que não seja o elo mais fraco (restrição) não resultarão em nenhum benefício para o desempenho global da corrente. Por outro lado, uma vez identificada a restrição, qualquer esforço de melhoria realizado sobre o elo mais fraco será imediatamente percebido como uma melhoria global do sistema. Entretanto, tal melhoria é percebida somente até o nível limitado pelo próximo elo mais fraco. Assim as restrições nunca podem ser eliminadas do sistema; elas simplesmente mudam de lugar. Portanto, se queremos manter o sistema em constante evolução, torna-se necessário implementar um processo contínuo de melhoria, tratando sequencialmente as restrições sistêmicas.

Premissa básica 2 – Meta e Condições Necessárias. Todo sistema existe para cumprir uma meta (missão) fundamental, a qual pode ser expressa numa frase simples, inteligível para todos os integrantes do sistema. Por sua vez, para que a meta possa ser atingida, deve ser satisfeito um dado conjunto de condições necessárias. Uma condição é dita necessária se sua falta

inviabiliza o alcance consistente da meta (o que é representado pela elipse da Figura 3.2, indicando que todas as condições necessárias devem estar presentes simultaneamente).

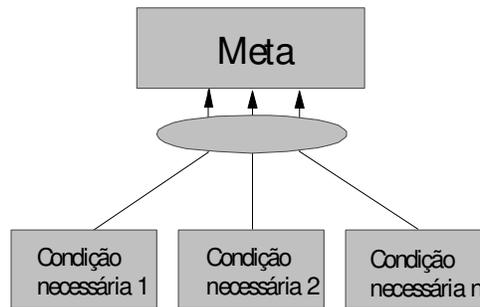


Figura 3.2 Meta e condições necessárias (Moura & Dettmer, 2000)

É importante identificar claramente tais condições necessárias, não apenas para viabilizar a meta, como também para usá-las como critério para identificar os problemas verdadeiramente relevantes. Se um sintoma afeta diretamente ou compromete uma condição necessária, então ele pode ser considerado como um problema do sistema.

Premissa básica 3 – Sub-otimização. “A soma dos ótimos locais não implica o ótimo do sistema.” Em outras palavras, os intentos de “otimizar” o desempenho individual de cada componente do sistema certamente resultarão em desempenho sub-otimizado do sistema. Por outro lado, a otimização do desempenho global do sistema necessariamente implica um desempenho sub-otimizado de algumas de suas partes (provavelmente a maioria, com exceção daquelas que, num dado momento, são as restrições do sistema).

As premissas básicas trazem à tona algumas implicações práticas importantes. Primeiro, não se pode melhorar eficientemente o sistema se não for capaz de se identificar suas restrições. Esforços de melhoria localizados ou pontuais muito provavelmente trarão resultados pobres, onerados por grande desperdício de tempo, recursos e frustração das pessoas envolvidas. Segundo, não é possível atingir consistentemente a meta da organização se não identificar-se claramente as condições necessárias e se assegurar que as mesmas sejam satisfeitas. Uma

identificação mais precisa das restrições do sistema pressupõe um entendimento claro sobre quais são as condições necessárias, pois as restrições são causas raízes, normalmente despercebidas, que afetam uma ou mais condições necessárias e por consequência a meta global da empresa. E terceiro, focar as eficácias locais é contraproducente para atingir a meta da organização, pois leva à sub-otimização. Não é recomendável, nem tampouco racional, fazer com que cada recurso da empresa trabalhe no máximo de sua capacidade, sob pena de prejudicar o desempenho global da empresa e prejudicar o atendimento do cliente final.

3.3 Os Cinco Passos Focalizadores e o *Thinking Process*

Os Cinco Passos Focalizadores constituem uma abordagem prática para implementar a Teoria das Restrições. Com base neles, Goldratt (1990) tem desenvolvido uma série de métodos da Teoria das Restrições, tais como o método Tambor-Pulmão-Corda (DBR – *Drum-Buffer-Rope*) para gestão de gargalos em processos de manufatura, e o método Corrente Crítica (CC – *Critical Chain*) para gerenciamento de projetos. Após a definição das fronteiras do sistema a ser analisado, bem como explicitar-se sua meta e condições necessárias, aplicam-se os Cinco Passos Focalizadores, com vistas à melhoria contínua do desempenho.

É importante indicar que esses passos descritos a seguir representam um ciclo completo de intervenção. Mas, ao aplicar a TOC pode-se observar que existem dois ciclos: um de intervenção e melhoria e outro de programação de produção. No primeiro ciclo se realizam os cinco passos em intervalos maiores de tempo já que envolve várias alterações. Ao falar do segundo ciclo pode-se dizer que ele ocorre no dia-a-dia, nos ciclos de programação e controle de produção. A TOC propõe a programação da produção através da lógica Tambor-Pulmão-Corda, também conhecida como TPC. Esta lógica é baseada nos mesmos cinco passos e permite sincronizar a produção através do balanceamento do fluxo produtivo e não da capacidade individual de cada recurso (Goldratt, 1989).

Os ciclos da TP podem ser vistos de uma maneira ilustrativa na Figura 3.3

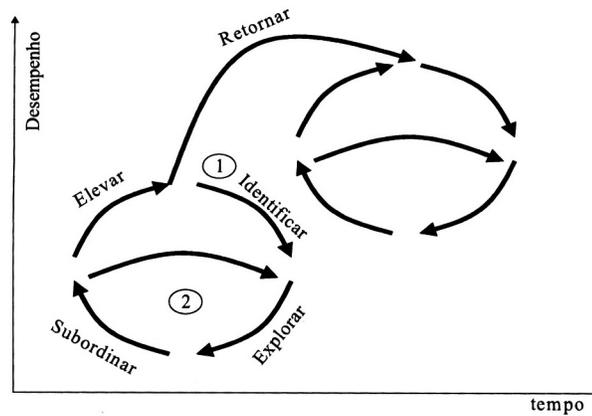


Figura 3.3. Os ciclos da Teoria das Restrições
(fonte: Raquel Freitas de Aguiar e outros, 2004)

1. Identificar. Localizar as restrições do sistema, explicitando a cadeia complexa de relações de causa e efeito entre a(s) restrição e seus efeitos globais. Todo sistema deve ter pelo menos uma restrição, mas, por outro lado, normalmente terá um número muito pequeno de restrições. (Guerreiro, 1996).

2. Explorar. Decidir como obter o máximo da restrição, sem fazer investimentos. Para atingir esse objetivo, deve-se assegurar de que a restrição esteja ocupada com os produtos certos para que o lucro seja maximizado (Cox e Spencer, 2002).

3. Subordinar todos os demais componentes do sistema à decisão de explorar a restrição, tomada no Passo 2. Subordinar significa que todos os demais recursos não restritivos devem ser utilizados na medida exata demandada pela forma empregada de exploração das restrições (Guerreiro, 1996).

4. Elevar. Avaliar formas alternativas de elevar a restrição (agora com investimento). Avaliar o impacto final (inclusive prevendo para onde irá a próxima restrição do sistema) e selecionar a melhor alternativa. Aqui se procura o aumento da capacidade do recurso crítico que

pode se dar através da compra de novos equipamentos, atualizações tecnológicas, desenvolvimento de processos, entre outros.

5. *Repetir.* Retomar o processo desde o Passo 1, rompendo com a inércia organizacional e iniciando o ciclo de tratamento da nova restrição. É necessário analisar novamente todo o sistema a fim de identificar uma nova restrição, e assim poder aplicar novamente os cinco passos. Assim garante-se que melhorias contínuas estejam sempre sendo realizadas, impedindo que a inércia tome conta do sistema e acabe sendo a própria restrição. (Goldratt, 1992)

Estes passos são muito úteis quando a empresa está lidando com restrições físicas como falta de capacidade de seus equipamentos, problemas com suprimentos de materiais, mercado recessivo, entre outros. No entanto, segundo a filosofia TOC (Calia, 1995a), tais restrições físicas são na verdade reflexos de restrições mais profundas, chamadas restrições culturais, políticas e comportamentais. Restrições políticas são práticas adotadas num determinado momento da vida organizacional, em resposta à situação específica de então, mas que com o passar do tempo passam a ser entraves limitadores do desempenho, devido ao caráter dinâmico do próprio sistema e de suas interações com o ambiente externo. Embora sejam as mais importantes e fundamentais para serem tratadas, as restrições políticas em geral são as mais difíceis de identificar, principalmente por parte das pessoas que fazem parte do sistema. Isto pelo fato de que as restrições políticas se apóiam em premissas assumidas como válidas por todos na organização, principalmente pelos membros da alta direção. Tais premissas normalmente nem sequer estão explícitas, razão pela qual muito raramente são questionadas. Além disso, as restrições políticas não são físicas, visíveis ou mensuráveis. Elas permeiam toda a organização, numa cadeia de relações intrincadas, na qual causa e efeito, via de regra, estão bem distantes no tempo e no espaço. (Moura e Dettmer, 2000)

Para tratar destes tipos de restrições, em 1990 Goldratt desenvolveu o método TP (Thinking Process), o processo de raciocínio lógico da Teoria das Restrições, definido como um conjunto de ferramentas analíticas formais que permite responder às três perguntas fundamentais de qualquer processo gerencial decisório que são: “o que mudar”, “mudar para onde” e “como causar a

mudança”, (Goldratt e Cox, 1995). A resposta a essas três perguntas normalmente envolve a construção de cinco árvores lógicas, as quais constituem as principais ferramentas analíticas do TP: a Árvore da Realidade Atual, o Diagrama de Resolução de Conflitos, a Árvore da Realidade Futura, a Árvore de Pré-Requisitos e a Árvore de Transição.

- a) O que mudar? – identificar-se as restrições: Árvore da Realidade Atual.
- b) Mudar para onde? – b.1 – gerar idéias inovadoras: Diagrama de Resolução de Conflitos; b.2 – validar as idéias: Árvore da Realidade Futura.
- c) Como causar a mudança? – identificar-se os obstáculos e definir ações de melhoria: c.1– Árvore de Pré-Requisitos; c.2 – Árvore de Transição.

3.4 Simbologia usada na construção das Árvores Lógicas

As árvores lógicas são compostas de elementos (caixas de texto) denominadas “entidades”, conectadas por relações de causa e efeito representadas por setas. Cada entidade deve conter uma (e apenas uma) frase de significado claro e logicamente válido. Em seguida apresenta-se a construção das principais árvores lógicas com base em Dettmer (1997) , conforme a Figura 3.4.

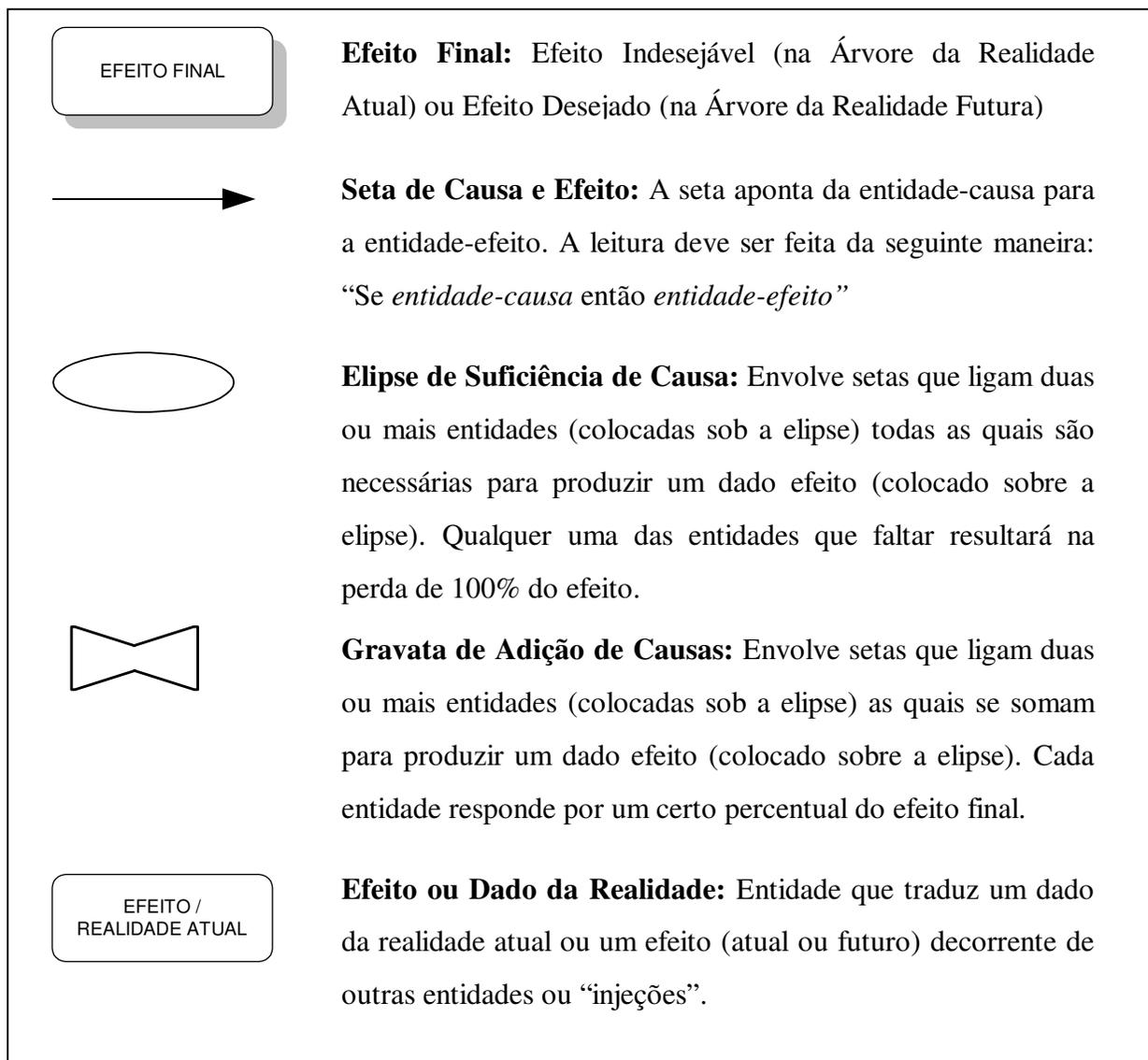


Figura 3.4 – Simbologia usada nas árvores lógicas do TP

A seguir descreve-se mais detalhes sobre as árvores lógicas do TP utilizadas na análise do ambiente de desenvolvimento de produtos, com maior ênfase sobre a Árvore da Realidade Atual, a qual se constituiu como o ponto de partida de toda a análise. A exposição a seguir limita-se a cobrir os conceitos relativos às árvores lógicas. Exemplos relativos à mesma encontram-se mais adiante, no corpo do trabalho.

Para a TOC, por mais amplo que seja o contexto estudado, é sempre possível se construir uma Árvore da Realidade Atual, onde uma entrada leva à existência da maioria dos efeitos indesejáveis, ou seja, o problema-raiz ou restrição do sistema no qual a organização deve focar seus esforços de otimização (Goldratt, 1994).

3.6 Diagrama de resolução de conflitos

Goldratt, 1990 reconhece que o que sustenta ou pereniza um problema no sistema é a existência de um conflito subjacente ao mesmo. Isto é, existem forças ou requisitos conflitantes para cumprir um certo objetivo do sistema. É esse conflito que perpetua o problema. Portanto, antes de propor soluções sobre uma CR (causa raiz) ou PC (problema central), deve-se entender o conflito subjacente, o que por sua vez lança luz sobre como resolvê-lo de maneira inovadora, eliminando o conflito, ao invés de simplesmente “acomodar” os interesses conflitantes com uma “solução” de compromisso.

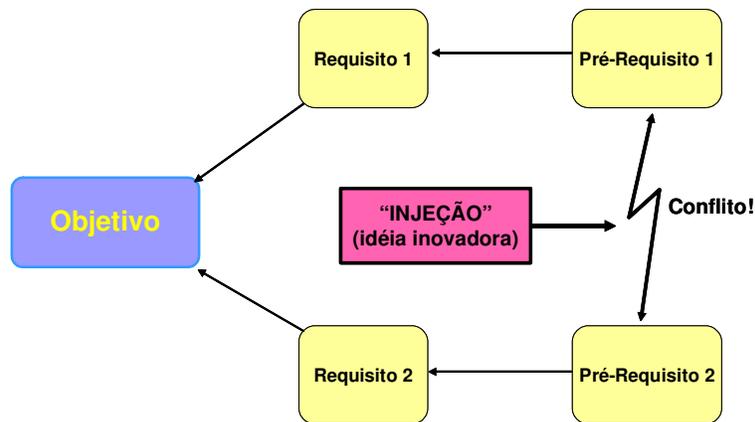


Figura 3.6 Diagrama de resolução de conflito (Goldratt, 1990)

O Diagrama de Resolução de Conflito (DRC) tem uma estrutura fixa, conforme mostra a Figura 3.6. Possui um objetivo comum, dois requisitos envolvidos no conflito (condições necessárias – entre outras – para cumprir o objetivo) e os respectivos pré-requisitos (coisas que se

decidi fazer para atender aos requisitos). O conflito ocorre no nível dos pré-requisitos. Nisso está a chave para eliminar o conflito, introduzindo uma “injeção” (idéia inovadora). A injeção elimina a necessidade de um dos pré-requisitos, e desse modo se elimina o conflito. Por sua vez, a concepção de uma injeção fica grandemente facilitada quando se expõe as premissas inválidas que se assume ao estabelecer a lógica do conflito.

3.7 Árvore da Realidade Futura

Uma vez concebida a forma básica de tratar as causas raízes ou o problema central do sistema (as injeções), é salutar analisá-la criticamente para assegurar que, de fato, é possível atingir os efeitos desejados. A Árvore da Realidade Futura (ARF) é justamente esse “simulador do futuro”, que submete ao crivo da lógica a plausibilidade das injeções propostas, além de identificar a necessidade de injeções complementares. A Figura 3.7 ilustra conceitualmente uma ARF.

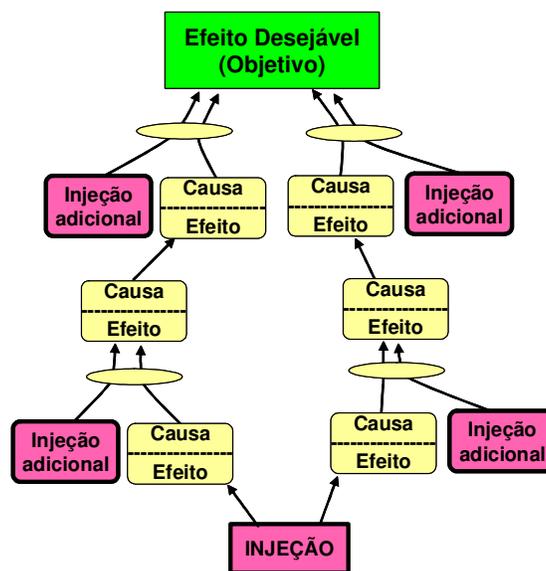


Figura 3.7 Árvore da realidade futura (Moura e Dettmer, 2000)

Na prática, existem vários Efeitos Desejáveis (EDs) no topo da árvore, bem como diversas injeções na base da mesma, as quais são analisadas simultânea e sistemicamente na mesma árvore.

A construção da ARF é essencialmente a mesma da ARA, exceto por se partir das injeções na base da árvore e caminhar na cadeia lógica em direção aos EDs, no topo da ARF (o oposto do que se faz na ARA, na qual se parte dos EIs no topo da árvore e se constrói a cadeia lógica para baixo, até chegar às CRs na base da ARA).

3.8 Árvore de Pré-Requisitos

Nos casos em que a implementação de uma injeção envolva certa complexidade, pode-se usar a Árvore de Pré-Requisitos (APR). A APR permite a implantação das injeções anteriormente obtidas com a compreensão de que pelo menos uma das injeções é uma idéia revolucionária que muito provavelmente quebrará certos paradigmas atuais. Assim, torna-se muitas vezes necessário a subdivisão do processo total de concretização do objetivo final em pequenos passos, obtendo-se primeiramente os obstáculos que se espera encontrar e depois os objetivos intermediários que quando alcançados eliminarão o obstáculo correspondente. Ao mesmo tempo, a APR permite que se faça um seqüenciamento lógico dos objetivos intermediários a partir dos níveis de dependência cronológica que possuem os obstáculos em questão. A Figura 3.8 ilustra conceitualmente a estrutura da APR.

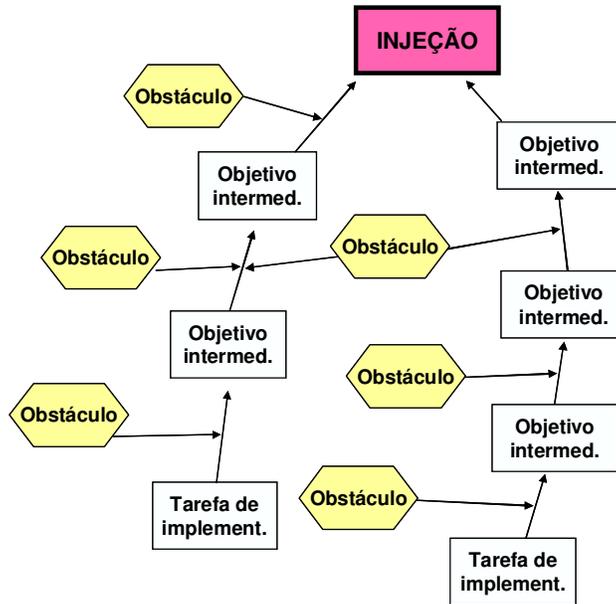


Figura 3.8 Estrutura de uma árvore de pré requisitos (Moura & Dettmer, 2000)

Uma APR deve ser lida da seguinte maneira: necessita-se realizar a “injeção”, mas tem-se o “obstáculo”, por isso deve-se realizar o “objetivo intermediário”. E em seguida de maneira similar, para cada camada de objetivos intermediários.

3.9 Árvore de Transição

A Árvore de Transição (AT) descreve de forma detalhada as mudanças graduais necessárias à efetiva implementação das injeções na empresa. Este processo baseia-se na alocação das pessoas realmente envolvidas com cada objetivo intermediário estabelecido, considerando que cada ação é necessária e suficiente para garantir a devida mudança. A Árvore de Transição é, na verdade, o plano de implementação das injeções obtidas na Árvore da Realidade Futura (Calia, 1995a).

As árvores lógicas anteriormente mencionadas estão interligadas uma nas outras, mas não há necessidade de se fazer uso de todas as ferramentas que constituem o Processo de Raciocínio para resolver-se um determinado problema, isto é, o Processo de Raciocínio pode ser usado seletivamente (Calia, 1995b).

Como se pode observar, o TP da TOC serve como um processo de apoio para a tomada de decisões, dando à gerência a possibilidade de concentrar a sua atenção e esforços nas verdadeiras causas raízes dos problemas.

3.10 Sumário

Nesse capítulo apresentou-se a metodologia da Teoria das Restrições proposta por Goldratt 1990, Moura e Dettmer 2000. Sua origem de aplicação, fases, representações gráficas usuais e, principalmente, procedimentos de aplicação. Por ter sido concedida a pouco tempo, se comparada a outras ferramentas de gestão e desenvolvimento de produtos, o uso do TP ainda não está totalmente explorado. Com o objetivo de explorar as potencialidades de aplicabilidade dessa ferramenta, se aplicará o TP em duas situações distintas. No capítulo 4, será feita aplicação “ampla” do TP no processo de desenvolvimento de produtos de uma empresa de eletrodomésticos, considerando nesse caso o PDP como um sistema. E no capítulo 5, explora-se o TP em uma aplicação “específica” para o desenvolvimento técnico de um novo produto.

Capítulo 4

Aplicação do *Thinking Process* no PDP de uma empresa de eletrodomésticos.

Nesse capítulo utiliza-se abordagem sistêmica da Teoria das Restrições criada por Goldratt, 1990, para identificar e tratar as restrições fundamentais que se ocultam por trás dos diversos efeitos indesejáveis. Tais efeitos são observados no dia-a-dia de qualquer ambiente de desenvolvimento de produto e são considerados fatores limitantes ao desempenho desse ambiente.

Para a identificação dos efeitos indesejáveis e as “causas raízes” que limitam o desempenho do PDP aplica-se a ARA (Árvore da Realidade Atual). Para identificação do conflito oculto em cada restrição e a sugestão de idéias inovadoras de soluções (“injeções”) se utilizará o DRC (Diagrama de Resolução de Conflitos). Com a ARF (Árvore da Realidade Futura) se verificará a efetividade dessas “injeções” na eliminação dos efeitos indesejáveis. E com o APR (Árvore de Pré-Requisitos) serão identificados os obstáculos de implementação das referidas “injeções”.

4.1 Efeitos indesejáveis relatados no PDP

Para se manter competitivo, o processo de desenvolvimento das empresas precisa ser robusto e capaz de continuamente manter as seguintes premissas: 1. Qualidade – incluindo confiabilidade, funcionalidade e satisfação dos requisitos do consumidor; 2. Custo – incluindo custo de desenvolvimento e do produto propriamente; 3. Tempo – desde a identificação da necessidade do cliente até a entrega do produto no mercado.

Relata-se a seguir os principais problemas ou “efeitos indesejáveis” do processo de desenvolvimento de produtos de uma empresa de eletrodomésticos, quando da entrega dos últimos projetos. Esses efeitos indesejáveis podem ser considerados comuns à maioria das empresas que desenvolvem produtos, no Brasil e no mundo, independentemente da sua forma de estrutura organizacional e ou processos.

Motivada a identificar, entender e solucionar os problemas para os próximos projetos, a diretoria da empresa em questão reuniu-se com a liderança das diversas áreas funcionais, representantes dos projetos, assim como os líderes responsáveis pelos últimos projetos de produtos das diferentes linhas de produtos da empresa para, através da troca de experiência, discussão e reflexão, chegar-se a um entendimento comum dos principais problemas.

Iniciou-se a reunião com cada líder de projeto apresentando sua respectiva lista prévia dos “efeitos indesejáveis” que, segundo a visão do líder, afetaram de alguma forma os fatores de sucesso do projeto como custo, prazo e qualidade. Essa lista baseou-se no levantamento dos dados históricos, documentos dos projetos, assim como “*brainstorming*” dos líderes com seus respectivos grupos de projeto, percorrendo todas as fases do processo de desenvolvimento de produtos. Fez-se então um cruzamento dos problemas relatados pelos vários líderes de projeto e identificou-se assim que a maioria dos problemas eram essencialmente os mesmos para os diferentes projetos das diferentes linhas de produtos. Também identificou-se que muitos problemas se repetiam ao longo dos últimos projetos. Durante a reunião todos os problemas foram consolidados numa lista única. Através de um processo de discussão e acordo do grupo presente,

esses “efeitos indesejáveis” foram classificados e encaixados em sete categorias distintas, como segue abaixo:

- 1. Atrasos nos lançamentos dos Produtos são freqüentes com relação à data inicial planejada ou em relação ao produto do concorrente.*
- 2. Frequentemente durante a fase de detalhamento do projeto tem-se que fazer muitos retrabalhos e modificações de projeto (design change loops).*
- 3. Grande parte do tempo é desperdiçado para “apagar incêndio” (problemas inesperados surgem e precisam ser resolvidos imediatamente).*
- 4. Muitas falhas acabam chegando ao processo de produção.*
- 5. Alguns problemas acontecem no campo.*
- 6. Algumas vezes é necessário efetuar algumas correções após o lançamento do produto.*
- 7. Reclamações de campo.*

A identificação e categorização dos efeitos indesejáveis do processo de desenvolvimento de produtos, de acordo com o relato de experiência do grupo, foi o primeiro passo antes de iniciar-se a aplicação do método do TP.

4.1.1 Organização para a Aplicação do TP

Para aplicar-se a metodologia na empresa em questão, foram necessários quatorze dias de reuniões de carga horária aproximada de oito horas/dia. Para assegurar o sucesso da aplicação da metodologia garantiu-se primordialmente a participação efetiva dos líderes responsáveis pelo desenvolvimento e implantação dos últimos cinco projetos da empresa. Periodicamente, outros representantes das várias áreas pertinentes ao processo de desenvolvimento de produtos eram convidados a participar e colaborar com sua experiência. As seções foram conduzidas com o auxílio de um consultor especialista na aplicação do método.

Toma-se como ponto de partida da análise as definições fundamentais que norteiam todo o sistema de desenvolvimento – sua missão básica e o conjunto de condições necessárias para o

cumprimento da missão. Em seguida, confronta-se esse referencial com a realidade típica de desenvolvimento. Isso permite identificar-se as disfunções, ou “efeitos indesejáveis”, normalmente presentes na grande maioria das empresas que introduzem produtos no mercado. Uma análise com a ARA (Árvore da Realidade Atual) permite detectar as causas raízes e problemas centrais que desencadeiam toda aquela série de sintomas. O próximo passo é usar o DRC (Diagrama de Resolução de Conflitos, ou “nuvem” de conflito) para explicitar as forças opostas que perpetuam os problemas e aflorar as premissas inválidas tacitamente assumidas pelas partes envolvidas em cada conflito, o que por sua vez abre as portas para gerar ações inovadoras que eliminam o dilema em sua raiz. Essas ações inovadoras são chamadas de “injeções”. Em seguida, a ARF (Árvore da Realidade Futura) permite validar o conjunto das injeções propostas, assegurando seu potencial de reverter a realidade atual, transformando os efeitos indesejáveis em seus opostos, que passam a ser efeitos desejados na realidade futura. A construção de APRs (Árvores de Pré-Requisitos) permite identificar objetivos intermediários para contornar eventuais obstáculos que possam surgir na implementação das injeções mais complexas, o que aumenta a solidez e viabilidade das soluções propostas.

4.2 O referencial de partida para a aplicação do TP

Antes de iniciar-se a análise do sistema é necessário definir a que o processo de desenvolvimento de produto se propõe. Primeiro focaliza-se num atributo primário de um sistema, sua função básica ou “missão”, ou seja, o propósito ou razão pela qual o sistema existe. Em síntese, qual o propósito do desenvolvimento de produto em um sistema empresarial? Quais são as poucas, mas absolutamente indispensáveis condições para cumprir esse propósito consistentemente?

É comum a declaração de missão nas organizações. O que não é prática usual é a identificação precisa das condições absolutamente indispensáveis que devem apoiar a missão, as quais serão chamadas de condições necessárias. Como será visto adiante, a não identificação das condições necessárias, e a conseqüente incoerência nas ações práticas que deveriam assegurá-las,

dá origem a diversas dificuldades práticas que se manifestam posteriormente, separadas no tempo e no espaço.

A análise realizada abrange as etapas de idealização, concepção e conversão da metodologia de projeto C2C da empresa em questão¹. Essas três fases constituem o “coração” do ambiente mais amplo de desenvolvimento e introdução de produtos, pois nessas fases são definidas todas as características do produto final e aí são tomadas todas as decisões críticas que determinam o comportamento do mesmo no ambiente de manufatura e seu desempenho final nas mãos do consumidor.

A Figura 4.1 mostra a definição da missão das etapas de idealização, concepção e conversão, além das respectivas condições necessárias. A elipse de suficiência de causas que une as condições necessárias indica que qualquer uma das condições que falte, tornará o cumprimento da missão inconsistente ou incompleto.

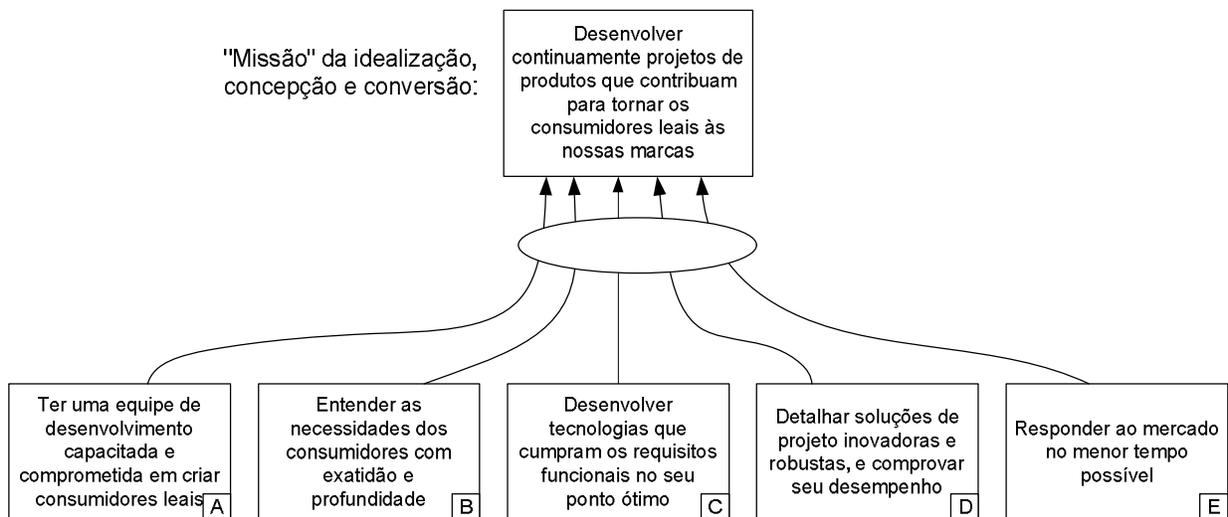


Figura 4.1 Missão das Etapas

¹ Ver o apêndice A do presente trabalho.

4.2.1 A missão

Partindo-se da premissa que no ambiente de negócio os produtos são feitos para o consumidor usá-los e não para satisfazer os gerentes, acionistas e empregados. Eles são ou deveriam ser concebidos para gerar a satisfação do consumidor no cumprimento das suas necessidades (Moura, 2000). O projeto PIMS (*Profit Impact of Market Strategies*), originado pela General Electric e posteriormente refinado na Harvard Business School, é certamente o mais extenso estudo feito, consistindo de um banco de dados de mais de 3,000 SBUs (*Strategic Business Units*) em todas indústrias classificadas como sendo de médio e grande porte, da metade dos anos 60 até hoje.

A principal conclusão dessa pesquisa publicada por Buzzell e Gale (1987) pode ser resumida na seguinte frase: *“Em longo prazo, o único fator mais importante que afeta o desempenho de uma unidade de negócio é a qualidade dos seus produtos e serviços, como percebidas pelos consumidores em comparação com a concorrência”*. Isso pode ser chamado de qualidade relativa. Entretanto, meramente satisfazer as necessidades do consumidor pode não ser suficiente, portanto, se faz necessário produtos que aumentem a percepção de qualidade relativa gerando a lealdade do consumidor para com a marca, não só uma vez, mas sistematicamente. Com esses pontos em mente sugere-se a seguinte sentença como a missão do sistema de desenvolvimento de produto:

“Desenvolver continuamente projetos de produtos que contribuam para tornar os consumidores leais às nossas marcas”

4.2.2 As condições necessárias

Como relatado anteriormente é importante reconhecer imediatamente que a missão do sistema de desenvolvimento de produto não será alcançada consistentemente se as “condições necessárias” não forem asseguradas. Essas são todas as condições necessárias e suficientes para permitir o cumprimento da missão. Se faltar uma delas a missão vai falhar em algum dos aspectos importantes. Se outras condições forem acrescentadas será um desperdício de tempo e recursos. Portanto, considera-se que as condições necessárias para o sistema de desenvolvimento de produto cumprir sua missão são:

- Ter uma equipe de desenvolvimento capacitada e comprometida em criar consumidores leais.
- Entender as necessidades dos consumidores com exatidão e profundidade.
- Desenvolver tecnologias que cumpram os requisitos funcionais no seu ponto ótimo.
- Detalhar soluções de projetos inovadoras e robustas e comprovar seu desempenho.
- Responder ao mercado no menor tempo possível.

Abaixo, um breve detalhamento de cada uma das condições com o intento de justificar porque elas são realmente necessárias para atingir a missão do desenvolvimento de produtos de acordo com a discussão efetuada na empresa.

Ter uma equipe de desenvolvimento capacitada e comprometida em criar consumidores leais. Os produtos são feitos para pessoas, por pessoas. Não é possível satisfazer as necessidades do consumidor com um produto marginal. Produtos excepcionais podem ser somente criados por pessoas excepcionais, ou seja, com habilidade e comprometimento diferenciais, na identificação e atendimento das necessidades do consumidor. (Morgan e Liker, 2006; Smith e Reinertsen, 1998).

Entender as necessidades dos consumidores com exatidão e profundidade. De acordo com Suh (1995), do ponto de vista do desenvolvimento de produto, pode-se ver o consumidor com um grande grupo de necessidades, que pode ser chamado de “espaço de necessidades”. Um

determinado produto procura satisfazer um subgrupo de necessidades dentro do macro grupo. Cada necessidade dentro do subgrupo impõe um ou mais requisitos funcionais, definindo então o “espaço da função”, o qual deve ser satisfeito por um conceito específico de produto ou projeto.

Pode-se concluir através dessa seqüência lógica de eventos que é muito difícil lançar um produto de sucesso no mercado se não se começar com um profundo entendimento do “espaço de necessidades” e a tradução correta dessas necessidades em requisitos funcionais.

Desenvolver tecnologias que cumpram os requisitos funcionais no seu ponto ótimo. As tecnologias são como blocos de edifício do conceito de um produto. Por exemplo, pode-se ter conceitos diferentes sobre como construir uma casa: madeira, tijolos, concreto e outros materiais estruturais. Cada conceito de casa é o resultado da combinação de tecnologias diferentes. De cada conceito pode-se então gerar um projeto de produto detalhado. Se o conceito selecionado for o uso de madeira, essa decisão dirigirá os cálculos e as especificações subseqüentes relacionadas à construção da casa, isto é, o projeto detalhado da casa. Cada parâmetro no projeto detalhado é relacionado pelo menos a uma exigência funcional. Por exemplo, o parâmetro de “espessura da parede” é relacionado ao requisito funcional “fornecer isolamento térmica”, entre outras. Por sua vez, há um valor ideal ou um alvo que correspondem a cada parâmetro de projeto. Os desvios do alvo ideal, de produto para produto ou no mesmo produto ao longo do uso, são percebidos pelo mercado como problemas da qualidade e da confiabilidade. Pode-se concluir que se for usado tecnologias não robustas, o produto final também não será robusto, não atingindo satisfatoriamente os requisitos funcionais e, como conseqüência, não se pode consistentemente cumprir a missão do desenvolvimento de produto. Outro ponto importante na missão é a palavra “continuamente”, que depende também de se ter tecnologias desenvolvidas, *a priori*, para cada requisito funcional dos possíveis produtos futuros. Caso se cumpra tal condição e se desenvolva novas tecnologias junto com o ciclo de desenvolvimento do produto, os lançamentos serão certamente lentos e problemáticos.

Detalhar soluções de projetos inovadoras e robustas e comprovar seu desempenho. A inovação e a robustez são duas características poderosas para consistentemente atrair clientes. Em

um mercado competitivo, elas devem caminhar juntas. Um produto inovador mas sem confiabilidade venderia algumas unidades para satisfazer a curiosidade de alguns clientes. Um produto robusto, mas sem atrativos também não despertaria o consumidor para sua atenção. O desempenho final deve ser comprovado antes de alcançar as mãos do cliente, pois é muito arriscado se usar o mercado como um laboratório final do desenvolvimento.

Responder ao Mercado no menor tempo possível. É quase desnecessário justificar que responder rapidamente ao mercado é uma obrigação no desenvolvimento de produto. Cada dia de atraso em se lançar um produto é uma oportunidade para que a competição o faça, se apoderando da fatia de vendas e lucratividade. (Smith e Reinertsen, 1998)

4.3 Efeitos indesejados

Confrontando cada condição necessária com a realidade que se vivencia ao introduzir novos produtos no mercado, identificou-se dez efeitos indesejáveis de maior incidência ou relevância, os quais foram selecionados para análise com a ARA.

- 1 – Perdemos *market-share*/ lealdade dos consumidores.
- 2 – Perdemos grande parte do tempo produtivo “apagando incêndios”.
- 3 – Muitas falhas acabam ocorrendo no processo produtivo.
- 4 – Vários problemas atingem o campo.
- 5 – Alguns projetos de reação são necessários.
- 6 – Frequentemente no detalhamento ingressamos em “*loops*” de alterações de projeto.
- 7 – Eventualmente lançamos produtos com atraso em relação aos concorrentes.
- 8 – O custo de garantia/ IRC (Índice de Reclamação de Campo) aumenta.
- 9 – O consumidor fica insatisfeito.
- 10 – Atrasos são frequentes na entrega de projetos.

Comparando-se com a lista de efeitos indesejáveis, que foi relatada no início do capítulo, pode-se concluir que basicamente dois itens novos foram acrescentados, sendo os itens 1 e 9. O item de “atraso de entrega de projeto para a produção e para o campo”, que estava condensado num só, aqui aparece como dois itens distintos.

Essa lista de sintoma não é específica da empresa em questão. A maior parte dos itens acima descreve o cenário típico de efeitos prejudiciais relativos à introdução de produtos na grande maioria das empresas. Isso aumenta a relevância da análise, pois as soluções propostas no final do trabalho podem ser aplicadas com sucesso nas mais diversas organizações que desenvolvem produtos para o mercado.

4.4 Árvore da realidade atual

A partir dos Efeitos Indesejáveis (EI) mencionados na seção anterior e usando a técnica descrita no capítulo anterior, constrói-se uma ARA (Árvore da Realidade Atual), mostrada nas Figuras 4.2 (Página 1 da ARA) e 4.3 (Página 2 da ARA). Nas figuras, cada “entidade” (caixa de texto) recebe um número de três dígitos; conectores internos são numerados com um único dígito. As entidades com sombra, no topo da árvore (Página 2 da ARA) são os EIs (Efeitos Indesejados). As entidades com letra em negrito e borda reforçada são as causas raízes por detrás dos EIs.

Árvore da Realidade Atual para as Fases de Idealização, Concepção e Conversão (pág. 1 de 2)

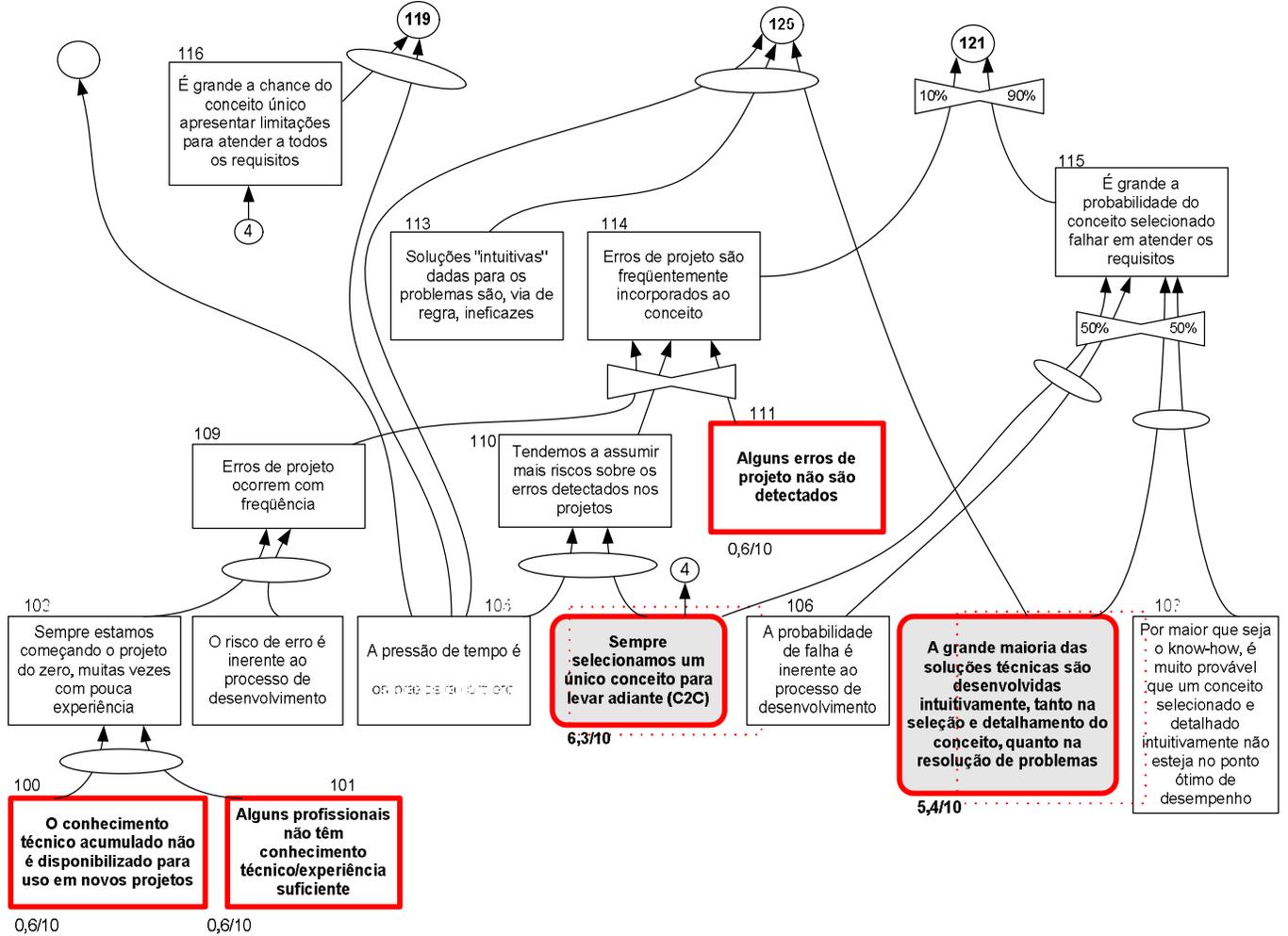


Figura 4.2 Página um da ARA

Árvore da Realidade Atual para as Fases de Idealização, Concepção e Conversão (pág. 2 de 2)

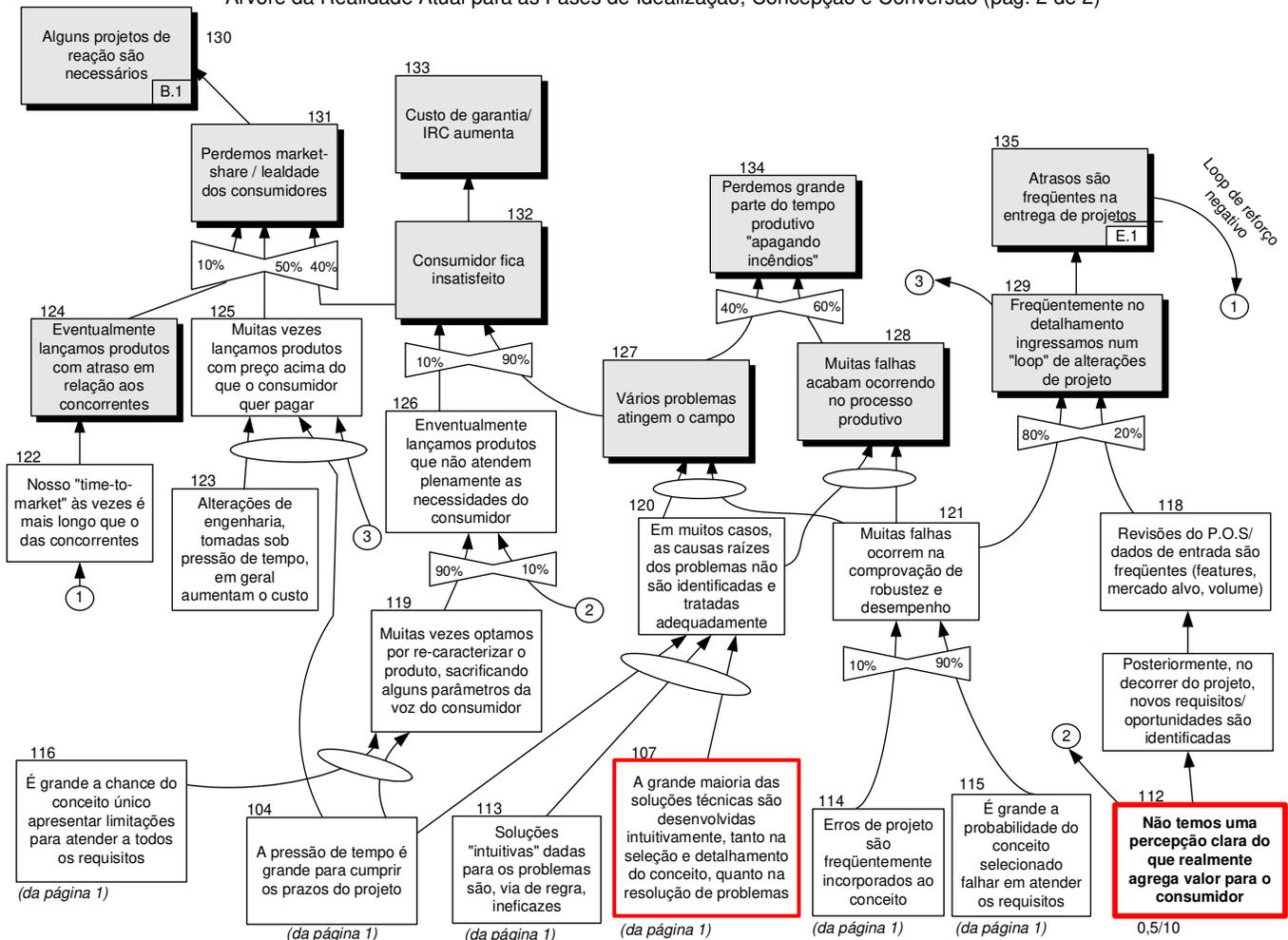


Figura 4.3 Página dois da ARA

Com base na lógica e na experiência, a ARA explicita sistemicamente as relações entre as causas raízes e efeitos intermediários, até culminar nos EIs. Abaixo das causas raízes encontra-se um número (por exemplo: 0,6/10 sob a entidade 100) que representa o impacto relativo da causa raiz sobre os EIs. As seis causas raízes detectadas são:

- (100) “O conhecimento técnico acumulado não é disponibilizado para uso em novos projetos”.
- (101) “Alguns profissionais não têm conhecimento técnico/experiência suficiente”.
- (105) “Sempre selecionamos um único conceito para levar adiante”.
- (107) “A grande maioria das soluções técnicas são desenvolvidas intuitivamente, tanto na seleção e detalhamento do conceito, quanto na resolução de problemas”.
- (111) “Alguns erros de projeto não são detectados”.
- (112) “Não temos uma percepção clara do que realmente agrega valor para o consumidor”.

Dentre as causas raízes, ressaltam-se a (105) e a (107) como as de maior impacto geral sobre os EIs.

4.5 - Análise das causas raízes

DRC-01 para: (107) "A grande maioria das soluções técnicas são desenvolvidas intuitivamente"

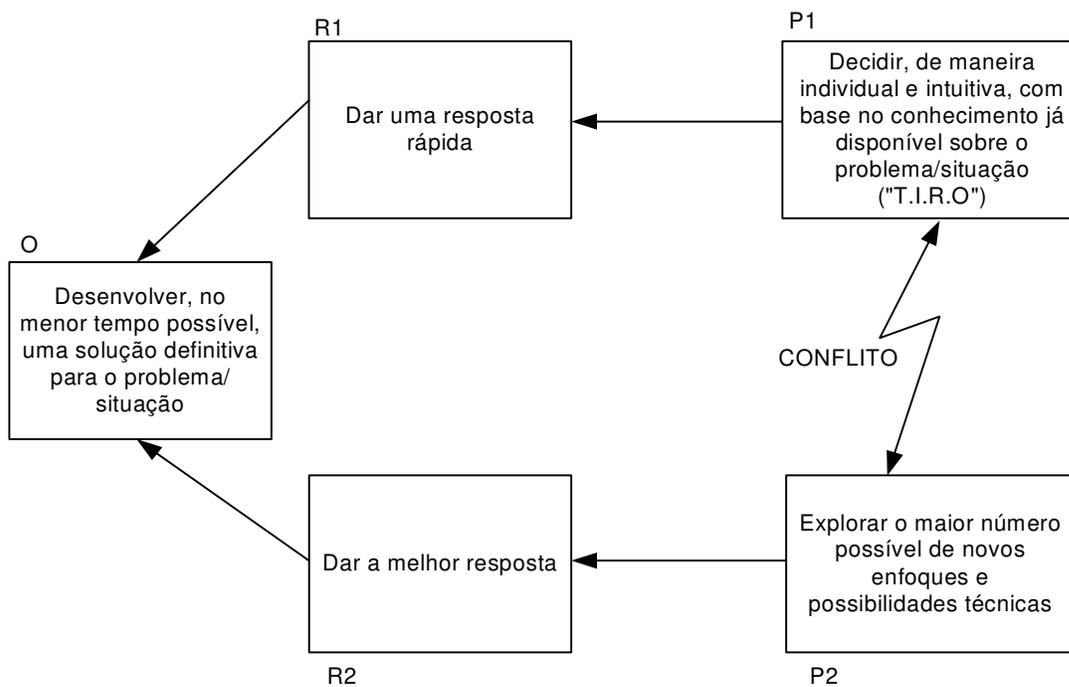


Figura 4.4 Diagrama de resolução de conflitos

Usando a “nuvem de conflito” (ou DRC – Diagrama de Resolução de Conflitos) se pode realizar uma análise profunda de cada uma das causas raízes e também gerar soluções eficazes. O princípio por detrás da escolha desta ferramenta é que, no ambiente de desenvolvimento de produtos, existem forças opostas (conflito) que perpetuam a existência das causas raízes no sistema, o que por sua vez gera os problemas crônicos já apontados (EIs – Efeitos Indesejáveis). Portanto, o primeiro passo da análise é identificar o conflito que sustenta a causa raiz em questão. Toma-se primeiramente a causa raiz (107): “A grande maioria das soluções técnicas são

desenvolvidas intuitivamente, tanto na seleção e detalhamento do conceito, quanto na resolução de problemas” é possível identificar o conflito representado pelo DRC da Figura 4.4.

Vê-se que a raiz do conflito (P1 x P2) é que, ao buscar o objetivo de “*desenvolver, no menor tempo possível, uma solução definitiva para o problema ou situação*”, deve-se, por um lado, “*dar a melhor resposta*”, e para isso se deve “*explorar o maior número possível de novos enfoques e possibilidades técnicas*”. Por outro lado, deve-se também “*dar uma resposta rápida*”. Para isso deve-se “*decidir de maneira intuitiva e individual, com base no conhecimento já disponível sobre o problema ou situação*”.

Uma vez identificado e estruturado o conflito, o próximo passo da análise com o DRC é explicitar as premissas que se assume ao formular o conflito. São as premissas que dão sustentação lógica às frases contidas na leitura do DRC. Para expô-las, basta complementar a frase com o “porquê”... da afirmação lógica. Por detrás de cada seta do DRC existem premissas. Em geral, as premissas com maior chance de serem questionadas são as que correspondem às setas R1-P1, R2-P2 e P1-P2. Para melhor evidenciar as premissas que não são válidas, usamos a técnica do “fraseado ultrajante”, exagerando a afirmativa. Iniciando pelas premissas entre R2 e P2 (Figura 4.5): Para *dar a melhor resposta* temos que *explorar o maior número possível de novos enfoques e possibilidades técnicas* porque ...

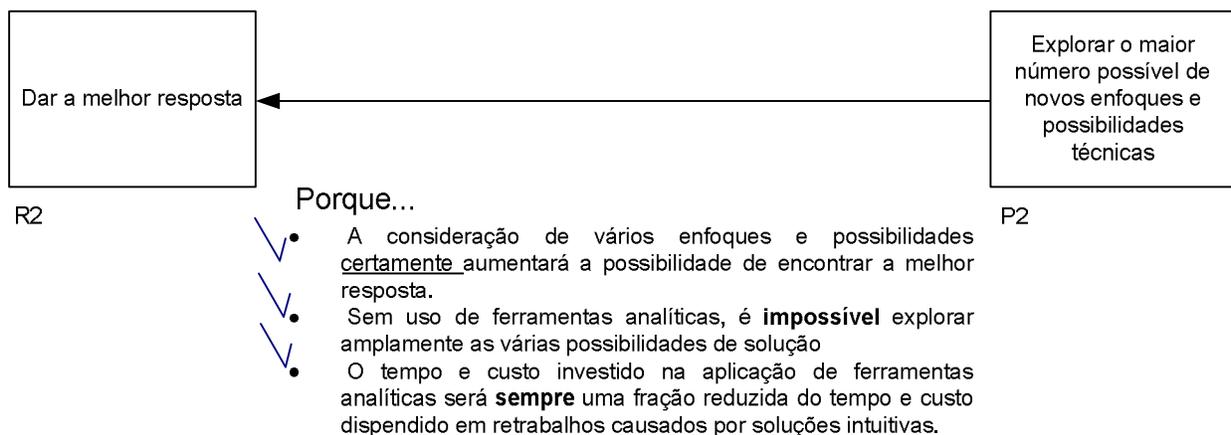


Figura 4.5 DRC para R2, P2

Observa-se que, mesmo usando frases exageradas, é difícil questionar ou invalidar as premissas acima. Prossegue-se com as premissas de R1-P1 (Figura 4.6):

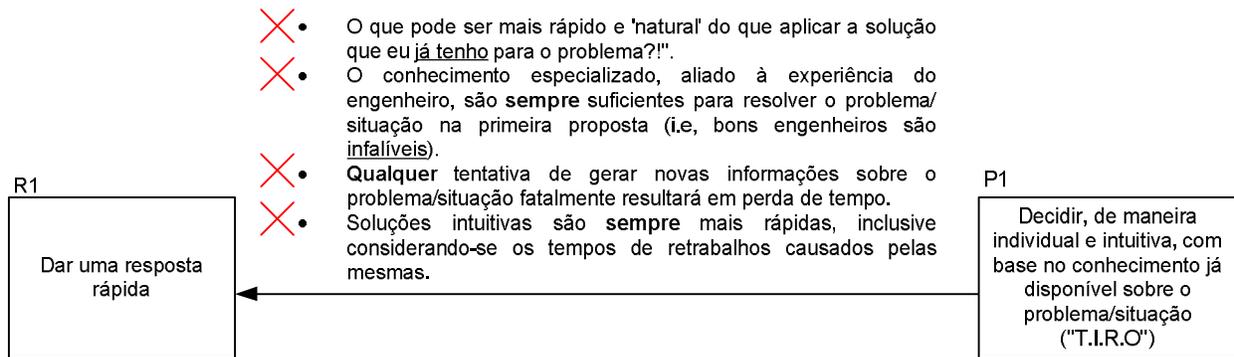


Figura 4.6 DCR para R1, P1

Neste caso, imediatamente se reconhece que as premissas são inválidas, o que faz com as mesmas sejam questionadas. Para isso, usa-se a técnica do “ambiente alternativo” onde se imagina condições que permitam assegurar R1, sem contar com P1, afirmando: “Para ter R1 não temos *necessariamente* que fazer P1; em vez disso podemos ...”. As idéias que surgem chamamos de “injeções”, isto é, algo que “injetamos” na realidade atual para tratar a causa raiz e eliminar os efeitos indesejados. Aplicando isto a R1-P1: Para *dar uma resposta rápida* não temos que *decidir com base no “TIRO”*; em vez disso podemos:

- *IJ(107)-1: Ter uma base de conceitos reutilizáveis, com robustez comprovada (isto é, usar soluções robustas já anteriormente validadas para a função técnica em questão).* Justificativa: esta injeção, freqüentemente “partimos do zero” na geração de soluções técnicas, praticamente “reinventando a roda” a cada projeto. E, ainda que seja prática comum utilizar itens *carry-over* (peças já utilizadas em projetos anteriores) normalmente o que ocorre é que durante o primeiro desenvolvimento do item não é feito um trabalho profundo e abrangente que permita validar todas as possíveis aplicações futuras (curvas de *trade-off*). O resultado é que, quando usamos itens *carry-over*, estamos assumindo que o bom desempenho observado na aplicação anterior se repetirá na nova aplicação, o que

freqüentemente não acontece, pois as condições específicas de uso normalmente são distintas.

- IJ(107)-2: Com base nas experiências dos últimos projetos, se reconhece o fato de que soluções analíticas são, na realidade, mais rápidas e menos dispendiosas, se considerarmos seu impacto global no ciclo de desenvolvimento (mudança cultural). Justificativa: em geral, as soluções para os freqüentes problemas técnicos detectados durante o projeto são decididas rapidamente (e normalmente sob pressão) pelos melhores especialistas da empresa. Tal prática de “apagar incêndio” normalmente traz “alívio” para uma situação premente, acaba transmitindo uma falsa sensação de dinamismo e eficiência técnica. Porque as reais conseqüências se manifestam muito tempo depois na manufatura e no campo (somadas a outras inúmeras e pequenas decisões igualmente ineficazes), torna-se difícil associar cada decisão individual a seus efeitos desastrosos no custo e na imagem final do produto no mercado. Desse modo, a prática do “TIRO” se perpetua, e é aceita pela comunidade técnica como a “maneira normal” de enfrentar problemas. A Figura 4.7 ilustra a ação das “injeções”.

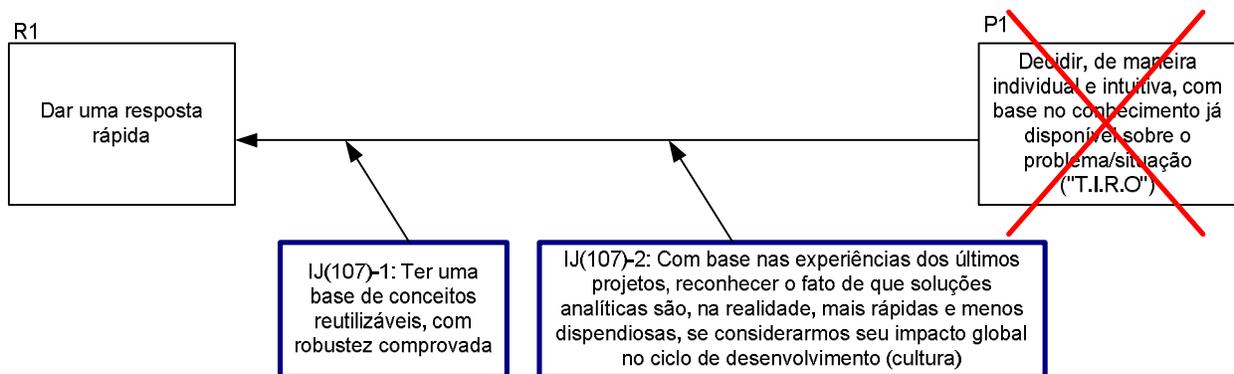


Figura 4.7 Ação das injeções IJ (107) - 1 e IJ (107) - 2

Da mesma maneira, pode-se expor as premissas entre P1 e P2, desta vez usando a frase: “Por um lado devo fazer P1, mas por outro devo fazer P2. Não posso fazer ambos porque ...” (Figura 4.8). Aqui também vemos que as premissas não são inválidas, o que leva a buscar uma forma de atender simultaneamente os requisitos contraditórios. Neste caso, uma “injeção” seria potencializar o conhecimento individual que normalmente se usa em soluções imediatistas, direcionando-o ao trabalho de equipes de desenvolvimento. Orientadas pelo uso de ferramentas analíticas apropriadas, tais equipes podem aproveitar sinergicamente o conhecimento individual para gerar soluções muito mais eficazes.

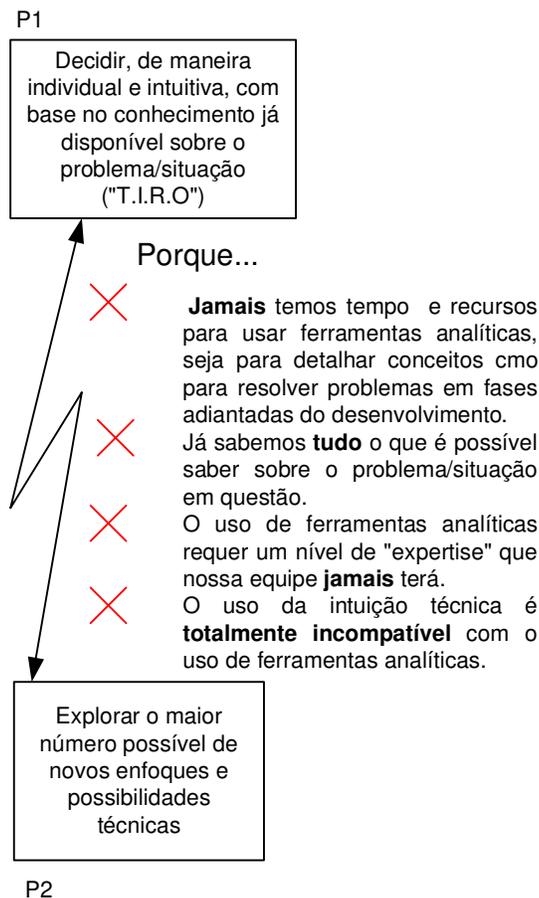


Figura 4.8 DCR para P1, P2

A Figura 4.9 mostra a forma final do DRC-01, com as respectivas injeções. Procedendo da mesma maneira com as demais causas raízes, construímos os DRCs seguintes, já apresentados em sua forma final, com as premissas e injeções e os respectivos comentários:

Texto descritivo do conflito. Como objetivo geral, queremos “*promover um fluxo contínuo de produtos rentáveis para o mercado*”. Por um lado, devemos *aumentar a equipe de desenvolvimento (de modo a atender o time-to-market dos projetos)*. Para aumentar a equipe (contratando gente nova), temos que *contar com profissionais pouco experientes no detalhamento do projeto de nossos produtos*. Por outro lado, para *promover um fluxo contínuo de produtos rentáveis para o mercado*, também devemos *desenvolver projetos robustos (com desempenho estável no ambiente de manufatura e uso)*. Para isso, temos que *contar com profissionais experientes no detalhamento do projeto de nossos produtos*.

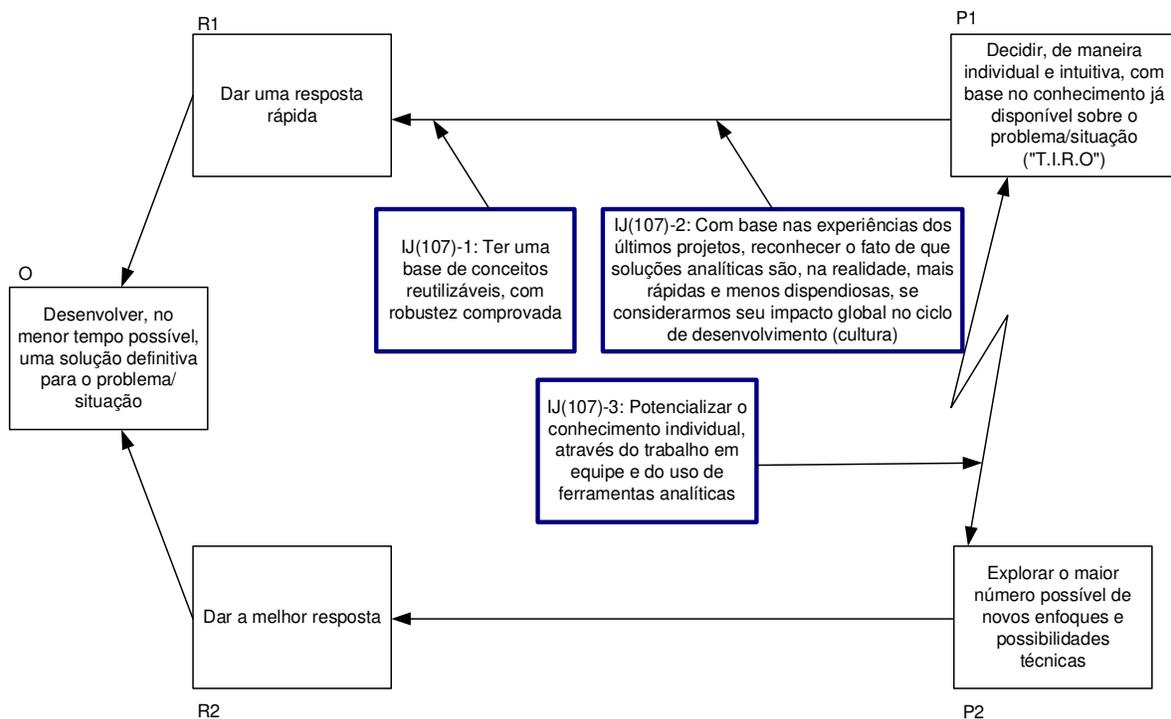


Figura 4.9 Forma final da DCR- 01

A DCR- 02 é mostrada na Figura 4.10.

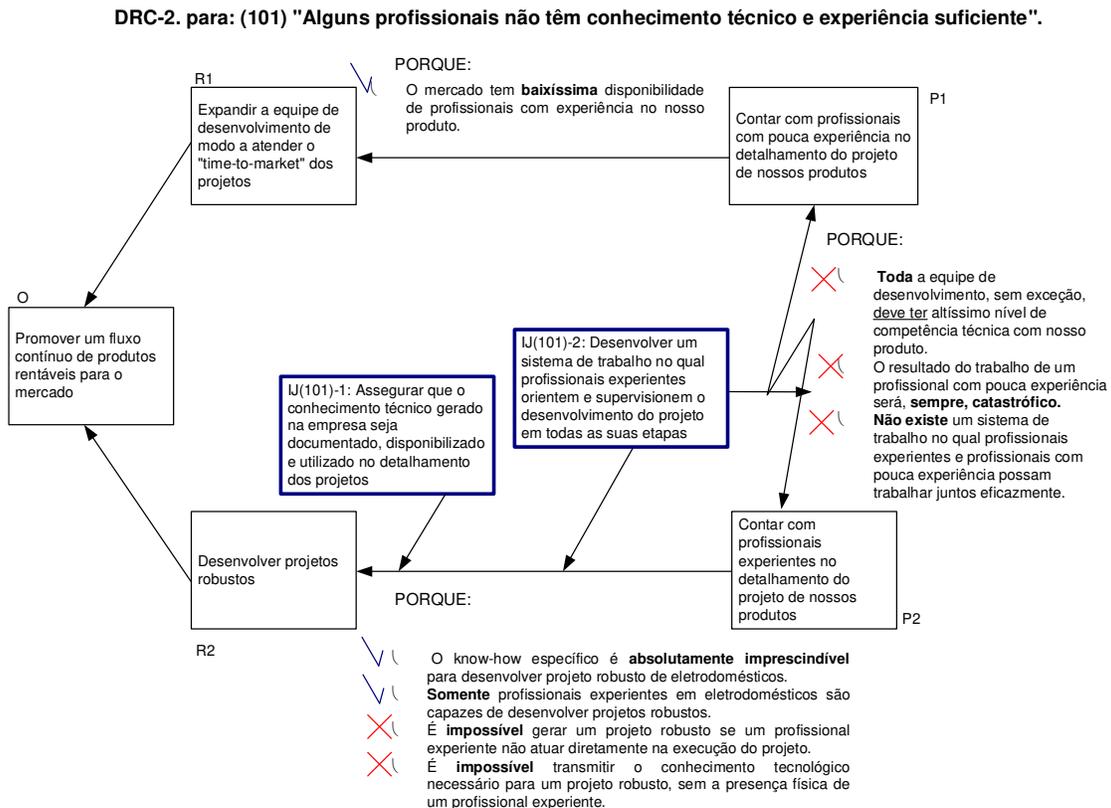


Figura 4.10 Forma final da DCR - 02

O diagrama mostra que há premissas inválidas detectadas entre R2-P2 e P1-P2, o que levou a identificar as seguintes “injeções” que permitem eliminar o conflito pela raiz:

- *IJ(101)-1: “Assegurar que o conhecimento técnico gerado na empresa seja documentado, disponibilizado e utilizado no detalhamento dos projetos”.*

Justificativa: Apesar da recente ênfase na gestão do conhecimento, a realidade de muitas empresas, particularmente no ambiente de desenvolvimento de produtos, ainda mostra um alto nível de informalidade na documentação e acesso ao *know-how*. Tipicamente, o *know-how* (que vai

mais além dos desenhos e especificações técnicas de cada produto isolado) encontra-se espalhado de maneira praticamente caótica nos computadores, gavetas e mentes dos projetistas.

- *IJ(101)-2: “Desenvolver um sistema de trabalho no qual os profissionais experientes orientem e supervisionem o desenvolvimento do projeto em todas as suas etapas”.*

Justificativa: Normalmente, no intento de gerenciar a complexidade envolvida no desenvolvimento, as empresas dividem o projeto em partes que correspondem aos subsistemas ou peças do produto, com um responsável por cada parte. Uma consequência típica dessa forma de organização é que várias decisões críticas são tomadas “localmente”, tendo em vista apenas o funcionamento de cada parte (somente mais tarde é que são consideradas as questões relativas à integração das partes, com inúmeros problemas a serem resolvidos). Uma outra consequência é que não encontraremos ninguém com responsabilidade técnica total sobre o projeto de engenharia, mas somente responsáveis técnicos por cada parte do produto. É verdade que encontraremos um gerente de projeto, mas usualmente (por maior que seja sua experiência técnica anterior) ele estará sobrecarregado por questões administrativas de controle (às vezes desesperado) para que todas as atividades do projeto sejam executadas de acordo com o cronograma (o que muito raramente se cumpre).

DRC-3: para: (105) "Sempre selecionamos um único conceito para levar adiante".

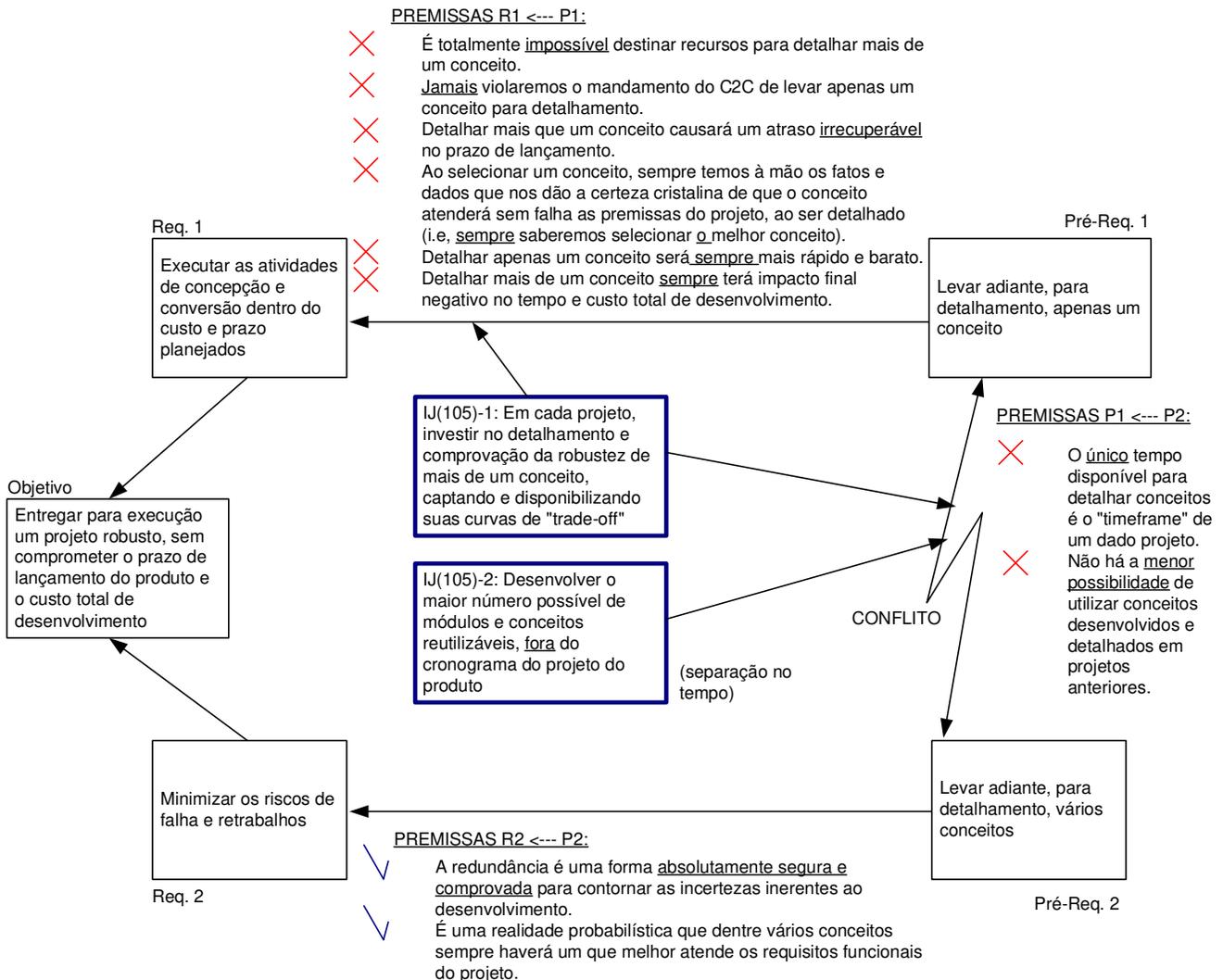


Figura 4.11 Forma final da DCR - 03

(105) "Sempre selecionamos um único conceito para levar adiante".

Esta é a causa raiz de maior impacto na ARA. A DCR – 03 é mostrada na Figura 4.11.

Texto descritivo do conflito: Por um lado, para *entregar para execução um projeto robusto sem comprometer o prazo de lançamento do produto e o custo total de desenvolvimento*, devemos

executar as atividades de concepção e conversão dentro do custo e prazo planejados, para o que devemos levar adiante, para detalhamento, apenas um conceito. Por outro lado, para entregar para execução um projeto robusto, sem comprometer o prazo de lançamento do produto e o custo total de desenvolvimento também devemos minimizar os riscos de falha e retrabalhos, para o que devemos levar adiante, para detalhamento, vários conceitos.

Normalmente, nas organizações de desenvolvimento, prevalece o ramo R1-P1 em detrimento de R2-P2. A consequência inevitável, como demonstra a ARA, é uma sucessão de falhas e retrabalhos que acabam inviabilizando o cumprimento de R1. Dessa maneira, o objetivo final raramente é atingido.

A identificação das premissas inválidas (marcadas com “X” no diagrama) leva às seguintes injeções:

- *IJ (105) - 1: Em cada projeto, investir no detalhamento e comprovação da robustez de mais de um conceito, captando e disponibilizando suas curvas de "trade-off".*

Justificativa: O procedimento típico observado no ambiente de desenvolvimento de produtos é decidir rapidamente (com um mínimo de dados específicos da aplicação anterior, ou da aplicação em questão) sobre um único conceito de projeto para realizar uma dada função do produto. E o mínimo de ensaios e medições que são feitas tem apenas o enfoque de detectar falhas no cumprimento dos requisitos aplicáveis à particular aplicação do produto. Nunca, ou raramente, se investe tempo e recursos em explorar os limites funcionais da tecnologia (curva de *trade-off*), e muito menos em fazer o mesmo para outros conceitos alternativos. Tal prática deixa a equipe de desenvolvimento de mãos atadas diante das falhas que quase invariavelmente acabam ocorrendo em fases adiantadas do projeto.

- *IJ (105) - 2: Desenvolver o maior número possível de módulos e conceitos reutilizáveis, fora do cronograma do projeto do produto.*

Justificativa: Ao desenvolver um produto, normalmente as empresas somente mobilizam recursos dentro das fronteiras de cada projeto, após aprovado o “business case” do produto em questão. Isto invariavelmente condiciona os esforços de desenvolvimento dos subsistemas e módulos às particularidades do produto e sua aplicação específica. Qualquer esforço extra de explorar futuras aplicações nem sequer é cogitado, pois o tempo e custo necessários não podem ser justificados pelo exíguo *time-frame* e orçamento alocados ao projeto. O que vemos então, ao observar uma série de projetos seqüenciais, são esforços repetitivos de conceber e detalhar (desde o “zero”) soluções muito similares, ou então modificar e adaptar soluções existentes às particularidades de cada aplicação. No entanto, em vez de esperarmos que, em cada projeto, sejam definidas as especificações de aplicação para então iniciar o desenvolvimento de soluções, é possível ser muito mais proativo e eficiente, tão apenas sejam identificadas novas necessidades ou oportunidades no mercado, já é possível iniciar o desenvolvimento de soluções modulares (módulos e conceitos reutilizáveis) para as futuras aplicações. Além de otimizar recursos e estimular a inovação, esta nova política pode reduzir drasticamente o *time-to-market* (desde que seja criada uma estrutura dedicada para esta finalidade, trabalhando em paralelo e apoiando os projetos de produtos específicos).

As duas injeções acima, contrariando a percepção vigente, levam à conclusão de que o cumprimento do custo e prazo planejado depende de que, nos momentos críticos de integração do produto, estejam disponíveis não apenas uma, mas várias opções de projeto detalhado, com dados concretos de desempenho observado.

DRC-4 para: (112) "Não temos uma percepção clara do que realmente agrega valor para o consumidor".

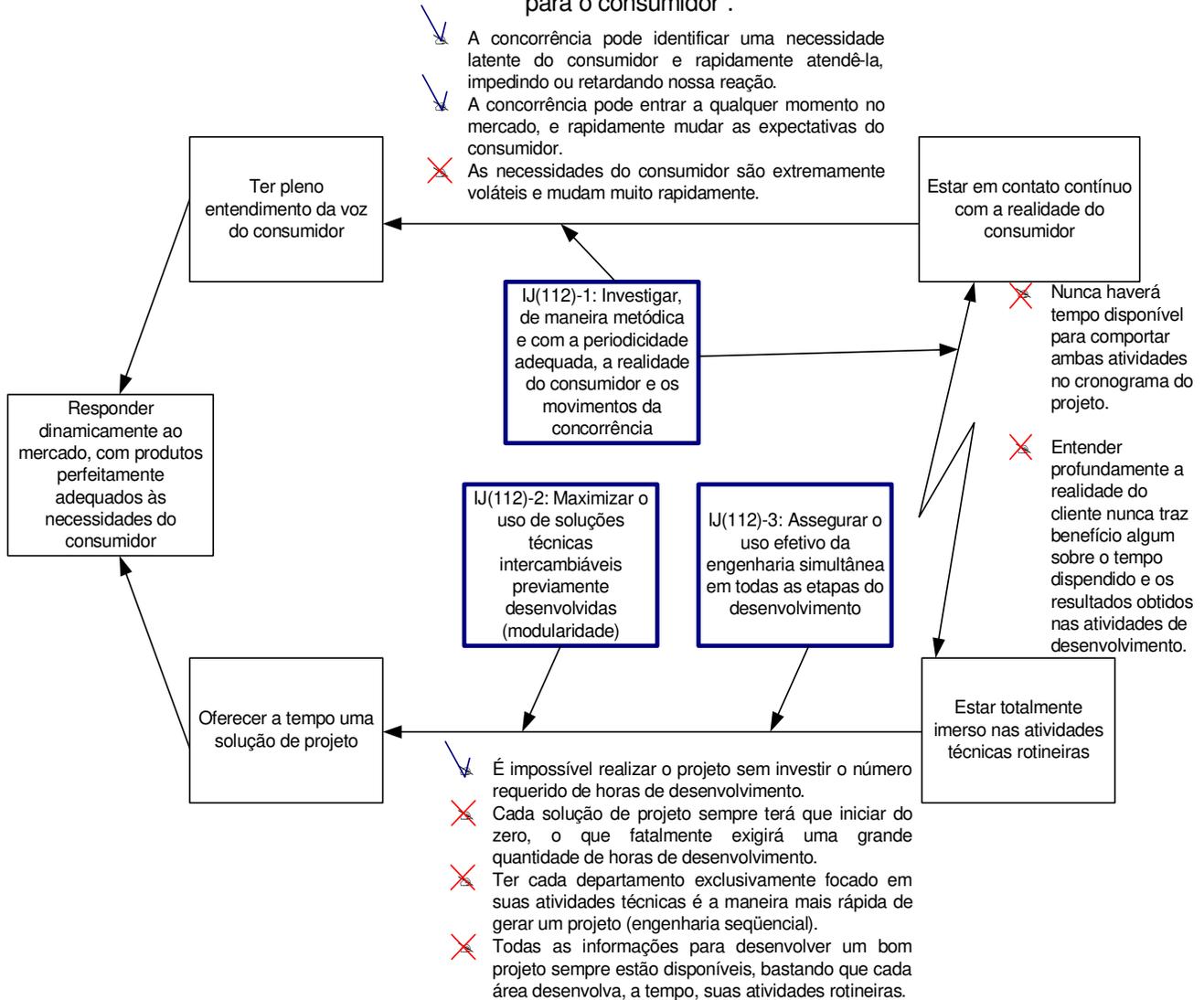


Figura 4.12 Forma final da DCR - 04

A DCR – 04 é mostrada na Figura 4.12. **Texto descritivo do conflito.** Necessitamos *responder dinamicamente ao mercado, com produtos perfeitamente adequados às necessidades do consumidor*. Para isto devemos, por um lado, *ter pleno entendimento da voz do consumidor*, o que nos leva a *estar em contato contínuo com a realidade do consumidor*. Por outro lado, também devemos *oferecer a tempo uma solução de projeto*, e para isso devemos *estar totalmente imersos nas atividades técnicas rotineiras*. Portanto, nos vemos diante do seguinte dilema: por um lado, devemos *estar em contato contínuo com a realidade do consumidor*; por outro lado, devemos *estar totalmente imersos nas atividades técnicas rotineiras* – e nosso tempo limitado não nos permite fazer ambas as coisas...

A identificação das premissas inválidas (marcadas com “X” no diagrama) leva às seguintes injeções:

- *IJ (112) - 1: Investigar, de maneira metódica e com a periodicidade adequada, a realidade do consumidor e os movimentos da concorrência.*

Justificativa: Embora o mercado seja muito dinâmico, as mudanças de preferência do consumidor e demais tendências não são tão freqüentes que não possam ser detectadas por pesquisas semestrais ou mesmo anuais. O que normalmente falta em muitas empresas não são mais pesquisas ou dados sobre o mercado, mas sim métodos que permitam identificar as reais necessidades do consumidor (explícitas ou implícitas) e as verdadeiras oportunidades de melhoria e inovação nos produtos e serviços (não necessariamente evidentes nos dados que tipicamente se obtêm do mercado). Usualmente, as empresas que se preocupam em manter o foco nos clientes periodicamente contratam os serviços de agências especializadas em pesquisas de mercado. Estas, por sua vez, normalmente subcontratam terceiros para aplicar questionários pré-concebidos aos clientes (e, por falta de experiência dos entrevistadores, muita informação importante sobre comentários e reações dos clientes pode ser perdida, já na fonte). Em seguida, a empresa recebe e procura interpretar um denso relatório de pesquisa. Não é surpresa que tal prática raramente traga algum dado novo sobre os clientes e o mercado. O resultado final é que as pessoas que realmente decidem sobre os produtos e serviços da empresa continuam cronicamente isoladas do “gemba” (o

ambiente real) do cliente. Portanto, é necessário utilizar métodos que permitam identificar, estruturar e priorizar os parâmetros da verdadeira “Voz do Consumidor”, trazendo-a para a empresa sem distorções.

- *IJ (112) - 2: Maximizar o uso de soluções técnicas intercambiáveis previamente desenvolvidas (modularidade).* Para justificar esta injeção, valem os mesmos comentários já feitos anteriormente para a IJ(105)-1 e IJ(105)-2.
- *IJ (112) - 3: Assegurar o uso efetivo da engenharia simultânea em todas as etapas do desenvolvimento.*

Justificativa: Ao tentar aplicar de maneira equivocada a Engenharia Simultânea ou o QFD (*Quality Function Deployment*), muitas empresas, frustradas com inúmeras e intermináveis reuniões improdutivas, acabaram regredindo para a tradicional “engenharia seqüencial”, com reuniões periódicas gerenciais para verificar o cumprimento de tarefas. Na realidade, um projeto bem gerenciado deve combinar a Engenharia Simultânea - nos momentos críticos de decisões técnicas do projeto – com a engenharia tradicional, nas atividades de detalhamento do projeto.

DRC-5 para: (111) "Alguns erros de projeto não são identificados"

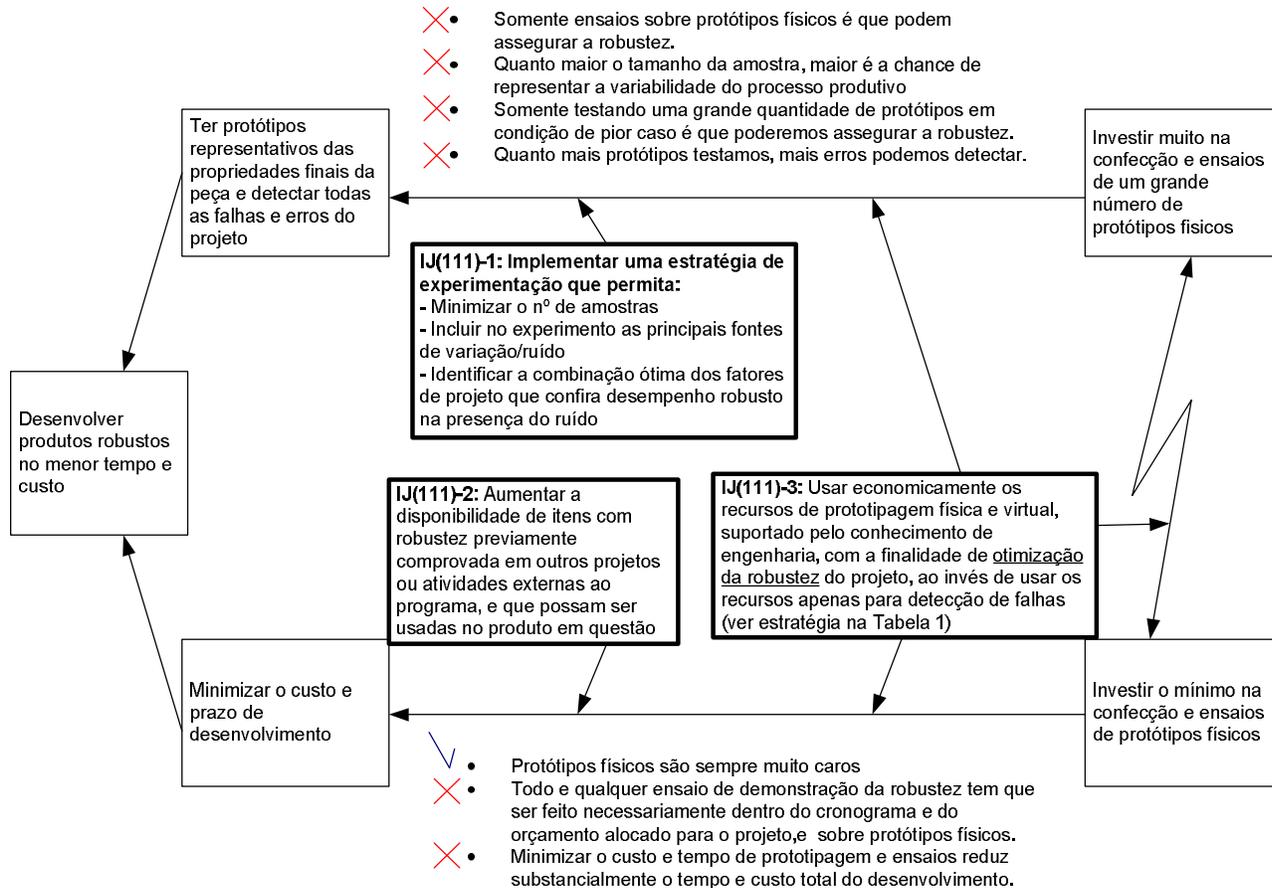


Figura 4.13 Forma final da DCR - 05

A DCR – 05 é mostrada na Figura 4.13. *Texto descritivo do conflito.* Temos que *desenvolver produtos robustos no menor tempo e custo*. Para isto, por um lado, devemos *ter protótipos representativos das propriedades finais da peça e detectar todas as falhas e erros de projeto*, e necessitamos *investir muito na confecção e ensaios de um grande número de protótipos físicos*. Por outro lado, também devemos *minimizar o custo e prazo de desenvolvimento*, e para isto necessitamos *investir o mínimo na confecção e ensaios de protótipos físicos*.

A identificação das premissas inválidas (marcados com “X” no diagrama) nos leva a formular as seguintes injeções:

- *IJ(111)-1: Implementar uma estratégia de experimentação que permita:*
 - minimizar o número de amostras;
 - incluir no experimento as principais fontes de variação/ruído;
 - identificar a combinação ótima dos fatores de projeto que confira desempenho robusto na presença do ruído.

Justificativa: Normalmente, os ensaios de validação de um dado módulo ou peça, tratam de avaliar o desempenho em condições de laboratório muito bem controladas. Além disso, em tais experimentos, a postura típica do experimentador industrial é agir equivocadamente, “protegendo” os itens sob ensaio de fatores que possam fazer variar o desempenho. O resultado típico é que as conclusões do experimento de laboratório não se confirmam nas condições reais de uso. Uma estratégia de experimentação muito superior, que cumpre os requisitos desta injeção e que já está bastante desenvolvida e comprovada na indústria, é o Método de Engenharia Robusta desenvolvido pelo Dr. Genichi Taguchi.

- *IJ(111)-2: Aumentar a disponibilidade de itens com robustez previamente comprovada em outros projetos ou atividades externas ao programa, e que possam ser usadas no produto em questão.* Para justificar esta injeção, valem os mesmos comentários já feitos anteriormente para a IJ(105)-1, IJ(105)-2 e IJ(112)-2.
- *IJ(111)-3: Usar economicamente os recursos de prototipagem física e virtual, suportado pelo conhecimento de engenharia, com a finalidade de otimização da robustez do projeto, ao invés de usar os recursos apenas para detecção de falhas (ver estratégia na Tabela 4.1).*

Justificativa: Como já havíamos observado antes, o enfoque típico dos ensaios de validação é *detectar falhas* do item em atender os requisitos especificados para a aplicação do produto. Entretanto, a maioria dessas falhas é mero sintoma de variação da função básica do item, quando o mesmo sofre a influência de fatores externos na manufatura e uso. Por exemplo: um sistema de freio automotivo tem a função básica de gerar torque de atrito, que desacelera o veículo. Este sistema apresenta falhas como ruído audível e trepidação, aparentemente sem relação uma com a outra. Mas na verdade, em sua essência, ambas as falhas são apenas diferentes formas de desviar a energia que deveria ser transformada em torque, “roubando-a” para produzir efeitos prejudiciais. Se durante o desenvolvimento do freio realizamos experimentos cujo objetivo é identificar a condição de projeto que otimize sua função básica (máxima eficiência em gerar torque, máxima eficiência na transformação de energia), simplesmente não deixaremos energia “à solta” para alimentar as diversas falhas e sintomas de mau funcionamento, os quais tendem a desaparecer todos de uma vez. Portanto, em vez de realizar ensaios com o fim de detectar o mau funcionamento, uma estratégia muito mais eficiente é realizar experimentos para otimizar o bom funcionamento, encontrando a combinação ótima dos fatores de projeto que minimizam a variação da função básica diante dos fatores de variação encontrados no ambiente de uso (fatores de ruído). Esta é a estratégia de otimização da robustez preconizada por Taguchi a qual, se aplicada proativamente nos estágios preliminares do desenvolvimento de tecnologia, permite reduzir substancialmente o tempo e custo dos ensaios posteriores de validação em nível de sistema. A Tabela 4.1 sugere critérios para direcionar experimentos de otimização e ensaios de validação, usando simulação em computador (quando disponível), protótipos físicos ou protótipos ferramentados.

TIPO DE ITEM		OTIMIZAÇÃO		VALIDAÇÃO	
		<i>Combinação ótima</i>	<i>Experimento confirmatório</i>	<i>Nível individual</i>	<i>Nível de sistema</i>
Robustez comprovada previamente		-	-	-	●
Simulação disponível	Item não crítico	Simulador	Físico*	-	●
	Item crítico	Simulador	Físico	Ferramentado**	●
Simulação não disponível	Item não crítico	Físico	Físico	-	●
	Item crítico	Físico	Ferramentado	Ferramentado	●

*Físico - Não virtual. Componente para avaliação estética ou física, mas que não necessariamente tem todas as propriedades do componente final.

**Ferramentado - Peças provenientes de um ferramental protótipo que garantem as propriedades físicas, dimensionais e estruturais do componente final.

Tabela 4.1 Estratégia para realização de ensaios

4.6 Validação lógica das injeções: Árvore da Realidade Futura

O próximo passo da análise é assegurar (com base na experiência e na lógica) a consistência do conjunto de ações (injeções) capazes de eliminar os efeitos indesejáveis da realidade atual. Para isso construímos a Árvore da Realidade Futura (ARF) mostrada nas Figuras 4.14 e 4.15 (páginas 1 e 2 respectivamente) A ARF parte das injeções originadas na análise das causas raízes (diagramas de conflito, seção anterior), as quais são completadas com as injeções adicionais necessárias para produzir consistentemente os efeitos desejados da realidade futura (o oposto dos efeitos indesejados da realidade atual), os quais são mostrados em destaque no topo da árvore. Na ARF, as injeções estão em retângulos com cantos vivos, enquanto os efeitos decorrentes das mesmas são mostrados em retângulos com cantos arredondados.

Árvore da Realidade Futura para as fases de idealização, concepção e conversão (pág. 1 de 2)

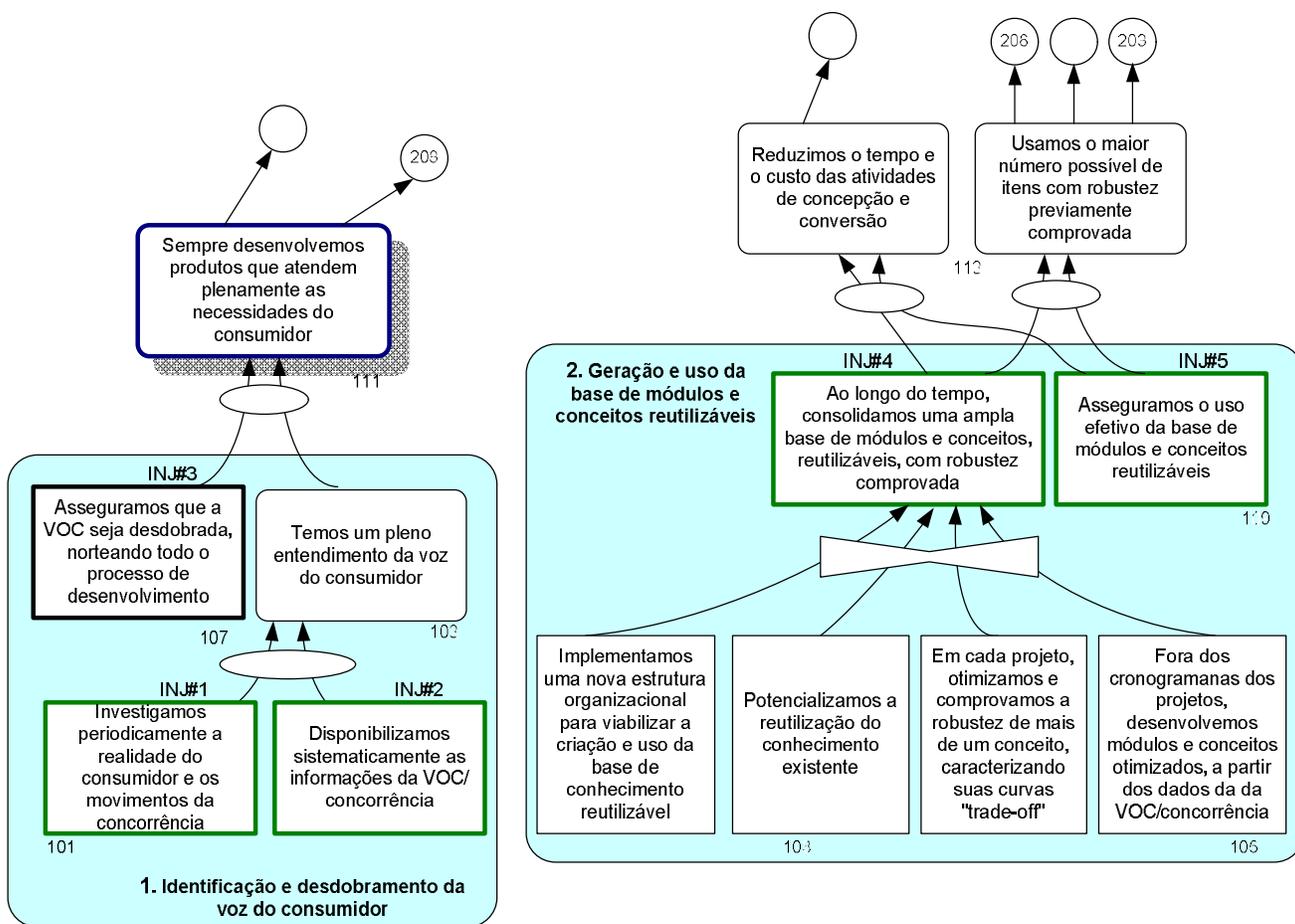


Figura 4.14 ARF Árvore da realidade futura página 1

Árvore da Realidade Futura para as fases de idealização, concepção e conversão (pág. 2 de 2)

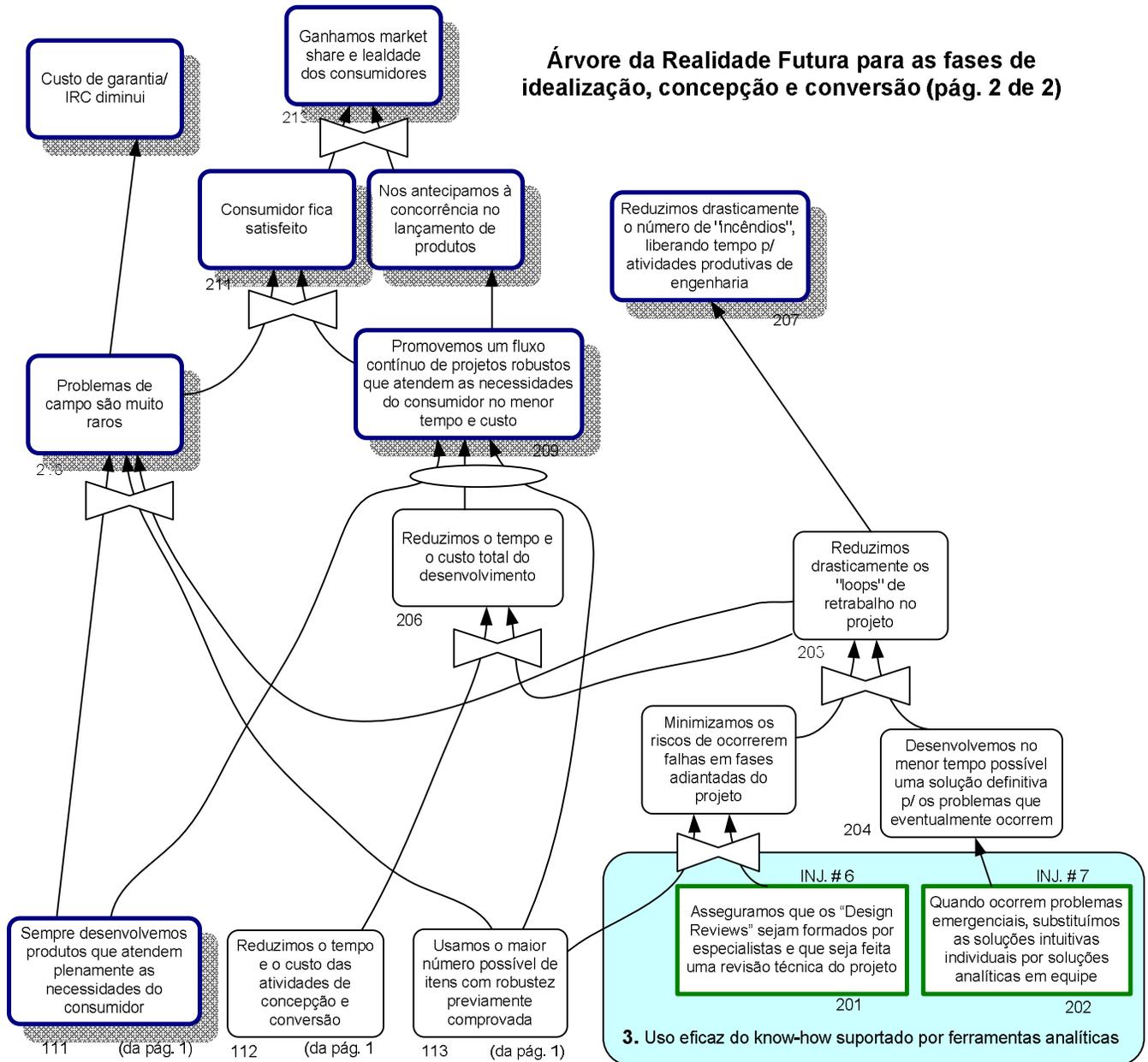


Figura 4.15 ARF Árvore da realidade futura página 2

Na ARF, as injeções foram numeradas (INJ#1 a INJ#7) e agrupadas em três frentes de mudança:

1. *Identificação e Desdobramento da Voz do Consumidor (VOC):* INJ#1, INJ#2 e INJ#3.
2. *Geração e Uso da Base de Módulos e Conceitos Reutilizáveis:* INJ#4 (que sintetiza as injeções 103, 104, 105 e 106) e INJ#5.
3. *Uso eficaz do know-how tecnológico, suportado pelo uso de ferramentas analíticas:* INJ#6 e INJ#7.

As conexões lógicas da ARF mostram que se implementarmos estas injeções, o resultado praticamente inevitável será uma transformação radical no ambiente de desenvolvimento de produtos.

4.6.1 Identificando obstáculos à implementação: Árvore de Pré-Requisitos

É importante reconhecer que todo processo de mudança encontrará resistência. Por isso, é interessante identificar os possíveis obstáculos e definir maneiras de contorná-los, de modo a aumentar a chance de êxito. Em torno das injeções propostas para as três frentes de trabalho da ARF, construímos Árvores de Pré-Requisitos (APR), mostradas nas Figuras 4.16, 4.17, 4.18 seguintes. Conforme mostra a primeira APR, no seu topo estão as injeções que desejamos implementar e as respectivas condições necessárias, seguindo-se uma cadeia que mostra os possíveis obstáculos (anotados em hexágonos) e as tarefas ou objetivos intermediários necessários para contorná-los. Na seção seguinte, tais tarefas e objetivos intermediários são consolidados em um plano geral para implementar a mudança.

**Árvore de Pré-Requisitos para:
1. Identificar e desdobrar a VOC**

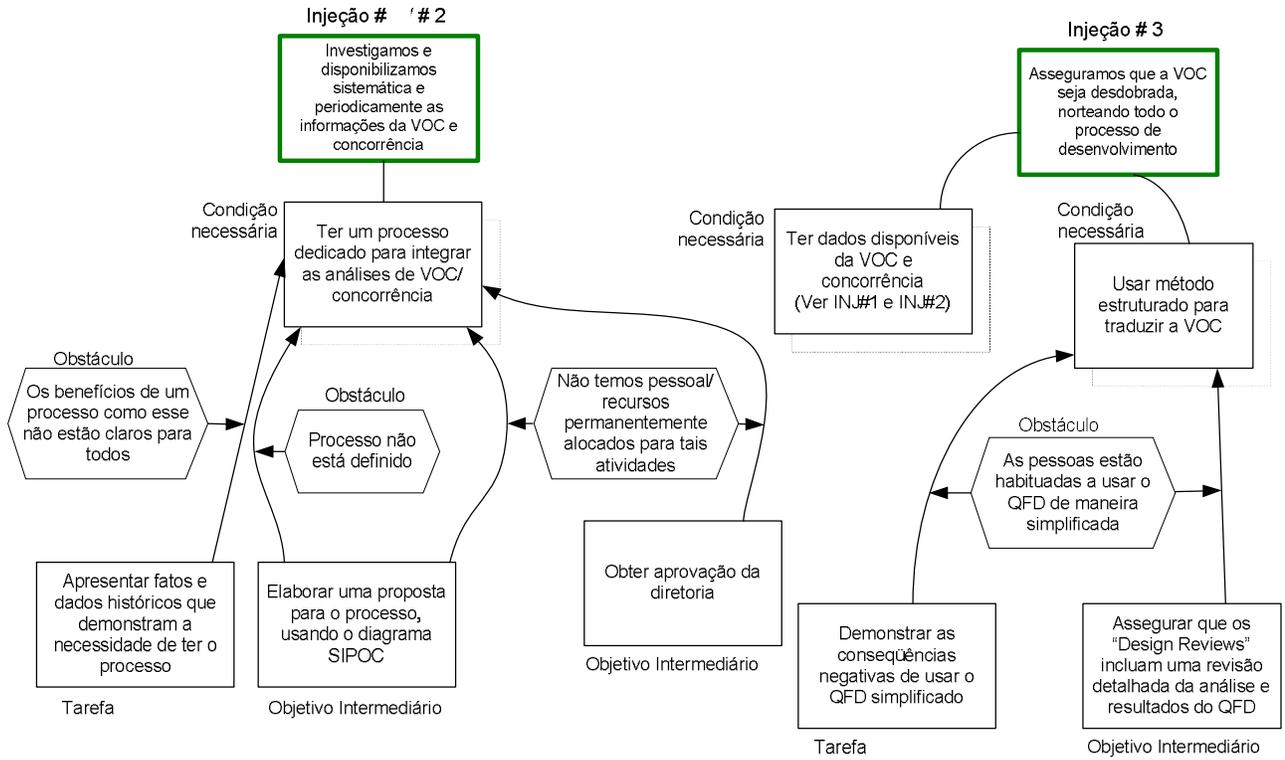


Figura 4.16 APR para identificar e desdobrar a VOC

**Árvore de Pré-Requisitos para:
2. Gerar e usar a base de módulos e conceitos reutilizáveis**

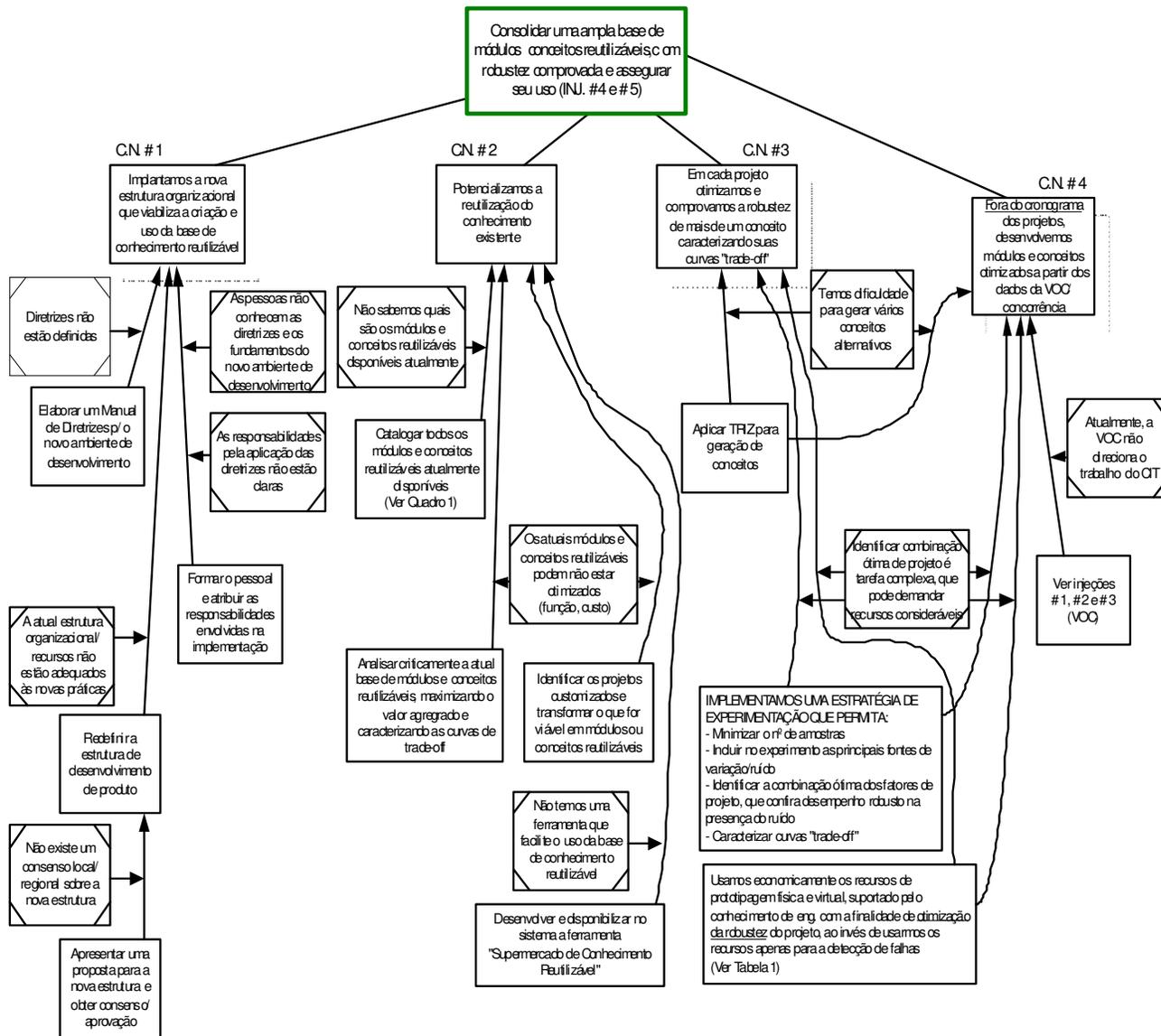


Figura 4.17 APR Gerar e utilizar a base de módulos e conceitos reutilizáveis

**Árvore de Pré-Requisitos para:
3. Uso eficaz do know-how, suportado por ferramentas analíticas**

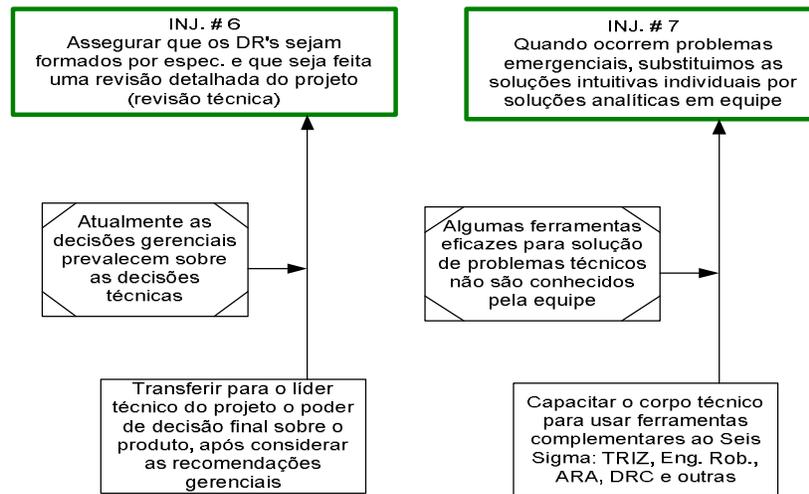


Figura 4.18 APR Uso eficaz do *know how*, suportado por ferramentas analíticas

4.7 Sumário

Nesse capítulo apresentou-se uma aplicação completa da metodologia do TP (thinking process) no PDP de uma empresa de eletrodomésticos. Detalhou-se a metodologia, demonstrando-se a seguinte seqüência processual: *a*) identificação através da ARA dos efeitos indesejáveis e suas causas raízes ou restrições que limitam o desempenho do PDP; *b*) identificação do conflito oculto atrás de cada restrição e sugestão de idéias inovadoras (“injeções”) através da DRC; *c*) comprovação da efetividade dessas “injeções” na eliminação dos efeitos indesejáveis através da ARF; *d*) identificação dos obstáculos para implementação das injeções por meio da APR.

Na aplicação da referida metodologia identificou-se três aspectos fundamentais (injeções) que caracterizam o novo ambiente de desenvolvimento de produtos na solução de suas restrições: identificar e desdobrar a VOC (Voz do consumidor); gerar e utilizar a base de módulos e conceitos previamente concebidos e comprovados; usar eficazmente o *know how* fundamentado pelo uso de ferramentas analíticas².

No capítulo seguinte apresenta-se uma aplicação prática do TP no desenvolvimento técnico de um produto, no caso uma lavadora de roupas.

² No apêndice “A” do presente trabalho, como contribuição adicional, apresenta-se um diagrama em árvore, que é o conjunto de ações necessárias para se implementar os aspectos fundamentais que caracterizam o novo ambiente de desenvolvimento de produtos em uma empresa de eletrodomésticos.

Capítulo 5

Aplicação do *Thinking Process* para o desenvolvimento de uma lavadora de roupa

No capítulo anterior fez-se uma aplicação do TP no PDP de uma empresa de eletrodomésticos. Nesse capítulo aplica-se o *Thinking Process* para o desenvolvimento de um produto, no caso uma lavadora de roupas compacta para o mercado chinês.

Nesse capítulo, para uma melhor ambientação, primeiramente, será apresentado uma breve história do desenvolvimento das lavadoras; seus conceitos técnicos, sistemas, aspectos construtivos e fatores que influenciam o projeto do produto. Aborda-se também os motivadores do mercado chinês para o desenvolvimento de um produto compacto, como, por exemplo, tamanho do mercado, concorrência e limitações de espaços nas residências.

Na aplicação do *Thinking Process* para o desenvolvimento do produto, identifica-se os efeitos indesejáveis, suas causas raízes e os conflitos das restrições. Também sugere e valida idéias de soluções para as restrições e identifica os obstáculos a serem contornados na implementação dessas soluções.

5.1 Lavadora de roupa: histórico

A história das lavadoras automáticas de roupa é relativamente curta. Os primeiros métodos de lavagem de roupas têm se mantido essencialmente o mesmo por milhares de anos. Na antiguidade as pessoas lavavam a roupa sovando sobre pedras e esfregando sobre areias abrasivas, utilizando correntes de água para desprender a sujeira. Durante séculos nas viagens por mar, a roupa era colocada numa bolsa de tela resistente a qual era lançada ao mar e arrastada pelo barco durante horas. O princípio utilizado era claro, forçar a passagem da água através das fibras do tecido para eliminar a sujeira. Na sua mais avançada forma, o método de lavagem era composto de uma série de tarefas que incluíam deixar a roupa de molho em tinas de água morna durante a noite. Na manhã seguinte a água era drenada e a água quente de sabão era pulverizada sobre as roupas. Na seqüência, cada artigo era lavado dentro das tinas com água e sabão e esfregadas contra pedras, que posteriormente foram substituídas pelo esfregador de madeira. Depois disso, as roupas eram torcidas e colocadas em água quente, seguido de uma série de enxágües e torcimento. Finalmente, as roupas eram penduradas externamente em um varal para secar (Strasser, 1982).

As primeiras lavadoras da história imitavam o movimento que realizavam manualmente as pessoas ao lavarem sua roupa. Basicamente consistia numa máquina que esfregava a peça de roupa contra uma superfície rugosa e que era acionada manualmente, através de uma alavanca. Este tipo de lavadoras foram as primeiras patenteadas nos Estados Unidos em 1846.

A primeira lavadora reconhecida como tal foi inventada pelo americano James King, que a patenteou em 1851. Era somente um tambor semelhante aos atuais, mas que funcionava acionado manualmente. Em 1858, Hamilton Smith patenteia a primeira máquina de lavar rotatória.

Em 1874, o também americano William Blackstone, construiu como presente para a sua esposa uma máquina de lavar para uso doméstico que consistia de uma cuba de madeira e que por meio de uma manivela acionava algumas engrenagens localizadas internamente, fazendo com

que a roupa se movimentasse na água removendo a sujeira. Até 1875, mais de 2000 patentes de lavadora tinham sido emitidas.¹

A *Maytag Corporation*, um dos atuais fabricantes de lavadoras, iniciou suas atividades em 1893, quando F.L. Maytag, seu fundador, começou seus negócios em outro ramo de atividades em Newton, Iowa. Para aumentar a sua linha de produtos, ele introduziu uma máquina de lavar que era uma tina de madeira. Rapidamente, Maytag se dedicou em tempo integral ao negócio das lavadoras (Figura 5.1).



Figura 5.1 - Lavadora Maytag, inventada em 1907 (Maxwell, 2008)

Em 1907, J. T. Winans também registrou uma patente de lavadora. No começo a lavadora usava turbinas que davam força à água. O uso de turbinas não foi tão popular e a companhia passou a fabricar uma versão com força elétrica.

¹ fonte: <http://www.laundrytoday.com> – acessado em março de 2007

No século 19 a indústria de lavanderia passou pelo inevitável estágio de desenvolvimento econômico que a indústria de calçados e roupas tinham previamente passado durante a revolução industrial. A Lavanderia saiu do estágio artesanal representado pela lavagem individual para o de operação industrial de lavanderias comerciais, onde empreendedores lucravam com economia de escala. Considerando que as lavanderias comerciais ofereciam somente um serviço, seus processos eram ligeiramente diferentes daqueles das indústrias de calçados e roupas durante o mesmo período. Elas logo encontraram a forte competição dos fabricantes de máquinas de lavar domésticas. Ironicamente, as inovações para o aumento de produtividade sugerido pela lavanderia industrial permitiram o nascimento da indústria de máquinas de lavar roupas doméstica (Strasser, 1982).

Em 1908 chegou ao mercado a primeira máquina de lavar elétrica, criada pela *Hurley Machine Company of Chicago*, Illinois. A sua máquina foi chamada de Thor e foi inventada por Alva J. Fisher (Figura 5.2).

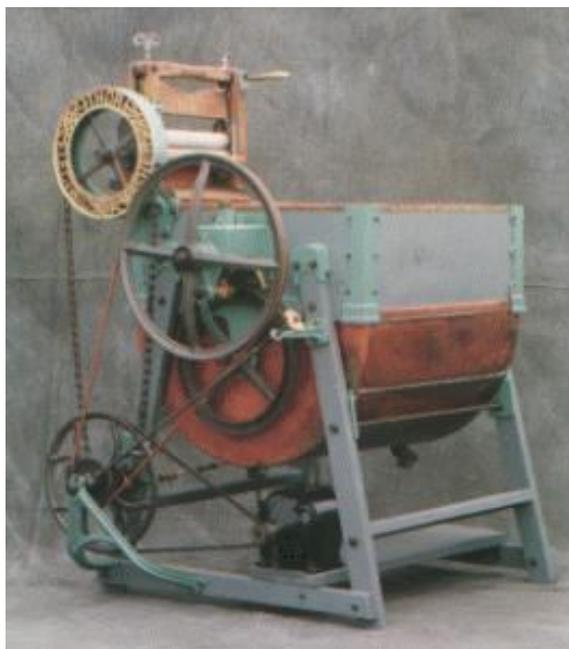


Figura 5.2 Lavadora de Fisher (Maxwell, 2008)

A lavadora Thor tinha forma de tambor com um tubo galvanizado para a roupa e um motor elétrico. A sua patente se registra no dia 9 de agosto de 1910 (Figura 5.3). Nas primeiras lavadoras se utilizaram principalmente motores de 1/8 CV e de 1/4 CV que se esfriavam mediante um ventilador para evitar que o motor queimasse.

De maneira progressiva, Fisher foi aperfeiçoando a sua invenção e conseguiu, por meio de um complexo sistema de câmbios, que o tambor da lavadora fosse se alternando durante a realização da lavagem. Seu sentido de giro fazia com que a roupa ficasse ainda mais limpa. Fisher conseguiu desenvolver uma porta a qual incorporava o famoso olho mágico com o qual se evitava que a água que se encontrava no interior do tambor saísse.

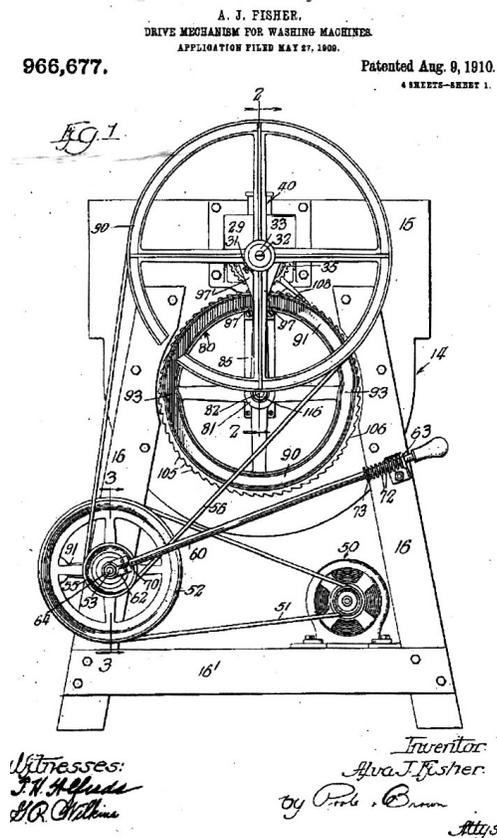


Figura 5.3 - Esboço da patente de Fisher (Maxwell, 2008)

Alguns autores não reconhecem Fisher como o inventor da lavadora elétrica (Tabela 5.1). Segundo Lee Maxwell (2008), Alva J. Fisher foi erroneamente reconhecido. Supõe-se que um

pesquisador de história tinha encontrado a patente de 1910 e por observação do primeiro diagrama, concluiu que Fisher tinha inventado a primeira máquina lavadora elétrica. Aparentemente, as patentes anteriores não tinham sido bem sucedidas. Em 1910, os Estados Unidos, Áustria, Inglaterra e outros países cederam a A. J. Fisher cartas de patente pela sua lavadora. O corpo principal da lavadora parece ser a mesma em cada uma das três patentes, no entanto, as patentes britânica e austríaca mostram um espremedor que não está incluído na patente americana.

Patente	Pat. No.	Fecha de Aplicação	Data de Emissão da Patente
Winans, T. J.	841606*	12 Abr. 1906	15 Jan. 1907
Willsea, L. P.	870655	8 Jan. 1906	12 Nov. 1907
B. Woodrow, O.	921195	13 Maio 1908	11 Maio 1909
Lombard, N.	944736	4 Fev. 1909	28 Dez. 1909
F. Phillips, W.	950402	15 Ene. 1909	22 Fev. 1910
Fisher, Alva Josiah	45347**	30 Set. 1909	15 Jul. 1910
Fisher, A. J.	966677	27 Maio 1909	9 Ago. 1910
Fisher, Alva Josiah	22114** *	28 Set. 1909	18 Ago. 1910
Voss, W. H.	1008502	7 Dez. 1908	14 Nov. 1911
Voss, W. H.	1013629	3 Dez. 1908	2 Jan. 1912
Sutter, J. H.	1092605	21 Nov. 1908	7 Abr. 1914

* Sem motor elétrico ** Número de patente austríaca *** Número de patente britânica

Tabela 5.1. Aplicações de patentes para lavadoras elétricas (Maxwell, 2008)

Em 1911, a *Whirlpool Corporation* começou a produzir lavadoras elétricas mais econômicas e mais acessíveis para os norte-americanos. A Tecnologia de fabricação de lavadoras continuou avançando para o conceito de operação completa de lavar, enxaguar e extrair a água. A máquina de carregamento superior foi um dos muitos conceitos que ajudaram a promover o avanço das

lavadoras. Elas contribuíram para diminuir a necessidade das mulheres trabalharem em casa e poderem se dedicar a trabalhar fora.

Os avanços no mecanismo de lavagem continuaram e o mercado foi liderado por companhias como *Whirlpool*, *Horton Company (Fort Wayne, Ind.)*, *Daylight Company (Minneapolis, Minn.)*, *Brantford Washing Machine Company (Brantford, Canada)*, *Lovell Manufacturing Company (Erie, Pa.)*, and *Barlow and Seelig Company (Ripon, Wis.)*. Alguns exemplos de lavadoras lançadas por algumas das companhias acima pode ser visto na Figura 5.4:

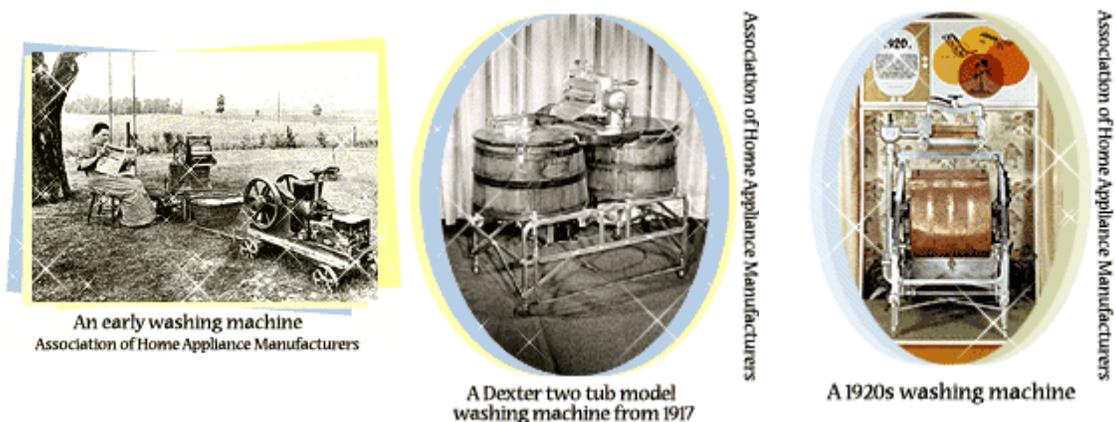


Figura 5.4 - Exemplos de lavadoras²

Um dos modelos lançados no mercado tinha duas curvas aletadas. Esse tipo de sistema foi produzido aproximadamente até 1927. As lavanderias comerciais não gostavam desse tipo de processo porque as roupas tinham que ser alimentadas uma a uma através desse dispositivo. Isso levou ao desenvolvimento dos modernos sistemas de lavagem no qual as roupas são imersas e agitadas dentro de uma solução detergente. O primeiro sistema tinha uma cuba de lavagem e um

² fonte: www.history.com, acessado em março de 2007

torcedor para a extração de água. (William, 1969; Strasser, 1982). A lavadora seguinte tinha dois cestos, um para a lavagem e outro para a extração de água através do giro de centrifugação. Nos dois tipos de máquinas o operador tinha que manusear as roupas molhadas como um estágio intermediário antes de torcer ou centrifugar (Strasser, 1982).

A invenção da eletricidade foi o maior contribuidor do desenvolvimento das lavadoras automáticas de lavagem de roupas (William, 1969). Nos Estados Unidos, por volta do final dos anos 20, aproximadamente 25% da população que não vivia no campo tinham máquinas de lavagem de roupas elétricas (Strasser, 1982).

Em 1949, após a segunda guerra mundial, se criou a primeira lavadora automática programada com cartões perfurados, por *Schultness Group*. A eficiência e tecnologias associadas a lavadoras progrediram rapidamente. Em 1957 a *GE* lança um modelo com controle de temperatura de lavagem e velocidade de rotação.

Os avanços da tecnologia continuaram e, em 1978, se produz a primeira lavadora automática controlada por *microchip*³. A aceitação da lavadora por parte dos consumidores foi tão alta que no início da década de 90, 70% dos lares americanos tinham uma lavadora.

Os processos de lavagem continuam a evoluir dia-a-dia com o surgimento de novos detergentes e controles que permitem uma qualidade melhor de lavagem com o menor desgaste das fibras dos tecidos. Hoje em dia, as lavadoras propiciam às pessoas utilizar seu tempo em outras coisas e não ocupar o seu dia na árdua tarefa de lavar roupa. Tem-se como desafio atual a redução do consumo de água e energia e aumento do desempenho de lavagem.

³ fonte: <http://inventors.about.com> – acessado em março de 2007

5.2 O produto lavadora de roupas

5.2.1 Fatores que influenciam o projeto do produto

Sob o aspecto de projeto e desenvolvimento do produto lavadora de roupas, existem certos fatores importantes a serem considerados tais como cuidados com a roupa, aspectos regulatórios e ambientais e aspectos de competitividade no mercado.

Cuidados com a roupa - Para a limpeza adequada de cada tipo de tecido e diferentes tipos de sujidade faz-se necessário o desenvolvimento de ciclos de lavagem otimizados. O consumidor busca a melhor qualidade ou desempenho de lavagem no menor tempo e com o menor desgaste dos seus artigos ao longo do tempo. A eficiência dos insumos químicos como alvejante, amaciante e detergente; os avanços dos sistemas de controles eletrônicos; e os mecanismos de motorização são os aspectos mais relevantes no desenvolvimento de produtos de alto desempenho de lavagem.

Aspectos regulatórios e ambientais - Os aspectos regulatórios e de meio ambiente também impactam significativamente o desenvolvimento das lavadoras. Os requisitos de consumo de água, energia, emissão de detergente na rede de esgoto, uso de materiais especiais na estrutura e componentes dos produtos variam de mercado para mercado e de acordo com a regulamentação específica de cada órgão ou governo. Requisitos mínimos legais de segurança e de confiabilidade são outros aspectos que influenciam o desenvolvimento do produto.

Competividade no mercado – O custo do produto é outro fator de impacto. Os consumidores buscam por produtos de alto desempenho, qualidade e funcionalidade pelo menor preço possível. A concorrência entre os fabricantes para atender a essa demanda é amplificada ainda mais, quando o produto em questão está se tornando um *commodity* que é o caso específico da lavadora. Na busca de fugir da “comoditização” os fabricantes buscam alternativas criativas em projetos e também na comunicação dos benefícios do produto no ponto de venda.

Os fatores acima variam de mercado para mercado. Algumas características e funções são mais relevantes para um mercado do que para outros, enquanto outras características são específicas de um determinado mercado. Por exemplo, um dos aspectos muito valorizado no mercado chinês é o tamanho do produto. Eles preferem produtos pequenos exteriormente, de grande capacidade de lavagem e com ciclos de higienização. Na Europa os aspectos mais relevantes são consumo de água, energia e velocidade de centrifugação ou desempenho na extração de água. O mercado americano tem uma forte preferência por produtos de grande capacidade de carga, operação ergonômica e essencialmente o par lavadora/secadora. O mercado brasileiro tem o seu fundamento no aspecto emocional onde o apelo estético do produto, a marca do produto são fatores relevantes e de *status* para o consumidor. Para todos os mercados pode-se citar como requisito comum o desejo de um produto com grande capacidade. Devido a todas essas particularidades, não existe hoje no mercado um único produto que contenha todas essas soluções.

5.2.2 Aspectos construtivos das lavadoras

O processo de lavagem de roupa nas lavadoras é composto de quatro fatores principais que afetam diretamente o desempenho de lavagem: ação mecânica, ação química, temperatura e tempo. Quanto mais otimizada a combinação desses fatores, melhor será o desempenho para um determinado tipo de tecido e ou sujidade. No entanto, não existe num só produto ou sistema todos os fatores na sua combinação ótima.

As lavadoras de roupas podem ser categorizadas em três grupos: sistema de lavagem, grau de automação e aspectos estruturais/ergonômicos.

Quanto ao sistema de lavagem: nos dias de hoje, considerando-se os grandes mercados globais, podem-se destacar três sistemas de lavagem de roupas. O sistema de lavagem por tombamento, sistema de lavagem por agitador e sistema de lavagem por impulsor (Figura 5.5). Cada sistema é caracterizado por processos de lavagem diferentes. Esses processos são elaborados levando em consideração alguns importantes fatores como tipo de tecido, grau de sujidade, quantidade e volume de roupas a serem lavadas.

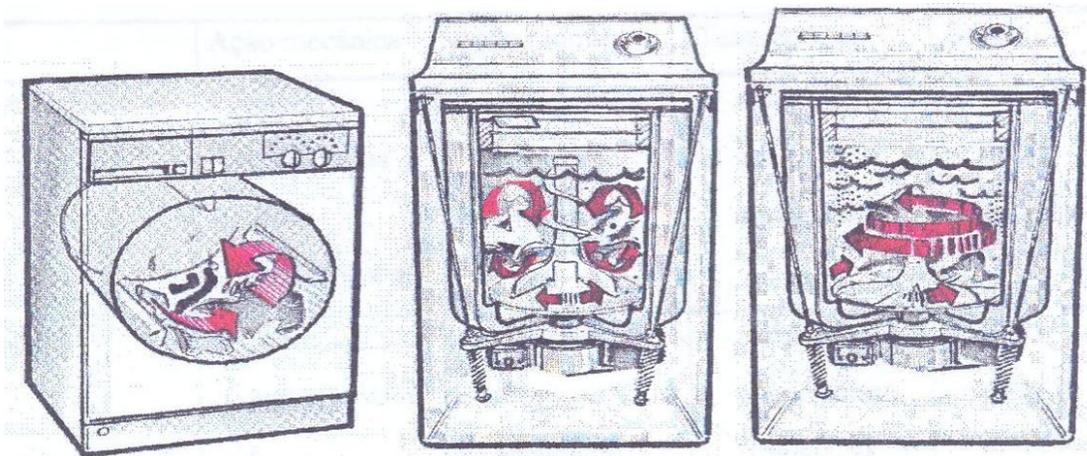


Figura 5.5 Sistemas de Lavagem de roupa

Quanto ao grau de automação. Os processos podem ser realizados com diferentes graus de automaticidade. Nas lavadoras consideradas automáticas o usuário faz o carregamento das roupas e insumos (detergente, alvejante, amaciante) no início do ciclo e o produto se encarrega de completar a tarefa.. A roupa é retirada no final do ciclo, pronta para a secagem no varal ou secadora. As lavadoras semi-automáticas requerem uma maior interação do usuário durante processo de lavagem, auxiliando no abastecimento e drenagem manual da água, assim como na adição de insumos nas diversas etapas do ciclo. Ao término do ciclo a roupa não está pronta para o processo de secagem requerendo uma operação adicional para remover o excesso de umidade.

Quanto aos aspectos estruturais e ergonômicos. As lavadoras de roupas são classificadas em duas categorias construtivas e duas ergonômicas. Na categoria construtiva são classificadas quanto a posição do eixo do motor que pode ser: Eixo vertical (VA) e Eixo horizontal - HA (*Horizontal Axis Drum*). As máquinas com eixo inclinado também são classificadas na categoria HA. A categoria ergonômica é classificada quanto ao sentido de abastecimento de roupas que podem ser superior ou frontal. No tipo VA encontramos no mercado máquinas com dois tipos de sistema: agitador e impulsor, ambos com carregamento superior. No tipo HA temos máquinas de carregamento frontal e superior para produtos automáticos. Na categoria semi-automática existem máquinas de carregamento superior, com impulsor de eixo horizontal, essas classificadas como “tanquinhos”. No tipo HA encontramos no mercado produtos com os dois tipos de características ergonômicas, superior e frontal; enquanto que nos produtos VA apenas carregamento superior.

5.2.3 Sistema de lavagem

Quando se faz uma comparação dos três sistemas de lavagem pode-se relatar algumas vantagens e desvantagens. No sistema de tombamento, que é aplicado em lavadoras de eixo horizontal HA, a ação mecânica é dada pelo impacto da roupa na água, pelo atrito roupa com roupa e também pelo atrito das aletas arrastadoras de roupas. As roupas são movimentadas de baixo para cima pelas aletas arrastadoras e caem devido a ação da gravidade, impactando-se contra a água para remover a sujeira. Nesse sistema a ação mecânica é menor que nos outros sistemas, sendo muito adequado para roupas delicadas como seda e lã. As roupas normais, por sua vez, também têm um desgaste menor ao longo do tempo. Por outro lado, o baixo atrito ou ação mecânica requer um tempo maior para completar um ciclo de lavagem, num desempenho equivalente, além de necessitar de uma temperatura da água mais alta para aumentar a ação química. Normalmente esse sistema requer que a máquina tenha o auto-aquecimento da água, aumentando o consumo de energia, que se torna quase dez vezes maior quando comparado com os outros sistemas a frio. As altas temperaturas melhoram em muito a eficiência da ação química do detergente, sendo o grande contribuidor da qualidade de lavagem. Esse sistema requer pouca quantidade de água, quase 70% menor comparado com os outros sistemas, pois a roupa não precisa estar submersa.

No sistema de agitador que é aplicado em lavadoras de eixo vertical ou VA (*vertical axis drum*) o carregamento das roupas é feito pela parte superior da máquina. A ação mecânica é bem maior quando comparadas ao sistema de tombamento, embora menos agressiva quando comparada ao sistema de impulsor. As “pás” do agitador movimentam a roupa, diluem o detergente e promovem o atrito direto com a roupa. O consumo de energia é baixo, pois na grande maioria dos casos esse sistema trabalha com água fria ou água quente proveniente do aquecimento central da residência. Vale ressaltar que nas residências com aquecimento central o consumo total de energia é equivalente, ou algumas vezes maior, ao consumo de lavadoras de eixo horizontal. Normalmente não se faz máquinas de agitação com auto aquecimento devido a grande quantidade de água a ser aquecida. O grande contribuidor da lavagem nesse sistema é a ação mecânica promovida pelo agitador.

O sistema de impulsor é aplicado em lavadoras de eixo vertical automáticas e eixo horizontal para os “tanquinhos”. A ação mecânica é a mais agressiva, promovendo o maior desgaste dos tecidos por ciclo. O desgaste é mais intenso porque toda a massa da roupa, pela ação da gravidade, se concentra sobre o impulsor rotativo. O movimento da água, na forma de redemoinho, é gerado pelo impulsor. O consumo de água e energia nesse sistema é comparável ao sistema de agitação.

Não existe num único sistema aliado ao seu processo e ciclo todas as melhores condições de desempenho de lavagem. Todos os sistemas têm seus pontos positivos e negativos, o que faz com que a escolha do produto seja feita baseada em outros fatores que não apenas desempenho de lavagem ou desempenho global do produto. Neste aspecto a indústria exerce um papel muito importante no processo de influenciar a escolha dos consumidores.

5.2.4 O Mercado Global

Historicamente as lavadoras de roupa automáticas surgiram com eixo vertical, o que fez com que a indústria desenvolvesse produtos nesta plataforma. Em regiões onde os recursos ambientais tornaram-se escassos e restrições de espaço começaram a afetar o processo de compra do produto, a migração para lavadoras de eixo horizontal foi acelerada (Por exemplo, Europa).

Visando auxiliar o consumidor no processo de compra, vários países implementaram um processo de classificação dos produtos segundo o desempenho de lavagem, centrifugação, consumo de água e de energia, classificação esta que faz com que lavadoras de eixo horizontal levem vantagem em todos os quesitos para um mesmo nível de desempenho.

O mercado mundial de lavadoras automáticas exibe características diversas entre os países industrializados e os países em desenvolvimento, enquanto nos países industrializados a taxa de penetração é acima de 90% (% de domicílios que possuem lavadoras automáticas), nos países emergentes é menor que 40%. No Brasil, 36%. (Ibope 2005).

O mercado mundial é da ordem de 65 milhões de unidades⁴, com uma previsão de crescimento na ordem de 3,5% ao ano para os próximos cinco anos, distribuídos de maneira não homogênea, com taxas acima de 5% na Ásia, América Latina e Leste Europeu, crescimento moderado na Europa (menor que 2%) e tamanho constante na América do Norte.

É importante ressaltar que além do crescimento não homogêneo entre as regiões existe um movimento migratório forte em termos de sistemas de lavagem no mundo. O mercado de HA na Europa representa quase 100% do produto; na Ásia 13%, crescendo a uma taxa de 10% ao ano; nos Estados Unidos migrando de 5% em 2002 para 33% do mercado em 2007 e num processo contínuo de migração. Essa migração deve-se a alguns fatores a ressaltar:

- A melhor eficiência energética dos produtos com eixo horizontal que apesar do custo inicial do produto ser superior, o custo final da operação do produto ao longo do tempo é menor;
- A saturação da oferta de opções (*features*) no produto em plataforma de eixo vertical;
- A redução na diferença de custo entre os produtos em função da maturação e advento de novas tecnologias;
- Influência do mercado europeu e da indústria visando otimização de plataformas.

⁴ Fonte: Euromonitor International, 2007.

5.3 Motivações para o desenvolvimento de uma lavadora compacta no mercado chinês

5.3.1 Oportunidade de Mercado

O mercado chinês de lavadoras é bastante significativo. A figura 5.6 mostra uma visão geral do tamanho desse mercado, considerando apenas as lavadoras HA e VA automáticas. Pode-se constatar uma grande oportunidade para novos produtos, através da tendência de aumento significativo de mercado ano a ano. De 2006 a 2008 constata-se um aumento de lavadoras HA em torno de 20% e VA em 6% , ressaltando o potencial para o desenvolvimento de produtos HA.

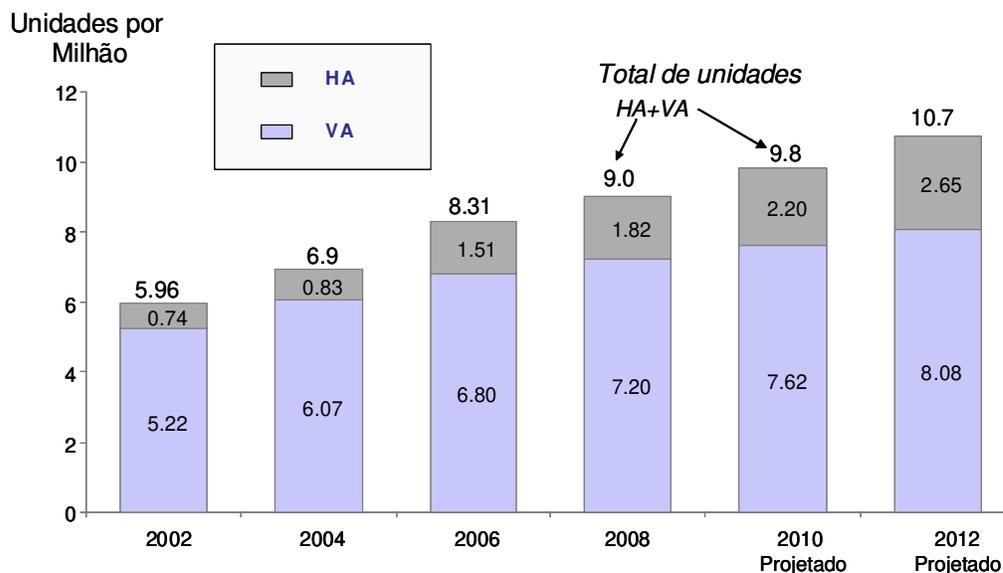


Figura 5.6 - Tamanho do mercado chinês de lavadora de roupa HA e VA (GFK⁵, Outubro 2007)

⁵ A GFK é uma das maiores companhias mundiais na área de pesquisa de mercado, atua em diversas áreas de serviços e produtos. www.gfk.com

A Figura 5.7 mostra os dados de volumes em unidades vendidas nos últimos anos para o mercado de HA.

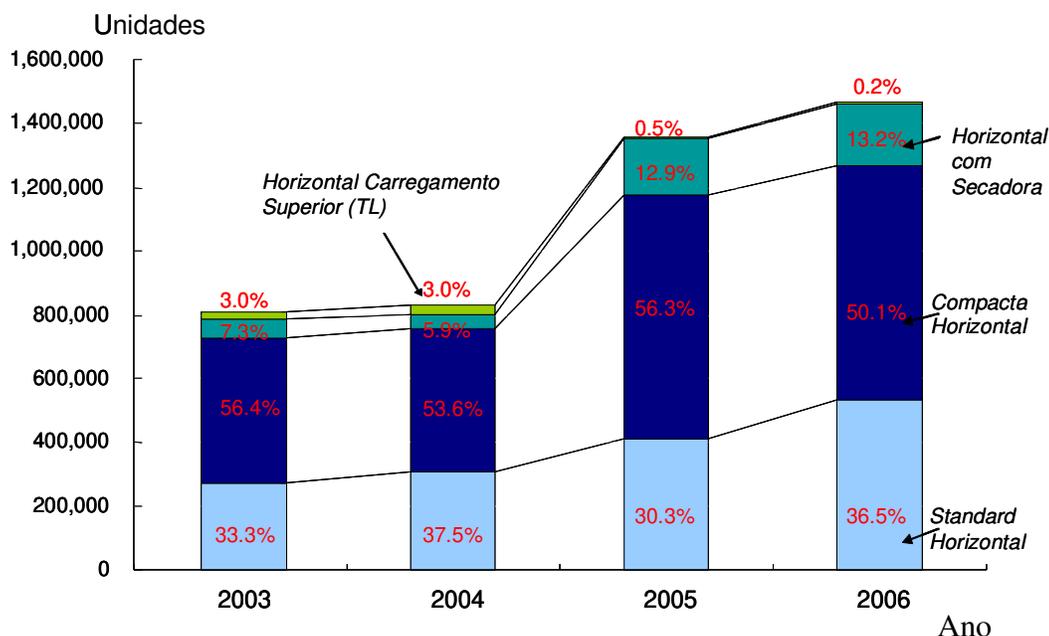


Figura 5.7 - Tamanho do Mercado Chinês de Lavadoras de Roupa HA (CEC, Out.2007)

Standard HA é o produto mais tradicional vendido no mercado chinês, com o gabinete medindo 60cm x 60cm de dimensão. A lavadora HA Compacta se refere a um produto mais curto na profundidade, mas com as mesmas medidas de altura e largura do produto Standard. HA (TL) refere-se aos produtos de carregamento superior. O gráfico mostra um aumento significativo do tamanho de mercado desde 2003, evidenciando uma grande oportunidade para o desenvolvimento de lavadoras para satisfazer essa demanda. Mesmo considerando a grande variedade de lavadoras no mercado, pode-se verificar que há uma demanda contínua do crescimento das lavadoras compactas que representa 50% das lavadoras HA e continua crescendo significativamente ano após ano. O modelo compacto ocupa menos espaço, sendo mais harmonioso ao ambiente doméstico com restrições de espaço. Embora se constate nos últimos anos uma melhoria significativa das condições de vida na China onde mais pessoas passam a viver em moradias maiores, a população predominante ainda possui moradia com espaço bastante restrito.

5.3.2 Limitação de espaço nas residências

Além do tamanho do mercado para o produto compacto ser crescente, outro fator importante na justificativa para o desenvolvimento desse produto é o tamanho reduzido das residências onde as lavadoras são instaladas. Na China, a maioria das pessoas das cidades vive em apartamentos, ao invés de casas. O tamanho desses apartamentos compromete em espaço a funcionalidade de diversas áreas como quartos, sala de estar, sala de jantar, banheiro e varanda. A maior área do apartamento pode agregar mais de uma de função. Os apartamentos antigos normalmente são muito pequenos e não possuem espaços planejados para a instalação de uma lavadora *Standard*. Por isso, quando se pensa em comprar uma lavadora, o espaço disponível é bastante importante.

O governo chinês está restringindo o apoio ao desenvolvimento de casas maiores que 145m² através de regulamentação e taxaço de altos impostos. A construção de pequenos apartamentos, principalmente os menores que 90m² estão sendo encorajados com incentivos e baixas taxas de aquisição.

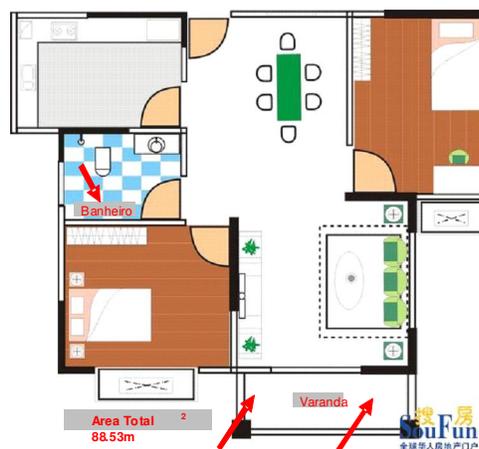


Figura 5.8 - *Leiaute* de um apartamento chinês de 90m²

A Figura 5.8 mostra a planta de um pequeno apartamento chinês. Pode-se ver que o espaço livre não ultrapassa o necessário para viver e cada metro quadrado é contado para o próprio conforto. Os lugares possíveis para a instalação das lavadoras são o banheiro e a varanda, que variam de 3 a 4 m² e 1 a 2 m² respectivamente. Para os apartamentos menores que 80m², a dimensões do banheiro e da varanda são restritivas para a instalação de uma lavadora *standard*, sendo as lavadoras compactas a única escolha possível.

5.3.3 Tendência para produtos compactos

Atualmente na China há uma grande tendência para eletrodomésticos e utensílios eletrônicos mais estreitos ou mais compactos e de *design* avançado. O consumidor quer mostrar com isso que tem “bom gosto”. A Figura 5.9 mostra o resultado de uma pesquisa detalhada sobre a atenção que o consumidor dedica a cada atributo da lavadora compacta e que são considerados como determinantes na decisão de compra.

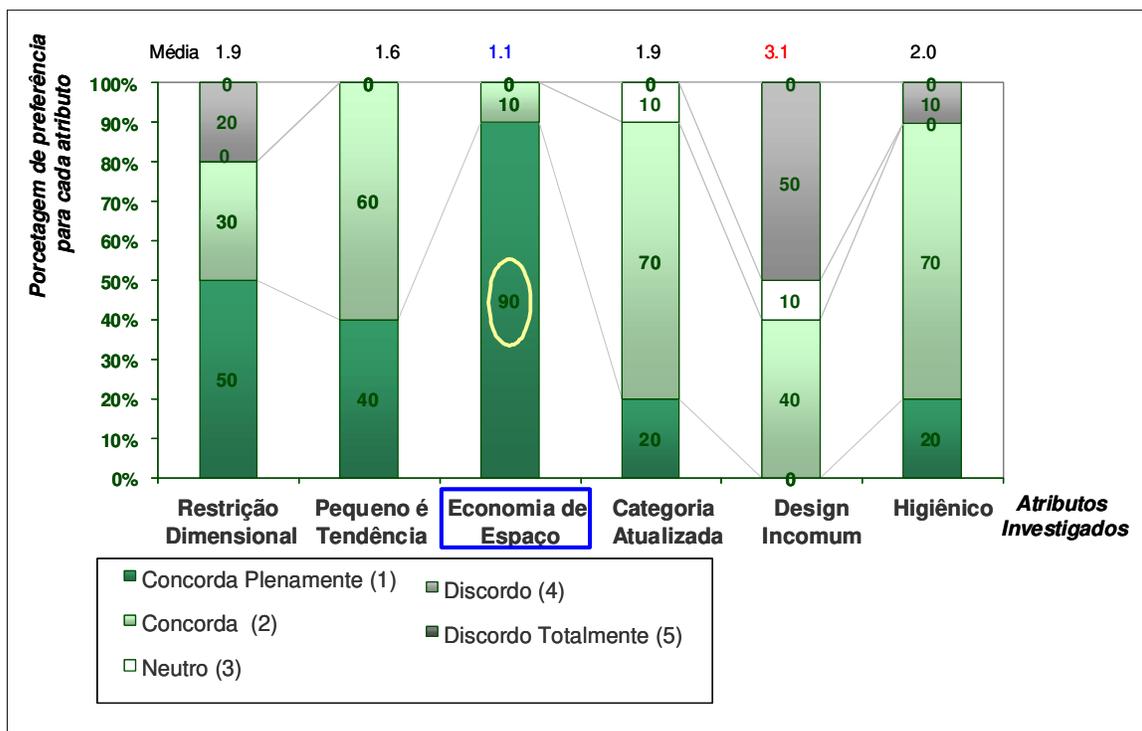


Figura 5.9 - Razões de preferências do consumidor por produtos compactos (Millbrown⁶, 2007)

⁶ Consultoria que desenvolveu a pesquisa de mercado para o produto compacto.

Para cada atributo o consumidor avaliou qualitativamente de acordo com cada critério, que vai desde “concordo plenamente” até “discordo totalmente”. Quanto menor a média apontada acima do gráfico de barras, maior a preferência do consumidor para um específico atributo, e vice versa. O resultado mostra que o consumidor se preocupa mais em economizar espaço quando da decisão de compra de uma lavadora. Essa pesquisa também considera a comparação entre vários produtos em diferentes atributos. Nesse caso específico extraiu-se a parte relativa ao comparativo dos atributos da capacidade de carga e diferentes dimensões de profundidade como mostrado na Tabela 5.2

Produto	Capacidade de Carga (Kg)	Profundidade do Produto (Cm)
A	4.5	40
B	5.0	42
C	5.2	45
D	5.5	48
E	6.0	50

Tabela 5.2 - Capacidade de carga e profundidade dos produtos compactos (Millbrown, 2007)

O produto preferido pelo consumidor foi o “C”. Isso significa que a dimensão externa do produto é importante, mas sem sacrificar significativamente a capacidade de lavagem, mantendo um requisito na ordem de 5 – 5.5 kg de capacidade.

A CEC⁷ investigou em 2007 a sensibilidade de preço para a compra de uma lavadora. A pesquisa revelou que o preço é outro fator decisório de compra e que o segmento de baixo custo tem a maior fatia do mercado. A pesquisa também mostra que quando as lavadoras compactas não têm um custo significativamente alto quando comparadas com VA, os consumidores são facilmente convencidos a comprá-las.

⁷ A CEC é uma consultoria especializada em pesquisas de mercado para empresas de eletrodoméstico. www.monitor.com.cn/index.aspx

De toda a informação extraída das pesquisas, pode-se dizer que de numa maneira geral uma lavadora compacta, de grande capacidade, com baixo custo a ser entregue ao mercado rapidamente são os principais direcionadores do consumidor.

5.4 Requisitos para o desenvolvimento do produto compacto

Para o produto compacto, os requisitos fundamentais que direcionam o desenvolvimento do produto são a “Profundidade máxima de 44 cm a 45 cm” e a “Capacidade de 40 litros ou 5.2 a 5.5 kg” de roupas secas, como apontado pelas pesquisas. Combinado a esses requisitos foram acrescentados os objetivos de negócio, que são investimento, qualidade e prazo, baseados nos dados de lançamentos dos projetos anteriores e que representam um grande desafio a ser atingido. Objetiva-se reduzir-se o investimento e custo de desenvolvimento em 30%; antecipar em oito meses o prazo de lançamento; e melhorar a qualidade em 20%, quando do lançamento.

5.4.1 Estrutura típica de uma lavadora HA

Entender a estrutura, componentes e funções é fundamental para o desenvolvimento de novos produtos. A lavadora HA, independente das dimensões, capacidades de carga e fabricantes, possui basicamente a mesma estrutura, com poucas variações em termos de projeto conceitual. Na Figura 5.10 se pode ver os componentes externos estruturais e de interface de uma HA.

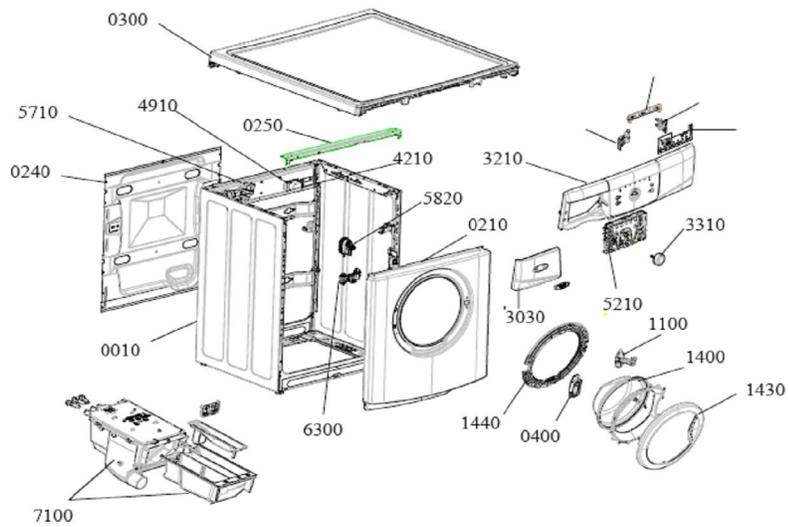


Figura 5.10 - Componentes externos de uma lavadora HA (Estrutura)

A nomenclatura usual para os principais componentes externos é:

0010 – gabinete;

7100 – dispenser de detergente;

0210 – painel frontal;

3210+3310 – painel de controle;

3030 – tampa do *dispenser*;

5210 – CCU (unidade de controle);

1440+0400+1100+1400+1430 – porta de entrada de janela de vidro;

0300 – Tampo, 0240 – painel traseiro;

5710 – válvula de entrada;

5820 – pressostato;

4910 – Filtro de linha;

0250 – suporte do controle.

A Figura 5.11 mostra uma vista explodida da unidade de lavagem com os seus principais componentes.

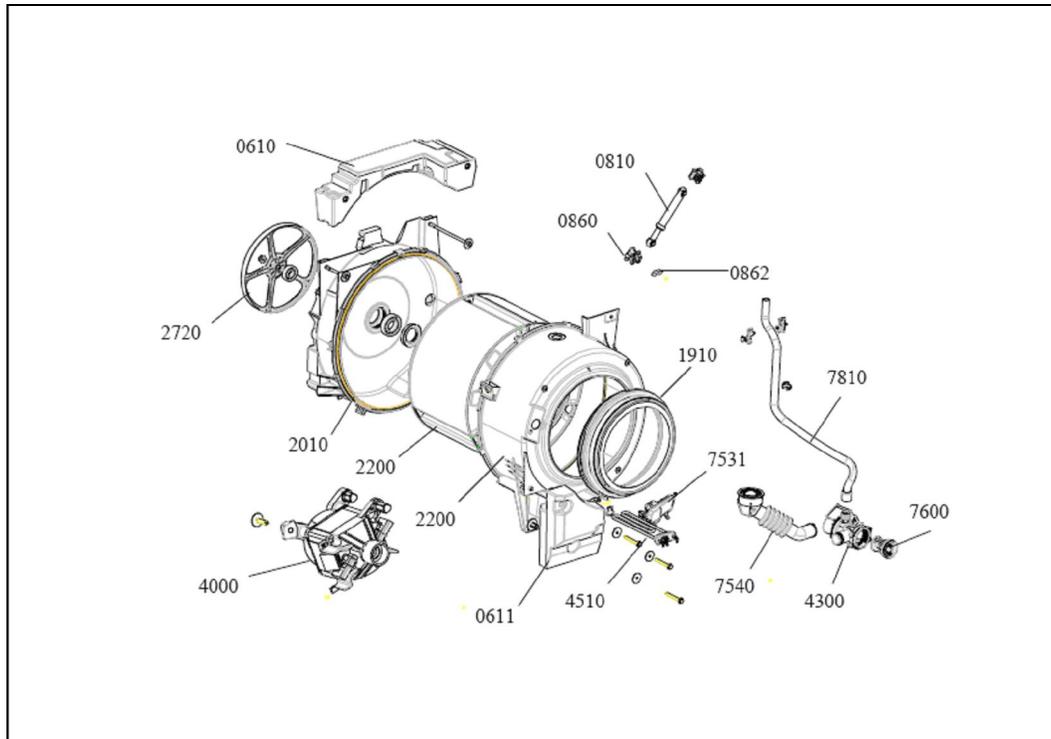


Figura 5.11 - Componentes internos de uma Lavadora HA (Unidade de lavagem)

A nomenclatura usual dos principais componentes internos é:

2200+2010 – tanque plástico;

2200 – conjunto cesto de roupas;

1910 – vedação do tanque;

4000 – motor;

2720 – polia;

4510 – resistência elétrica;

7540+4300+7600+7810 – sistema de drenagem de água incluindo bomba e mangueiras;

0610+0611 – contra peso de concreto;

0860+0810+0862 – amortecedor da suspensão

Além da estrutura, outro fator importante na caracterização do produto são as funções dos seus componentes. O princípio de operação de uma lavadora é retirar a sujeira da roupa pela movimentação e mistura das roupas confinadas dentro do cesto junto com uma solução de detergente e extrair a água da roupa lavada através da centrifugação do cesto. As funções de alguns dos principais sistemas são:

Unidade de lavagem – Prover espaço para a acomodação da carga de roupa e solução detergente para as atividades de lavagem, realizando ainda a função de movimento para lavagem e centrifugação.

Conjunto gabinete – Função estrutural e suporte para a unidade de lavagem assim como função estética de acabamento externo do produto e isolamento acústica.

Conjunto entrada d'água – Permitir e controlar a entrada d'água dentro da lavadora na quantidade e no tempo correto.

Conjunto drenagem d'água – Manter a água dentro da lavadora durante o período de lavagem e drenar a água suja remanescente do processo de lavagem.

Unidade de Controle – É a “cabeça” da lavadora, controla e coordena as atividades da lavadora, como comandar a válvula de entrada no quando e por quanto tempo, ou ligar o motor na direção e velocidade estabelecida. A unidade de controle também provê a função de interface com o usuário na seleção ou na informação dos programas ou etapas do ciclo de lavagem.

Conjunto porta – Permite o carregamento e o descarregamento da roupa, visualizar o processo de lavagem e vedar a unidade de lavagem.

5.5 Aplicação do TP para o desenvolvimento do produto

O TP pode ser utilizado para ajudar a organização a incrementar as capacidades de desenvolvimento de produto no PDC (Klein e DeBruine, 1994). Sua aplicação pode ser usada para resolver um problema ou para melhorar um sistema, baseado nas características do produto e a natureza do processo de projeto. Yang, Hsu e Ching (2002) sugerem utilizar o TP para o desenvolvimento de novos produtos (Figura 5.12) na posição FTPA (*Full thinking process application*).

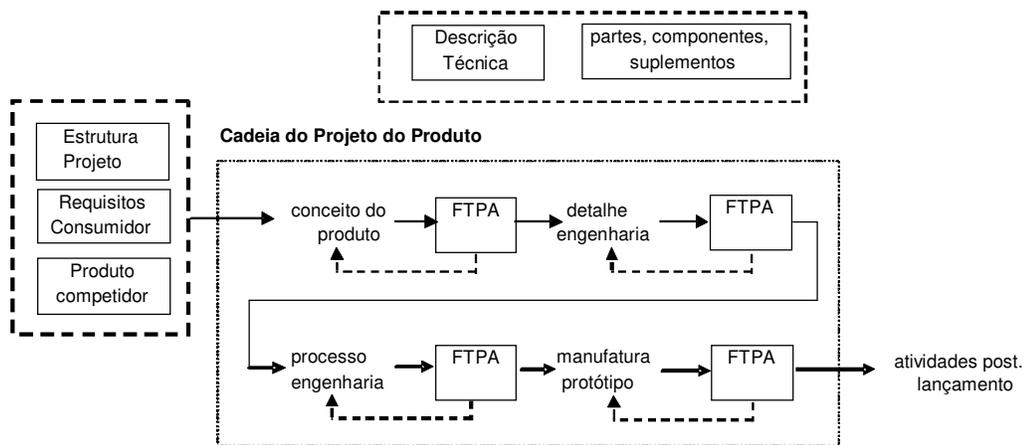


Figura 5.12 – Aplicação do TP para desenvolvimento de novos produtos (Yang, Hsu, Ching 2002)

Para o projeto de novos produtos, o TP pode ser aplicado nas quatro etapas do projeto: conceito de produto, detalhes de engenharia, processo de engenharia e manufatura do protótipo. O TP é integrado no processo de maneira serial, após cada etapa. Nesse estudo não se aplica o TP entre as etapas, mas particularmente na etapa de conceito de produto, na caracterização do projeto de produto de uma lavadora compacta.

5.6 Efeitos indesejáveis e ARA – Árvore da Realidade Atual

Os efeitos indesejáveis que compõem o desenvolvimento da lavadora compacta são caracterizados pela ineficiência da empresa em cumprir os fatores de sucesso do projeto (custo, prazo e qualidade), baseados na experiência dos desenvolvimentos de projetos anteriores. Essa lista de EI's foi incrementada com os desafios provocados pelas metas agressivas, traçadas para esse projeto em específico. Abaixo a lista dos efeitos indesejados de maior relevância, selecionados para análise na ARA:

- 1 O custo de desenvolvimento ou Investimento é muito alto.
- 2 Baixa qualidade no lançamento – Temos clientes insatisfeitos com os nossos produtos.
- 3 Nosso “*time to market*” é muito longo.
- 4 Nosso preço não é competitivo.
- 5 Muitos problemas se acumulam às vésperas do lançamento de novos produtos.
- 6 Perdemos mercado para os concorrentes.

A partir desses Efeitos Indesejáveis (EI) constrói-se uma ARA (Árvore da Realidade Atual), mostrada na Figura 5.13. A ARA analisa sistemicamente esse conjunto de EI's e identifica suas causas raízes. As entidades com sombra, no topo da árvore são os EIs (Efeitos Indesejados). As entidades com letra em negrito e borda reforçada na parte inferior da árvore são as causas raízes por trás dos EIs. Com base na lógica e na experiência, a ARA explicita sistemicamente as relações entre as causas raízes e os efeitos intermediários, até culminar nos EIs. As duas causas raízes ou problemas centrais detectados são:

- Sempre “partimos do zero” no desenvolvimento de um novo produto, com um grande número de ferramentais e componentes novos”.
- Nossos produtos ocupam muito espaço no típico apartamento chinês.

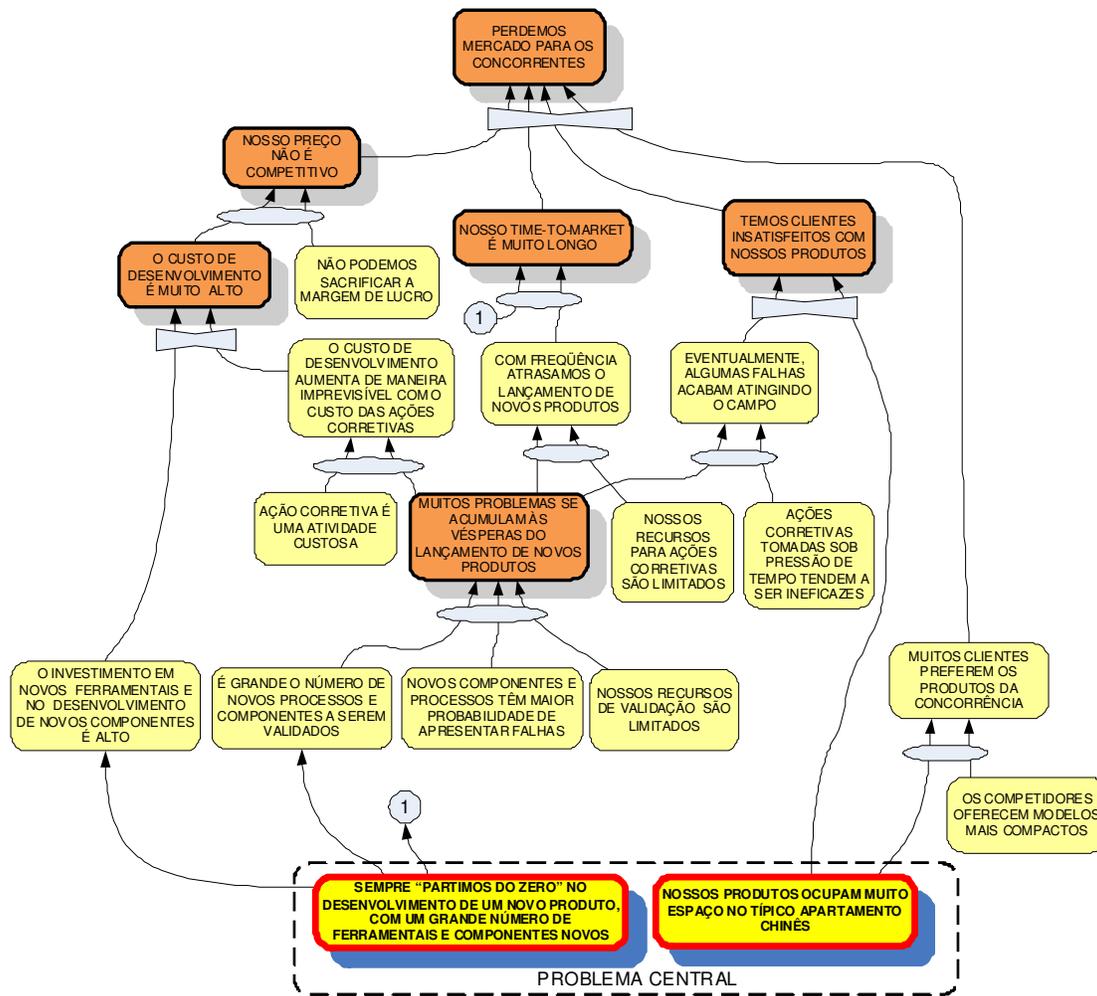


Figura 5.13 - Árvore da Realidade Atual - ARA

Fazendo-se a leitura da árvore a partir dos problemas centrais e passando pelos efeitos intermediários, justifica-se os efeitos indesejáveis da seguinte maneira:

1. **"O custo de desenvolvimento ou investimento é muito alto"** – Se *"o investimento em novos ferramentais e componentes é alto"* e Se *"o custo de desenvolvimento aumenta de maneira imprevisível com o custo das ações corretivas"*, então *"o custo de desenvolvimento é muito alto"*.

Justificativa: desenvolvimentos completos trazem altos custos de desenvolvimento e investimento. A alta depreciação faz com que o produto fique mais caro quando comparado com

a concorrência. A aprovação de novos investimentos é uma das restrições internas da empresa, que objetiva ter uma redução nesse item na ordem de 30% em relação aos projetos anteriores.

2. ***"Baixa qualidade no lançamento"*** (Temos clientes insatisfeitos com nossos produtos). Se *"eventualmente algumas falhas acabam atingindo o campo"* e Se *"novos produtos ocupam muito espaço no típico apartamento chinês"*, então *"temos clientes insatisfeitos com nossos produtos"*.

Justificativa: novos projetos "partindo do zero" trazem uma grande quantidade de novos componentes a serem desenvolvidos e certificados, em torno de 200 novos componentes. O desenvolvimento desses componentes, muitas vezes com novos fornecedores e novos processos de fabricação dentro do prazo de desenvolvimento de projeto, representa um risco na qualidade do produto, quando do lançamento. O objetivo particular desse projeto é reduzir o pico de falhas do lançamento em 20% nos primeiros meses.

3. ***"Nosso time to market é muito longo"*** – Se *"sempre partimos do zero no desenvolvimento de um novo produto, com um grande número de ferramentais e componentes novos"* e Se *"com frequência atrasamos o lançamento de novos produtos"*, então o *"o nosso time to market é muito longo"*.

Justificativa: deve se evitar perder a oportunidade de mercado ou momento. Alguns concorrentes já estão nesse mercado aumentando a penetração e *market share*. Outros concorrentes podem lançar seus produtos rapidamente enquanto esse projeto está sendo desenvolvido. O objetivo é reduzir o tempo de lançamento em oito meses para o novo projeto.

4. ***"Nosso preço não é competitivo"*** - Se o *"custo de desenvolvimento é alto"* e Se *"não podemos sacrificar a margem de lucro"*, então *"o nosso preço não é competitivo"*.

Justificativa: esse efeito indesejado é uma das conseqüências do alto custo de desenvolvimento.

5. **“Muitos problemas se acumulam às vésperas do lançamento de novos produtos”** - Se “é grande o número de processos e componentes a serem validados” e Se “novos componentes e processos têm maior probabilidade de apresentar falhas” e Se “nossos recursos são limitados”, então “muitos problemas se acumulam às vésperas do lançamento de novos produtos”.

Justificativa: esse efeito indesejado compartilha como causa de todos os EI’s do topo da árvore sendo, portanto, de alta relevância.

6. **“Perdemos mercado para os concorrentes”** - Se o “nosso preço não é competitivo” e Se “nosso time to market é muito longo” e Se “temos clientes insatisfeitos com nossos produtos”, então “perdemos mercado para os concorrentes”.

Justificativa: A perda de mercado representa a maior consequência para a empresa e por isso caracteriza-se como efeito indesejável “topo”.

A ARA revela que os problemas centrais ou causas raízes são: a) “Sempre ‘partimos do zero’ no desenvolvimento de um novo produto, com um grande número de ferramentais e componentes novos”; b) “Nossos produtos ocupam muito espaço no típico apartamento chinês”. Especificando-se a situação oposta a esses problemas centrais (imaginando o problema resolvido) pode ser estabelecido o objetivo estratégico a ser alcançado neste desenvolvimento: “desenvolver uma lavadora compacta no menor prazo e custo possível” (Figura 5.14).

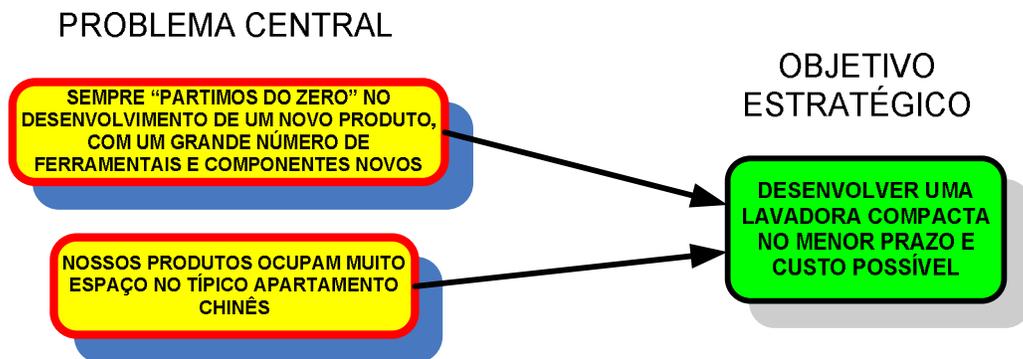


Figura 5.14 - Problema central e objetivo estratégico

5.7 - Análise das Causas Raízes

A conquista do objetivo estratégico requer a resolução do conflito que dá origem ao problema central. Este conflito é explicitado na “nuvem de conflito” (DRC – diagrama de resolução de conflitos). Além de estruturar o conflito, a técnica de análise do DRC também permite identificar as premissas inválidas que sustentam o conflito e gerar soluções capazes de eliminá-lo. O conflito é gerado por requisitos contraditórios que necessitam ser satisfeitos para atingir o objetivo estratégico. Enquanto o conflito não for eliminado, perpetuam-se as causas raízes no sistema, o que por sua vez gera os problemas crônicos já apontados (EIs – Efeitos Indesejáveis). O conflito está representado pelo DRC da Figura 5.15.

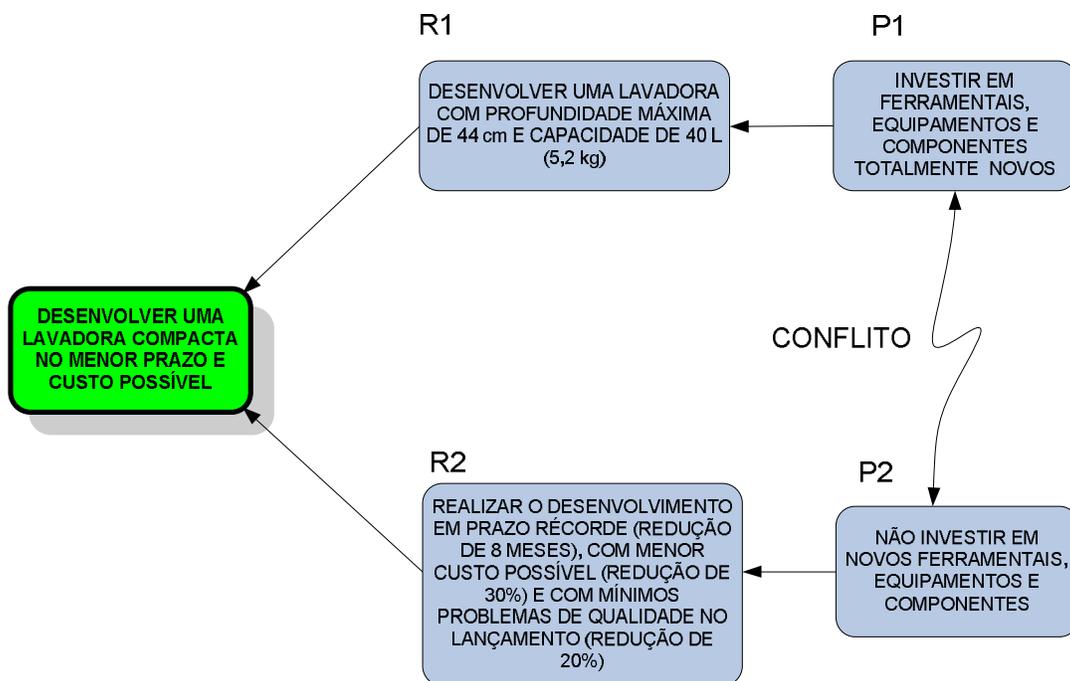


Figura 5.15 - Diagrama de resolução do conflito

A raiz do conflito ocorre no nível dos pré-requisitos (P1 x P2), conforme indica a leitura formal do DRC: para “*desenvolver uma lavadora compacta no menor prazo e custo possível*” (objetivo estratégico), deve-se, por um lado, “*realizar o desenvolvimento em prazo recorde (redução em 8 meses), com menor custo possível (redução de 30%) e com os mínimos problemas de qualidade no lançamento, com melhoria de 20%*” (Requisito R1). Para isso, devemos “*não investir em novos ferramentais, equipamentos componentes*” (Pré-Requisito P1) mas, por outro lado, também deve-se “*desenvolver uma lavadora com profundidade máxima de 44cm e capacidade de 40 l (5.2kg)*” (Requisito R2) e para isso deve-se “*investir em ferramentais equipamentos e componentes totalmente novos*” (Pré-Requisito P2). Os pré-requisitos P1 e P2 representam situações opostas.

Com o conflito identificado e estruturado, o próximo passo da análise com o DRC é explicitar as premissas assumidas ao se formular o conflito. São as premissas que dão sustentação lógica às frases contidas na leitura do DRC. Para expô-las, basta complementar a frase com o “porquê”... da afirmação lógica. Por trás de cada seta da DRC existem premissas. Em geral, as premissas com maior chance de serem questionadas são as que correspondem às setas R1-P1, R2-P2 e P1-P2. Para melhor evidenciar as premissas que não são válidas, usa-se a técnica do “fraseado ultrajante”, exagerando-se a afirmativa. Inicia-se pelas premissas entre R2 e P2 (Figura 5.16): para “*realizar o desenvolvimento em prazo recorde (redução em 8 meses), com menor custo possível (redução de 30%) e com os mínimos problemas de qualidade no lançamento (melhoria de 20%)*, deve-se “*não investir em novos ferramentais, equipamentos e componentes*” porque (premissa)... “*nunca conseguiremos atingir esses objetivos realizando o desenvolvimento simultâneo de todos os ferramentais equipamentos e componentes*” (premissa). Nesse caso é difícil questionar ou invalidar essa premissa e, portanto, considera-se como válida.

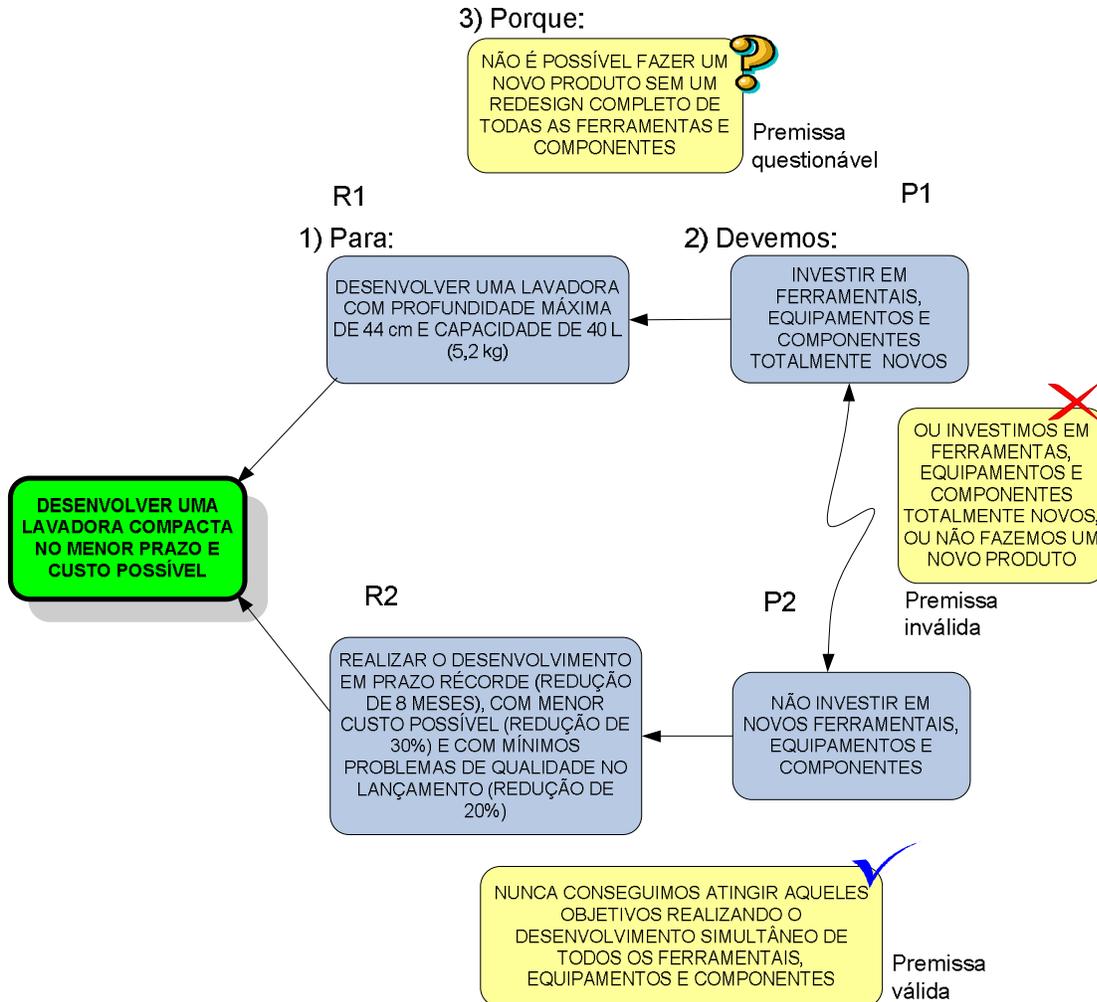


Figura 5.16 - DRC para R2, P2 e R1, P1

Para R1-P1: para se “desenvolver uma lavadora com profundidade máxima de 44cm e capacidade de 40 l (5.2kg)” deve-se “investir em ferramentais, equipamentos e componentes totalmente novos”, porque “não é possível fazer um novo produto sem um projeto completo de todas as ferramentas e componentes” (premissa). Neste caso, imediatamente se reconhece que essa premissa é inválida ou pelo menos questionável. Quando isso acontece, usa-se a técnica do “ambiente alternativo”, imaginando-se condições que permitam assegurar R1 sem contar com P1, afirmando: “Para ter R1 não temos *necessariamente* que fazer P1; em vez disso podemos ... (idéia alternativa)”. As idéias que surgem chamamos de “injeções”, isto é, algo que “injetamos” na realidade atual para tratar a causa raiz e eliminar os efeitos indesejados. (Figura 5.17). Aplicando-se isto a R1-P1: Para *desenvolver uma lavadora com profundidade máxima de 44cm e capacidade de 40 l (5.2kg)* não temos que “investir em ferramentais equipamentos e componentes totalmente novos” em vez disso podemos:

- **Injeção 1:** reutilizar o maior número possível de peças e módulos de um produto existente (isto é, usar soluções robustas já anteriormente validadas para a função técnica em questão).
- **Justificativa:** freqüentemente “parte-se do zero” na geração de soluções técnicas, desenvolvendo-se todos os componentes e ferramentais novamente, “reinventando a roda” a cada projeto. A utilização de componentes existentes e de confiabilidade comprovada traz os grandes resultados na qualidade, custo e prazo do projeto. Na qualidade, porque se trata de componentes de conceito maduro e confiabilidade comprovada; no custo, porque se evita o alto investimentos em ferramentais e desenvolvimento de novos componentes; e no prazo, porque não necessitamos de tempo para o desenvolvimento de ferramental e validação dos componentes.

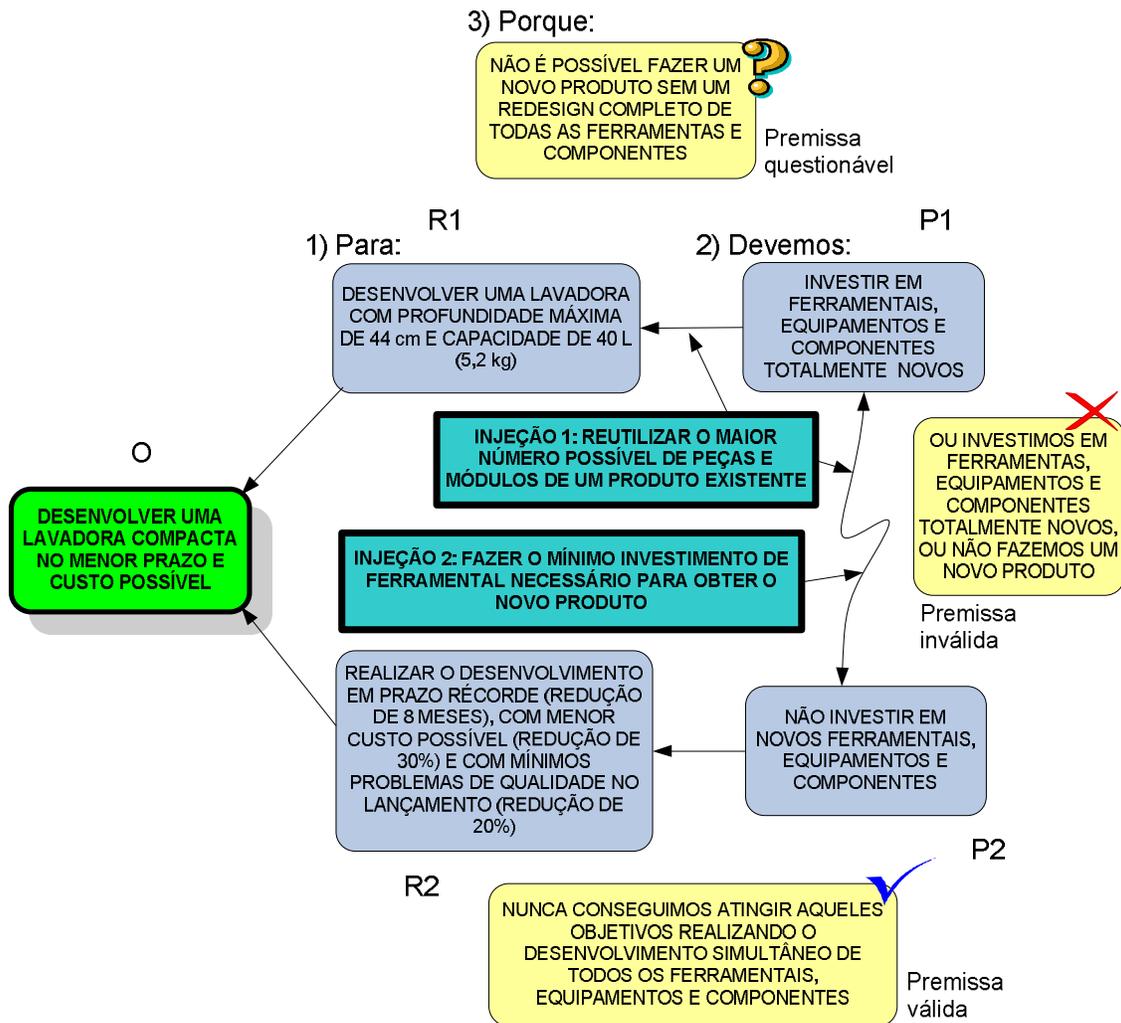


Figura 5.17 - Ação das injeções IJ -1 e IJ-2

Da mesma maneira, expõe-se a premissa escondida pro trás do conflito existente entre P1 e P2, desta vez usando a frase: “Por um lado devo fazer P1, mas por outro devo fazer P2. Não posso fazer ambos porque ...” Então: Por um lado deve-se “ *investir em ferramentais, equipamentos e componentes totalmente novos*”, mas por outro deve-se “*não investir em ferramentais, equipamentos e componentes*”. Não se pode fazer ambos porque “*ou investimos em ferramenta, equipamentos e componentes totalmente novos, ou não se faz um novo produto*”. Aqui também a premissa não é válida, levando-se a buscar uma forma de atender simultaneamente os requisitos contraditórios. Neste caso, a “injeção 1” também se aplica, mas se faz necessário um reforço com a aplicação de uma outra “injeção”.

- **Injeção 2:** *Fazer o mínimo investimento de ferramental necessário para se obter o novo produto (isto é, usar soluções robustas já anteriormente validadas para a função técnica em questão).*
- **Justificativa:** identificar e investir somente nos componentes específicos para esse projeto ou duplicar os ferramentais que por eventualidade não consigam suprir a demanda de volumes para os dois produtos, simultaneamente. Fazendo apenas os componentes customizados para o novo produto, o valor do investimento será bem menor quando comparado ao investimento para se fazer um produto completo, viabiliza-se o projeto economicamente. Como são poucos componentes a serem desenvolvidos, se tem mais tempo para testes e validação, minimizando os riscos na qualidade. A forma final da DRC, com as respectivas injeções, é mostrada na Figura 5.17.

5.8 Validação lógica das injeções: Árvore da Realidade Futura

Para assegurar a consistência do conjunto de ações (injeções) capazes de eliminar os efeitos indesejáveis da realidade atual, constrói-se a Árvore da Realidade Futura (ARF), Figura 5.18. A ARF parte das injeções originadas na análise das causas raízes que são suficientes para produzir consistentemente os efeitos desejados da realidade futura mostrados no topo da ARF. Na ARF, as injeções estão em retângulos com cantos vivos, enquanto os efeitos decorrentes das mesmas são mostrados em retângulos com cantos arredondados.

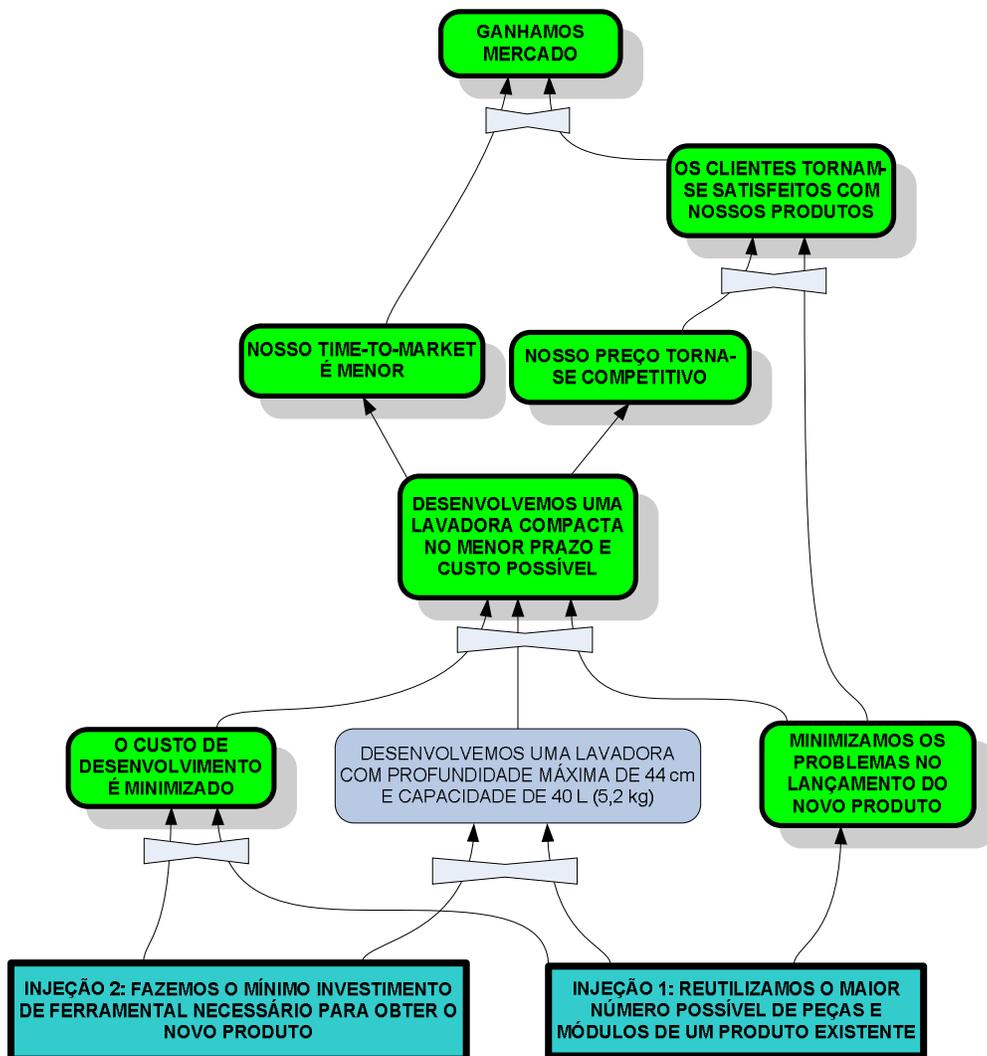


Figura 5.18 - Árvore da realidade futura - ARF

Lendo-se o ramo principal dessa árvore a partir das injeções constatamos: Se *reutilizamos o maior número possível de peças e módulos de um produto existente* e se *fazemos o mínimo investimento em ferramental necessário para se obter o novo produto*, então *o custo de desenvolvimento é minimizado, desenvolve-se uma lavadora com profundidade máxima de 44cm e capacidade de 40 l.* Se *o custo de desenvolvimento é minimizado* e se *desenvolvemos uma lavadora com profundidade...* e se *minimizamos os problemas no lançamento do novo produto* então *desenvolve-se uma lavadora compacta com menor prazo e custo possível.* Se *o time to market é menor, o nosso preço é competitivo* e *Se os clientes tornam-se satisfeitos com os nossos produtos* então *ganhamos mercado.* As conexões lógicas da ARF mostram que essas duas injeções são suficientes e necessárias para mudança na realidade atual.

- **Injeção 1:** *reutilizar o maior número possível de peças e módulos de um produto existente (isto é, usar soluções robustas já anteriormente validadas para a função técnica em questão).*
- **Injeção 2:** *fazer-se o mínimo investimento de ferramental necessário para se obter o novo produto.*

5.8.1 Identificando obstáculos à implementação: Árvore de Pré-Requisitos

A Árvore de Pré-Requisitos (APR) é uma árvore lógica que identifica os possíveis obstáculos à implementação das injeções. Ela estabelece uma seqüência ordenada no tempo para os objetivos intermediários que permite contornar os obstáculos. Em torno das duas injeções propostas constroem-se as APR (Figura 5.19). No topo está a Injeção 1 que desejamos implementar, seguindo-se abaixo uma cadeia que mostra os possíveis obstáculos e as tarefas ou objetivos intermediários necessários para contorná-los.

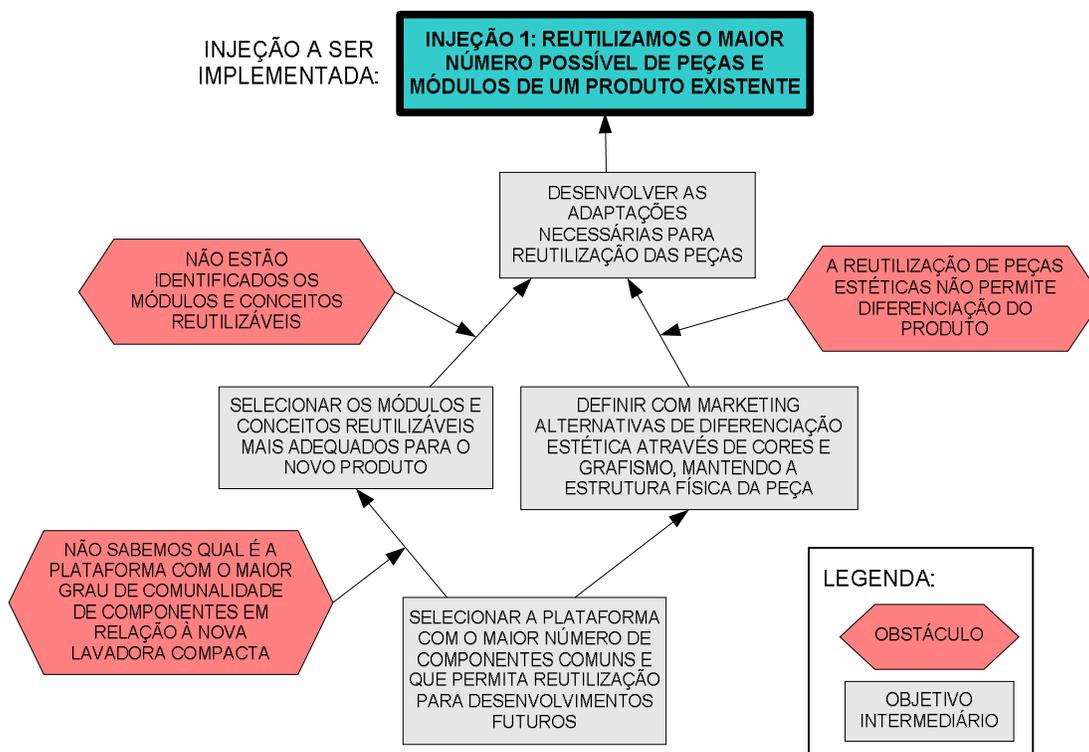


Figura 5.19 - APR 1 - Árvore de pré requisitos – Injeção 1

Partindo da injeção 1 (ramo esquerdo) - Queremos *reutilizar o maior número possível de peças e módulos de um produto existente (Injeção 1)* então devemos *desenvolver as adaptações necessárias para a reutilização de peças* (objetivo intermediário), mas *não estão identificados os módulos e conceitos reutilizáveis* (obstáculo), então devemos *selecionar os módulos e conceitos reutilizáveis mais adequados para o novo produto* (objetivo intermediário). Continuando para baixo: Queremos *selecionar os módulos e conceitos reutilizáveis mais adequados para o novo produto*, mas *não se sabe qual é a plataforma com o maior grau de comunalidade de componentes em relação a nova lavadora compacta*, então devemos *selecionar a plataforma com o maior número de componentes comuns e que permita a reutilização para desenvolvimentos futuros*.

Completando o ramo direito: Queremos *desenvolver as adaptações necessárias para a reutilização de peças*, mas *a reutilização de peças estéticas não permite a diferenciação do produto*, então devemos *definir com marketing alternativas de diferenciação estética através de cores e grafismo, mantendo a estrutura física da peça*, então devemos *selecionar a plataforma*

com o maior número de componentes comuns e que permita a reutilização para desenvolvimentos futuros.

Uma leitura dos objetivos intermediários na seqüência de baixo para cima, mostra o caminho lógico para a implementação da injeção “Reutilizamos o maior número possível de peças e módulos e um produto existente”. Este caminho é: 1. *Selecionar a plataforma com o maior número de componentes comuns e que permita a reutilização para desenvolvimentos futuros;* 2. *Selecionar os módulos e conceitos reutilizáveis mas adequados para o novo produto;* 3. *definir com marketing alternativas de diferenciação estética através de cores de grafismo, mantendo a estrutura física da peça* 4. *devemos desenvolver as adaptações necessárias para a reutilização das peças.*

Seguiram-se os passos apontados pela APR como direcionadores das atividades do projeto, como segue:

1. Selecionar a plataforma com o maior número de componentes comuns e que permita a reutilização para desenvolvimentos futuros.

A recomendação do TP, para se atingir os objetivos do projeto, aponta para o caminho de se projetar um produto derivativo de uma plataforma de lavadora existente ao invés de um projeto inteiramente novo, como era feito até então. Existem duas plataformas (A e B) sendo produzidas na empresa chinesa em questão, mas somente uma cumpre os critérios de maior comunalidade e expansibilidade simultaneamente que é a plataforma “B”. A plataforma “A” está sendo gradativamente substituída pela “B”, por falta de competitividade em custo e limitações na expansibilidade ou atendimento do portfólio de produtos a médio e longo prazo. Essa plataforma apresenta também um baixo grau de padronização entre componentes, ou seja, para os vários modelos de produtos dentro da mesma plataforma há diferentes componentes, o que não ocorre nos modelos derivados da plataforma “B”. A plataforma “A” ainda é produzida localmente para diluição de custos fixos e existem planos para descontinuí-la em breve. Com isso a plataforma “B” é a melhor opção viável para derivar-se o projeto compacto. Se trata de uma plataforma “*standard*” 60cm x 60 cm de dimensões, largura e profundidade, respectivamente,

que contempla uma unidade de lavagem de 54 litros. A estrutura básica desse produto pode ser visto nas Figuras 5.10 e 5.11

2. Selecionar os módulos e conceitos reutilizáveis mais adequados para o novo produto.

Na empresa em questão não existe o conceito de “módulos”⁸ ou conceitos reutilizáveis adotado no dia-a-dia de seu desenvolvimento de produtos. Também não faz parte de sua rotina o desenvolvimento através do projeto modular. A idéia central para esse trabalho consistiu em utilizar o maior número possível de componentes da lavadora atual, sem alterações seguindo o critério aqui adotado.

Módulo - são aqueles constituídos por um ou mais componentes ou submontagem que seguem os seguintes requerimentos: capacidade de submeter-se a testes funcionais, ajustabilidade em termos funcionais, padronização das interfaces, intercambiabilidade, transportabilidade (sem afetar as funções) (Hillström, 1994); fraca interdependência entre eles e alta interdependência dentro deles (Fixson, 2003).

Componentes comuns - Considera-se a mesma definição de módulos acima citada, porém usado quando se trata de um componentes apenas.

Componentes customizados – Específico para um determinado modelo de produto em questão. Esses componentes podem ser novos, modificados ou adaptados para se atender os requisitos técnicos de um determinado produto.

Na Tabela 5.3 mostra-se os principais conjuntos e componentes da lavadora *standard* e a classificação para o produto compacto de acordo com o critério supra mencionado. Essa classificação resultou em : 5 módulos, 12 componentes comuns e 5 componentes customizados. Esses 5 últimos serão analisados quando da aplicação da injeção 2.

⁸ No apêndice “B”, apresenta-se uma visão geral sobre os conceitos de modularidade.

	Componentes da Lavadora Standard	Modulos e Componentes para produto Compacto
Estrutura	0010 - Gabinete	Customizado
	7100 - Conjunto dispenser de detergente,	Módulo
	0210 - Painel frontal	Comum
	3210 - Conjunto painel de controle	Módulo
	3030 - Tampa do dispenser	Comum
	5210 - CCU (unidade de controle),	Módulo
	1440+0400+1100+1400+1300 - Conjunto porta de entrada de janela de vidro	Módulo
	0300 - Tampo	Customizado
	5710- Válvula de entrada	Comum
	5820-Pressostato	Comum
	4910- Filtro de linha.	Comum
	0240 - Painel traseiro	Comum
	0250- Suporte do controle	Comum
Unidade de lavagem	2200+2010 - Tanque plástico	Customizado
	2200 - Cesto de roupas	Customizado
	1910 - Vedação do tanque	Comum
	4000 - Motor	Comum
	2720 - Polia	Comum
	4510 - Resistência elétrica	Comum
	7540+4300+7600+7810 - Sistema de drenagem	Módulo
	0610+0611 -Contra peso de concreto	Customizado
	0860+0810+0862-Amortecedor da suspensão	Comum

Tabela 5.3 - Classificação de módulos e componentes

A lista de componentes da lavadora soma um total de 230 itens, dos quais 153 foram classificados como comuns, incluindo-se os componentes pertencentes aos módulos. Os 5 módulos classificados são: Dispenser, Painel de controle, Unidade de controle, Porta e Sistema de Drenagem (Figura 5.20).

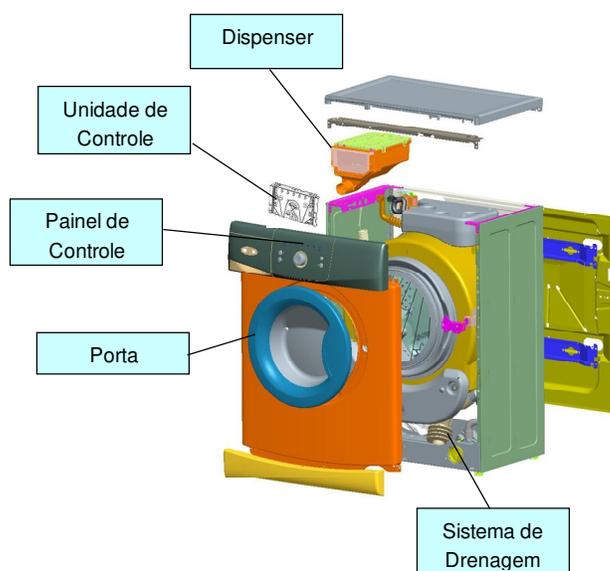


Figura 5.20 - Módulos das lavadoras Standard e Compacta

3. Definir com marketing alternativas de diferenciação estética através de cores e grafismo, mantendo a estrutura física da peça.

4. Desenvolver as adaptações necessárias para a reutilização das peças.

Como a comunalidade também considerou as peças de apelo estético do produto, se fez necessário pensar em pequenas alterações nas cores e serigrafia para diferenciar os produtos no mercado (Figura 5.21). As outras adaptações necessárias para a reutilização de componentes foram consideradas no projeto dos componentes customizados o que é analisado na APR 2.

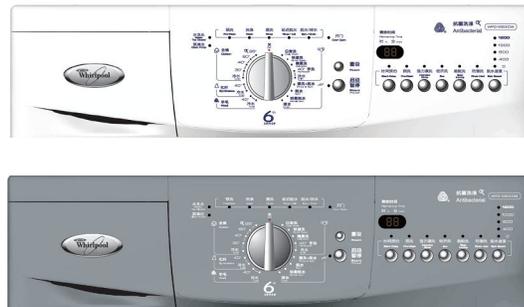


Figura 5.21 - Diferenciação estética de cores e grafismo

No topo da APR 2 esta a injeção 2: *fazer o mínimo investimento de ferramental necessário para se obter novo produto*. Para essa árvore faremos a leitura direta dos objetivos intermediários na seqüência lógica de implementação dessa injeção. 1. *Fazer desenho preliminar e identificar as peças que não podem ser reutilizadas*. 2. *Investir somente nas peças diretamente relacionadas com a diminuição da capacidade e profundidade*. 3. *Determinar a flexibilidade do atual equipamento de produção para mínima profundidade do gabinete*. 4. *Fazer o projeto do gabinete*. 5. *Fazer o projeto do cesto usando mesmo diâmetro da plataforma selecionada*. 6. *Fazer o projeto do tanque* (Figura 5.22).

Os passos apontados pela APR orientaram as atividades do projeto, conforme se descreve a seguir:

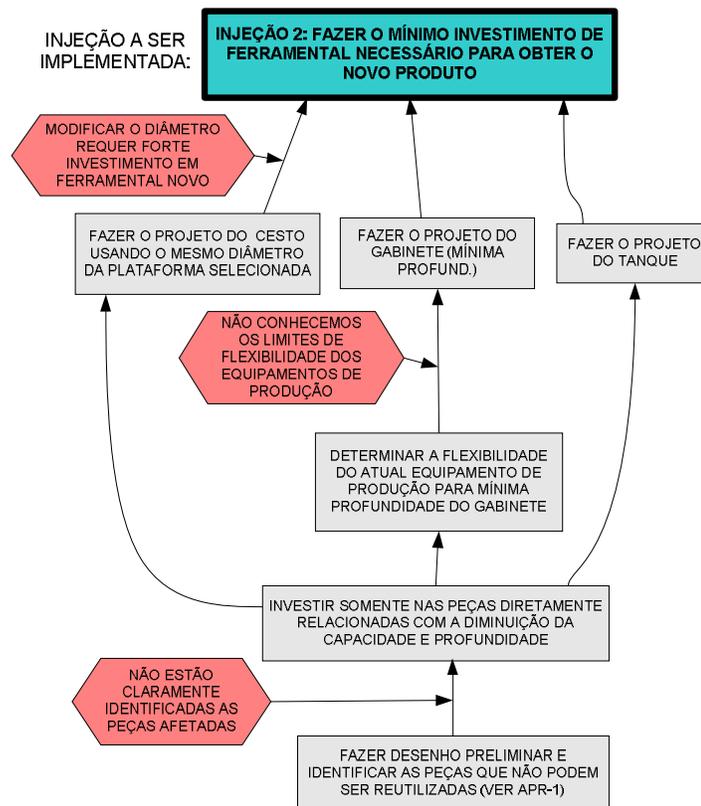


Figura 5.22 - APR - 2 Árvore de pré requisitos – Injeção 2

1. Fazer desenho preliminar e identificar as peças que não podem ser reutilizadas.

2. Investir somente nas peças diretamente relacionadas com a diminuição da capacidade e profundidade.

As peças que não foram classificadas como módulos e componentes comuns fazem parte do grupo de componentes customizados para esse produto. Esses componentes foram modificados ou adaptados para atender os requisitos técnicos relativos à diminuição da capacidade e profundidade, porém preservando os aspectos conceituais desenvolvidos na

plataforma anterior (*standard*). Os principais componentes envolvidos na diminuição da capacidade e profundidade são o cesto de roupas, o gabinete e o tanque da lavadora, que serão abordados a seguir.

3. Determinar a flexibilidade do atual equipamento de produção para mínima profundidade do gabinete.

4. Fazer o projeto do gabinete.

Como sabemos, o requisito de profundidade é fundamental na caracterização do produto compacto, mas é também o responsável pelas maiores modificações no gabinete. Para encurtar a profundidade é necessário reduzir os painéis laterais e todos os reforços longitudinais do gabinete. Mesmo com essas modificações, a similaridade conceitual com o gabinete do produto *standard* ajudou a reduzir o tempo de projeto do produto e dos ferramentais. Como os pontos de interface e referencial das peças com o equipamento de solda foram mantidos, tornou-se possível a utilização do mesmo equipamento, fazendo-se apenas poucas e pequenas modificações de baixo custo. Esse equipamento de solda passou a ser flexível para produzir os dois produtos através de um pequeno “*set up*” de produção. Na Figura 5.23 é possível notar a similaridade dos gabinetes do produto compacto e *standard*, independentemente das diferentes dimensões de profundidade.

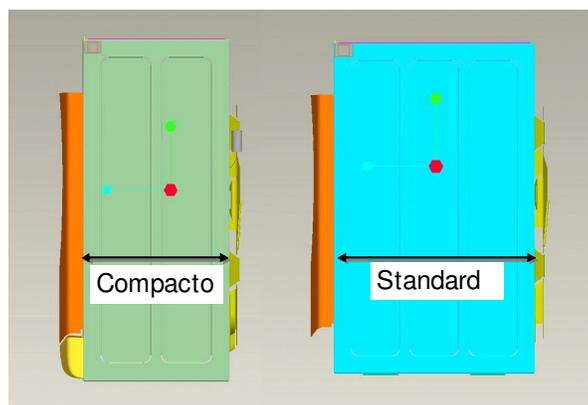


Figura 5.23 - Gabinete das lavadoras Compacta e Standard

5. Fazer o projeto do cesto usando mesmo diâmetro da plataforma selecionada.

6. Fazer o projeto do tanque.

Como o conceito do cesto é determinante para se projetar o tanque, ambos serão tratados nesse tópico conjuntamente. Sabe-se que além da profundidade o outro requisito fundamental para o produto compacto é a capacidade de carga, que está relacionada com o volume do cesto. Para se atingir os 5.2 kg de capacidade de carga especificados é necessário um volume aproximado de 40 litros. O volume é determinado pela área da seção transversal do cesto multiplicado pela profundidade do mesmo. Para tanto, explorou-se tecnicamente algumas possibilidades para o projeto do cesto. A primeira consiste em aumentar o seu diâmetro, o que resulta numa maior área de seção transversal; a segunda trata de combinar o aumento do diâmetro com a redução de profundidade; a última consiste em manter o diâmetro atual do produto *standard* e selecionar a profundidade adequada a fim de obter o volume necessário.

Aumentar o diâmetro do cesto também requer um diâmetro maior do tanque que envolve o mesmo. Portanto, a distância entre o tanque e o gabinete diminui, aumentando o risco de colisão quando do movimento da unidade de lavagem. Outro fator negativo para o aumento do diâmetro do cesto é que se faz necessário um investimento muito alto nos ferramentais dos componentes frontal e traseiro, assim como um novo equipamento para configurar o diâmetro maior do corpo do cesto. A segunda opção de aumentar o diâmetro e diminuir a profundidade do cesto, embora traga a possibilidade de diminuir a profundidade total do produto, também fica descartada, pois compartilha dos mesmos efeitos negativos da primeira opção.

Portanto, manter o diâmetro do cesto comum com o produto *Standard*, torna-se a melhor opção, pois os componentes frontal e traseiro podem ser mantidos, não se fazendo necessário investir em novos ferramentais. Com uma pequena modificação no equipamento do corpo do cesto foi possível atingir a dimensão de profundidade necessária para o volume requerido, tornando ao mesmo tempo o equipamento flexível para manufaturar os dois cestos (Figura 5.24).

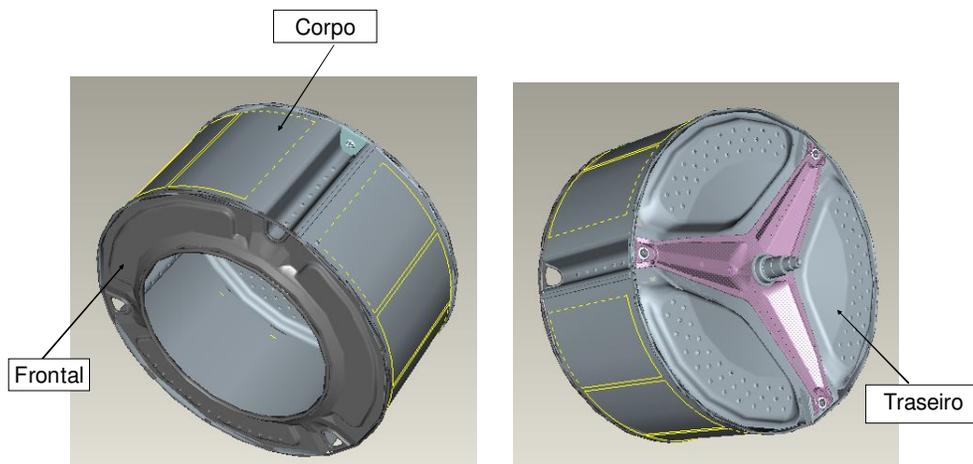


Figura 5.24 - Cesto da Lavadora

Devido a inte-relação estrutural e funcional entre cesto e tanque, os componentes são desenvolvidos simultaneamente. O tanque da lavadora compacta é muito parecido com o da lavadora *standard*, não apresentando grandes dificuldades técnicas. O maior desafio fica por conta do leiaute dos componentes padrões que são fixados no tanque, levando em consideração a limitação de espaço provocado pela redução da profundidade do gabinete. O ferramental do tanque consiste em dois moldes de injeção plástica, não sendo, portanto, necessário investir em equipamentos.

Seguindo-se pelo caminho dos objetivos intermediários estabelecidos pelas APRs, foi possível implementar as duas injeções estratégica, as quais viabilizaram a execução do produto lavadora compacta. Isto tornou possível atingir todas as metas propostas de custo, prazo e qualidade. Tais metas eram extremamente desafiadoras, uma vez que nenhum desenvolvimento anterior na história havia obtido resultados similares. Isso só foi possível devido ao entendimento da necessidade de utilização de módulos e conceitos reutilizáveis, sugeridos pela aplicação da metodologia do Thinking Process.

Devido aos resultados atingidos nesse projeto, a empresa em questão despertou para o entendimento dos benefícios da abordagem sistêmica modular na melhoria de sua competitividade, iniciando-se um programa global de projeto modular para todas as suas categorias de produtos.

5.9 Sumário

Nesse capítulo contextualizou-se a lavadora de roupas, apresentou-se um histórico, suas características técnicas e aspectos que direcionam para a necessidade do desenvolvimento de uma lavadora compacta para o mercado chinês.

Aplicou-se o *Thinking Process* para o desenvolvimento técnico da lavadora compacta. Identificou-se a lista dos efeitos indesejados combinado às metas específicas da empresa para o desenvolvimento do produto em questão. Identificou através da ARA as causas raízes ou restrições que limitam o desempenho do projeto, identificou o conflito oculto atrás de cada restrição e sugeriu-se as idéias (“injeções”) para a solução desses conflitos, através da DRC. A comprovação da efetividade dessas “injeções” na eliminação dos efeitos indesejáveis se fez com ARF; por fim, a identificação dos obstáculos para implementação das injeções se fez por meio da APR.

As duas idéias fundamentais identificadas para superar as restrições foram: a) “reutilização do maior número possível de peças e módulos de um produto existente”; b) “fazer o mínimo investimento de ferramental necessário para se obter o novo produto”. Essas idéias apontaram para o uso de uma plataforma de lavadora “standard” existente na empresa, como veículo para se derivar o produto compacto. Isso possibilitou a viabilização do projeto “produto compacto” e despertou a empresa para o uso do conceito modular no seu processo de desenvolvimento de produtos como elemento estratégico de competitividade. No capítulo seguinte apresenta-se as conclusões finais desse trabalho.

Capítulo 6

Conclusão e sugestões para pesquisas futuras

6.1 Conclusão

O objetivo principal dessa pesquisa foi contribuir no campo de desenvolvimento de produtos. Para se manterem competitivas, o processo de desenvolvimento das empresas precisa ser robusto e capaz de promover continuamente um fluxo de produtos inovadores, de alta qualidade e baixo custo, no menor tempo possível e antes da concorrência. Uma das contribuições dessa pesquisa foi a aplicação da metodologia do “*Thinking Process*” para melhoria do processo de desenvolvimento de produto. Para se atingir esse objetivo mais geral, aplicou-se a referida metodologia no próprio processo de desenvolvimento de produto e, de forma mais restrita, no desenvolvimento técnico de um produto específico (uma lavadora de roupa). Essas duas aplicações permitiram explorar a potencialidade da metodologia em situações muito distintas na área de desenvolvimento de produto e os resultados confirmaram o seu potencial de aplicabilidade.

No processo do desenvolvimento de produto, considerado nessa pesquisa como uma exploração mais ampla do emprego do “Thinking Process”, sua aplicação resultou na

determinação de três fatores fundamentais que caracterizam o novo ambiente de desenvolvimento, em função da solução das restrições por trás das causas raízes: a) “identificar e desdobrar da voz do consumidor (VOC)”; b) “gerar e utilizar a base de módulos e conceitos previamente concebidos e comprovados”; c) “usar eficazmente o “know how” fundamentado pelo uso de ferramentas analíticas”.

Para o desenvolvimento técnico de um produto, considerado nessa pesquisa como a exploração restrita do Thinking Process, utilizou-se a referida metodologia no desenvolvimento de uma lavadora de roupas compacta para o mercado chinês. A aplicação do TP identificou duas idéias fundamentais para superar as restrições presentes no desenvolvimento do produto: a) “reutilização do maior número possível de peças e módulos de um produto existente”; b) “fazer o mínimo investimento de ferramental necessário para se obter o novo produto”. Essas idéias foram viabilizadas através da indicação para utilização de uma plataforma existente, que serviu de base modular para o desenvolvimento do produto compacto.

O alcance das metas dos fatores de sucesso (custo, prazo e qualidade) foi possível graças ao entendimento da necessidade de utilização de módulos e conceitos reutilizáveis sugeridos pela aplicação da metodologia do TP. Esses resultados levaram a empresa a perceber os benefícios da abordagem sistêmica modular na melhoria de sua competitividade e a induziram a adotar um amplo programa de projeto modular para todas as suas categorias de produtos.

Em síntese, se pode concluir que o “Thinking Process” é uma metodologia bastante abrangente e flexível, do ponto de vista sua aplicabilidade. Nas duas situações distintas, a “ampla” e “específica”, o “Thinking Process” fez prevalecer o seu caráter sistêmico, independentemente das particularidades dos dois estudos em questão. Dito de outro modo, na aplicação da metodologia em situações muito distintas dentro do ambiente de desenvolvimento de produto, prevaleceu o caráter sistêmico da mesma no entendimento do todo, eliminando-se o caráter deficiente provocado pela fragmentação dos sistemas.

6.2 Contribuições

Sabendo-se que os efeitos indesejáveis são comuns na maioria dos PDP das empresas, uma vez comprovada a efetividade dos fatores fundamentais na caracterização do PDP, os conhecimentos aqui apresentados poderão ser difundidos para outros ambientes de desenvolvimento de produto, já que a lista de sintomas em tais ambientes não é exclusiva da empresa aqui analisada.

Sabe-se que o Thinking Process é uma metodologia pouco explorada em suas potencialidades e formas de contribuição dentro do ambiente de desenvolvimento de produto. O caso “específico” da sua aplicação nesse trabalho revela a potencialidade do uso do TP como uma ferramenta relevante para o desenvolvimento técnico de produto.

Para a empresa, uma significativa contribuição desse trabalho foi que a mesma pode perceber os benefícios da abordagem sistêmica modular na melhoria de sua competitividade, passando a considerar os princípios e conceitos de modularidade para o seu desenvolvimento de produtos futuros.

6.3 Sugestões para pesquisas futuras

No desenvolvimento dessa pesquisa, surgiram algumas idéias que aqui apresentamos como sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Entre elas destacamos:

- Investigar se o conjunto de ações apresentadas no diagrama em árvore (apêndice A) é efetivo em outros ambientes de desenvolvimento de produto na solução de seus efeitos indesejáveis.
- Aplicar o Thinking Process nas diferentes fases do processo de desenvolvimento de produto para explorar suas potencialidades.
- Desenvolver um software amigável com simbologia específica para facilitar o uso do Thinking Process como ferramenta de engenharia no campo de desenvolvimento de produto.

Referências Bibliográficas

- Alvarenga, F. B. *Uma Abordagem Metodológica para o Projeto de Produtos Inclusivos*.
Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006,
237p. Tese (Doutorado).
- Andersson, S., Sellgren, U. *Representation and use of Functional Surfaces*. In: 7th Workshop on
Product Structuring - Product Platform Development. Göteborg: Chalmers University of
Technology, 2004.
- Back, N. , Forcellini, F. *Apostila da disciplina de projeto de produto – Curso de Engenharia
mecânica*. Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFSC, 1997
- Back, N. , Forcellini, F. *Apostila da disciplina de projeto conceitual – Curso de Pós –Graduação
em Engenharia Mecânica*. UFSC, 2000.
- Baxter, M. *Product design: A practical guide to systematic methods of new product development*.
London: Chapman & Hall 1995.
- Calia, C.G. *Construção de Oferta Irrecusável com os Processos de Raciocínio da TOC*. São
Paulo. Notas de curso ministrado pelo Avraham Y. Goldratt Institute do Brasil. 1995a

Calia, C.G. *Introdução aos Processos de Raciocínio da TOC: desenvolvendo habilidades gerenciais*. São Paulo. Notas de curso ministrado pelo Avraham Y. Goldratt Institute do Brasil. 1995b

Carazatto, M . *Proposta de reestruturação de uma família de chassis de ônibus através da análise modular*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008, 151p. Dissertação (Mestrado).

Carter, D.E. , Baker, B.S. *Concurrent engineering – The product development environment for the 1990s*. Massachusetts, Addison – Wesley Publishing Company Inc. 1992.

Chiusoli, R.F.Z. *Engenharia simultânea: Estudo de casos na indústria brasileira de autopeças*. São Carlos: Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 1996, 147p. Dissertação (Mestrado)

Clark, K.B., Fujimoto,T. *Product development performance: Strategy, organization and management in the world auto industry*. Boston-Mass. Harvard Business School Press 1991.

Clausing, D. *Total quality development: A step-by-step guide to world-class concurrent engineering*. New York: ASME Press, 1993.

Clausing, D. *Total quality development: A step-by-step guide to worldclass concurrent engineering*. 3 ed. New York, ASME, 1994.

Cox III, J.F., Spencer, M.S. *Manual da teoria das restrições*. Porto Alegre: Bookman, 2002

Day, R.G. *Quality Function Deployment*. ASQC Quality Press 1993.

Dedini F.G., Cavalca, K. L. *Projeto de sistemas mecânicos. Apostila graduação*, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Projeto Mecânico, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2001, 120p.

Dedini F.G. *Sistemas e métodos de Projeto. Apostila pós-graduação*, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Projeto Mecânico, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2002, 155p.

Deschamps, J.P., Ranganath ,Nayak. *Produtos irresistíveis*. São Paulo: Makronbooks, 447 p. 1996

Dettmer, H.W. *Goldratt's Theory of Constraints – a systems approach to continuous improvement, ASQ Quality Press*, American Society for Quality, Milwaukee – WI. 1997

Fixson, S. K. *The Multiple Faces of Modularity – A Literature Analysis of a Product Concept for Assembled Hardware Products*. Technical report. 03-05 Industrial & Operations engineering, University of Michigan. 2003

Fleischer, Mitchell , Liker, Jeffrey K. *Concurrent engineering effectiveness: Integrating product development across organizations*, Hanser Gardner Publications, Cincinnati, OH, 506p. 1997

Freitas, A.R., Bernardi, F.S. *Os processos de raciocínio da teoria das restrições como ferramentas para um processo de melhoria contínua focalizada*. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 2004

Freitas, R., Taffarel, L., Mansur, H. *A Teoria das Restrições em um processo produtivo de fabricação de chapas de gesso acartonado no Brasil*. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Florianópolis. pp. 142-145, 2004.

Goldratt, E.M., FOX, R.E. “*A corrida pela vantagem competitiva*”. São Paulo, IMAM. 1989.

Goldratt, E.M. *What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented?*, North River Press, New York-NY. 1990

Goldratt, E.M. *Mais que sorte...um processo de raciocínio*. São Paulo, Educator. 1994

Goldratt, E.M., COX, J. *A meta: um processo de aprimoramento contínuo*. São Paulo, Educator. 1995

Guerreiro, R. “*A meta da Empresa – seu alcance sem mistérios*” São Paulo: Atlas, 1996

Haddad, C.J. Operationalizing the concept of concurrent engineering: *A case study from the U.S. auto industry*,” IEEE transactions on engineering management, vol.42, n.2, pp 124-132, May 1995

Hillström, F. On axiomatic design in modular product development, Göteborg: Chalmers University of Technology. Licentiate Thesis (1994)

Jiao, J., Simpson, T. W., Siddique, Z. Product Family Design and Platform-Based Product Development: A State-of-the-Art Review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v.18, (1), pp.5-19 2006

Klein, D. J., DeBruine, M. *A thinking process for establishing management policies*. Review of Business. 16(3), 31-37 1994

Kotler, P. *Dirección de Marketing*. Prentice Hall. 2000

Kusiak, A., Huang, C-C. Development of Modular Products. *IEEE Transactions on components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A*, v. 19, (4), pp.523-538 1996.

- Maxwell, Lee. *Who Invented the Electric Washing Machine*. An Example of how Patents are Misused by Historians, 18p. 2008
- McGrath, Michael E; Anthony, Michael T, Shapiro, Amram R. *Product Development success through product and cycle-time excellence*. Newton, Butterworth-Heineman, 1992
- Mizuno, S.; Akao, Y. *The customer-driven approach to quality planning and deployment*. Tokyo: APO, 365p. 1994
- Morgan, James M. *High performace product development: A systems approach to lean product development process*. Michigan: Industrial and Operations Engineering in The University of Michigan, 2002, 386p. Tese (Doutorado)
- Morgan, James M., Liker, Jeffrey K., *The product development system: integrating people, process and technology*. Productivity Press 2006
- Moura, Eduardo C., Dettmer, H. William. *Seminário de Introdução à Teoria das Restrições*, Qualiplus Consultoria em Excelência Empresarial. 2000
- Moura, Eduardo C. *Seminário de Introdução ao QFD*, Qualiplus Consultoria em Excelência Empresarial. 2007
- Muffato, M. Introducing a platform strategy in product development. *International Journal of Production Economics*, v. 60-61, pp. 145-153 1999
- Neto, G., Correa L., Cabral V., Dedini F. *Aplicação do roteiro crítico de projetos em cursos de graduação*. V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador, Bahia. 2008

- O'Grady, P., Liang, W. An object oriented approach to design with modules. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, v.11, (4), pp.267-283 1998
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K-H. *Projeto na Engenharia*. São Paulo: Edgard Blücher, 412p. 2005
- Prasad, B. *Concurrent engineering fundamentals: integrated product and process organization*. New Jersey, Prentice Hall. 1996
- Portioli-Staudacher A., et al. *Implementation of concurrent engineering a survey in Italy and Belgium*. Department of Management, Economics and Industrial Engineering. Politecnico di Milano 2003
- Pugh, S. Total design: *integrated methods for successful product engineering*. In: Addison Wesley Publishing Company, 1991
- Tague R. N.; *The Quality Toolbox*. ASQ Quality Press, pp. 219-223. 2004
- R. D. Buzzell ; B. T. Gale, "*PIMS (Profit Impact of Market Strategy) Principles: Linking Strategy to Performance*", The Free Press. 1987
- Ross, P.J. *Aplicação das técnicas Taguchi na Engenharia da qualidade*. São Paulo: Makron, MacGraw-Hill, 1991
- Rozenfeld, H., Vega, H. A. *Ambiente distribuído de soluções para suportar a engenharia simultânea*. Máquinas e metais. P.211-223, março 1995
- Rozenfeld, H., Forcellini, A. F., Amaral, D. C., Toledo, J. C., Silva, S. L., Alliprandini, D. H., Scalise, R. K., *Gestão de Desenvolvimento de Produtos- Uma Referência para a Melhoria do Processo*, São Paulo: Editora Saraiva, 542p., 2006.

- Smith, P.G.; Reinertsen, D.G. *Developing products in half the time : new rules, new tools*. John Wiley & Sons, Inc. 1998
- Srikanth, M.L, Umble, M.M “*Synchronous Manufacturing: Principles for a world class manufacturing*” Ohio: South-Western, 1990
- Srikanth, M.L, Umble, M.M “*Synchronous Management: Profit-Based Manufacturing for the 21st Century*” The Spectrum Publishing Company, volumes I e II, Guilford, Connecticut, 1997
- Strasser, Susan, “*Never Done*” Pantheon Books, a division of Randon House, Inc, New York, 1982
- Syan, C.; Menon, U. *Concurrent engineering: concepts, implementation and practice*. New york, Chapman & Hall. 1994
- Suh, Nam Pyo *Designing-in of Quality Through Axiomatic Design*. IEEE Transactions on Reliability. Oxford University – New York. 1995
- Ulrich, K., The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm, *Research Policy*, v. 24, pp. 419-440, 1995.
- Ulrich, T. K., Eppinger, S. D. *Product Design and Development*, New York: McGraw-Hill, 2000.
- Williams, D. “*The Major appliance industry: Its history, growth, anti trust development, and current status*”A graduate term paper for general business 622 Western Michigan University , Kalamazoo 1969

Wheelwright, S.C. Clark, K.B. *Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality*. New York, The Press, 1992

Womack , J.P., Jones, D.T *Lean thinking*. Simon & Schuster. New York, NY. (1996)

Yang Ch.; Hsu, T.; Ching, Ch. Integrating the Thinking Process into The Product Design Chain. *Journal of Industrial Technology*. Volumen 18 – Number 2. February-April 2002.

Yassine, A. A., Chelst, K.R. & Falkenburg, D.R. *A decision analytic framework for evaluating concurrent engineering*. IEEE Transactions on engineering management, pp. 144-157, vol46, n.2, May 1999

Zangwill, W.I. *Lightening strategies for inovation*, New York, Lexiton Books, 1993

Referências da Internet

Axiomatic Design Solutions Inc. *Axiomatic Design Techonology*. Disponível em:
<<http://www.axiomaticdesign.com/technology/axiomatic.asp>> Acesso em: 2008.

Bellis, Mary. *History of Washing Machines*. Disponível em:
<http://inventors.about.com/od/wstartinventions/a/washingmachines.htm> Acesso em: 2008

Campos, Siqueira. *DFSS (Design For Six Sigma)*. Disponível em:
<<http://www.siqueiracampos.com>> Acesso em: 10 jun. 2007.

Isoba, Oscar. *TRIZ o la Teoría de Resolución de los Problemas Inventivos*. Disponível em :
<<http://www.gestiopolis.com/innovacion-emprendimiento/teoria-de-resolucion-de-los-problemas-inventivos-triz.htm>> Acesso em: 26 nov. 2007.

Lattmann, Petra. *Ye Olde Laundry...Look How Far We've Come*. Laundry Today. Disponível em:
<http://www.laundrytoday.com/archives/vol_4_1/ye_olde_laundry.htm> Acesso em: janeiro 2008.

Apêndice A

Implementação das Injeções no PDP

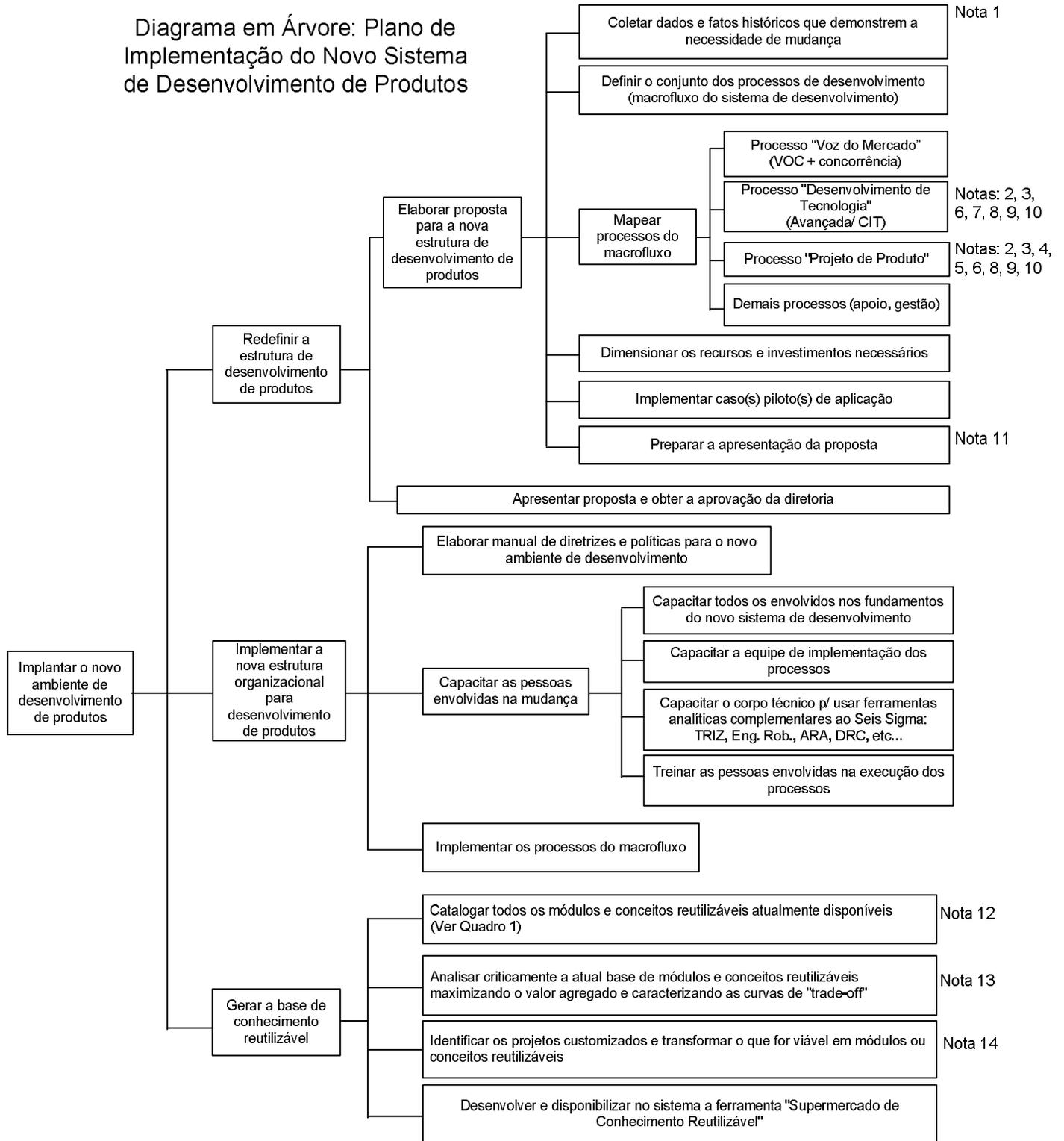
Como resultado da aplicação do TP no PDP, foram identificadas e tratadas as restrições que limitam o seu desempenho, e através da geração e validação das novas idéias foram comprovadas as soluções que eliminam as restrições desse sistema. Essas soluções chamadas também de injeções são os elementos fundamentais que passam a caracterizar o novo ambiente do PDP . Essas injeções são: 1. identificar e desdobrar a VOC (Voz do consumidor); 2. gerar e usar a base de módulos e conceitos reutilizáveis; 3. uso eficaz do ‘know how’ suportado pelo uso de ferramentas de desenvolvimento.

Através da APR, apresentada no capítulo 4, identificou-se os obstáculos para implantação dessas injeções, mas não foi mostrado o como fazer isso. Esse anexo objetiva mostrar um plano de ação do como implementar a mudança proposta PDP.

Estruturação do Plano de Ação através do Diagrama em Árvore

Um conjunto das ações necessárias para implantar o novo sistema de desenvolvimento de produtos é consolidado na forma de um diagrama em árvore detalhado na figura abaixo:

Diagrama em Árvore: Plano de Implementação do Novo Sistema de Desenvolvimento de Produtos



Plano de implementação do novo sistema de desenvolvimento de produtos

Detalhes do Diagrama de implementação

Nota 1: Demonstrar as conseqüências negativas de usar o "QFD Simplificado".

Nota 2: Quando ocorrerem problemas emergenciais, substituímos as soluções intuitivas individuais por soluções analíticas em equipe.

Nota 3: Assegurar que os "*Design Reviews*" incluam uma revisão detalhada da análise e dos resultados do QFD.

Nota 4: Transferir para o líder técnico do projeto o poder de decisão final sobre o problema, após considerar as recomendações gerenciais.

Nota 5: Assegurar que os "*Design Reviews*" sejam formados por especialistas e que seja feita uma revisão detalhada e técnica do projeto (em contraste com as rápidas e tradicionais revisões administrativas).

Nota 6: Em cada projeto, otimizar e comprovar a robustez de mais de um conceito, caracterizando suas curvas de "*trade-off*".

Nota 7: Fora do cronograma dos projetos, desenvolver módulos e conceitos reutilizáveis a partir dos dados da VOC/concorrência.

Nota 8: Usar Engenharia Robusta como estratégia de experimentação que permite:

- Minimizar o nº de amostras;
- Incluir no experimento as principais fontes de variação/ruído;
- Identificar a combinação ótima dos fatores de projeto, que confira desempenho robusto na presença do ruído;
- Caracterizar curvas "*trade-off*".

Nota 9: Aplicar TRIZ (Teoria da Resolução de Problemas Inventivos) para geração de conceitos.

Nota 10: Usar economicamente os recursos de prototipagem física e virtual, suportado pelo conhecimento de Engenharia, com a finalidade de *otimização da robustez* do projeto, ao invés de usarmos os recursos apenas para a detecção de falhas.

Nota 11: Demonstrar os benefícios e características do novo sistema de desenvolvimento de produtos.

Nota 12: A Figura abaixo sugere uma maneira de “inventariar” o atual nível de conhecimento reutilizável da empresa, identificando os subconjuntos ou peças de cada produto do portfólio e classificando-os como projeto de engenharia customizado, conceito reutilizável ou módulo “plug & play” (ver definições no Glossário).

Nota 13: ver definição de “índice de valor agregado” no Glossário.

Nota 14: ver definição de “projeto customizado” no Glossário.

QUADRO 1

PROD. 1		○		○	●	
PROD. 2	X			○		
PROD. 3		●	●		○	
.	●					X
PROD. n	○	X	○	○	X	

X : projeto customizado
 ○ : conceito reutilizável
 ● : módulo (plug & play)

Proposta de como inventariar o conhecimento atual da empresa

Sumário

Propôs-se um diagrama em árvore que é o conjunto de ações necessárias para se implementar o novo ambiente de desenvolvimento de produtos. A validação dessas ações pode ser um objeto de estudo para um trabalho futuro.

Apêndice B

Modularidade

Em 1932, o arquiteto belga De Koninck iniciou uma nova concepção no projeto de móveis. O projeto consistia em uma série de elementos funcionalmente padrões que combinados se ajustavam ao ambiente. (Carazzatto, 2008). Nos anos 60, a modularidade foi adotada pela indústria de computadores e somente no início dos anos 90 a modularidade ganhou forte interesse da indústria automobilística (Fourcade e Midler, 2004).

Atualmente, a modularidade nos móveis é o melhor exemplo de implementação desta abordagem. Foi introduzida com a intenção de criar móveis versáteis que possam se adaptar a espaços diferentes. A construção de casas e apartamentos de dimensões reduzidas, a contínua mudança nos desejos e necessidades dos clientes, os avanços tecnológicos e as modificações sociais acontecidas na última década, obrigaram as empresas ao desenvolvimento de móveis flexíveis que possam adotar formas e tamanhos distintos, servindo assim para diversos ambientes e espaços.

1. Alguns Conceitos Ligados à Modularidade

Projeto modular - é aquele no qual os seus componentes podem realizar diversas funções e através de combinações distintas de módulos (ou blocos) que resultam em variantes de produto (Kusiak e Huang, 1996).

Modularização - é a estruturação do produto onde se incrementa a modularidade com o objetivo de otimizar uma arquitetura existente, atendendo os requisitos do produto e permitindo a racionalização na geração de próximos projetos. A modularização pode reduzir significativamente o tempo de manufatura e processo de montagem, conduzindo ao aumento de variedade e customização do produto (Pahl *et al.*, 2005).

Sistemas modulares - são constituídos de blocos interligados que executam funções globais e suas variantes. As funções podem ser classificadas em básicas, auxiliares, especiais, adaptativas e específicas ou customizadas (Pahl *et al.*, 2005 e Kusiak e Huang, 1996).

- **Funções básicas** - São as fundamentais, repetitivas e imprescindíveis para o atendimento da função global e de suas variantes.
- **Funções auxiliares** - São as de interconexão entre os blocos ou aquelas que fazem a integração do sistema e são executadas por módulos auxiliares.
- **Funções especiais** - São funções isoladas, complementares, específicas que não se repetem em todas as variantes da função global.
- **Funções adaptativas** - São funções que por razões imprevisíveis são necessárias para o ajuste de outros sistemas a condições complementares.
- **Funções específicas ou customizadas** - São funções específicas de um pedido e que não foram previstas no sistema modular.

Módulo - são aqueles constituídos por um ou mais componentes ou submontagem que seguem os seguintes requerimentos: capacidade de submeter-se a testes funcionais, ajustabilidade em termos funcionais, padronização das interfaces, intercambiabilidade, transportabilidade (sem afetar as funções) (Hillström, 1994), fraca interdependência entre eles e alta interdependência dentro deles (Fixson, 2003).

Interface - é a conexão entre os módulos que permite a montagem de diferentes variantes. A especificação das interfaces é vista por muitos como o principal item na modularização e facilita o sucesso na implementação das variantes do produto (Persson, 2004).

Segundo Andersson e Sellgren (2004), a definição de *interfaces* se divide em dois tipos: *interface técnica* (uma superfície funcional técnica dentro ou sobre um sistema técnico que interage com outra superfície funcional técnica dentro do sistema técnico ou no meio ambiente) e a *interface interativa* (uma superfície funcional ergonômica ou comunicativa em um sistema técnico que interage com um ser humano, através de um dos seus sentidos).

2. Arquitetura do Produto

Segundo Carazatto (2008), as empresas de manufatura estão dando cada vez mais atenção à customização de produtos em larga escala, os quais buscam a satisfação das necessidades dos clientes pela proliferação de seus produtos. O desenvolvimento de famílias de produtos é uma forma de gerar economia em escala, favorecendo o aumento da variedade de produtos em diversos nichos de mercado. Além disso, quando se desenvolve uma família de produtos os riscos de projeto são reduzidos pela utilização de componentes iguais em diversas variantes.

A arquitetura do produto é o esquema que relaciona a estrutura funcional do produto com a estrutura física dos componentes; é o esquema que aloca as funções do produto em seus componentes físicos (Ulrich, 1995). Ela é definida depois da definição do mercado alvo, entre a fase conceitual de desenvolvimento e o projeto de sistemas, buscando coerência com a estratégia da empresa. A arquitetura é classificada como integral e modular. Na arquitetura modular existe a relação um a um entre função e componente e o desenvolvimento do produto permite alterar um módulo sem necessariamente alterar outro. Na arquitetura integral o projeto é orientado para otimizar o produto, é o desenvolvimento clássico onde um componente não pode ser feito sem

considerar o outro. Inclui interações complexas, não um para um, entre funções e componentes. Carazatto (2008).

Ulrich e Eppinger (2000) estabelecem quatro passos para criar uma arquitetura modular:

1) Criar um esquema do produto - desenvolvendo um modelo conceitual de componentes e funções.

2) Reagrupar os componentes dentro dos módulos de acordo com:

a) precisão de montagem: dois componentes devem estar no mesmo módulo quando for necessária uma montagem com precisão.

b) divisão de funções: quando duas funções são compartilhadas pelos mesmos componentes, é melhor gerenciá-las em um mesmo módulo.

c) similaridades técnicas: desenvolver módulos baseados em similaridades técnicas ou com vantagens para produção.

d) localização da alteração: separar componentes com alto risco de alteração.

e) variedade adaptável: isolar componentes que são diferentes de um produto para outro.

f) favorecer padronização: unificar um módulo se os mesmos componentes são compartilhados entre produtos.

3) Criar um leiaute geométrico - observar o leiaute ou esboço do projeto para ajudar a detectar os módulos e interfaces.

4) Identificar interações fundamentais no esquema - encontrar as fortes relações no modelo conceitual que ajudará a encontrar os módulos e os grupos de pessoas responsáveis por eles.

Segundo Du *et al.* (2001), o desenvolvimento de produtos com variantes e famílias de produtos pode ser classificado em: plataforma de produtos, arquitetura de produtos e arquitetura de família de produtos. A *plataforma de produtos* é a base de sustentação para o desenvolvimento de famílias de produtos. A *arquitetura de produtos* é o arranjo entre os componentes físicos e suas respectivas funções de um produto e a interação dessas unidades; e a *arquitetura de família de produtos* é a organização lógica da família de produtos sob pontos de vista como engenharia, vendas etc.

Pahl *et al.* (2005) define a plataforma como um sistema produtivo capaz de desenvolver produtos variantes com curta duração do ciclo de vida do produto, no qual se aproveitam potenciais de racionalização com base em componentes estruturais por meio de um planejamento objetivo. É definida por critérios funcionais e constitui o máximo divisor comum de uma família de produtos.

Gonzalez *et al.* (2000), define plataforma de produto como um conjunto de partes, subsistemas, interfaces e processos de manufatura que são compartilhadas entre um conjunto de produtos e que permitem o desenvolvimento de produtos derivados com economia de custo e tempo.

3. Benefícios da Modularidade

A modularidade reduz a complexidade dos projetos e permite uma melhor estruturação do conhecimento do projeto, dando como resultado um rápido desenvolvimento de produtos. Carazatto (2008), mostra que a modularidade tem benefícios nas diferentes fases do desenvolvimento do produto. No projeto, a divisão modular é utilizada com o objetivo de comunicar componentes, isto é, desenvolver um módulo para um determinado produto e simultaneamente poder empregá-lo em outra família ou segmento de produtos. Para tanto, a modularidade com foco na comunicação de componentes permite desenvolver um módulo com interfaces comuns e que pode ser ajustado para assumir outra configuração.

Segundo Kusiak e Huang (1996), a modularidade traz benefícios como: economia de escala de componentes, facilidade de atualização de produto, aumento da viabilidade do produto, maior variedade de produtos, menor tempo entre pedido e entrega, facilidade de teste, diagnóstico de falhas e manutenção nos produtos. Outros benefícios como: atualizações eficientes, redução de complexidade, custos menores, desenvolvimento rápido de produtos e melhor estruturação do conhecimento são citados por (O'Grady e Liang 1998, Muffato 1999).

Segundo Carazatto (2008), a comunicação através de módulos e componentes traz vários benefícios para o projeto como a redução dos investimentos em moldes, ferramentas, dispositivos e equipamentos do processo produtivo. Mesmo que esses elementos tenham que ser duplicados para atender demandas de produção seus desenhos e viabilidades técnicas já estão comprovados. A industrialização também é melhorada no ponto de vista dos recursos já disponíveis na planta produtiva, assim como a confiabilidade dimensional em processo; acessibilidade e integração dos meios produtivos; compartilhamento de meios de controle e testes funcionais; padronização de processos. Segundo Jiao *et al.* (2006), os benefícios da comunicação e padronização de componentes são evidentes. São vários produtos compartilhando módulos em maior escala, o que reduz os custos de fabricação.