



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/09.05.14.49-TDI

**ESTUDO DA FILOSOFIA ENXUTA NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E A
APLICAÇÃO DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA
BASEADA EM CONJUNTO DE ALTERNATIVAS A
PROJETO DA ÁREA AEROESPACIAL**

Luís Claudio Mesquita Pardal

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Leonel Fernando Perondi, e Sandro Giovanni Valeri aprovada em 18 de outubro de 2013.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3EPMPHH>

INPE
São José dos Campos
2013

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/09.05.14.49-TDI

**ESTUDO DA FILOSOFIA ENXUTA NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E A
APLICAÇÃO DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA
BASEADA EM CONJUNTO DE ALTERNATIVAS A
PROJETO DA ÁREA AEROESPACIAL**

Luís Claudio Mesquita Pardal

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Leonel Fernando Perondi, e Sandro Giovanni Valeri aprovada em 18 de outubro de 2013.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3EPMPHH>>

INPE
São José dos Campos
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pardal, Luís Claudio Mesquita.

P213e Estudo da Filosofia Enxuta no Processo de Desenvolvimento de Produtos e a Aplicação de Engenharia Simultânea Baseada em Conjunto de Alternativas a Projeto da Área Aeroespacial / Luís Claudio Mesquita Pardal. – São José dos Campos : INPE, 2013. xxii + 117 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/09.05.14.49-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

Orientadores : Drs. Leonel Fernando Perondi, e Sandro Giovanni Valeri.

1. filosofia enxuta. 2. desenvolvimento enxuto de produto. 3. engenharia simultânea baseada em conjunto de alternativas. I.Título.

CDU 629.783



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em

**Engenharia e Tecnologia
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas
Espaciais**

Dr. Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Leonel Fernando Perondi



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Sandro Giovanni Valeri



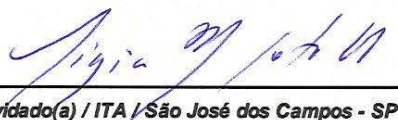
Orientador(a) / EMBRAER / São José dos Campos - SP

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior



Membro da Banca / ITA / São José dos Campos - SP

Dra. Lígia Maria Soto Urbina



Convidado(a) / ITA / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(X) unanimidade

Aluno (a): **Luís Claudio Mesquita Parda**

São José dos Campos, 18 de Outubro de 2013

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

À minha esposa Paula, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de fadiga que ocorreram durante todo esse projeto.

A meus pais José Luiz e Cida, que dignamente me apresentaram a importância da família e o caminho da honestidade e persistência.

AGRADECIMENTOS

Aos Drs. Leonel Perondi e Sandro Valeri, pelo apoio durante o período de mestrado.

Aos membros da Banca Examinadora, pelas valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho e pela atenção dispensada ao ler e avaliar a minha dissertação e ao me avaliar.

Ao INPE, pelas facilidades oferecidas através da organização do curso de Pós-Graduação.

RESUMO

A Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas (SBCE) é um conceito que é praticado pela Toyota por muitos anos. Ela é uma das bases do seu desenvolvimento de produto, ajudando a encontrar a melhor solução para o projeto, e consequentemente respeitar os compromissos do programa. Esse trabalho estudou o Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto (LPDS), especialmente o ponto de vista da SBCE em recentes projetos na área aeroespacial. O desenvolvimento de produto e os conceitos enxutos foram estudados separadamente. Posteriormente, uma comparação entre as três principais referências do LPDS foi feita para consolidar uma posição sobre o sistema. Por fim, um modelo de caracterização da SBCE foi gerado. Como resultado, foi feita uma pesquisa de campo em duas instituições que produzem produtos complexos, para entender o seu grau de relacionamento com o conceito da SBCE. Essa pesquisa mostra que as duas instituições praticam a SBCE. Porém, alguns pontos como o registro de conhecimento para ser usado nos próximos projetos e a consideração de soluções de subsistemas em conjunto com as soluções em nível de sistemas nas fases iniciais do programa podem ser adotados para melhorar a confiabilidade do produto.

**STUDY OF THE LEAN THINKING IN THE PRODUCT DEVELOPMENT
PROCESS AND THE SET-BASED CONCURRENT ENGINEERING
APPLICATION IN PROJECTS OF THE AEROSPACE AREA**

ABSTRACT

The Set-Based Concurrent Engineering (SBCE) is a concept that has been practiced by Toyota for many decades. It is one of your product development basis, supporting the way to find the best solution for the project, which helps Toyota respect the milestones dates of the program. This work studied the Lean Product Development System, specially the SBCE point of view in recent projects of the aerospace area. The product development and the lean concepts were studied separated. After that, a comparison among the tree main references of Lean Product Development was done to establish a consolidate position about this system. In the end, a SBCE model was generated. As a result, it was done a research through a questionnaire for understanding how the two institutions that manufacture complex products are related with the SBCE concept. This research shows that both institutions practice SBCE. However, some points such as knowledge recording to be used in the next projects, and the subsystem solution treatment with the system solutions, in a joint view in the initial program phases, can be adopted to increase the product reliability.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1-1: Processo de desenvolvimento de produto para a indústria e para a área espacial.....	1
Figura 1-2: Custo cumulativo percentual do ciclo de vida em função do tempo.	6
Figura 2-1: A estrutura da dissertação.	10
Figura 4-1: Mapa das funções no desenvolvimento de produto.....	17
Figura 4-2: Processo de desenvolvimento de sistema complexo.....	22
Figura 4-3: Estrutura da ECSS.....	26
Figura 4-4: Os limites da engenharia de sistemas.	28
Figura 4-5: EAP/ WBS.....	30
Figura 4-6: Ciclo de vida típico de projeto na área espacial.....	31
Figura 5-1: Ciclo PDCA.....	40
Figura 5-2: O Seis Sigma na curva Normal.....	42
Figura 6-1: Os desperdícios do conhecimento.....	51
Figura 6-2: Processo convencional.	56
Figura 6-3: Fluxo do valor no desenvolvimento de produto.....	65
Figura 6-4: Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto (LPDS).	67
Figura 7-1: Processo de afinamento paralelo da Toyota.	70
Figura 7-2: Realimentação na fase conceitual do processo convencional.	71
Figura 7-3: Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas (SBCE).	73
Figura 7-4: Exemplo de ábaco.	83
Figura 7-5: Fluxo de conhecimento ao longo dos projetos.....	84
Figura 7-6: Modelo de caracterização da SBCE.	85

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 4-1: As seis fases de um processo genérico de desenvolvimento de produto.	19
Tabela 4-2: As características dos tipos de estruturas organizacionais.	24
Tabela 5-1: Os sete desperdícios de Taiichi Ohno.	46
Tabela 6-1: Dispersão e suas conseqüências.....	52
Tabela 6-2: Comparação das visões de Liker e Morgan; Ward; e Kennedy.	59
Tabela 7-1: Princípios da SBCE.....	75
Tabela 7-2: Matriz para comunicação de alternativas.	77
Tabela 8-1: Relação do questionário com os elementos do LPDS.	90

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AR	Acceptance Review
CDR	Critical Design review
CEP	Controle estatístico de Processo
CRR	Commissioning Result Review
EAP	Estrutura Analítica de Projetos
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
EEE	Electronic, Electrical and Electromechanical
ELR	End-of-life Review
ESA	European Space Agency
FRR	Flight Readiness Review
GE	General Electric
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEfSE	Lean Enablers for Systems Engineering
LPDS	Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto (Lean Product Development System)
LRR	Launch Readiness Review
MBA	Master Business Administration
MCR	Mission Close-out Review
MDR	Mission Definition Review
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ORR	Operational Readiness Review
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PDR	Preliminary Design Review
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PRR	Preliminary Requirements Review
QR	Qualification Review
SBCE	Engenharia Simultânea Baseada em Conjunto de Alternativas (Set-Based Concurrent Engineering)
SRR	System Requirements Review
TQM	Total Quality Management
WBS	Work Breakdown Structure

SUMÁRIO

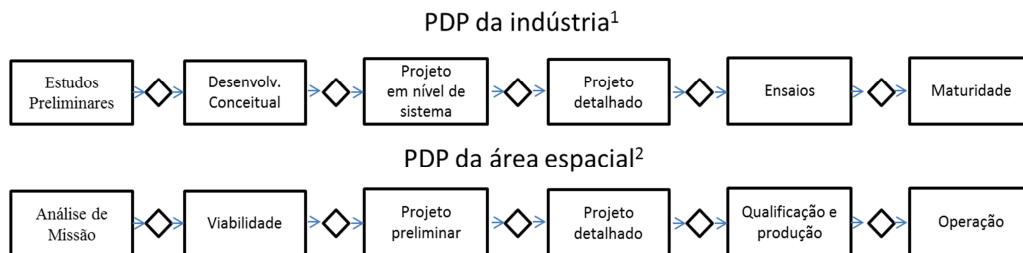
	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	3
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Resultados esperados.....	7
1.2.2 Benefícios institucionais	7
2 METODOLOGIA	9
2.1 Estrutura da dissertação.....	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4 O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	15
4.1 Introdução	15
4.2 O processo de desenvolvimento de produto	16
4.3 A estrutura organizacional.....	22
4.4 O projeto na área aeroespacial	25
4.4.1 Garantia do produto	26
4.4.2 Engenharia e gerenciamento de sistemas	27
5 A FILOSOFIA ENXUTA.....	37
5.1 Do TQM para o Seis Sigma e <i>Lean</i>	37
5.1.1 TQM	37
5.1.2 Seis Sigma	40
5.1.3 Comparação com a Filosofia Enxuta.....	43
5.2 A Filosofia Enxuta	44
5.2.1 O valor.....	45
5.2.2 Os desperdícios	45
5.2.3 Os princípios enxutos.....	47
6 A FILOSOFIA ENXUTA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	51
6.1 Os desperdícios no LPDS	51
6.2 O Sistema Enxuto de Desenvolvimento de produto	57

7 ENGENHARIA SIMULTÂNEA BASEADA EM CONJUNTO DE ALTERNATIVAS (SET-BASED CONCURRENT ENGINEERING)	69
7.1 Princípios da SBCE	74
7.1.1 1º Princípio: mapear o espaço de projeto.....	75
7.1.2 2º Princípio: integrar por intersecção.....	78
7.1.3 3º Princípio: estabelecer a viabilidade antes do compromisso	79
7.2 Ábaco ou curvas de <i>Trade-off</i>	81
7.3 Modelo de caracterização da SBCE.....	83
8 ANÁLISE DE RESULTADOS	87
8.1 O estudo da Filosofia Enxuta no desenvolvimento de produtos.....	87
8.2 Avaliação da adequação de projetos do setor aeroespacial à SBCE.....	89
8.2.1 Resultados da pesquisa	90
9 CONCLUSÃO	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXO I	105
ANEXO II	113

1 INTRODUÇÃO

Um processo é uma sequência de passos que transforma um grupo de entradas em um grupo de saídas, como por exemplo, montar um automóvel. Um processo de desenvolvimento de produto é uma sequência de passos ou atividades que uma instituição emprega para conceber, projetar e fabricar um produto. Muitas dessas atividades são intelectuais e organizacionais, e não físicas (ULRICH, 2012).

Um processo de desenvolvimento de produto é constituído de fases, como ilustrado na Figura 1-1 para a indústria em geral e para a área espacial.



1 - (Ulrich, 2012) 2 - (ECSS, 2009)

Figura 1-1: Processo de desenvolvimento de produto para a indústria e para a área espacial.

No primeiro caso, o processo começa com a fase de estudos preliminares, que tem como saída a declaração do objetivo do projeto, e serve como guia para o time de desenvolvimento. A conclusão do processo de desenvolvimento de produto é o lançamento do produto, caracterizado pela disponibilização do produto para compra no mercado (ULRICH, 2012). No caso específico da área espacial, o processo tem início com o levantamento dos requisitos de missão, seguido de uma fase de proposição e seleção de uma arquitetura de missão. Uma vez selecionada uma arquitetura, seguem-se as fases de projeto preliminar e projeto detalhado do sistema, em que são especificados, projetados e desenhados todos os subsistemas, até o seu nível mais elementar. Nestas fases, são, também, definidos todos os processos de

fabricação. Na fase seguinte, o sistema é qualificado, através de uma dada filosofia de modelos, para após ser fabricado, finalmente, em sua versão de voo. Por fim, ocorre o comissionamento do sistema, iniciando-se a sua fase operacional. Há ainda uma fase de descarte do sistema, não indicada na Figura 1-1 (ECSS, 2009).

O processo de desenvolvimento pode ser pensado como a criação inicial de um amplo conjunto de conceitos alternativos seguido de uma redução do número de alternativas e melhoria da especificação do produto, até o mesmo ser viável e apto para ser produzido (ULRICH, 2012). Esse modo de pensar colocado por Ulrich é um modo simplificado de aplicar o conceito da “Engenharia Simultânea Baseada em Conjunto de Alternativas” (SBCE).

A metodologia da SBCE se aplica, principalmente, à fase de desenvolvimento conceitual, na qual as necessidades do mercado são identificadas e os participantes discutem, desenvolvem e avaliam em paralelo as diversas soluções. Com o progresso do projeto, o conjunto de soluções possíveis é gradualmente restringido, com base em informações adicionais do desenvolvimento, dos testes, do cliente e de outros grupos de participantes. Com a convergência do projeto, os participantes se comprometem a ficar dentro do envelope do conjunto de soluções, mantendo, assim, a confiança na sua comunicação (KENNEDY, 2008).

A SBCE baseia-se no fato de que o raciocínio e a comunicação sobre um grupo de ideias levam a sistemas mais robustos e otimizados, sendo assim mais eficiente que a abordagem de trabalhar com uma ideia por vez. Porém, somente identificar as alternativas não é suficiente. Os participantes realizam análises de *trade-offs* que podem ser traduzidas como soluções de compromisso através de projetos, protótipos, e simulam sistemas alternativos para, objetivamente, decidir entre as alternativas possíveis (KENNEDY, 2008).

Uma alta gama de possibilidades no começo do projeto e a eliminação das soluções mais fracas levam à seleção da melhor ou das melhores soluções.

Como resultado, investe-se mais tempo no início, durante a definição das soluções – porém, o processo de seleção da melhor solução é mais rápido que aquele definido pela abordagem de tratamento de uma única alternativa por vez (KENNEDY, 2003).

A SBCE é uma das características-chave para se colocar a abordagem do Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto (LPDS) em funcionamento. A metodologia SBCE e suas aplicações à indústria aeroespacial constituem-se no tema principal da presente dissertação, apoiando-se no estudo do desenvolvimento de produto, na Filosofia Enxuta e na aplicação de tal filosofia no desenvolvimento de produto.

1.1 Motivação

A Filosofia Enxuta surgiu no Japão, criada pela empresa Toyota, para sobrevivência da empresa nas condições desfavoráveis do pós-guerra, e somente se tornou aparente para as empresas ocidentais, que lideravam o mercado, por volta de 1980, quando as empresas japonesas chegaram aos mercados europeu e americano, principalmente nos setores eletrônico e automotivo (WOMACK et al., 1990).

Muitos projetos de conversão de empresas em empresas enxutas têm se restringido exclusivamente ao setor de fabricação. Trata-se de um primeiro passo lógico, mas constitui-se, apenas, em um ponto de partida, visto que permite a eliminação de desperdícios somente até um limite. A transformação completa de uma empresa em uma empresa enxuta impõe um segundo passo: a extensão da Filosofia Enxuta ao desenvolvimento de produtos; que tem um impacto maior sobre a empresa do que somente a produção enxuta (MORGAN e LIKER, 2008).

Já na aplicação da Filosofia Enxuta ao desenvolvimento de produto, muitos esforços têm focado, principalmente, na redução sistemática de desperdícios e na aplicação de técnicas da Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*) ao

processo de desenvolvimento de produto, ou seja, têm procurado a eliminação de atividades redundantes ou desnecessárias, podendo assim, ampliar a eficácia e a eficiência do processo de desenvolvimento de produto. Porém, mais que eliminar os desperdícios do processo, é a criação rápida de um conhecimento reutilizável que ajudará na formação de um fluxo de valor operacional lucrativo (WARD, 2009).

Nas últimas décadas, o processo de desenvolvimento de produto melhorou drasticamente em qualidade e compatibilidade com a produção. Mas ainda há muitos pontos deficientes, tais como (KENNEDY, 2003):

- a transferência do conhecimento técnico entre diferentes projetos é geralmente baixa;
- a alta variação de desempenho entre o melhor e o pior programa;
- os projetos são raramente completados dentro do cronograma original;
- o nível de experiência de projeto da engenharia é diminuído à medida que engenheiros se transferem para a área administrativa; os engenheiros experienciam poucos ciclos de projeto completos.

Já na filosofia adotada pela Toyota (KENNEDY, 2003):

- os engenheiros e gerentes exibem, normalmente, grande produtividade em seu trabalho (cerca de quatro vezes o valor típico das indústrias americanas);
- os produtos oferecidos apresentam qualidade reconhecidamente superior em quesitos como: opinião do cliente, número de problemas de fabricação e nível de recalls de produtos;
- há grande pontualidade de prazos;
- os programas são normalmente consistentes e lucrativos;
- os engenheiros são experientes, com muitos ciclos de projeto completados;

Para que uma empresa típica viesse a alcançar o nível de desempenho da Toyota, ela precisaria (KENNEDY, 2003):

- aumentar a produtividade do desenvolvimento em quatro vezes;
- diminuir o tempo de ciclo do desenvolvimento de duas a três vezes;
- diminuir o custo do desenvolvimento de duas a três vezes;
- aumentar a inovação entre duas e dez vezes;
- diminuir o risco de desenvolvimento de duas a cinco vezes.

Em um desenvolvimento, quanto antes os erros forem detectados e tratados, menor será o custo do projeto. Assim, o planejamento, o controle de configuração e a execução correta do processo de verificação são fundamentais para o sucesso de projetos (INCOSE, 2011). A Figura 1-2 mostra

o custo acumulado do ciclo de vida de um projeto em função do tempo para uma amostra de projetos do Departamento de Defesa americano. A fase conceitual de um novo sistema representa por volta de 8% do total do custo do ciclo de vida. A curva dos custos já acordados, definida como o percentual do custo do ciclo de vida já comprometido pelas decisões de projeto até um dado momento, mostra que, na média, quando se tem 20% do custo atual acumulado, 80% do total do custo do ciclo de vida já foram determinados. A seta diagonal abaixo da curva indica que erros são mais baratos de ser tratados no início do ciclo de vida.

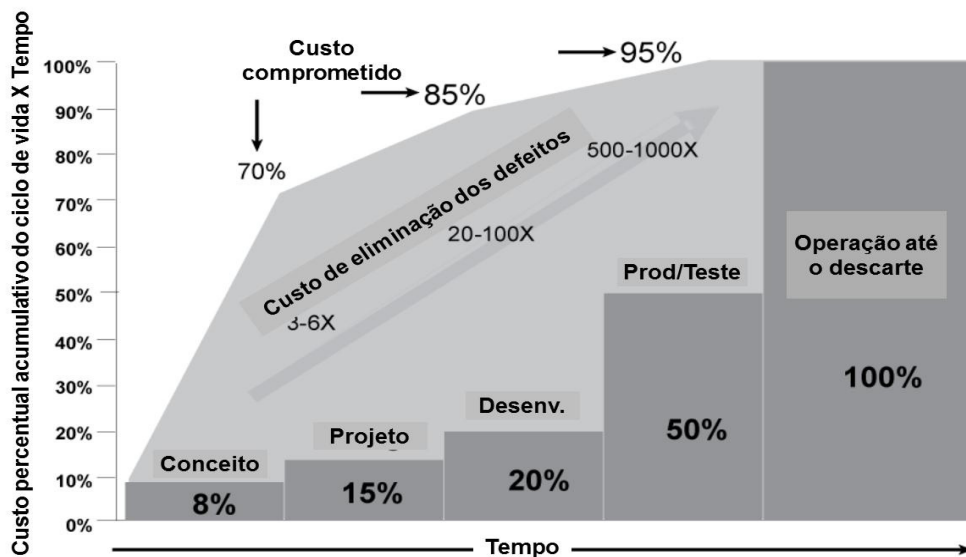


Figura 1-2: Custo cumulativo percentual do ciclo de vida em função do tempo.

Fonte: INCOSE (2011)

Baseado nas informações acima, consideramos que o LPDS se mostra interessante de ser pesquisado, com vistas a sua aplicação a sistemas de desenvolvimento de produto na área aeroespacial.

1.2 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é estudar a aplicação da Filosofia Enxuta no processo de desenvolvimento de produtos, para ter uma visão integrada das principais referências bibliográficas a respeito do Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto (LPDS) e, mais detalhadamente, estabelecer um modelo de caracterização da Engenharia Simultânea Baseada em Conjunto de Alternativas - SBCE.

De posse desses modelos, outro objetivo desse trabalho é apresentar sugestões de melhoria para projetos realizados no setor aeroespacial brasileiro no que tange aos princípios da SBCE.

1.2.1 Resultados esperados

Ao final desta dissertação, um modelo do Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto (LPDS) haverá sido integrado com base nos dados apresentados pelos principais autores da área. Além disso, será construído outro modelo para a caracterização da SBCE e serão apresentadas sugestões de melhoria, com base em pesquisa de campo realizada em projetos conduzidos por instituições do ramo aeroespacial, aqui designadas por “A” e “B”.

1.2.2 Benefícios institucionais

Os conceitos da Filosofia Enxuta estão, cada vez mais, sendo aplicados aos novos desenvolvimentos do produto. A aplicação correta da SBCE acarreta melhorias significativas do processo e do projeto, com redução de custos de desenvolvimento e aumento da qualidade intrínseca do produto. Assim, a aplicação desses modelos pode melhorar o desempenho dos processos de desenvolvimento de produtos, entregando aos clientes os seus valores.

2 METODOLOGIA

Para embasar esse trabalho, foi efetuado um estudo bibliográfico em dois macros tópicos: desenvolvimento de produtos e Filosofia Enxuta. Posteriormente, aprofundou-se o estudo da Filosofia Enxuta aplicada ao desenvolvimento de produto, dando um enfoque maior à Engenharia Simultânea Baseada em Conjunto de Alternativas (SBCE).

O modelo do LPDS foi elaborado com base nos trabalhos de Ward (2009), Kennedy (2003) e Morgan e Liker (2008). Já o modelo da SBCE foi integrado com base no modelo do LPDS comentado anteriormente e nos princípios da SBCE apresentados em Sobek II et al. (1999).

As sugestões de melhoria foram elaboradas com base em uma pesquisa realizada através de um questionário de 24 perguntas relacionadas aos elementos do modelo de caracterização da SBCE. Ela foi aplicada em duas instituições, aqui chamadas de “A” e “B”. Essas instituições são consideradas de grande porte, com mais de mil funcionários, e são especializadas em desenvolvimento de produtos de alta complexidade. O objetivo da pesquisa é entender quão próximas essas instituições estão em relação ao LPDS e principalmente à SBCE, considerando seus últimos desenvolvimentos de produto. Espera-se ter um resultado qualitativo (sugestões de melhoria), já que será descritivo e não poderá ser traduzido em números.

2.1 Estrutura da dissertação

A Figura 2-1 apresenta a estrutura da dissertação.

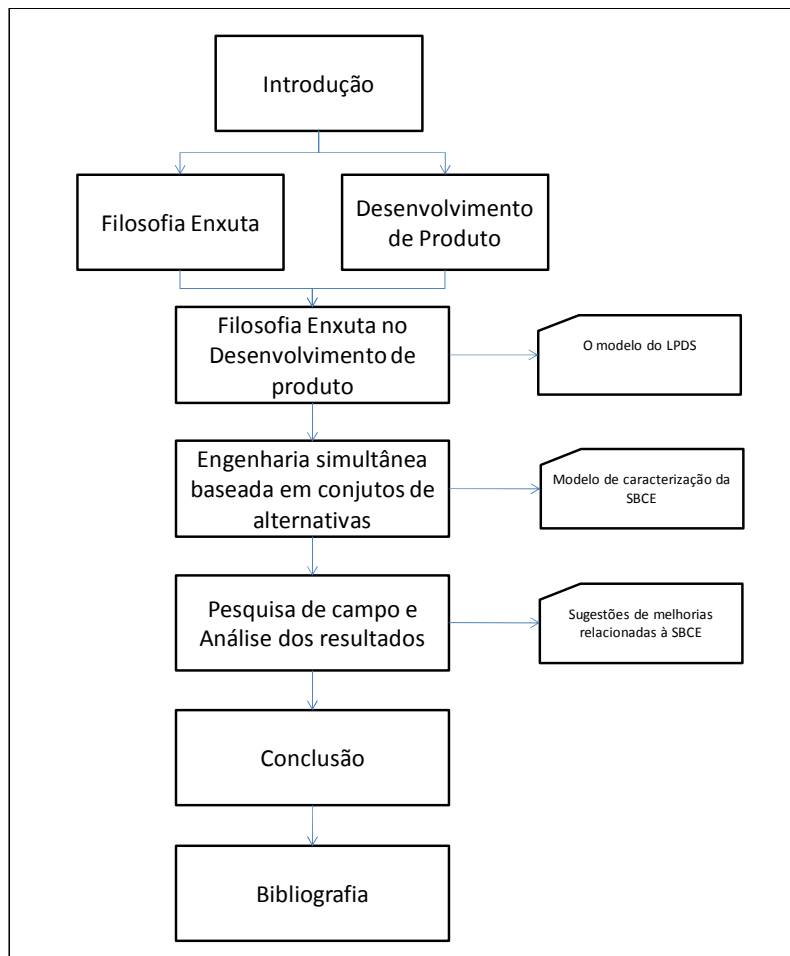


Figura 2-1: A estrutura da dissertação.

No Capítulo 4, dá-se uma visão geral do desenvolvimento de produto, as seis fases de um processo genérico, a estrutura organizacional e os tipos de desenvolvimento de projetos. Por fim, descreve-se com mais detalhes como é o projeto na área aeroespacial.

No Capítulo 5, é apresentada a Filosofia Enxuta, descrevendo-se seu histórico desde o TQM e diferenças com a metodologia Seis Sigma. Também são apresentados conceitos importantes como os desperdícios e os princípios enxutos.

No Capítulo 6, entra-se no contexto da aplicação da Filosofia Enxuta no desenvolvimento de produto. São apresentados os desperdícios relacionados ao conhecimento e o primeiro resultado desse trabalho: o modelo do LPDS baseado em três referências importantes da área.

No Capítulo 7, estuda-se a Engenharia Simultânea Baseada em Conjunto de Alternativas (SBCE), apresentam-se os seus princípios e um exemplo de ábaco, finalizando com o segundo resultado desse trabalho: o modelo de caracterização da SBCE.

No Capítulo 8, apresentam-se os resultados da pesquisa de campo realizada nas duas instituições do ramo aeroespacial pesquisadas. As sugestões de melhoria no que tange aos princípios da SBCE são apresentadas, alcançando o último objetivo desse trabalho.

Por fim, o Capítulo 9 apresenta a conclusão do trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ulrich e Eppinger (2012) mesclam as perspectivas de marketing, projeto e produção em uma única abordagem para o desenvolvimento de produto.

Clark e Fujimoto (1991) discorrem sobre o desenvolvimento de novos produtos dentro da indústria automotiva.

Wheelwright e Clark (1992) buscam entender como empresas conseguem trazer novos produtos de maneira eficiente para o mercado.

INCOSE (2012) apresenta uma visão geral sobre desenvolvimento de produto aplicado a sistemas complexos e mostra uma metodologia detalhada para tratamento da fase conceitual com processos que seguem a ideia da SBCE.

Em Womack et al. (1990) tem-se a apresentação dos conceitos de Manufatura Enxuta e a introdução do conceito da Filosofia Enxuta.

Ward (2009) provê uma visão do LPDS de uma maneira geral. Fornece uma explicação da definição da SBCE e dos outros pilares que fecham o sistema, além de apresentar os desperdícios ligados ao desenvolvimento de produto.

Kennedy (2003 e 2008) mostra como o modelo de desenvolvimento de produto da Toyota pode ser implementado e qual é a melhor maneira de adaptá-lo a realidade de outras empresas.

Morgan e Liker (2008) apresentam um conjunto de princípios do LPDS dividido em três grandes subsistemas de processo, pessoal e ferramentas.

Oppenheim et al. (2009) apresentam a aplicação da Filosofia Enxuta, práticas e ferramentas a Engenharia de Sistemas e relacionam os aspectos do gerenciamento empresarial para melhorar a entrega do valor (que é definida pela entrega completa do produto ou missão com a satisfação de todas as partes interessadas) enquanto reduz-se o desperdício.

Uzair (2001) apresenta uma comparação das similaridades, diferenças e inter-relação entre sete programas de melhoria (*Total Quality Management*, Seis Sigma, Reengenharia, *Quick Response Manufacturing*, *Agility*, *Variance Reduction* e a Filosofia Enxuta) e também sugere um modelo de passo a passo para adotar uma nova iniciativa de melhoria.

Ward et al. (1995) é o primeiro artigo sobre SBCE. Mostra porque a Toyota atrasa as suas decisões e consegue fazer carros melhores mais rápido.

Sobek II et al. (1999) apresentam a SBCE e seus princípios e faz em comparação com o sistema convencional *Point-based*.

Em Murman et al. (2002) já é apresentado o conceito da Filosofia Enxuta aplicada ao desenvolvimento de produto.

Oppenheim et al. (2009) apresentam a aplicação dos princípios da Filosofia Enxuta, princípios, práticas e ferramentas na engenharia de sistemas e nos aspectos do gerenciamento empresarial de modo a melhorar a entrega do valor enquanto se reduz o desperdício.

Normas ECSS apresentam a estrutura organizacional no setor espacial, com suas divisões no gerenciamento de projetos, garantia da qualidade e engenharia de sistemas, além de mostrar as divisões das fases do projeto espacial e seus *milestones* mais importantes.

4 O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

4.1 Introdução

O sucesso econômico de muitas empresas depende de suas habilidades para identificar as necessidades dos clientes e rapidamente criar produtos que suportem essas necessidades e possam ser produzidos com baixo custo. Alcançar esse objetivo não é somente um problema de marketing, projeto ou produção; é um problema do desenvolvimento de produto que envolve todas essas funções. Desenvolver com sucesso novos produtos, em menos tempo e usando menos recursos, é a chave para o sucesso financeiro das companhias (WHEELWRIGHT, 1992).

Em um meio competitivo global, intenso e dinâmico, o desenvolvimento de novos produtos e processos tem se tornado cada vez mais um ponto de atenção nesse meio competitivo. Instituições que chegam ao mercado mais rapidamente e mais eficientemente, com produtos que estão de acordo com as expectativas e necessidades dos clientes, possuem uma competitividade maior (WHEELWRIGHT, 1992).

O desenvolvimento de produto é uma atividade que se caracteriza por ter múltiplas funções; envolve complexidade técnica, uma variedade de pessoas interessadas; e por fim, é uma atividade humana complexa (WHEELWRIGHT, 1992).

Um produto é algo que uma empresa vende para seus clientes. O desenvolvimento de produtos é o conjunto de atividades que começa com a percepção da oportunidade de mercado e termina com a produção e entrega do produto (ULRICH, 2012).

Ser rápido e eficiente é essencial, mas não suficiente. Os produtos e processos que as instituições introduzem no mercado devem também atender as

demandas de mercado para valor, confiabilidade e desempenho distinto, ou seja, devem surpreender o cliente (ULRICH, 2012).

4.2 O processo de desenvolvimento de produto

O desenvolvimento de produto é uma atividade interdisciplinar que requer as contribuições de quase todas as funções de dentro de uma empresa; porém, três funções são as mais importantes para um projeto de desenvolvimento de produto (ULRICH, 2012):

- **Marketing:** A função de marketing intermedia as interações entre a empresa e seus clientes. Marketing facilita a identificação das oportunidades de produto, a definição dos segmentos de mercado e a identificação das necessidades dos clientes. Ela tipicamente configura os preços alvo e prevê o lançamento e a promoção de um produto.
- **Projeto:** A função de projeto tem o destino de definir a forma funcional do produto que melhor atenda as necessidades do cliente. Nesse contexto, a função de projeto inclui a engenharia de projeto (mecânica, elétrica, *software*, etc) e projeto industrial (estética, ergonomia, interface com o usuário).
- **Produção:** A função produção é responsável pelo projeto, operação, e/ou coordenação do sistema de produção para a produção do produto. Em um sentido mais amplo, a função da produção frequentemente inclui compras, distribuição e instalação. Essa coleção de atividades é muitas vezes chamada de *supply chain*.

Outras funções, incluindo finanças e vendas, são frequentemente envolvidas em tempo parcial no desenvolvimento de um novo produto. A Figura 4-1 apresenta um mapa geral das funções no desenvolvimento de produto (ULRICH, 2012).

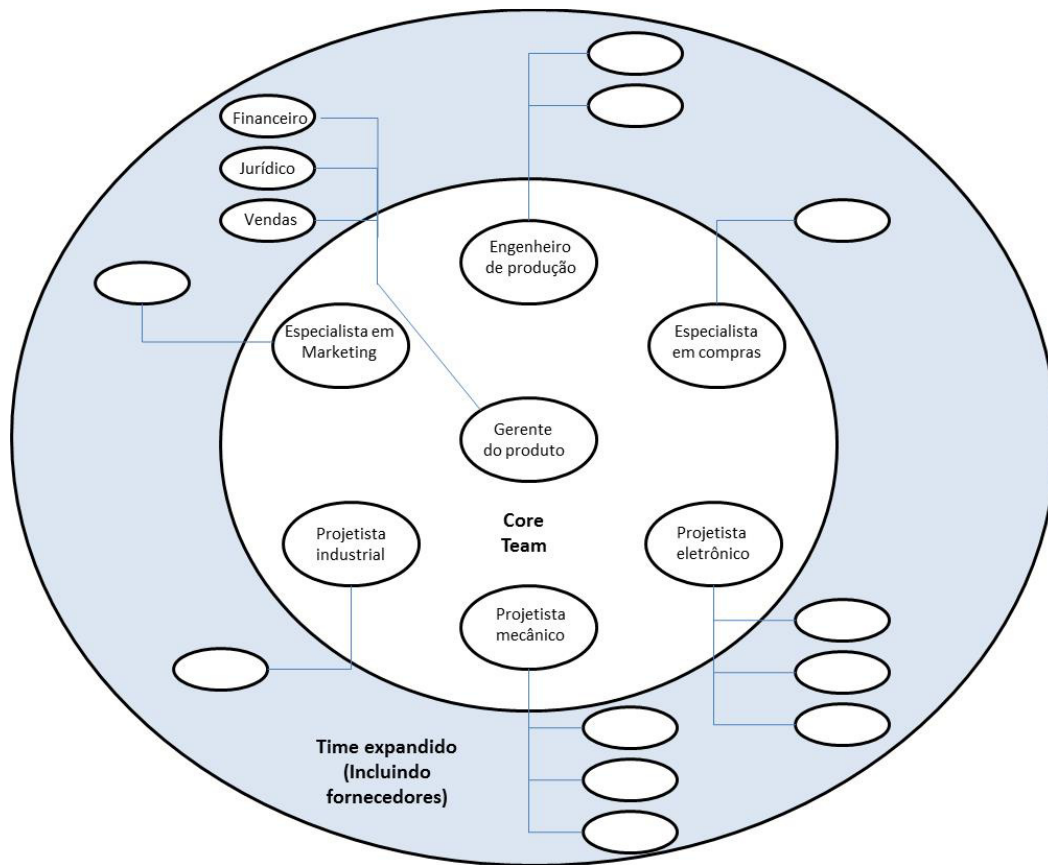


Figura 4-1: Mapa das funções no desenvolvimento de produto.
 Fonte: Ulrich (2012)

Um processo de desenvolvimento de produto é a sequência de passos ou atividades que uma empresa emprega para conceber, projetar e comercializar um produto. Um processo de desenvolvimento bem definido é útil para (ULRICH, 2012):

- **Garantia da qualidade:** Um processo de desenvolvimento especifica as fases pelas quais um projeto passará e seus pontos de verificação ao longo do caminho. Seguir o processo de desenvolvimento pré-definido é um modo de garantir a qualidade dos resultados do produto.

- **Coordenação:** Um processo de desenvolvimento bem articulado age como um planejamento geral que define as funções de cada um dos atores do time de desenvolvimento. Esse plano informa aos membros dos times quando suas contribuições serão necessárias e com quem eles terão que trocar informações e materiais.
- **Planejamento:** Um processo de desenvolvimento inclui pontos de verificação que correspondem ao final de cada fase. A escolha do momento desses pontos ancora o cronograma do desenvolvimento do projeto como um todo.
- **Gerenciamento:** Um processo de desenvolvimento é o *benchmark* para conseguir o desempenho desejado em um projeto em desenvolvimento. Por comparação dos eventos reais com o processo estabelecido, o gestor do projeto pode identificar as áreas com possíveis problemas.
- **Melhoria:** A documentação e a revisão do processo de desenvolvimento da organização e seus resultados podem ajudar a identificar oportunidades de melhoria.

Um processo genérico de desenvolvimento de produto consiste em seis fases, como apresentado na Tabela 4-1. Esta tabela também identifica atividades chave e responsabilidades de diferentes funções da organização durante cada fase. Ela dá ênfase às três maiores áreas do desenvolvimento, marketing, projeto e produção. Outras funções, como vendas e finanças, também são apresentadas de maneira pontual (ULRICH, 2012).

Tabela 4-1: As seis fases de um processo genérico de desenvolvimento de produto.

	Planejamento	Desenvolvimento Conceitual	Projeto em nível de sistema	Projeto detalhado	Testes e refinamento	Ramp-up de produção
Marketing	<ul style="list-style-type: none"> - Articular oportunidades de marketing. - Definir segmentos de mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coletar as necessidades dos clientes. - Identificar usuários líderes. - Identificar produtos competitivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver plano para as opções de produto e extensão da família. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver o planejamento de <i>marketing</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver promoção e lançamento de materiais. - Realizar testes de campo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar a produção inicial com clientes chave.
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar a plataforma do produto. - Avaliar novas tecnologias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Investigar a viabilidade dos conceitos de produtos. - Desenvolver conceitos de projeto industrial. - Construir e testar em protótipos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver a arquitetura do produto. - Definir os principais sub-sistemas e suas interfaces. - Refinar o projeto industrial. - Começar a engenharia preliminar de componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definir a geometria das partes. - Escolher materiais. - Atribuir tolerâncias. - Completar a documentação de controle de projeto industrial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Testar o desempenho, segurança e a durabilidade. - Obter aprovação dos órgãos reguladores. - Avaliar os impactos ambientais. - Implementar mudanças de projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliar a produção inicial.
Produção	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar restrições de produção. - Estabelecer a estratégia da cadeia de logística. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estimar os custos de produção. - Avaliar a viabilidade de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar os fornecedores para os componentes chave. - Realizar análises de <i>make or buy</i>. - Definir o <i>layout</i> da montagem final. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definir o processo de produção das partes. - Projetar o ferramental. - Definir os processos de garantia da qualidade. - Começar aquisição de ferramental de longo <i>lead time</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar o ramp-up dos fornecedores. - Refinar a fabricação e o processo de montagem. - Treinar a mão-de-obra. - Refinar o processo de garantia da qualidade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Começar a operação completa do sistema de produção.
Outras funções	<p>Pesquisa: Demonstrar as tecnologias disponíveis.</p> <p>Finanças: Prover objetivos de planejamento.</p> <p>Gerenciamento: Alocar os recursos de projeto.</p>	<p>Finanças: Realizar análise econômica.</p> <p>Jurídico: Investigar as questões com patentes.</p>	<p>Finanças: Realizar análises de <i>make or buy</i>.</p> <p>Serviço: Identificar as questões de serviço.</p>		<p>Vendas: Desenvolver o plano de vendas.</p>	<p>Gerenciamento: Conduzir a revisão de pós-projeto.</p>

Fonte: Ulrich (2012)

As seis fases do processo de desenvolvimento genérico são:

Planejamento: Frequentemente conhecida como “fase zero” porque precede a aprovação do projeto e o lançamento do real processo de desenvolvimento de produto. Essa fase começa com a identificação de oportunidades guiadas pela estratégia corporativa. A saída dessa fase é a declaração de missão do projeto, que especifica o mercado alvo do produto, objetivos de negócio, premissas chave e restrições.

Desenvolvimento Conceitual: Nessa fase as necessidades do mercado alvo são identificadas, conceitos alternativos de produtos são gerados e avaliados e um ou mais conceitos são selecionados para futuro desenvolvimento e testes. Um conceito é a descrição da forma, função e características de um produto, sendo normalmente acompanhado de um conjunto de especificações, uma análise dos produtos concorrentes e uma justificativa econômica do projeto.

Projeto em nível de sistemas: Essa fase inclui a definição da arquitetura do produto, decomposição do produto em subsistemas e componentes, além do projeto preliminar dos componentes chave. Os planos iniciais do sistema de produção e montagem final são normalmente definidos nessa fase também. A saída dessa fase normalmente inclui o *layout* geométrico do produto, uma especificação funcional de cada um dos subsistemas e um fluxograma preliminar do processo da montagem final.

Projeto detalhado: Essa fase inclui a especificação completa da geometria, materiais e tolerâncias de todas as partes do produto e a identificação de todas as partes padrão a serem compradas dos fornecedores. Um plano do processo é estabelecido e o ferramental é projetado para cada parte a ser fabricada dentro do sistema de produção. A saída dessa fase é a documentação de controle para o produto, desenhos, seleção de materiais, custo de produção, especificações das partes compradas e os planos de processo para a fabricação e montagem do produto.

Testes e refinamento: Essa fase envolve a construção e a verificação de múltiplas versões de pré-produção do produto. Os protótipos iniciais são normalmente feitos com partes com a mesma geometria e propriedades de material da versão de produção, mas não são necessariamente fabricadas com os processos reais que serão usados na produção. Esses protótipos são testados para determinar se o produto funcionará conforme projetado e se satisfaz as necessidades chave do cliente. Mais tarde, outros protótipos são

montados com as partes fornecidas pelo processo de produção pretendido. Esses últimos são normalmente testados pelos clientes, tendo como objetivo responder as questões sobre desempenho e segurança, a fim de identificar mudanças de engenharia necessárias no produto final.

Ramp-up de produção: Nessa fase o produto é feito usando o sistema de produção pretendido. O objetivo do *ramp-up* é treinar os funcionários e trabalhar em qualquer problema remanescente no processo de produção. Produtos produzidos durante o *ramp-up* são, às vezes, fornecidos para clientes preferenciais e são cuidadosamente verificados para identificar qualquer falha remanescente. A transição do *ramp-up* de produção para o ritmo de produção normal geralmente é gradual.

O processo de desenvolvimento descrito acima dá uma visão geral do que é um desenvolvimento de produto. Mais a frente, nesse trabalho, será detalhado o desenvolvimento para sistemas complexos do ramo aeroespacial. Os sistemas complexos, como por exemplo satélites e aviões, são sistemas que possuem interações de subsistemas e componentes. Quando se desenvolvem sistemas complexos, modificações do processo de desenvolvimento genérico endereçam um grande número de questões de nível de sistema. A fase conceitual considera a arquitetura do sistema inteiro, sendo que múltiplas arquiteturas podem ser consideradas como conceitos competidores para todo o sistema. A fase de projeto em nível de sistemas torna-se crítica. Durante essa fase, o sistema é decomposto em subsistemas e esses, futuramente, em muitos componentes. Os times são designados para desenvolver cada componente e um time especial tem o desafio de integrar os componentes em subsistemas e esses no sistema completo (ULRICH, 2012).

A fase de detalhamento dos componentes é um processo altamente em paralelo, no qual muitos times de desenvolvimento em geral trabalham separadamente. O gerenciamento da rede de interações através dos

componentes e dos subsistemas é tarefa da engenharia de sistemas. A fase de testes e refinamentos inclui não somente a integração dos componentes e sistemas, mas também testes extensivos e validações de todos os níveis (ULRICH, 2012). O diagrama do fluxo do processo para produtos complexos, Figura 4-2, apresenta a decomposição em estágios paralelos de trabalho em muitos subsistemas e componentes.

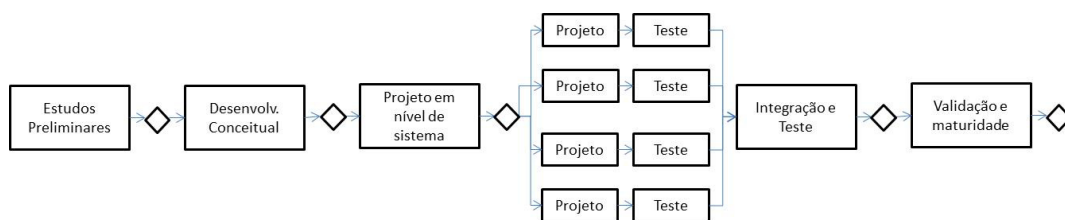


Figura 4-2: Processo de desenvolvimento de sistema complexo.
Fonte: Ulrich (2012)

4.3 A estrutura organizacional

A estrutura organizacional influencia a maneira como os projetos são executados. Elas variam de funcionais a projetizadas, com diversas estruturas matriciais entre elas (PMBOK, 2013).

A organização funcional clássica, é uma hierarquia em que os funcionários são agrupados por especialidade. Nenhum indivíduo tem responsabilidade geral por todo o produto. Os gerentes funcionais seniores são responsáveis por alocar os recursos e o desempenho de suas funções (CLARK, 1991).

Em organizações projetizadas, as conexões principais são entre aqueles que trabalham em um mesmo projeto. Na organização do time, um *heavyweight product manager* trabalha com um time de pessoas que devotam todo o tempo

para o projeto. Eles deixam suas organizações funcionais e se reportam diretamente ao gerente de produto (CLARK, 1991).

A organização matricial foi concebida como um híbrido da organização funcional e projetizada. Nessa organização, os funcionários tem dois supervisores: um gerente de projeto e um gerente funcional. A realidade prática é que a área de projeto ou a funcional tende a ser mais forte. Isso acontece, entre outras razões, porque ambos os gerentes funcional e de projeto não podem compartilhar o mesmo pessoal, não podem independentemente avaliar ou determinar os salários dos seus subordinados e não podem ser facilmente agrupados fisicamente. Como resultado, uma delas tem a tendência de dominar. Duas variantes da organização matricial são denominadas matricial fraca e matricial forte (ULRICH, 2012).

A matricial forte contém fortes ligações na linha dos projetos. Os *heavyweight product managers* (engenheiros-chefe) são normalmente engenheiros seniores dentro da organização, frequentemente no mesmo ou em um nível hierárquico maior que os líderes das áreas funcionais. Eles são responsáveis não somente pela coordenação interna, mas também pelo desenvolvimento do planejamento e pelo conceito do produto (CLARK, 1991).

A organização matricial fraca tem a linha de projeto mais fraca em relação a organização funcional. Nesse cenário, a organização básica se mantém funcional e o nível de especialização é comparável com o modo funcional. A diferença está na adição de um gerente de produto. O gerente de produto coordena as atividades através de representantes de cada função. Eles não têm acesso direto às pessoas do nível de execução e, comparado aos gerentes funcionais, têm menos *status* e poder na organização. Eles têm pouca influência fora da engenharia do produto e não têm contato direto com o mercado nem responsabilidade na concepção. O objetivo principal é coordenar, por meio das ações de: coletar informação dos status de trabalho, ajudar os

grupos funcionais a resolver conflitos e facilitar a busca dos objetivos principais do projeto (CLARK, 1991).

A Tabela 4-2 mostra as principais características relacionadas a projetos dos principais tipos de estruturas organizacionais.

Tabela 4-2: As características dos tipos de estruturas organizacionais.

	Funcional	Matricial		Por projeto
		Fraca	Forte	
Pontos fortes	Promove o desenvolvimento das equipes funcionais.	Coordenação e administração de projetos são explicitamente atribuídas a um único gerente de projetos. Mantém o desenvolvimento das equipes funcionais.	Fornecer a integração e os benefícios da velocidade da organização por projeto. Algumas equipes funcionais são mantidas.	Os recursos podem ser alocados de maneira ótima dentro de um time de projetos. As análises técnicas e de mercado podem ser feitas rapidamente.
Pontos fracos	Coordenação entre diferentes grupos funcionais pode ser lento e burocrático	Requer mais gerentes e administradores que uma organização funcional.	Requer mais gerentes e administradores que uma organização funcional.	As pessoas podem ter dificuldades em manter capacidade técnica de alto nível.
Exemplos típicos	Produtos customizados, onde o desenvolvimento envolve pequenas variações com relação a um projeto padrão	Produtos derivativos em muitas indústrias automotivas, eletrônicas e aeroespaciais.	Nova tecnologia ou projetos de plataforma em indústrias automotivas, eletrônicas e aeroespaciais.	Empresas competindo em mercados altamente dinâmicos.
Pontos de importância	Como integrar as diferentes funções para atingir os objetivos do negócio	Como equilibrar funções e projetos. Como simultaneamente avaliar o desempenho funcional e do projeto.		Como manter o conhecimento funcional ao longo do tempo. Como compartilhar o conhecimento de um projeto para outro.

Fonte: Ulrich (2012)

4.4 O projeto na área aeroespacial

Os projetos realizados em empresas de grande porte e em instituições governamentais são regidos por padrões que buscam dar eficiência e qualidade para os produtos desenvolvidos por essas instituições. Como exemplo, no ramo espacial, tem-se o sistema de normas europeu, o ECSS (*European Cooperation for Space Standardization*). Esse sistema de normas é um esforço cooperativo da Agência Espacial Europeia (ESA), agências espaciais nacionais e associações da indústria europeia com o propósito de desenvolver e manter normas comuns nos projetos espaciais e suas aplicações. Nesse trabalho, ele será usado para ajudar a exemplificar a organização de um desenvolvimento de projeto, principalmente, na espacial, visto que INPE, NASA e ESA seguem uma estrutura de fases muito parecidas. No setor aeronáutico, os conceitos são válidos, mas cada empresa ou instituição mantém suas normas internas, onde é discriminado o processo de desenvolvimento de produto conforme a experiência obtida por cada uma delas.

Considerando o projeto na área espacial (desenvolvido pelas agências europeias), pode-se dizer que ele é dividido em três grandes partes: o gerenciamento do projeto propriamente dito; a garantia do produto; e a engenharia (Adaptada de ECSS-P-00A1). A Figura 4-3 mostra, como exemplo, a estrutura de alto nível da ECSS.

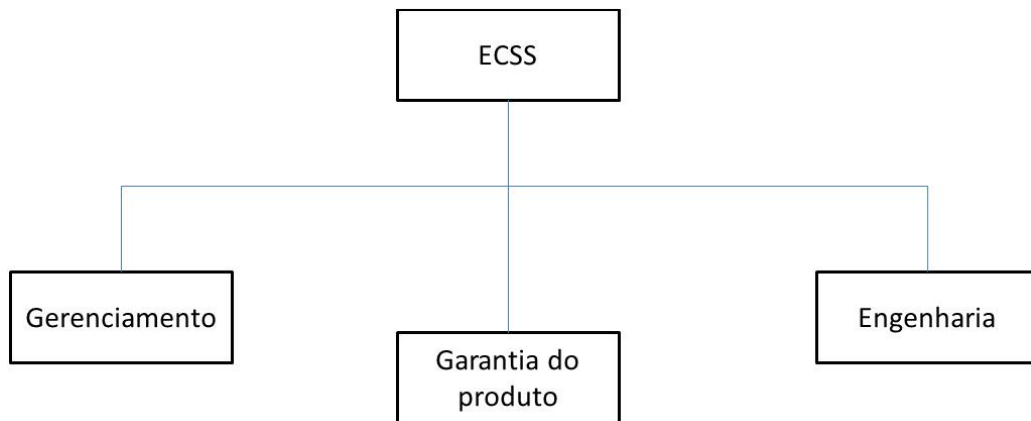


Figura 4-3: Estrutura da ECSS.
Fonte: adaptada de ECSS-P-00A (2000)

4.4.1 Garantia do produto

O objetivo é garantir que os produtos espaciais cumpram com seus objetivos definidos de um modo seguro, viável e confiável. O compromisso com a qualidade por toda a organização é a chave para a qualidade do produto e o sucesso da missão (ECSS-Q-ST-20C, 2008).

A Garantia do Produto (ou Garantia da Qualidade) cuida de assegurar que a manufatura e os testes de um satélite foram realizados em concordância com a documentação de engenharia. Também pode ser definida como o conjunto de atividades implementadas no sistema da qualidade para verificar a conformidade entre as características do produto e os requisitos estabelecidos pelo cliente (SOUZA, 2009).

Um aspecto chave do processo é a realização de inspeções ao longo da produção como forma de evitar que uma discrepância passe desavisada e só venha a ser detectada durante os testes finais (*Mandatory Inspection Point – MIP*) (SOUZA, 2009).

É essencial garantir que os fornecedores também tenham sistemas de qualidade implantados e que eles sejam submetidos a auditorias periódicas (SOUZA, 2009).

O acompanhamento *in-loco* dos testes também é atividade essencial, bem como atestar que os equipamentos de teste estão adequadamente preparados e calibrados. Os responsáveis devem manter registros dos testes realizados e de todas as falhas detectadas. Com isso é possível colaborar para o aperfeiçoamento dos projetos e melhorar a seleção das partes a serem adquiridas (SOUZA, 2009).

As áreas de atuação da Garantia do Produto são: gerenciamento do programa de qualidade, das instalações e das normas adotadas; supervisão da aquisição de partes e materiais; supervisão das atividades de manufatura, integração e testes (SOUZA, 2009).

4.4.2 Engenharia e gerenciamento de sistemas

A engenharia de sistemas organiza o desenvolvimento de produto na engenharia, integrando as engenharias e conectando com as outras áreas da instituição que estão fora da engenharia (INCOSE, 2011).

A engenharia de sistemas é uma abordagem disciplinada e sistemática para projeto, realização, gerenciamento técnico, operação e descarte do sistema. Um sistema é a construção ou coleção de diferentes elementos que juntos produzem resultados não obtidos pelos elementos separados. Os elementos, ou partes, podem incluir pessoas, *hardware*, *software*, instalações, normas e outros documentos; ou seja, todos os elementos necessários para produzir os resultados em nível de sistema (ECSS-E-ST-10C, 2009).

Os resultados incluem qualidades em nível de sistemas, propriedades, características, funções, comportamentos e desempenho. O valor adicionado pelo sistema como um todo, além daquele adicionado pelas partes

independentemente é primeiramente criado pelo relacionamento entre as partes. É um modo de olhar para o todo na tomada de decisões. É também um modo de alcançar os requisitos de desempenho, funcional e físico das pessoas interessadas (ECSS-E-ST-10C, 2009).

A engenharia de sistemas tem como finalidade garantir uma base técnica consistente e minimizar o risco técnico e o custo do desenvolvimento dos produtos. Ela procura um projeto seguro e balanceado, em face de interesses opostos e, algumas vezes, restrições conflitantes. (INCOSE, 2011). A Figura 4-4 apresenta os limites da engenharia de sistemas com as disciplinas de produção, operação, garantia do produto e gerenciamento.

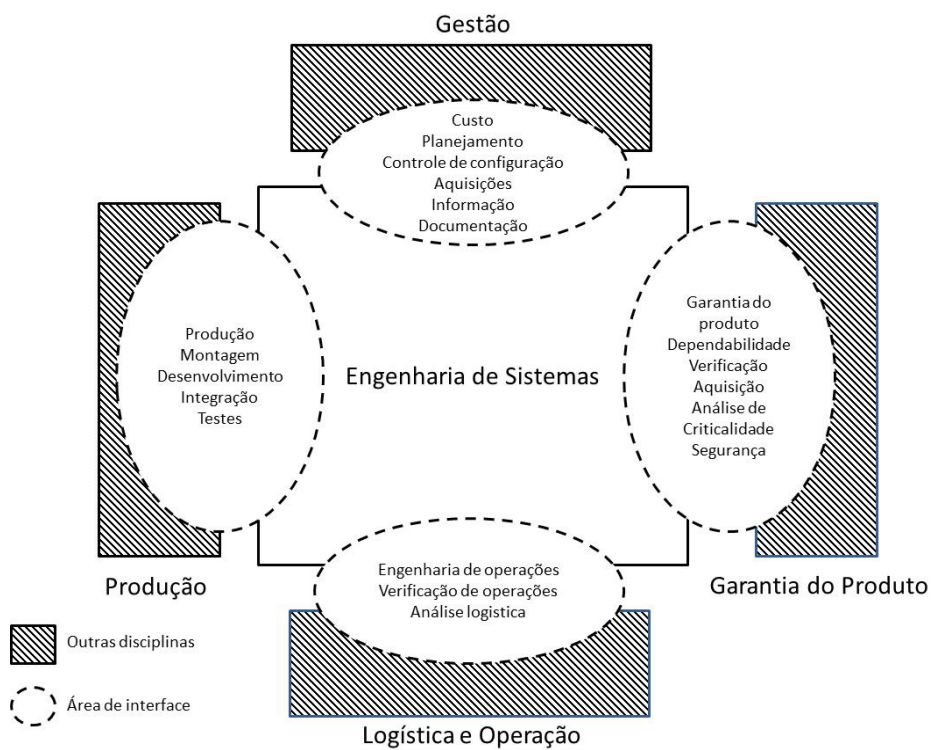
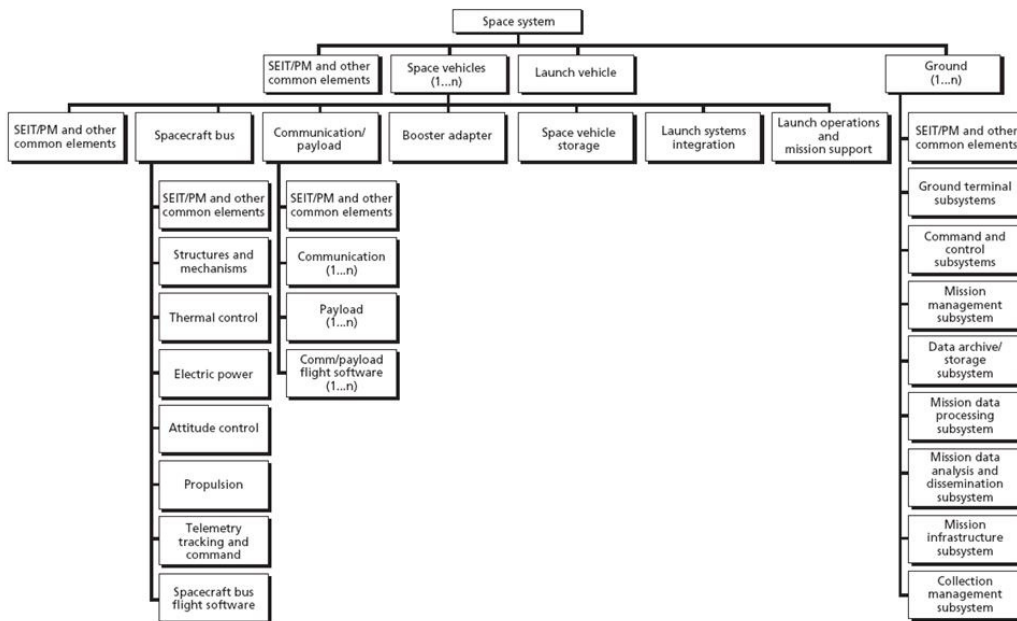


Figura 4-4: Os limites da engenharia de sistemas.
Fonte: ECSS-E-ST-10C (2009)

O estabelecimento de uma estrutura coerente para a implantação de projetos em uma corrente cliente-fornecedor é um fator chave para garantir uma abordagem eficiente e eficaz. Isso acontece porque permite uma divisão clara das partes do projeto, podendo até ser tratadas de forma independente (PMBOK, 2013).

Um exemplo desse tipo de estrutura é a Estrutura Analítica de Projetos (EAP), do Inglês, *Work Breakdown Structure* (WBS). Ela é uma ferramenta de decomposição do trabalho do projeto em partes manejáveis. É estruturada em árvore exaustiva, hierárquica (da mais geral para a mais específica) orientada às entregas (*deliverables*) que precisam ser feitas para completar um projeto. O objetivo de uma EAP é identificar elementos terminais (produtos, serviços e resultados a serem feitos em um projeto). Assim, a EAP serve como base para a maior parte do planejamento de projeto. A ferramenta primária para descrever o escopo do projeto (trabalho) é a estrutura analítica do projeto (EAP) (PMBOK, 2013). Abaixo, tem-se como exemplo a Figura 4-5.

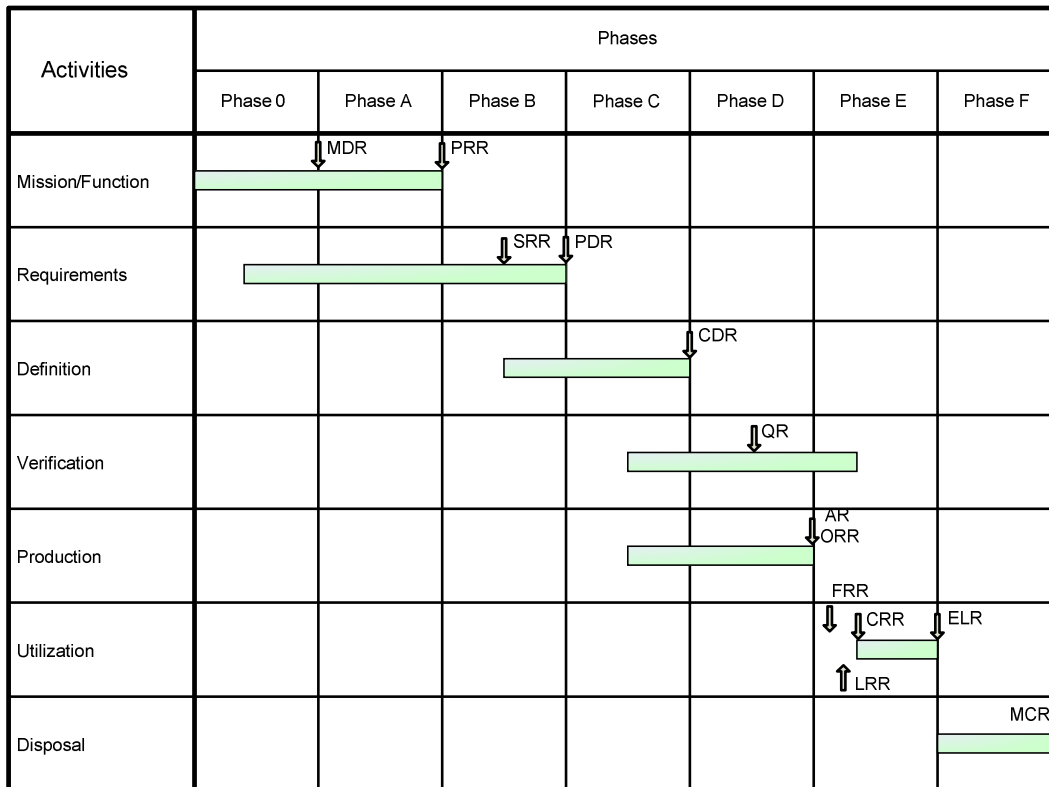


NOTE: SEIT/PM = systems engineering, integration, and test/program management.

Figura 4-5: EAP/ WBS.
 Fonte: Fox, B. et al (2008)

Ao longo do tempo, o ciclo de vida dos projetos da área espacial segue um *Phased Project Planning* (PPP), é o modelo mais difundido e tradicionalmente adotado pelo INPE, NASA e ESA.

A Figura 4-6 apresenta um ciclo de vida típico de projeto na área espacial.



MDR	<i>Mission Definition Review</i>	PRR	<i>Preliminary Requirements Review</i>
SRR	<i>System Requirements Review</i>	PDR	<i>Preliminary Design Review</i>
CDR	<i>Critical Design review</i>	QR	<i>Qualification Review</i>
AR	<i>Acceptance Review</i>	ORR	<i>Operational Readiness Review</i>
FRR	<i>Flight Readiness Review</i>	CRR	<i>Commissioning Result Review</i>
LRR	<i>Launch Readiness Review</i>	ELR	<i>End-of-life Review</i>
MCR	<i>Mission Close-out Review</i>		

Figura 4-6: Ciclo de vida típico de projeto na área espacial.
Fonte: ECSS-M-ST-10C (2009)

Tipicamente o ciclo de vida é dividido em sete fases (ECSS-E-ST-10C, 2009):

Fase 0 ou Pré-fase A - Análise da missão/ identificação das necessidades. Nessa fase, a engenharia apoia o cliente na identificação das suas necessidades e propõe os possíveis conceitos de sistema.

Fase A - Viabilidade. Nessa fase a engenharia finaliza a expressão das necessidades indicadas na fase 0 e propõe soluções para cumprir os requisitos do sistema. Toda análise de *trade-off* já deve estar terminada com a solução do sistema definida.

Fase B - Definição preliminar. Nessa fase a engenharia estabelece a definição preliminar de sistema para a solução selecionada no fim da fase A e demonstra que a solução respeita os requisitos técnicos conforme o cronograma, orçamento e organização dos requisitos.

As fases 0, A e B focam principalmente na elaboração do sistema funcional e em requisitos técnicos para cumprir com a declaração da missão, levando em consideração as restrições técnicas e programáticas identificadas pelo gerente do projeto e pelos clientes de alto nível. Também é feita a identificação de todas as atividades, já com suas estimativas iniciais do risco técnico e programático, além dos recursos a serem usados para desenvolver os segmentos de espaço e de solo do projeto. Por fim, é nesse momento que se iniciam as atividades do pré-desenvolvimento (ECSS-M-ST-10C, 2009).

O processo de engenharia de sistemas é intrinsecamente iterativo através de toda a vida do projeto, em particular nessas fases do desenvolvimento de produto (ECSS-E-ST-10C, 2009).

Fase C - Definição detalhada. Nessa fase a engenharia estabelece a definição detalhada do sistema e demonstra a capacidade do sistema de cumprir com os requisitos.

Fase D - Qualificação e produção. Nessa fase a engenharia finaliza o desenvolvimento do sistema através da qualificação e da aceitação e também finaliza a preparação para operação e utilização.

As fases C e D compreendem todas as atividades para o desenvolvimento e qualificação dos segmentos de solo e de espaço e seus produtos (ECSS-M-ST-10C, 2009).

Fase E - Utilização. Nessa fase a engenharia dá suporte à campanha de lançamento e à empresa responsável pela operação e utilização, seguindo os termos do acordo de negócio. Por fim, garante a execução de todas as atividades de engenharia de sistemas e provisiona documentação para suportar investigações de anomalias.

A fase E compreende todas as atividades para o lançamento, utilização e manutenção dos elementos orbitais dos elementos do segmento de espaço e utilização e manutenção do segmento de solo (ECSS-M-ST-10C, 2009).

Fase F - Descarte. Nessa fase a engenharia suporta a empresa responsável pelo descarte conforme os termos do acordo de negócio.

A fase F compreende todas as atividades que permitem um descarte seguro de todos os produtos lançados no espaço e do segmento de solo (ECSS-M-ST-10C, 2009).

Cada uma das fases citadas acima inclui pontos de verificação finais na forma de *phase gates*, sendo o resultado de cada *phase gate* que determina a prontidão para continuar na próxima fase. Cada *phase gate* é planejado em estágios naturais do projeto. E quando se tem determinadas tarefas em determinado evento, a próxima fase pode ser iniciada com segurança. Essa definição pode variar pouco, dependendo da natureza do projeto envolvido (ECSS-M-ST-40C, 2009).

O princípio básico aplicável aos *phase gates* de todos os projetos espaciais europeus se dá na verificação geral da condição técnica do projeto que é feita em pontos importantes do programa envolvendo opiniões independentes (ECSS-M-30-01A, 1999).

Os *phase gates* avaliam o trabalho realizado por todos os participantes em um projeto contra os requisitos colocados para o projeto, a aplicação dos requisitos e normas relevantes, e as boas práticas de engenharia (ECSS-M-30-01A, 1999).

Os principais *phase gates* colocados pela ECSS são (ECSS-M-30-01A, 1999):

- MDR (*Mission Definition Review*): Acontece após a identificação dos requisitos do usuário e os conceitos iniciais. Tem-se como saída a confirmação dos requisitos da missão.
- PRR (*Preliminary Requirements Review*): Acontece após a missão inicial e a conversão dos requisitos do usuário em requisitos gerais do sistema. Tem-se como saída a confirmação da viabilidade do sistema e sua especificação funcional em nível de sistema e subsistema.
- SRR (*System Requirements Review*): Acontece após o estabelecimento das especificações técnicas de sistema. Tem-se a avaliação do desempenho preliminar com base nos requisitos funcionais de sistema. É feita a alocação dos requisitos técnicos em cada subsistema e a identificação dos requisitos técnicos para as tecnologias críticas em nível de equipamento.
- PDR (*Preliminary Design Review*): É feito um evento de integração de projeto em nível de sistema e subsistema antes de começar o detalhamento do projeto. Tem o objetivo de garantir que o projeto proposto seja compatível com os requisitos do cliente. Em nível de subsistema e equipamento tem-se a configuração controlada, os métodos de teste e verificação definidos e a liberação técnica dos subsistemas.
- CDR (*Critical Design Review*): É feito um evento de integração de projeto de *hardware* e *software* nos níveis de sistema e subsistema. Ele

acontece antes do início da fabricação dos subsistemas e montagem. Têm-se os testes de desenvolvimento completados e o projeto detalhado do fornecedor estabelecido. Os documentos *Build-to*, *Buy-to* e os procedimentos de testes são finalizados em nível de subsistemas e equipamento.

Por fim, outro ponto importante a ser colocado dentro do contexto da engenharia e gerenciamento de sistemas é o controle de configuração do produto. O gerenciamento de configuração tem como objetivo estabelecer e manter um registro consciente das características funcionais e físicas do produto em comparação com os requisitos operacionais e de projeto. O gerenciamento da configuração é aplicado através de todo ciclo de vida do produto e permite que (ECSS-M-ST-40C, 2009):

- se conheça em qualquer momento a descrição técnica do produto;
- se registre e controle a evolução da descrição técnica do produto;
- forneça a rastreabilidade da evolução da descrição técnica do produto;
- garanta a consistência das interfaces técnicas do produto com sua documentação;
- se mostre para cada ator as possibilidades operacionais e limitações de cada item em caso de não-conformidade; saber quais itens são afetados (ECSS-M-ST-40C, 2009).

5 A FILOSOFIA ENXUTA

5.1 Do TQM para o Seis Sigma e Lean

O objetivo dessa Seção é apresentar dois dos programas de melhoria mais amplamente conhecidos (TQM – *Total Quality Management* e o Seis Sigma) e situá-los em relação à Filosofia Enxuta, de modo a entender um pouco a história dos programas de melhoria da capacidade produtiva das empresas.

5.1.1 TQM

Os conceitos dessa prática, desenvolvidos inicialmente por autores norte-americanos, como Deming, Juran e Feigenbaum, nas décadas de 1950 e 1960, encontraram no Japão o ambiente perfeito para o seu desenvolvimento durante os anos que se seguiram. No início da década de 1980, o mundo voltava sua atenção para o elevado grau de competitividade alcançado pelas principais indústrias japonesas, cujos produtos chegavam com excelente qualidade e preços relativamente baixos nos principais mercados consumidores do mundo ocidental, passando a constituir uma ameaça para as suas economias. Para as principais empresas norte-americanas e europeias, não restavam muitas alternativas, exceto a da identificação das razões para o sucesso competitivo japonês e sua “importação” para suas “bases”. A partir desse momento, verificou-se o início de um grande movimento mundial relacionado ao TQM, sendo este, durante muitos anos, o tema mais abordado em palestras, cursos e publicações de gestão empresarial (UZAIR, 2001).

Entretanto, na segunda metade da década de 1990, começaram a aparecer resultados demonstrando uma redução na eficácia do TQM em empresas dos mais diversos setores. Inicialmente, muitas empresas passaram a buscar na Reengenharia (outro programa de melhoria da capacidade produtiva) a solução para seus problemas com o TQM. Depois vieram outros modelos de gestão e o TQM parece ter sido esquecido pelos meios acadêmicos e empresariais, tornando-se ferramenta limitada a questões operacionais e até um pouco

ultrapassado. Embora hoje o TQM tenha sido deixado de lado, muitos dos elementos chave do TQM permanecem e são integrais à Filosofia Enxuta (UZAIR, 2001).

O TQM pode ser definido em quatro simples conceitos: evidência objetivabaseado em dados, dirigido pelos empregados, focado no cliente e melhoria contínua (UZAIR, 2001).

Esse programa de melhoria tem suas raízes na técnica do Controle Estatístico do Processo (CEP), proposta por Walter Shewhart, da Bell Laboratories. O mesmo conceito foi mais tarde defendido e implementado por W. Edwards Deming na indústria japonesa. Deming, um dos estudantes de Shewhart, consultor e estatístico por profissão, pode certamente ser chamado de pai do TQM. A ideia por trás do uso do CEP no gerenciamento da qualidade da produção era, ao invés de inspecionar as partes após a produção, fazer com que cada operador inspecionasse seu trabalho antes de passá-lo para o próximo estágio, sendo uma opção mais efetiva e barata para garantir a qualidade. Uma técnica científica para inspecionar esse trabalho era através da plotagem de cartas de controle. Detectado algum comportamento anormal, o operador deve tentar achar a causa raiz do desvio e tentar eliminá-la, trazendo assim a qualidade para o nível desejável (UZAIR, 2001).

Os princípios fundamentais do TQM são (UZAIR, 2001):

1. A qualidade é obrigação de todos no trabalho, e não somente na área funcional separada. Assim não há nenhum lugar para a área da qualidade fazer a inspeção após qualquer processo.
2. Todos os esforços da empresa devem buscar a satisfação dos clientes externos. Além do cliente externo, o próximo estágio de cada processo na empresa é considerado como um cliente interno. De modo geral, esses clientes estarão satisfeitos com baixo custo de produção, tempo

de entrega, variabilidade, e alta qualidade e flexibilidade, além de um melhor apoio ao cliente.

3. Cada estágio de qualquer processo da empresa deve estar comprometido na sua melhoria contínua. Essa melhoria deve estar baseada em métodos científicos e em dados e fatos.
4. Cada estágio deve poder decidir na implantação desse conceito de melhoria contínua. Todos os empregados devem ser tratados como recursos importantes, sendo continuamente treinados de modo a poder realizar a melhoria contínua do processo em que trabalham.
5. Trabalho em grupo ajuda na resolução de problemas através de uma quantidade maior de ideias. Em um ambiente de time, gerentes e executivos devem agir como líderes e professores, em vez de chefes e supervisores.

No TQM, tudo está voltado para melhoria contínua através da solução de problemas utilizando fatos e dados. Assim, propõe-se o uso de ferramentas como: fluxograma, gráfico de Pareto, diagrama de causa-efeito, histograma, carta de controle, folha de verificação e diagramas de dispersão. A abordagem sugerida para a solução de problemas é através do famoso PDCA ou ciclo de Shewhart/ Deming. De acordo com essa abordagem, primeiro há o planejamento, **Plan**, onde se estuda o processo, define-se e analisa-se o problema, determinam-se as causas raízes e a possível solução que trata as causas raízes. O segundo passo é a implementação, **Do**, no qual a solução encontrada no passo anterior é colocada em prática. O próximo passo é a verificação, **Check**, quando se procura verificar se os resultados esperados foram atingidos. Por fim, o processo melhorado torna-se o novo trabalho padrão e inicia-se a execução do novo processo **Act** (UZAIR, 2001). O ciclo está representado na Figura 5-1.



Figura 5-1: Ciclo PDCA

Deve-se notar que o TQM, por sua natureza, trás uma melhoria contínua e gradual. Seu indicador de desempenho principal é a satisfação do cliente e o seu escopo de aplicação é em toda empresa. Os defensores do TQM dizem que se perseguirmos a satisfação dos clientes internos e externos, em tudo que fazemos no negócio, a lucratividade e a participação de mercado da empresa serão conseguidos automaticamente (UZAIR, 2001).

5.1.2 Seis Sigma

No início dos anos 1990, o TQM apresentou novo desdobramento: uma iniciativa da qualidade chamada Seis Sigma. Trata-se de uma metodologia sistemática para identificar os principais fatores que definem o desempenho de um processo, levá-los aos melhores níveis e mantê-los por todo o tempo. Desenvolvido, originalmente, na empresa Motorola, no início dos anos 80, o Seis Sigma foca na redução sistemática da variabilidade do processo, advinda das mais diversas fontes, tais como: máquinas, métodos, materiais, medidas, pessoas e meio ambiente. Assim como o TQM, o Seis Sigma tem como objetivo alcançar um processo previsível, repetitivo e capaz, com produção mínima de defeitos, em que as partes e componentes são construídos com a

melhor aderência possível às especificações. Da mesma maneira que no TQM, o Seis Sigma busca alcançar o seu objetivo através da coleta de dados e análise estatística, assim como através do treinamento dos seus líderes (UZAIR, 2001).

Essa meta quantificável é definida em termos de número de defeitos presente em um dado produto ou processo. Melhora-se a qualidade porque a eliminação de defeitos resulta em uma melhoria da satisfação do cliente (UZAIR, 2001).

A estratégia de eliminação de defeitos proposta pelo Seis Sigma é a mesma colocada pelo TQM, ainda que a terminologia entre os dois modelos seja um pouco diferente. O Seis Sigma segrega esse processo em cinco passos: *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*. O passo *Define* consiste na definição do problema e na determinação de um caminho para a solução. O passo *Measure* envolve a coleta de dados e avaliação do estado atual. O passo *Analyze* compreende a determinação da causa raiz do problema e a definição da solução de eliminação das causas raízes. No passo *Improve* se implementa a solução. Por último, no passo *Control* se faz o monitoramento contínuo das ações corretivas para garantir que o defeito não reapareça (UZAIR, 2001).

A estratégia geral do Seis Sigma é similar a do TQM, ou seja, proativamente descobre-se a existência de problemas e suas causas raízes para então eliminá-las. Essa transformação pode ser incremental ou abrupta. Pode-se notar que o termo “defeito” no Seis Sigma tem um significado amplo: não é somente algo que falhe no encontro das expectativas ou requisitos do cliente, mas também qualquer coisa que bloqueie ou iniba a satisfação do cliente (UZAIR, 2001).

Baseado no conceito da distribuição normal de defeitos em estatística, o Seis Sigma diz que, matematicamente, tais defeitos não podem ser eliminados totalmente de um processo. O limite do “seis” sigma de eliminação de defeitos diz que a probabilidade da existência de defeitos é somente 3,4 defeitos por

milhão de oportunidades de encontrá-los. Esse é o objetivo máximo da estratégia de melhoria. A Figura 5-2 apresenta uma curva Normal e respectivo desvio padrão de seis sigma (UZAIR, 2001).

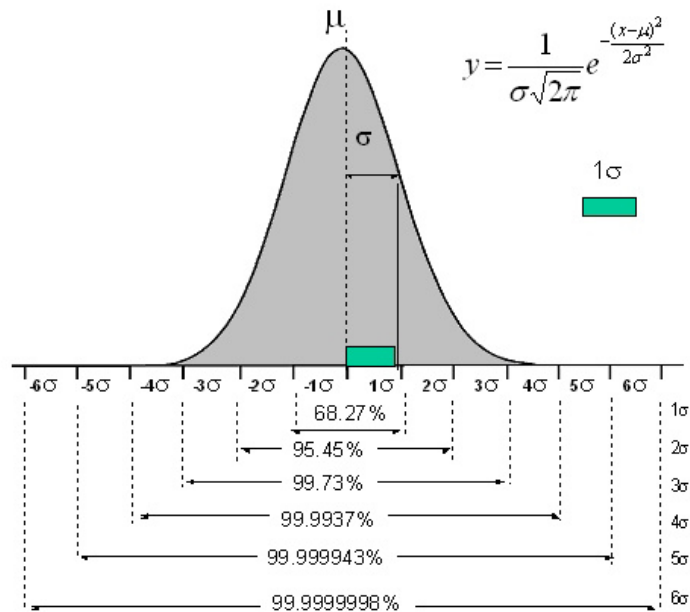


Figura 5-2: O Seis Sigma na curva Normal
Fonte: Uzair (2001)

O Seis Sigma possui desvantagens. É frequentemente implementado com uma burocracia custosa, apresenta uma característica *top-down* e distancia-se de duas importantes ferramentas de melhoria contínua do TQM: o *Kaizen* (melhoria contínua) e o sistema *bottom-up* de sugestão dos empregados, aos quais a empresa Toyota atribui metade do seu sucesso. O Seis Sigma pode, também, tender à subotimização, com o foco muito fechado na melhoria de um processo que, de fato, não apresenta a necessidade de ser melhorado. Descrevem essa deficiência como “um foco no trabalho sendo feito certo, mas não necessariamente no trabalho certo” (MURMAN et al., 2002).

5.1.3 Comparação com a Filosofia Enxuta

A Filosofia Enxuta, ou simplesmente *Lean*, é um modelo industrial evolutivo que incorpora elementos de modelos anteriores do TQM, assim como elementos do Seis Sigma (OPPENHEIM et al., 2009). Em comum com o TQM, a Filosofia Enxuta foca na qualidade do projeto e construção, nos ciclos de melhoria contínua de Deming e no engajamento da linha de frente no processo de melhoria. Ela vai além do TQM, com foco maior no fluxo de valor e na rígida perseguição da eliminação do desperdício. Tanto a Filosofia Enxuta quanto o TQM focam na melhoria do processo. A Filosofia Enxuta, porém, enfatiza a otimização do fluxo entre os processos. Compartilha com o Seis Sigma a abordagem de eliminação da variação do processo e difere dele por ser mais *bottom-up* na sua estratégia de melhoria e menos dependente da qualificação formal dos experts em melhoria. Assim como outros modelos de melhoria, a implementação bem sucedida da Filosofia Enxuta depende do compromisso das lideranças e da implementação na empresa como um todo (OPPENHEIM et al., 2009).

A Filosofia Enxuta é focada no cliente e tem que ser guiada pelo conhecimento. Isso porque a contínua eliminação de desperdícios e o fluxo puxado pelos clientes ao longo da empresa não é possível se não estiver suportado por uma mão-de-obra que é continuamente treinada e habilitada para tomar as decisões baseadas em dados e conhecimento (OPPENHEIM et al., 2009).

Como mostrado acima, a Filosofia Enxuta e o Seis Sigma apareceram no pós TQM, em meados da década de 1990, como abordagens aparentemente concorrentes. O Seis Sigma foi criado na Motorola e, posteriormente, ganhou fama na GE. A Filosofia Enxuta, identificada na Toyota, foi inicialmente limitada à produção de alta cadência. Enquanto o Seis Sigma foca na abordagem disciplinada e *top-down* para eliminar todas as formas de variação, a Filosofia Enxuta foca no fluxo do valor e na eliminação do desperdício através da otimização do fluxo. Mais tarde, no início dos anos 2000, percebeu-se que as

abordagens dos dois modelos eram cooperativas, assim muitas organizações adotaram um modelo combinado das duas abordagens (OPPENHEIM et al., 2009).

Esse trabalho tem como foco olhar apenas para as características da Filosofia Enxuta no desenvolvimento de produto. Tanto o TQM quanto o Seis Sigma não fazem parte do escopo desse trabalho.

5.2 A Filosofia Enxuta

A primeira pessoa a usar o termo Sistema Enxuto de Produção foi John Krafcik, estudante do “MIT’s Sloan School of Management”, em sua dissertação de mestrado (1988), na qual destacou que um sistema de produção em massa, que utiliza os conceitos da Filosofia Enxuta, tem os seus recursos otimizados (MURMAN et al., 2002). Mais tarde, o termo Produção Enxuta foi introduzido de uma maneira mais abrangente por Womack et al. (1990).

Womack ainda cunhou o conceito de Filosofia Enxuta como sendo um modelo industrial voltado à minimização de desperdícios (WOMACK, 2003).

Em outra definição, Murman coloca que a Filosofia Enxuta é um processo guiado pelo conhecimento e focado no cliente através do qual todas as pessoas em uma determinada empresa continuamente eliminam o desperdício e agregam valor, criando uma vantagem competitiva sustentável (MURMAN et al., 2002).

Três conceitos são fundamentais para entender a Filosofia Enxuta: **valor**, desperdício e o processo de criação do valor sem **desperdício**, capturados nos **seis Princípios Enxutos**. Esses conceitos são sumarizados abaixo (OPPENHEIM et al., 2009).

5.2.1 O valor

Womack e Jones (2003) define o valor como o insumo que os clientes querem. Trazendo para o trabalho, o desenvolvimento do produto cria dois tipos de valor: o conhecimento funcional ou utilizável (desenhos e análises); e sistemas de produção. O desenvolvimento tem valor somente se ele possibilita a produção entregar produtos melhores para o cliente externo (WARD, 2009).

5.2.2 Os desperdícios

A Filosofia Enxuta classifica todas as atividades de trabalho em três grupos (OPPENHEIM et al., 2009):

- Atividades de valor agregado – aquelas que satisfazem as seguintes condições: transforma informação ou material, ou reduz incertezas; o cliente deve estar disposto a pagar por isso; se faz certo na primeira vez.
- Atividades necessárias de valor não-agregado – aquelas que não estão de acordo com as condições descritas acima, mas não podem ser eliminadas, porque são requeridas por lei, mandatárias na companhia, tecnologia atual, processo atual ou outra razão.
- Atividades de valor não-agregado – aquelas que são puro desperdício (por exemplo: inspeções desnecessárias, relatórios desnecessários, tempo ocioso).

Assim, a atividade de valor não-agregado ou desperdício, em japonês *muda*, consiste em qualquer atividade, em um processo, que consuma recursos sem agregar valor para o cliente (MORGAN e LIKER, 2008).

Eliminar o desperdício é importante não somente para cortar os custos, mas também para melhorar a qualidade, a segurança e a agilidade das respostas a mudanças nos requisitos de mercado. Quando atividades que não agregam valor são eliminadas, além de redução de tempo e custo do ciclo produtivo,

obtém-se maior agilidade de resposta a mudanças. Em uma empresa enxuta, eliminar as atividades que não agregam valor é mais importante que acelerar um processo ou atividade individual (MORGAN e LIKER, 2008).

Para ajudar na identificação dos desperdícios, Taiichi Ohno, engenheiro-chefe da Toyota, muitas vezes conhecido como pai do *Toyota Production System* (TPS), originalmente classificou os desperdícios em sete categorias, conforme apresentado na Tabela 5-1 (MORGAN e LIKER, 2008).

Tabela 5-1: Os sete desperdícios de Taiichi Ohno.

Sete Desperdícios	O que são?
Produção em excesso	Produzir mais ou antes da necessidade do processo seguinte.
Espera	Esperar por materiais, informações ou decisões.
Transporte	Transferir materiais de um lugar para o outro sem necessidade.
Processamento	Realizar tarefa desnecessária ou processamento desnecessário em uma tarefa.
Estoque	Acúmulos de material que não serão utilizados.
Movimentação	Excesso de movimentação ou atividade durante a execução da tarefa.
Correção	Inspeção para detectar problemas de qualidade ou para consertar defeitos.

Fonte: adaptada de Morgan e Liker (2008)

A eliminação do desperdício é a forma mais bem divulgada e conhecida de tratamento do processo para entregar o valor para o cliente, mas o combate ao *muda* (desperdício em japonês) não representa tudo aquilo que a Filosofia Enxuta engloba. O pensamento verdadeiramente enxuto não foca na eliminação unidimensional do *muda*; ele trabalha a fim de eliminar três tipos de desperdícios inter-relacionados: *muda*, *mura* e *muri* – conhecidos como os “três Ms”. São eles (MORGAN e LIKER, 2008):

- Muda (valor não agregado): O mais conhecido dos “três Ms”, já colocado nas seções anteriores. Qualquer atividade que contribua para prolongar os tempos de processamento e acrescentar custos extras ao produto, pelos quais o cliente não está disposto a pagar, é considerado *muda*.
- Muri (sobrecarga): Em alguns aspectos, *muri* é o oposto de *muda*. *Muri* é empurrar uma máquina, processo ou pessoa além dos respectivos limites naturais.
- Mura (irregularidade): A irregularidade é o resultado de um cronograma dos volumes flutuantes de produção causados por problemas internos, como tempo de parada de computador ou inexistência de informações essenciais.

Pessoas sobrecarregadas podem levar ao trabalho imperfeito, que resulta em problemas de qualidade e potenciais riscos de segurança. Sobrecarregar um processo significa longas filas que aumentam o tempo de processamento do desenvolvimento de produto ou prejudicam o processo, o que leva a erros e retrabalho a jusante da cadeia (MORGAN e LIKER, 2008).

O *muda* será um resultado do *mura*. Com níveis desiguais de produção, será sempre necessário contar com equipamentos, materiais e pessoal disponíveis para os mais altos níveis de produção (MORGAN e LIKER, 2008).

5.2.3 Os princípios enxutos

O processo de criação do valor sem desperdício foi capturado em seis princípios para a Filosofia Enxuta. Os cinco primeiros foram formulados por Womack (2003). O sexto é frequentemente chamado de o segundo pilar da Filosofia Enxuta por (SUGIMORI et al., 1977). O LEfSE (Lean Enablers for Systems Engineering) elevou esse conceito como um sexto princípio (OPPENHEIM et al., 2009); essa dissertação seguirá o mesmo raciocínio.

1. Capturar o valor definido pelo cliente, que pode ser interno ou externo. O cliente externo que paga pelo produto ou serviço define o valor final para o entregável. O cliente interno recebe a saída de uma tarefa ou atividade e usualmente não paga por ela explicitamente. De qualquer modo, o cliente é aquele que define o que constitui o valor.
2. Mapear o fluxo do valor e eliminar o desperdício. Mapear todo encadeamento de tarefas e pontos de controle e de decisão para chegar ao valor definido pelo cliente. Eliminar todas as atividades que não agregam valor, minimizar todas as atividades necessárias de valor não agregado e fazer as atividades remanescentes fluírem. Um conceito chave para se tomar ciência é: na produção, o material está sendo transformado, enquanto no domínio da engenharia, o conhecimento está sendo transformado. O termo fluxo de conhecimento refere-se aos pacotes de informação (conhecimento) criados por diferentes tarefas e fluindo para outras tarefas para revisão, decisão ou integração.
3. Fazer o valor fluir continuamente através dos passos e processos que agregam valor, sem tempo ocioso ou paradas repentinas, trabalhos não planejados ou refluxo.
4. Deixar os clientes puxarem o valor. Na produção, o princípio ideal do fluxo puxado é implementado através da entrega *Just-in-Time* de partes e materiais para a estação de necessidade e para o cliente externo. Em aplicações no desenvolvimento de produto, o princípio do fluxo puxado tem dois importantes significados: o primeiro é que a inclusão de qualquer tarefa no programa deve ser justificada por uma necessidade específica de um cliente interno ou externo; e o segundo é a tarefa ser completada quando o cliente necessita da informação: finalização de tarefas muito precocemente pode levar à obsolescência prematura, incluindo possível perda de memória humana, e finalização tardia, levando a um deslocamento do planejamento. Isso implica em os donos

das tarefas manterem uma boa comunicação com os seus clientes para o total entendimento das suas necessidades e expectativas.

5. Perseguir a perfeição de todos os processos. O refinamento de um resultado de uma tarefa deve ser norteado pelo valor final definido pelo cliente (sucesso da missão, orçamento e limitações de tempo). Fazer todas as imperfeições no fluxo (parada de fluxo, atrasos, riscos encobertos, etc.) imediatamente visíveis para todos é fundamental para definições e ações corretivas.
6. Respeito às pessoas. Uma empresa enxuta é uma organização que reconhece seus funcionários como o mais importante recurso, aquela que adota as práticas de trabalho de alto desempenho. Na empresa enxuta as pessoas trocam ideias abertamente sem medo, planejam juntas por consenso, identificam os problemas honestamente e os resolvem em tempo real, de maneira efetiva, não permitindo que apareçam novamente. Líderes experientes e com conhecimento guiam, mas também ajudam os empregados da linha de frente a resolverem os problemas imediatamente. Tal ambiente requer uma cultura de confiança e respeito mútuo, com comunicação honesta e aberta e relacionamentos de cooperação com as pessoas interessadas.

A Filosofia Enxuta busca estabelecer um ambiente dinâmico, baseado no conhecimento e focado no cliente. Em seu âmbito, busca-se estimular todas as pessoas em uma determinada instituição para que elas se esforcem para, continuamente, eliminar o desperdício e, assim, maximizar a geração de valor (OPPENHEIM et al., 2009).

6 A FILOSOFIA ENXUTA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

6.1 Os desperdícios no LPDS

Morgan e Liker (2008) utilizam a classificação de Taiichi Ohno para os desperdícios na produção como base para o desenvolvimento de produto. Embora as causas desses desperdícios sejam diferentes para a produção, essas categorias podem ser úteis na identificação de atividades que não agregam valor no desenvolvimento de produto. Ward (2009) classifica os desperdícios de uma forma a ajudar a enxergar aqueles relacionados ao conhecimento, que são os mais importantes no desenvolvimento. A diferença entre um fluxo operacional de valor lucrativo e um sem retorno é quanto de conhecimento utilizável é criado e entregue pelo desenvolvimento. Assim, os desperdícios primários no desenvolvimento estão conectados ao conhecimento e não à transformação física (WARD, 2009). A parte difícil de encontrar os desperdícios no desenvolvimento é que muito dos desperdícios são causados por “fazer as coisas certas” dentro de uma estrutura já pré-estabelecida. Há três categorias primárias de desperdícios de conhecimento, cada um tem duas categorias associadas, conforme apresentado na Figura 6-1.

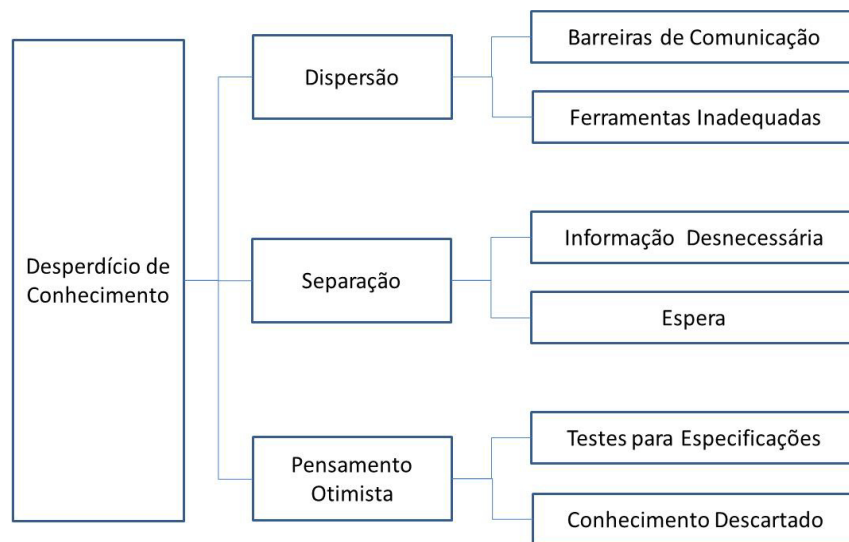


Figura 6-1: Os desperdícios do conhecimento.
Fonte: Ward (2009)

A Dispersão causa desperdícios porque o conhecimento certo não chegou ao lugar certo. A Separação causa desperdício porque as pessoas que tomam as decisões não tem o conhecimento requerido para fazê-las bem. Ela ocorre quando se separa conhecimento, responsabilidade, ação e *feedback*. Já o Pensamento Otimista causa desperdícios porque são tomadas decisões sem dados (WARD, 2009).

Dispersão (Scatter)

Muitos engenheiros perdem muito tempo tentando encontrar a informação necessária para realizar seu trabalho. A Dispersão é composta basicamente pelas ações que fazem o conhecimento ineficiente pela interrupção do seu fluxo (WARD, 2009). A Tabela 6-1 apresenta situações de dispersão e suas consequências.

Tabela 6-1: Dispersão e suas consequências

	Situação	Resposta convencional	Efeito da dispersão
1	As condições na área não estão boas	Reorganize	Torna a interação do conhecimento obsoleta
2	O projeto está fora do prazo	Adicione mais recursos ao time	A comunicação é interrompida
3	Os compradores estão demorando para encontrar os fornecedores	Ligue para eles mais frequentemente	O processo de compra é perturbado
4	O produto continua tendo falhas	Adicione mais tarefas e verificações ao processo	O processo de desenvolvimento é perturbado
5	O cliente quer algo novo	Adicione um projeto com urgência	Os recursos são sobrecarregados e novas falhas são produzidas
6	Há problemas com o sistema de produção	Mantenha os engenheiros de produção no projeto até o sistema se comportar como esperado	Os engenheiros de produção não estão disponíveis para o próximo projeto; o problema se repete

Fonte: Ward (2009)

A Dispersão frequentemente é um espiral sem fim, um ciclo que faz as coisas ficarem cada vez piores. Como as coisas falham por causa da desorganização, os engenheiros gastam mais tempo resolvendo problemas emergenciais, respondendo demandas por informação vinda de outros e procurando por informação e atormentando outros engenheiros para tentar resolver o problema. Tudo se torna uma crise, e como nada segue conforme planejado, os gerentes seniores tentam obter o controle através de reorganização, impondo regras arbitrárias, demandando mais relatórios, mais tarefas e explicações imediatas dos problemas (WARD, 2009).

Normalmente, a Dispersão é causada pela premissa do gerenciamento convencional de que é possível criar a estrutura organizacional através de manuais de procedimento, cartas organizacionais e diretrizes que criam barreiras e causam divisão entre responsabilidade e ação. De fato, a ordem emergirá das interações entre as pessoas e isso leva tempo (WARD, 2009).

A Dispersão tem dois importantes tipos de desperdícios associados (WARD, 2009):

- Barreiras de Comunicação: impedem o fluxo de conhecimento que incluem as barreiras físicas (distância, incompatibilidade entre sistemas de informática), sociais (como engenheiros que não dão ouvidos aos técnicos e comportamentos gerenciais que prejudicam a comunicação), barreiras de habilidade (pessoas que não sabem como transformar dados em conhecimento utilizável) e canais de informação (informações em vários formatos, de difícil integração).
- Ferramentas Inadequadas: processos mal definidos que exigem a utilização de técnicas ineficientes, gerando um ciclo vicioso de adaptação a ferramentas inadequadas e piora do processo. Nesse ciclo, as pessoas gastam mais tempo tentando se adaptar ao processo ineficiente do que buscando gerar mais valor ao cliente através do produto ou conhecimento. Quanto maiores as dificuldades

em um processo, mais se aumentam os controles, *check-lists* e atividades extras para garantir o sucesso da original. Mas, em um ambiente com pessoas sobrecarregadas de atividades, esses controles adicionais levam ao aumento de carga e, para cumprir prazos, há tendência de que as pessoas pulem (ou ignorem) as atividades – mesmo as que seriam realmente importantes – piorando mais ainda a situação.

Separação (*Hand-off*)

Separação de conhecimento, responsabilidade, ação e *feedback*. Esse desperdício resulta de decisões sendo feitas por pessoas que não tem o conhecimento suficiente para fazê-las bem ou a oportunidade de fazê-las acontecer. A pessoa que tem a responsabilidade (gerente) é diferente da pessoa que tem o conhecimento do processo, que, por sua vez, não é a pessoa que realiza o trabalho. E eles não recebem um *feedback* efetivo do mercado (WARD, 2009).

Outros exemplos de separação (WARD, 2009):

- Manter os líderes dos projetos responsáveis por obedecer às especificações definidas por outra pessoa.
- Mover as pessoas de um projeto para outro em vez de mantê-las do começo ao fim.

A Separação tem dois importantes tipos de desperdícios associados (WARD, 2009):

- Informação Desnecessária: Toda informação que não auxilia no entendimento do que o cliente quer não traz inovação ou integração e não provê bases para tomada de decisão, ou seja, é criada porque alguém quer (um exemplo são apresentações sobre um processo crítico para gerentes da área: seria mais útil

investir o tempo em um processo de avaliação e tomada de ação efetiva do que preparar uma apresentação para quem não tem a ação sobre o problema). A separação cria esse tipo de informação já que quem toma as decisões não conhece e não age, por isso, demanda mais informações quando os problemas surgem, criando uma série de relatórios que só servem para dar segurança ou impressionar os gerentes.

- Espera: As empresas não conseguem seguir seu processo devido ao uso de métodos convencionais padronizados de planejamento, organização e controle dos projetos; PERT, método do caminho crítico (até mesmo quando modificado para o método da corrente crítica) e *phase gates*; causam o desperdício da espera. A sequência termina uma tarefa para depois começar outra, e aí está o desperdício. Conceitos do LPDS como a SBCE e o planejamento através do fluxo puxado permitem um maior grau de concorrência, fluxo de informação multi-direcional e uma demanda nivelada de recursos. Muitas empresas, em algum momento, vivem a situação de estar com muitos problemas, ao ponto de tomarem a decisão de colocar pessoas de alto gabarito juntas para resolvê-los em um curto espaço de tempo. Nesse período, as regras do processo não são seguidas e as atividades seguem mais rápidas que o normal. Mas quando esses problemas acabam, essas empresas não conseguem repetir esse processo tão logo as regras voltem a ser seguidas.

Pensamento Otimista (*Wishful Thinking*)

O pensamento otimista significa tomar as decisões sem todos os dados necessários (WARD, 2009).

Definir as especificações no começo do projeto é um pensamento otimista, visto que no começo do projeto os clientes não sabem exatamente o que

querem e os desenvolvedores não sabem o que a natureza permite. No projeto convencional, seleciona-se rapidamente um único conceito de projeto, que é detalhado para se tentar provar que funcionará e o modifica-se quando não funciona. Isso significa que a decisão mais crítica de projeto, a seleção do conceito básico, tem que ser feita sem muitos dados (WARD, 2009).

A Figura 6-2 mostra o processo convencional. Ele rapidamente seleciona um único conceito de projeto e o detalha, tentando provar que ele funciona e o modificando quando não funciona. Isso significa que a decisão mais crítica do projeto – a seleção do conceito básico – tem que ser feita sem muitos dados (WARD, 2009).

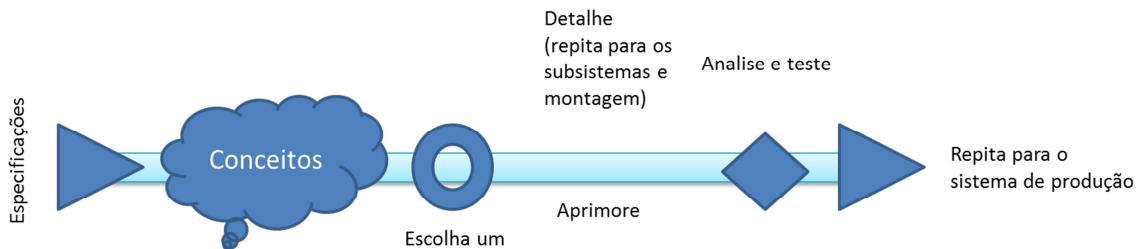


Figura 6-2: Processo convencional.
Fonte: adaptada de Ward (2009)

As pessoas não gostam das incertezas e, frequentemente, tomam decisões prematuras para reduzi-las. Além disso, a intuição natural é que olhar para uma alternativa é mais barato, fácil e rápido que olhar várias alternativas. Isso normalmente está errado, porque olhar para várias alternativas cedo é, usualmente, mais barato que olhar para poucas alternativas depois (WARD, 2009).

O Pensamento Otimista tem dois importantes tipos de desperdícios associados (WARD, 2009):

- Testes para especificação: Realizam-se testes durante o desenvolvimento para ter certeza que o produto atende às especificações e está pronto para o mercado. Testar de acordo com as especificações não garante que o produto esteja pronto para o mercado. Estatisticamente é impossível testar todas as características de um produto e satisfazer as demandas de qualidade dos dias de hoje. As empresas enxutas testam primeiramente para encontrar o ponto de falha e projetam para ficar longe dele. Os pontos de falha são registrados nos ábacos (ver Seção 7.2) que guiam o projeto. O trabalho do time de ensaios é quebrar o produto, registrar como ele quebra e alertar a Engenharia em como fazê-lo difícil de quebrar.
- Conhecimento Descartado: Muitas empresas após o fim do desenvolvimento e início da produção arquivam o conhecimento adquirido esquecendo-o, jogando fora um dos insumos mais preciosos do desenvolvimento. E isso acontece porque os desenvolvedores estão focados em terminar o trabalho e a captura do conhecimento tem prioridade baixa; os testes para as especificações não são úteis para o próximo desenvolvimento; poucos engenheiros sabem como transformar os dados em conhecimento utilizável e útil.

6.2 O Sistema Enxuto de Desenvolvimento de produto

A qualidade dos produtos no início de vida é parcialmente dependente do sistema de produção, mas é fortemente afetada por decisões tomadas durante o desenvolvimento de produto. Ward (2009) sustenta que a qualidade do produto em sua vida como um todo (durabilidade, manutenibilidade e até mesmo baixo custo) é, de fato, quase que inteiramente função do desenvolvimento. Assim, propõe-se que os princípios da Filosofia Enxuta sejam adaptados à área de desenvolvimento de produto.

Morgan e Liker (2008) descrevem o desenvolvimento de produtos na Toyota como um sistema sócio-técnico, no qual ocorre uma harmonização entre os subsistemas social e técnico.

O subsistema social compreende os trabalhadores com suas características fisiológicas e psicológicas, seus níveis de qualificação, de formação e de experiência, bem como suas relações sociais dentro da organização e suas condições de trabalho na organização (MORGAN e LIKER, 2008).

O subsistema técnico compreende as tarefas a serem realizadas e as condições técnicas para a sua realização, envolvendo ambiente de trabalho, instalações, máquinas, equipamentos, ferramentas e procedimentos e normas operacionais, inclusive as condicionantes temporais para cada operação (MORGAN e LIKER, 2008).

O termo sistema sugere um conjunto de elementos integrados, que juntos, cumprem com um objetivo definido. Não é possível entender plenamente um sistema pela simples visualização das partes individuais. Apenas mediante o estudo das pessoas e equipamentos em funcionamento conjunto é que conseguimos compreender a maneira como o todo funciona (MORGAN e LIKER, 2008).

Existem três conjuntos de autores importantes que montaram suas visões do que seria LPDS. Essas visões são apresentadas e comparadas na Tabela 6-2.

Tabela 6-2: Comparação das visões de Liker e Morgan; Ward; e Kennedy.

Liker e Morgan	Ward	Kennedy
SBCE	SBCE	SBCE
Ter um engenheiro-chefe: líder e integrador de sistemas técnicos	Ter um engenheiro-chefe: líder e integrador de sistemas técnicos	Ter um engenheiro-chefe: líder e integrador de sistemas técnicos
Ter equipes altamente especializadas	Ter equipes altamente especializadas	Ter equipes altamente especializadas
Identificar o valor definido pelo cliente para separar valor agregado do desperdício	Identificar o valor definido pelo cliente para separar valor agregado do desperdício	Identificar o fluxo de valor operacional até o cliente
Criar um nivelamento de fluxo do processo de desenvolvimento de produto	Ter cadência e fluxo puxado: produzir quando solicitado, com cadência, tendo a informação e os materiais à disposição para serem usados	Planejamento baseado em responsabilidade e controle: planejamento distribuído e controle baseado em eventos chave de integração
Utilizar padronização rigorosa para reduzir variação e criar flexibilidade e resultados previsíveis		
Organizar, para balancear a competência funcional com a integração multifuncional		
Integrar plenamente os fornecedores ao sistema de desenvolvimento de produto		
Alinhar a organização mediante comunicação simples e visual		
Usar ferramentas poderosas para padronização e aprendizado organizacional		
Adaptar a tecnologia ao pessoal e ao processo		
Consolidar o aprendizado e a melhoria contínua	-	-
Construir uma cultura de suporte à excelência e à melhoria ininterrupta	-	-

Morgan e Liker (2008) detalharam o modelo, quando comparado com os dois outros modelos, combinando três subsistemas principais: processos; pessoal; e ferramentas e tecnologias. Esses três subsistemas são inter-relacionados e interdependentes, influenciando a capacidade da organização de atingir seus objetivos externos.

Eles propõem 13 princípios para estes subsistemas (MORGAN e LIKER, 2008):

- Processos:
 1. Identificar o valor definido pelo cliente para separar valor agregado de desperdício; além disso, é preciso comunicar e operacionalizar o valor definido pelo cliente de forma eficiente na organização, a fim de alinhar todos os objetivos, focar as energias no cliente e eliminar todos os desperdícios.
 2. SBCE: Concentrar esforços no início do processo de desenvolvimento de produto para explorar integralmente soluções alternativas, enquanto existe máxima flexibilidade de projeto; a maior oportunidade para se explorar as alternativas está no início do desenvolvimento. Resolver problemas enquanto os projetos estão na sua maior fluidez permite à empresa explorar soluções potenciais de projeto, engenharia e produção. Isso minimiza a necessidade de dispendiosas mudanças de engenharia no decorrer de etapas mais adiantadas do fluxo.
 3. Criar um nivelamento de fluxo do processo de desenvolvimento de produto; as tarefas a serem completadas e sua sequência são, em geral, semelhantes em vários projetos. Nesse sentido, um LPDS é uma oficina de conhecimentos funcionais que a empresa pode melhorar de

forma contínua, eliminando os desperdícios e sincronizando as atividades multifuncionais.

4. Utilizar padronização rigorosa para reduzir variação e criar flexibilidade e resultados previsíveis; o desafio no desenvolvimento de produto é reduzir a variação e, ao mesmo tempo, preservar a criatividade. São três as categorias de padronização: projeto (arquitetura conjunta, modularidade e reutilização de componentes compartilháveis, entre outros), processo (processos de manufatura padrão, por exemplo) e conjunto de competências em engenharia que proporciona flexibilidade na formação de equipes e programação da produção.
- Pessoal Habilitado:
 5. Desenvolver um sistema de engenheiro-chefe para integrar o desenvolvimento de produto do início ao fim; ele não é simplesmente um gerente de projeto, mas um líder e integrador de sistemas técnicos, a quem são delegadas as decisões mais difíceis. Ele é responsável por: lucratividade; arquitetura do sistema; planejamento do projeto; negociação de recursos com os líderes funcionais; consenso no time de projeto; e, inclusive, aprovação da campanha de marketing inicial. Sua influência técnica se expande além do centro de desenvolvimento.
 6. Organizar, para balancear a competência funcional com a integração multifuncional, ou seja, conseguir o equilíbrio entre a excelência funcional no âmbito das disciplinas específicas e, ao mesmo tempo, concretizar a integração equilibrada desses especialistas entre as funções. A Toyota é uma empresa organizada funcionalmente e integrada através do engenheiro-chefe. Essa organização é a matricial forte descrita na Seção

4.3, com o cuidado de todos terem um único chefe. Os departamentos funcionais, não os engenheiros-chefe, avaliam as pessoas nos times.

7. Ter equipes altamente especializadas; a excelência em recursos de engenharia e projeto é fundamental para o LPDS. Principalmente para sistemas complexos que demandam conhecimentos de disciplinas especializadas. Mas muitos lugares, em vez de promover um aprofundamento em uma determinada tecnologia necessária ao desenvolvimento de produto, incentivam a ampliação dos conhecimentos, por exemplo, através de MBAs.
8. Integrar plenamente os fornecedores ao sistema de desenvolvimento de produto. Os fornecedores são responsáveis por uma grande parte dos componentes dos produtos mais complexos e constituem uma parte fundamental do Sistema de Desenvolvimento de Produto. As empresas precisam administrar e cultivar seus fornecedores da mesma forma que administram e cultivam os recursos internos de manufatura e engenharia.
9. Consolidar o aprendizado e a melhoria contínua; as capacidades de aprender e melhorar podem ser a vantagem competitiva mais sólida de uma empresa.
10. Construir uma cultura de suporte à excelência e à melhoria ininterrupta; a essência da Toyota é uma combinação de crenças e valores fortemente compartilhados por sucessivas gerações de gerentes e engenheiros. Esses valores e convicções centrais impelem a organização a trabalhar harmoniosamente em direção a objetivos comuns.

- Ferramentas e Tecnologia:
 11. Adaptar a tecnologia ao pessoal e ao processo; é muito mais importante dedicar tempo e esforço a fim de garantir que a tecnologia se adapte aos processos já otimizados e disciplinados e também ao pessoal altamente qualificado e organizado.
 12. Alinhar a organização mediante comunicação simples e visual; na resolução de problemas, a Toyota utiliza métodos visuais muito simples na comunicação dessa informação, quase sempre limitados a uma simples folha de papel A3.
 13. Usar ferramentas poderosas para padronização e aprendizado organizacional; um princípio bem conhecido da melhoria contínua determina que ela não existe sem padronização.

Como mostrado na Tabela 6-2, é consenso entre os três conjuntos de autores que a SBCE, a presença do engenheiro-chefe e as equipes altamente especializadas fazem parte do LPDS. Morgan e Liker (2008) estão alinhados quanto a identificar o valor definido pelo cliente para separar valor agregado de desperdício. Já Kennedy (2003) entende que em um sistema com a SBCE, engenheiro-chefe, equipe especializada e com um planejamento baseado em responsabilidade e controle é possível identificar o fluxo de valor operacional até o cliente e, automaticamente, eliminar os desperdícios, o que está bem alinhado com a identificação do valor colocado por Morgan e Liker (2008) e Ward (2009).

A busca pelo nivelamento do fluxo do processo, a padronização rigorosa, o balanceamento funcional e multifuncional, a integração com os fornecedores, o alinhamento da organização mediante comunicação simples e visual, o uso de ferramentas poderosas para a padronização e o aprendizado organizacional, e a adaptação de novas tecnologias ao pessoal e ao processo são princípios

colocados por Morgan e Liker (2008) que buscam dar ao processo um fluxo puxado cadenciado, como é colocado por Ward (2009) em um de seus princípios. O mesmo pode ser dito do princípio do planejamento baseado em responsabilidade e controle colocado por Kennedy (2003).

O fluxo puxado cadenciado é aquele fluxo em que todas as coisas se movem em certo ritmo, permitindo assim drenar o caos do desenvolvimento nivelando a carga dos recursos. Ele fornece conhecimento e material quando é pedido e somente em quantidades que possam ser transmitidas facilmente. Além disso, os supervisores criam valor diretamente, projetando sistemas e adicionando e espalhando conhecimento. O planejamento baseado em responsabilidade e controle é fundamental para que isso aconteça (KENNEDY, 2003).

O planejamento baseado em responsabilidade e controle é o oposto do baseado em tarefas. O engenheiro-chefe programa uma determinada quantidade de eventos de integração, como por exemplo, aprovação do *design* de projeto ou liberação de ferramental; assim, é estabelecido o que é necessário estar pronto nesses eventos. O enfoque baseado em responsabilidade fornece ao projeto responsabilidade, propriedade e flexibilidade nas respostas rápidas. É importante ressaltar que, no sistema baseado em tarefas, o planejamento e a execução são feitos por diferentes pessoas e, talvez, por diferentes organizações. Ele quase sempre degrada ao longo do tempo e há um desperdício significativo ao ajustar o planejamento com o que realmente acontece. Por outro lado, o enfoque baseado em responsabilidade mantém a execução alinhada, visto que o planejamento como um todo é simplesmente a compilação do planejamento de todas as áreas. Os eventos de integração não são baseados em tarefas completadas, mas nos resultados técnicos, servindo para tomada de decisão e garantia de que a programação como um todo esteja de acordo com o planejado.

Kennedy, posteriormente, propôs que o processo do desenvolvimento de produto fosse analisado em dois fluxos de valor distintos. O primeiro é o fluxo

tradicional de um processo de desenvolvimento de produto, enquanto o segundo vincula-se ao crescimento planejado do conhecimento funcional para a geração de produtos, como ilustrado na Figura 6-3 (KENNEDY et al., 2008).

O ponto chave nesse sistema é a integração do fluxo da inovação do conhecimento na cadência de liberação de produtos. O desenvolvimento do conhecimento deve ter a sua própria vida e fluir através dos fluxos de produtos, sendo integrados na fase conceitual do desenvolvimento de produto. O fluxo do conhecimento integra os projetos através da generalização, visualização e organização do conhecimento (KENNEDY et al., 2008).

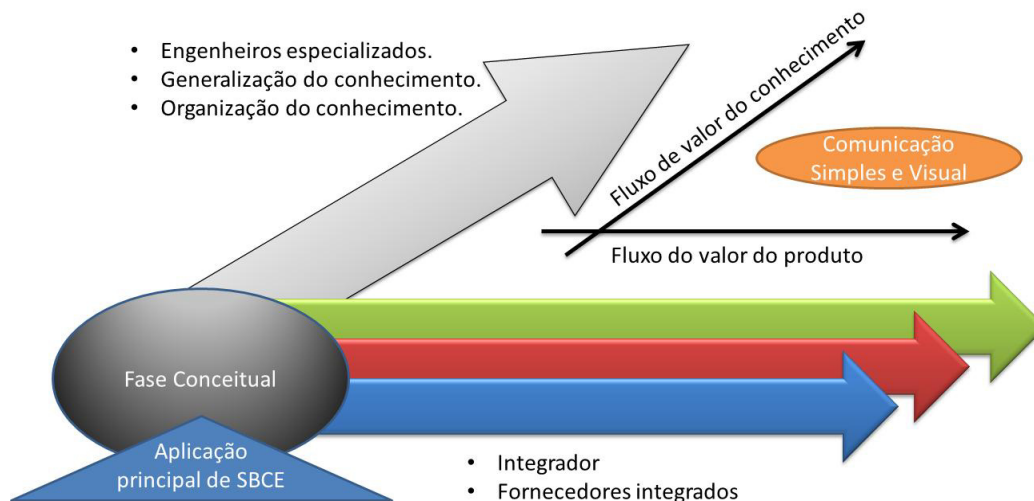


Figura 6-3: Fluxo do valor no desenvolvimento de produto.
Fonte: adaptada de Kennedy et al. (2008)

Comparando as ideias de Morgan e Liker (2008) com as de Ward (2009), percebe-se uma busca muito forte por conhecimento e informação, para que eles, quando estruturados, possam gerar o valor solicitado pelos *stakeholders*. Outro ponto forte é a criação de mecanismos para que exista uma boa comunicação nas áreas funcionais, no fluxo entre as áreas funcionais e, de

modo geral, para melhorar a sincronia entre as áreas funcionais, principalmente para produtos complexos.

Concluindo, esses princípios respeitam aqueles apresentados por Womack anteriormente e estão esquematizados na Figura 6-4. Ela sintetiza o LPDS nos sete elementos apresentados abaixo com base nas ideias desses autores:

1. Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas.
2. O Integrador ou Engenheiro-chefe sendo a conexão entre todas as áreas funcionais envolvidas no projeto, desde a concepção do produto até o fim do projeto.
3. Ter equipes altamente especializadas, de forma a dar a base de sustentação para a geração do valor.
4. O valor definido pelo cliente identificado para separar valor agregado do desperdício.
5. Ter cadência e fluxo puxado para produzir quando solicitado com cadência, tendo a informação e os materiais à disposição para serem usados.
6. Consolidar o aprendizado e a melhoria contínua em todos os pontos citados anteriormente.
7. A cultura, difícil de adquirir, para que todos na empresa busquem a excelência.

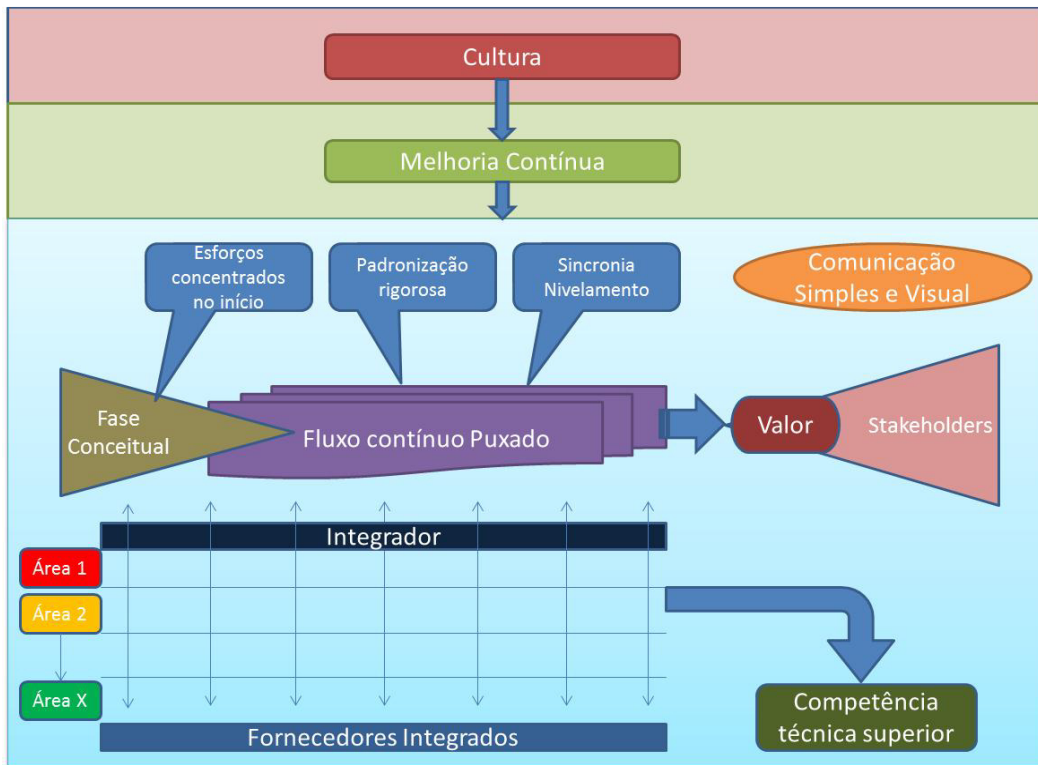


Figura 6-4: Sistema Enxuto de Desenvolvimento de Produto (LPDS).

7 ENGENHARIA SIMULTÂNEA BASEADA EM CONJUNTO DE ALTERNATIVAS (*SET-BASED CONCURRENT ENGINEERING*)

A Toyota considera uma ampla gama de possibilidades e atrasa muito mais certas decisões em relação a outras empresas automotivas, e ainda tem o que pode ser o mais rápido e mais eficiente ciclo de desenvolvimento de veículo da indústria (WARD et al., 1999).

A prática de projeto tradicional, seja concorrente ou não, tende a rapidamente convergir para uma solução, um ponto em um espaço de soluções, e modifica aquela solução até ela cumprir com os objetivos de projeto. Se a solução não for a melhor para aquele projeto, serão necessárias várias iterações para refinar a solução, consumindo tempo e chegando a um projeto subotimizado, visto que estaria se gastando tempo em uma escolha que não seria a mais adequada ou até mesmo se funcionaria (WARD et al., 1999).

A SBCE praticada pela Toyota trabalha com grupos de soluções em paralelo e relativamente independentes. Conforme o projeto progride, o número de soluções em consideração vai diminuindo com base em informações adicionais tais como aquelas vindas do desenvolvimento, de testes, de clientes e de outros grupos de participantes. Uma ampla rede desde o início e uma gradual eliminação das soluções mais fracas faz aumentar bastante as chances de encontrar a melhor ou as melhores soluções. Como resultado a Toyota pode levar mais tempo na definição das soluções, mas pode avançar mais rapidamente no projeto. Com a convergência dos projetos, os participantes se comprometem a trabalhar dentro do conjunto de soluções vigente, gerando confiança entre as equipes de trabalho (SOBEK II et al., 1999), veja Figura 7-1.

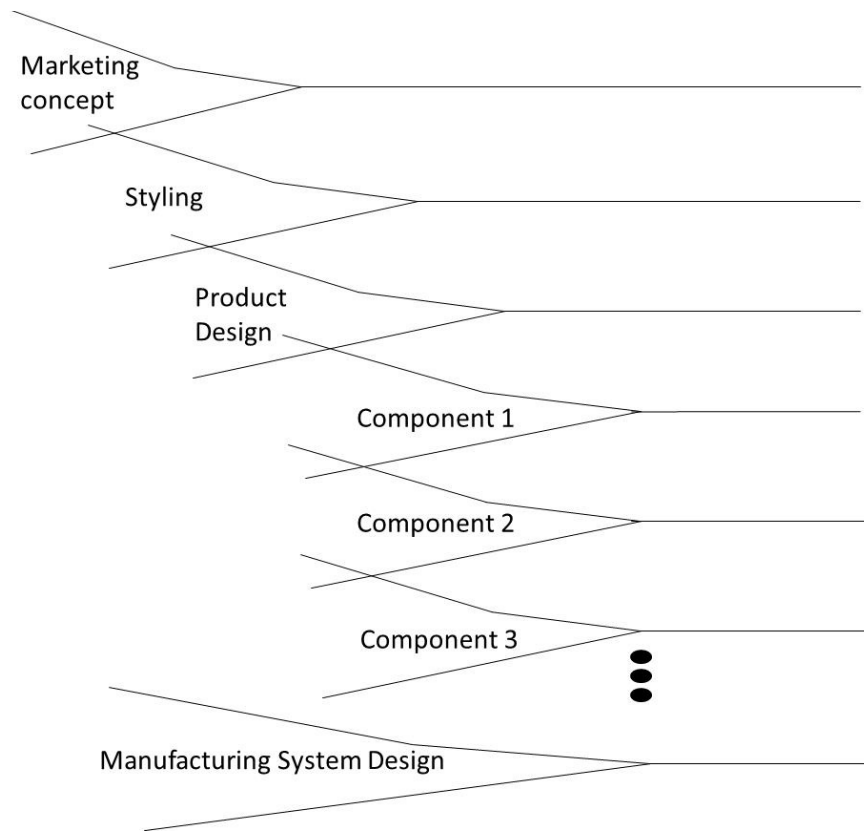


Figura 7-1: Processo de afinamento paralelo da Toyota.
 Fonte: Ward et al. (1999)

Na filosofia tradicional de desenvolver produtos, vários problemas ocorrem à medida que o projeto passa por diferentes equipes (SOBEK II et al., 1999). Conforme o projeto passa de uma equipe para outra, ocorrem alterações, resultando em retrabalho e demandas adicionais de comunicação, como esquematizado na Figura 7-2.

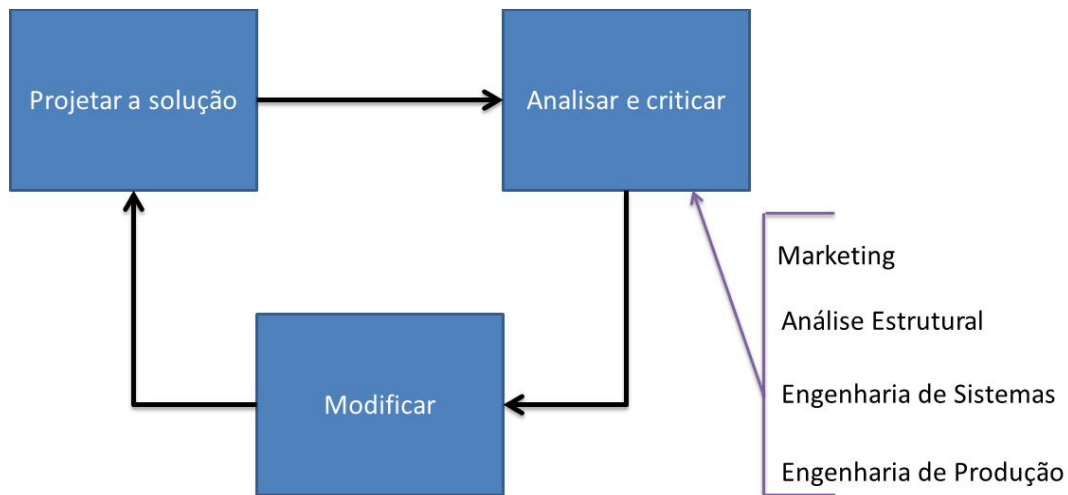


Figura 7-2: Realimentação na fase conceitual do processo convencional.
 Fonte: Sobek II et al. (1999)

Não há garantia teórica de que o processo convencional sempre convergirá. Conforme visto na prática por Sobek II et al. (1999), sem haver convergência, a equipe simplesmente interrompe o projeto quando o seu tempo se esgota, e remete-o para a próxima fase. Como a equipe de desenvolvimento não articula uma visão clara sobre as diversas possibilidades, o resultado do projeto pode ficar muito longe da solução ótima (SOBEK II et al., 1999).

Mais precisamente, o time de desenvolvimento seleciona um conceito baseado, em geral, em alguma experiência anterior e testa-o ao longo do ciclo de projeto, o que se constitui em uma aprendizagem lenta. Um sistema completo (produto) tem que ser construído e testado para cada aprendizado, o que é caro. Mais ainda, como não é possível interpolar esses resultados, o aprendizado não é muito útil para projetos futuros (SOBEK II et al., 1999).

As restrições de tempo passam a ser preponderantes porque é necessário que projeto e produção ocorram em sequência. O tempo a ser despendido se torna imprevisível, pois a solução final depende da interação entre projeto e produção para a resolução de problemas (SOBEK II et al., 1999).

A SBCE contorna todos esses problemas da seguinte maneira (WARD, 2009):

- o time divide o sistema em subsistemas e sub-subsistemas, na menor parte possível;
- o time identifica alvos amplos para o sistema e para cada subsistema;
- o time cria múltiplos conceitos para o sistema e cada subsistema, incluindo os sistemas de produto e de produção;
- o time filtra esses conceitos através de uma avaliação agressiva, identificando modos de falha e encontrando pontos de falha para cada solução;
- as informações de falha são investigadas nas bases de conhecimento, através de ábacos que guiam o projeto; esses ábacos descrevem os limites de desempenho que são possíveis com um dado enfoque de projeto;
- conforme a filtragem aumenta, há o aumento da precisão, do detalhamento e dos custos dos modelos de conceito e de testes; eles convergem no detalhe e no nível de inovação em que o último conceito restante é bem testado e otimizado.

A SBCE gera muitos conceitos em paralelo para tentar fazê-los falhar de maneira rápida e eficiente. Ela está de acordo com o *Front-loading Problem-solving*, que é uma estratégia que procura melhorar o desempenho do desenvolvimento, trazendo a identificação e a resolução de problemas de projeto para as fases anteriores do desenvolvimento de produto (Thomke e Fujimoto, 2000). Converte-se para um conceito somente depois de provado que é o melhor do conjunto, que trabalha bem com o restante do sistema e que

seus pontos de falha encontram-se seguros além das condições de operação (SOBEK II et al., 1999). A Figura 7-3 ilustra o conceito.

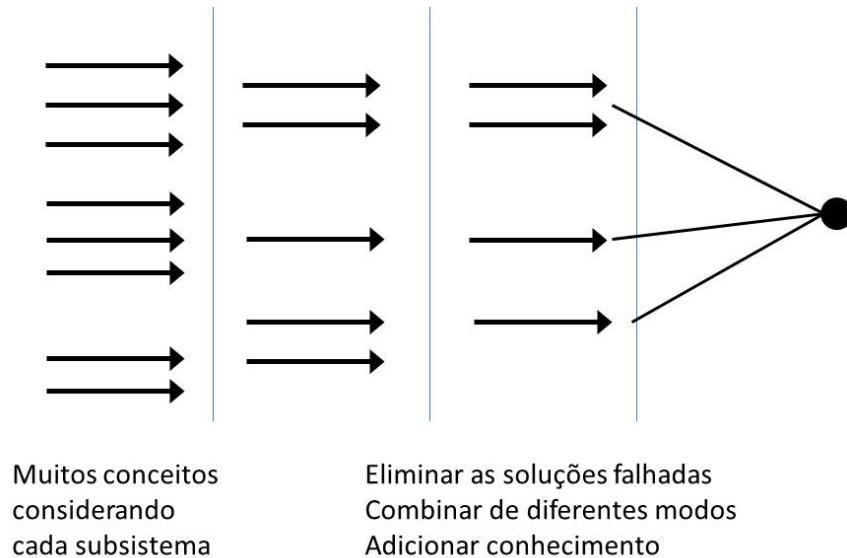


Figura 7-3: Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas (SBCE).
Fonte: Kennedy et al. (2003)

Para localizar a SBCE dentro do ciclo de vida típico de projeto na área espacial, pode-se dizer que ela deve atuar entre os *phase gates* MDR e PDR. Ou seja, a partir do momento em que ocorre a identificação dos requisitos do usuário e dos conceitos iniciais até o momento anterior ao detalhamento do projeto.

Na Toyota, a comunicação sobre os grupos de solução ou sobre as regiões do espaço de projeto aumenta a riqueza da comunicação e diminui o tamanho e a quantidade de reuniões (WARD, 2009).

A SBCE faz parte de um sistema maior, o LPDS, e sendo assim, depende de outras partes desse sistema, principalmente de um corpo técnico altamente especializado e do sistema do engenheiro-chefe.

O corpo técnico altamente especializado é aquele em que os gerentes são excelentes e experientes engenheiros que continuam em contato com a engenharia técnica como pelo menos o segundo aspecto mais crítico do seu trabalho (o mais crítico pode ser o desenvolvimento dos engenheiros que eles supervisionam). É importante colocar que as engenharias dos fornecedores também precisam ter tal capacidade e um bom relacionamento com a engenharia da empresa. Para completar o projeto no tempo é preciso ter certo nível de capacidade de decisão; o time tem que tomar decisões em algum momento ou o projeto não acontecerá (WARD, 2009).

O sistema de engenheiro-chefe da Toyota é outro fator crítico. Nele existem os gerentes gerais que são responsáveis pelas áreas funcionais e os engenheiros-chefes (*heavy-weight product managers* (CLARK, 1991)), responsáveis pelo programa.

Eles são os arquitetos do sistema (*lead designers*) para o produto, a decisão técnica mais importante é tomada por ele no time. Fora do seu pequeno *staff*, eles não têm autoridade direta sobre os engenheiros funcionais, os quais reportam para os gerentes gerais. São responsáveis por todo o produto, desde os estágios conceituais até o lançamento e provavelmente na campanha inicial de marketing. Fazem a integração dos sistemas vitais, sendo que cada função é responsável pelo seu subsistema e o engenheiro-chefe é responsável por todo o sistema. Os engenheiros-chefes fazem o processo da SBCE funcionar controlando o processo de restrição do escopo de opções, insistindo em uma exploração ampla, resolvendo qualquer desacordos entre funções e quando necessário, tomam decisões da alternativa a seguir com base em análises de *trade-offs* (WARD, 2009).

7.1 Princípios da SBCE

A SBCE é organizada em três princípios, cada um com três estratégias diferentes de implementação (SOBEK II et al., 1999). Juntos, formam uma matriz de trabalho na qual os participantes do projeto podem trabalhar em

paralelo em partes do projeto ou juntos como em um sistema. A matriz de trabalho é apresentada na Tabela 7-1.

Tabela 7-1: Princípios da SBCE.

1. Mapear o espaço de projeto
<ul style="list-style-type: none">• Definir regiões viáveis.• Explorar <i>trade-offs</i> através da concepção de múltiplas alternativas.
<ul style="list-style-type: none">• Comunicar conjuntos de possibilidades.
2. Integrar por intersecção
<ul style="list-style-type: none">• Procurar por intersecções dos conjuntos viáveis.• Impor restrições mínimas.
<ul style="list-style-type: none">• Procurar pela robustez conceitual.
3. Estabelecer a viabilidade antes do compromisso
<ul style="list-style-type: none">• Diminuir gradualmente os conjuntos enquanto o detalhamento aumenta.• Respeitar os conjuntos compromissados.
<ul style="list-style-type: none">• Controlar gerenciando a incerteza nos eventos de integração do processo.

Fonte: Sobek II et al. (1999)

7.1.1 1º Princípio: mapear o espaço de projeto

Mapear o espaço de projeto é caracterizar os conjuntos de alternativas usados no processo de convergência. Esse princípio é aplicado em dois níveis (SOBEK II et al., 1999):

- O primeiro é aplicado nos projetos individuais. Os engenheiros e projetistas exploram e comunicam muitas alternativas associadas com sua viabilidade, benefícios relativos ou custos para os sistemas e subsistemas do projeto e sua produção.
- O segundo é aplicado nas bases de conhecimento da empresa, onde os engenheiros capturam o que eles aprenderam de cada projeto através da documentação de alternativas, ábacos e normas técnicas.

Definir regiões viáveis

Os departamentos funcionais simultaneamente definem regiões viáveis conforme suas restrições. Cada departamento funcional determina as restrições iniciais do seu subsistema relativamente em paralelo e independente, com base em experiências passadas, análises, experimentos, testes e informações externas (vindas do engenheiro-chefe ou de outros grupos, como a engenharia de produção) (SOBEK II et al., 1999).

Os *checklists* de engenharia ou as normas de projeto são a materialização desse princípio. Cada área funcional mantém *checklists* que servem como guia em várias áreas, tais como: como funcionalidade, produtividade, normas governamentais, etc (SOBEK II et al., 1999).

Através do processo de desenvolvimento, os engenheiros usam os *checklists* para guiar o projeto e facilitar os eventos de integração. Se o projeto está de acordo com o *checklist*, o projeto quase que certamente estará de acordo com o nível de funcionalidade, produtividade, qualidade, etc. Do contrário, discrepâncias entre o *checklist* e o projeto tornam-se pontos de discussão entre os grupos funcionais (SOBEK II et al., 1999).

Explorar análises de *trade-offs* através de múltiplas alternativas de projeto

Os engenheiros da Toyota juntamente com os dos fornecedores exploram *trade-offs* por projeto e prototipagem ou simulando sistemas alternativos e

especialmente subsistemas para decidir entre as alternativas (SOBEK II et al., 1999).

Os ábacos mostram o relacionamento entre dois ou mais parâmetros, o que é mais útil que uma análise de *trade-off* com duas ou três alternativas discretas. Quando possível, os engenheiros extraem dados de protótipo para estabelecer relações matemáticas entre parâmetros de projeto e resultados de desempenho (SOBEK II et al., 1999).

Comunicar grupos de possibilidades

Comunicar os grupos de possibilidades capacita as áreas funcionais a entender as regiões viáveis das outras áreas (SOBEK II et al., 1999).

A engenharia da Toyota usa matrizes de projeto padrão, como mostrado na Tabela 7-2, para comunicar as alternativas de subsistemas ou para fornecer retorno às sugestões para os problemas de projeto (SOBEK II et al., 1999).

Em um eixo estão várias alternativas de projeto e no outro estão critérios chave para avaliação. A matriz contém o desempenho relativo das alternativas ao longo do critério. Podem ser usados critérios qualitativos ou quantitativos (SOBEK II et al., 1999).

Tabela 7-2: Matriz para comunicação de alternativas.

	Função 1	Função 2	Custo	Espaço	Etc.
X	O	O	Δ	X	
Y	Δ	X	Φ	O	
Z	O	Δ	Δ	Φ	

Φ – Excelente O – Aceitável Δ – Marginal X – Inaceitável

Fonte: Sobek II et al., (1999)

7.1.2 2º Princípio: integrar por intersecção

Como vários grupos funcionais começam a entender as considerações de suas próprias perspectivas e de outros, os times de projeto integram os subsistemas identificando as soluções viáveis para todos. A Toyota usa três estratégias distintas para a integração do sistema (SOBEK II et al., 1999).

Procurar por intersecções dos conjuntos viáveis

Tendo comunicado as possibilidades, os times podem procurar as intersecções de diferentes funções, ou seja, quando regiões viáveis se sobrepõem. Se a Toyota identificar uma intersecção, ela encontrou uma solução aceitável para todos (SOBEK II et al., 1999).

Uma abordagem da Toyota chamada *Nemawashi* ilustra esse princípio. *Nemawashi*, de um modo amplo, se refere à prática japonesa de fazer o trabalho de base para conseguir o consenso antes de formalmente escolher um curso a seguir. Mas o *Nemawashi* não somente busca o consenso, como também encontrar a melhor solução para o sistema. As áreas apresentam alternativas e solicitam informações das outras áreas funcionais afetadas, para identificar a melhor solução. Cada proposta é estudada e criticada, identificando assim quais soluções funcionam melhor na perspectiva de cada um e por quê. Por fim, sugestões de modificação e possíveis novas soluções são sugeridas. Por fim, coletam-se e integram-se as informações recebidas das áreas em um pacote que satisfaça a todos (SOBEK II et al., 1999).

Impor restrições mínimas

A Toyota frequentemente impõe as restrições mínimas necessárias em determinado momento, garantindo flexibilidade para uma futura exploração ou adequações que melhorem a integração (SOBEK II et al., 1999).

Esse tipo de abordagem é bastante frequente com fornecedores. Ela fornece informações a eles como: requisitos de desempenho, requisitos de interface e

metas de peso e de custo. O fornecedor projeta a “caixa preta” sem a intervenção da Toyota, tendo em vista que os requisitos e expectativas foram alcançados (SOBEK II et al., 1999).

As restrições mínimas são importantes porque os membros das equipes implicitamente reconhecem que mais de uma solução pode funcionar (SOBEK II et al., 1999).

Procurar pela robustez conceitual

A procura pela robustez conceitual significa criar projetos que funcionem independentemente do que o resto da equipe decida fazer. Se uma função pode criar um projeto que funciona bem com todas as possibilidades em outro grupo de funções, pode-se proceder adiante no desenvolvimento sem esperar informações adicionais. Essa estratégia pode diminuir consideravelmente o tempo de desenvolvimento e também prover outros benefícios como facilidade na atualização de módulos e facilidade de realização de serviços de manutenção (SOBEK II et al., 1999).

7.1.3 3º Princípio: estabelecer a viabilidade antes do compromisso

Todo o processo SBCE de desenvolvimento de produto pode ser visto como um sistema para preencher esse princípio: garantir que os projetos são viáveis antes de se comprometer com eles (SOBEK II et al., 1999).

Explorando muitos projetos em paralelo e gradualmente convergir para um único, a Toyota não só evita problemas posteriores, mas pode inteligentemente tomar decisões que aperfeiçoam o desempenho em nível de sistema (SOBEK II et al., 1999).

Diminuir gradualmente os conjuntos enquanto o detalhamento aumenta

O processo SBCE envolve não somente a geração e a comunicação dos conjuntos, mas um processo de decisão que gradualmente elimina possibilidades até a definição da solução final. Conforme o conjunto vai se tornando menor, a definição de cada ideia ou projeto se torna mais precisa conforme o detalhamento dos modelos. Seguindo esse caminho, o time de projetistas tem um entendimento mais completo das considerações relevantes antes do comprometimento com o projeto (SOBEK II et al., 1999).

As áreas diminuem seus respectivos conjuntos em paralelo, se comunicando para garantir que cada função convirja para a solução que integra com todo o sistema. Por fim, a eliminação de ideias em estágios permite aos participantes considerar as alternativas importantes mais por completo e dá a eles tempo para se influenciarem no processo de estreitamento das outras áreas (SOBEK II et al., 1999).

Respeitar os conjuntos comprometidos

O valor da comunicação sobre os conjuntos torna-se limitado caso um membro do grupo salte para uma solução fora do conjunto comunicado originalmente. Os participantes devem ficar dentro do funil para que os outros times possam continuar com o seu projeto sem se preocupar com mudanças que possam gerar retrabalho. Esse caminho só pode ser seguido se os times mantiverem conjuntos robustos que contenham pelo menos uma solução viável. Uma técnica para garantir a robustez dos conjuntos é sempre ter um projeto *backup*. Se uma nova solução não funcionar até certa data o time recorre à solução *backup* (SOBEK II et al., 1999).

Controlar gerenciando a incerteza nos *milestones* do processo

A Toyota gerencia esse processo através de uma série de *milestones*, cada um ligado a um evento de integração que traz todas as partes juntas, como por exemplo, um protótipo. A Toyota controla o nível de incerteza nesses *milestones*, reduzindo-a sucessivamente a cada *milestone*. A incerteza inclui o tamanho do conjunto ainda em consideração e a profundidade de conhecimento adquirido. Cada área do produto tem diferentes requisitos não fechados em diferentes estágios (SOBEK II et al., 1999).

Pense nos seguintes exemplos extremos para um avião: o motor e o interior. O motor é muito caro e possui *lead time* muito longo. Para a maioria dos programas aeronáuticos, o motor a ser usado é definido muito cedo. Assim, o *milestone* do motor acontece na fase conceitual. Já o interior, por outro lado, é relativamente mais simples de se projetar e fabricar e pode ter um *milestone* em uma fase mais tardia (SOBEK II et al., 1999).

7.2 Ábaco ou curvas de *Trade-off*

Um ponto importante a ser destacado é que é necessário que o conhecimento seja generalizado para o reuso. O ábaco é a melhor ferramenta para realizar essa tarefa. Através dele é possível evitar desperdícios de conhecimento e evitar falhas de projeto futuras, com o registro de dados passados de uma maneira fácil de serem usados (WARD, 2009).

Um bom exemplo de ábacos vem da segunda guerra mundial. O P-51 Mustang, talvez o melhor caça com motor a pistão já feito. Ele foi projetado e posto em produção em quatro meses. A questão chave desse desenvolvimento foi ter conhecimento da maioria dos ábacos antes do início do projeto. Por exemplo, antes da guerra a NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics* – antecessora da NASA) catalogou vários perfis de asa, com seus respectivos coeficientes de sustentação, arrasto em função do Número de Reynolds e ângulo de ataque (WARD, 2009).

Mas com o advento dos computadores, isso mudou, tendeu-se a usar o computador, com o qual um modelo era projetado, simulado, re-projetado, re-simulado, etc. A arte de montar ábacos foi perdida (WARD, 2009).

Acredita-se que o ábaco seja a ferramenta da Filosofia Enxuta menos divulgada fora da Toyota, provavelmente por ser uma das maiores fontes de diferencial competitivo. Trata-se de folhas (tipicamente no formato A3) que permitem resumir, de forma gráfica, toda a informação necessária para descrever um processo ou fenômeno. Normalmente um ábaco inclui uma figura da peça ou processo analisado, um gráfico mostrando as principais informações sobre este processo e um pequeno texto explicativo. O gráfico é o ponto chave, pois mostra os limites do que pode ou não ser feito com uma tecnologia particular. Mesmo se o processo descrito for originário de uma equação ou simulação, a representação gráfica é mais eficiente por ser visual, de simples entendimento e aplicação instantânea. Ou seja, é conhecimento utilizável, que pode ser aplicado como ferramenta de apoio em revisões de projetos, minimizando a necessidade de ensaios, análises e simulações (WARD, 2009).

As aplicações dos ábacos são inúmeras. Primeiro, como guias para um bom projeto, entende-se com melhor propriedade os fenômenos associados à determinada característica, possibilitando desenvolver o projeto de uma forma enxuta, com menos erros e maior eficiência. Com a utilização eles se tornam mais eficientes devido à adição de mais dados. Segundo, os ábacos também são importantes para permitir o entendimento e o treinamento de pessoas a respeito do projeto, permitindo a avaliação rápida de fornecedores e suas promessas durante negociações e, principalmente, para permitir o teste de conceitos antes do desenvolvimento, ou seja, avaliar os pontos possíveis de projeto antes de inicia-lo (através de simulações com pequenos protótipos ou modelos), ao invés do convencional projetar para testar, onde, em última análise, é necessário apenas “torcer” para que o projeto (já feito) atenda às especificações (WARD, 2009). A Figura 7-4 mostra um exemplo de ábaco.

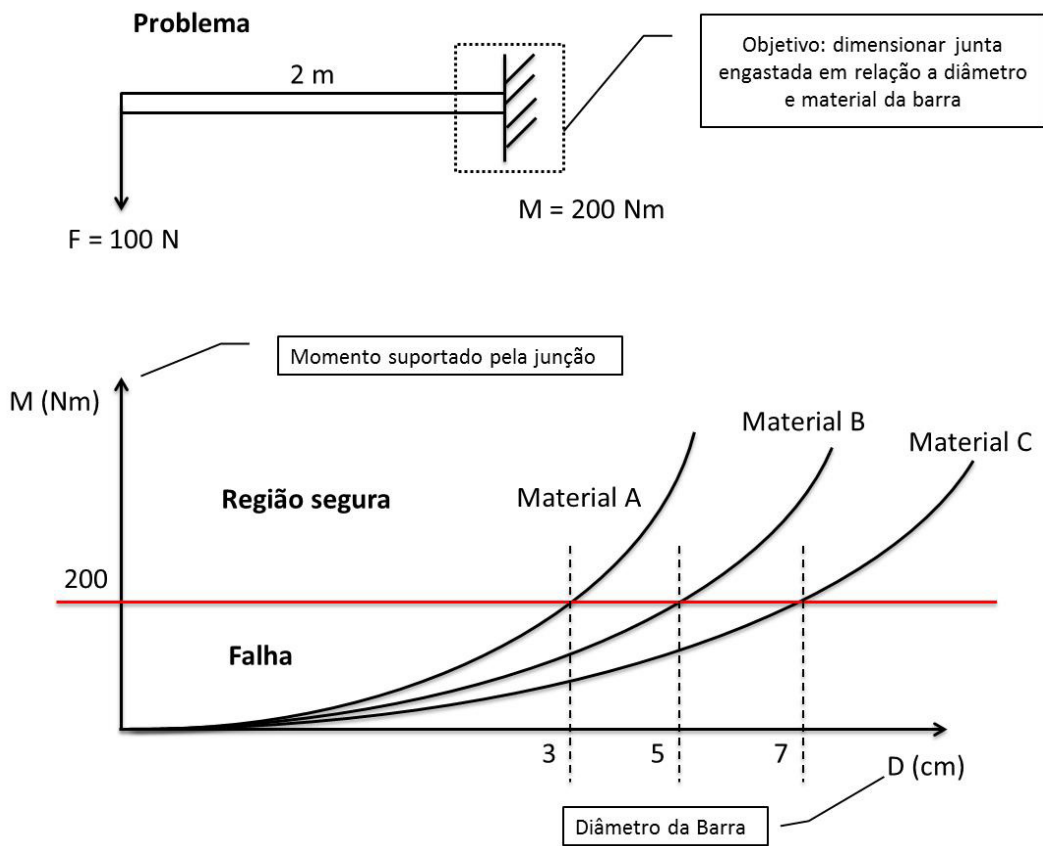


Figura 7-4: Exemplo de ábaco.

7.3 Modelo de caracterização da SBCE

Todas as três fontes principais Kennedy (2003), Ward (2009), e Morgan e Liker (2008) apresentam o LPDS com abordagens pouco diferentes, sendo que Morgan e Liker discretizaram mais o sistema, enquanto Ward e Kennedy apresentaram um modelo mais simples. Por fim todos os três grupos de autores apresentam o conhecimento como ponto central do sistema suportado por quatro pilares importantes: a SBCE, engenheiro-chefe, pessoal especializado e fluxo puxado e cadenciado.

A geração do conhecimento acontece em todas as fases do produto, contudo essa vazão de conhecimento tem um amplificador que está presente em todo início de projeto, a SBCE. A Figura 7-5 mostra o aumento de conhecimento ao longo dos ciclos de desenvolvimento mostrando a alimentação da fase anterior na seguinte.

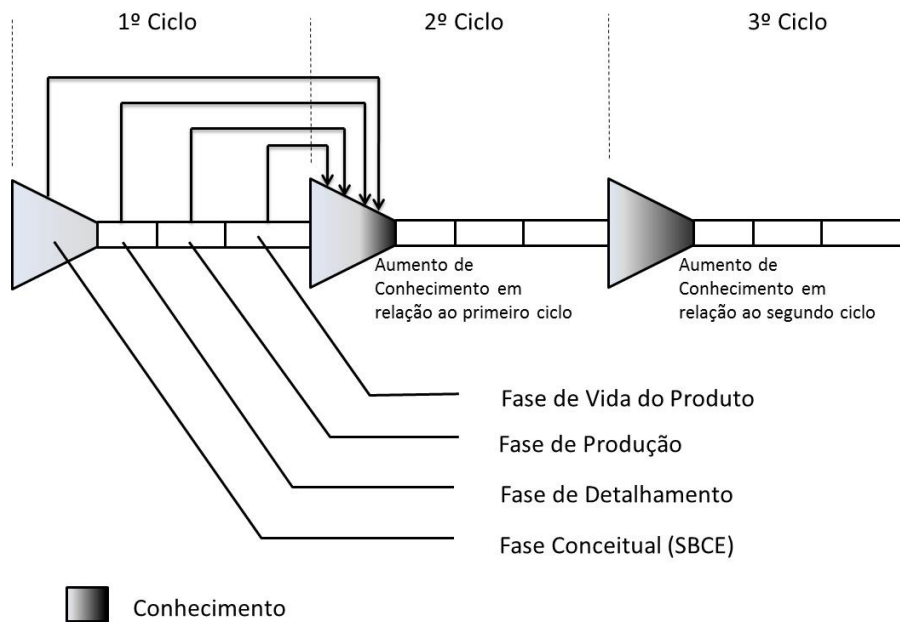


Figura 7-5: Fluxo de conhecimento ao longo dos projetos.

Para fazer o processo da SBCE com o máximo de aproveitamento é necessário ter todo o LPDS funcionando. Mas cada uma das partes do sistema possui um nível de envolvimento diferente. A Figura 7-6 representa o modelo de caracterização da SBCE. Ele mostra o nível de influência de cada parte no processo da SBCE, que aumenta com a proximidade com o centro do alvo.

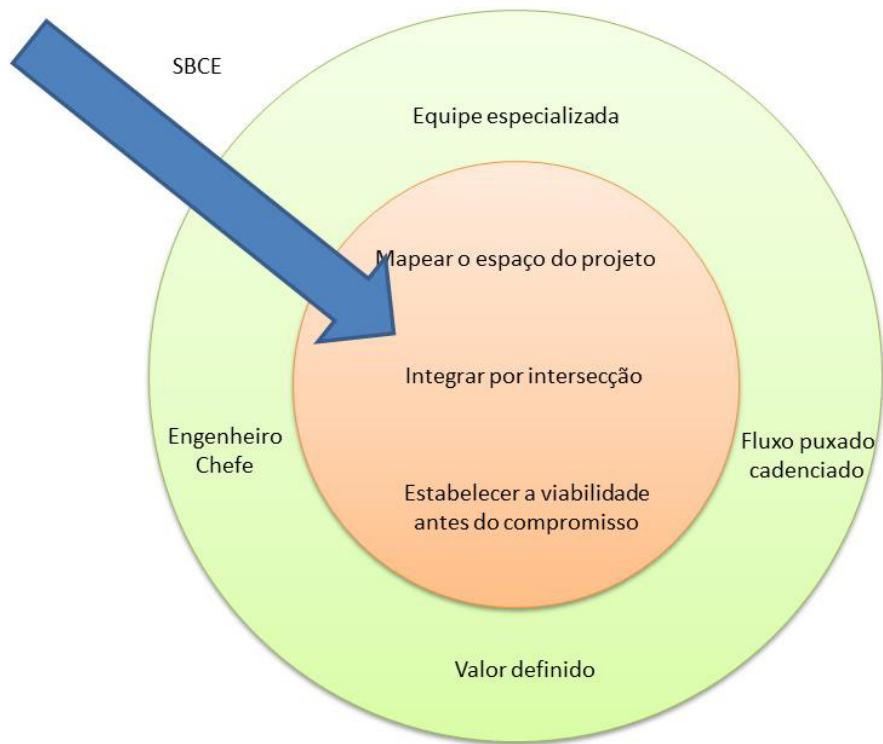


Figura 7-6: Modelo de caracterização da SBCE.

8 ANÁLISE DE RESULTADOS

8.1 O estudo da Filosofia Enxuta no desenvolvimento de produtos

Esse trabalho estudou o desenvolvimento de produto de uma maneira geral e em seguida foi feita uma introdução da função de projeto do desenvolvimento de produtos complexos do ramo aeroespacial com base em documentação da Agência Europeia Espacial (normas ECSS). Posteriormente foi apresentada a história da Filosofia Enxuta e sua aplicação ao desenvolvimento de produto, com base em três autores que discorrem sobre o assunto em artigos e livros.

Pode-se dizer que a Filosofia Enxuta surgiu nas décadas de 1950 e 1960, com Deming, Juran e Feigenbaum aplicando os princípios da qualidade, apresentados nesse trabalho, como os princípios do TQM. Ela foi aprimorada pelas indústrias do Japão, principalmente pela Toyota, a qual possuía condições precárias para o seu desenvolvimento, o que a forçou a trabalhar de uma maneira diferente das indústrias americanas, que possuíam recursos em abundância. Somente mais tarde, no final da década de oitenta, que o termo Sistema Enxuto de Produção apareceu e a Filosofia Enxuta foi cunhada com seus princípios em Womack (2003). A visão da aplicação da Filosofia Enxuta no desenvolvimento de produto surgiu posteriormente com estudos na área.

Verificou-se que o LPDS é um sistema matricial forte, no qual há o *heavyweight product manager* ou engenheiro-chefe, com sua equipe integrando as áreas funcionais do início ao fim. Viu-se a presença de *phase gates* no ciclo de desenvolvimento de produto da Agência Espacial Europeia. Eles basicamente informam quais tarefas devem estar fechadas em cada momento específico durante o projeto e podem causar o desperdício da espera, conforme mostrado na Seção 6.1. Porém, esse problema pode ser mitigado acrescentando eventos de integração ao longo das fases de projeto e os próprios *phase gates* podem ser adaptados para ter determinados conhecimentos disponíveis, o que fica alinhado com o conceito do fluxo puxado, um dos elementos do LPDS. Seguindo-se o modelo apresentado na Figura 4-6, o processo de afunilamento

das alternativas da SBCE estaria localizado entre o evento de integração MDR, onde há a confirmação dos requisitos da missão, e o PDR, que é o evento anterior ao detalhamento do projeto. É importante ressaltar que tanto as opções de sistema quanto de subsistema devem estar abertas logo após o MDR para aumentar as chances de sucesso. A mesma analogia pode ser feita tendo como base o processo genérico de desenvolvimento de produto. O processo de afinamento da SBCE estaria localizado na fase de desenvolvimento conceitual e na fase de projeto em nível de sistema, veja Tabela 4-1.

No final do Capítulo 6, como um dos resultados do trabalho, são apresentados os princípios do LPDS definidos com base em estudos de fontes que tratam o LPDS de maneiras diferentes e uma figura que esquematiza o LPDS de uma maneira simples de se visualizar. Basicamente, esses princípios sintetizam o fluxo do conhecimento no projeto e entre projetos através da SBCE, com o suporte das equipes especializadas ganhando experiência a cada ciclo. Por outro lado, o Engenheiro-chefe tem a qualidade e função de entender o valor do cliente, integrar as áreas funcionais e cadenciar o fluxo puxado através de eventos de integração naturais e pré-definidos durante o desenvolvimento de produto. Kennedy (2003) entende que o próprio sistema baseado na melhoria do conhecimento eliminaria automaticamente o desperdício; é bem provável que isso aconteça, porém a classificação dos desperdícios colocada por Ward (2009), Figura 6-1, ajuda na separação do valor agregado e do desperdício, permitindo o aumento de produtividade. Por fim, adquirir a cultura para a melhoria contínua do aprendizado e da redução de desperdícios com a integração do engenheiro-chefe em um fluxo puxado cadenciado leva a um LPDS.

O modelo de caracterização da SBCE, outro resultado desse trabalho, estruturado na Figura 7-6, apresenta os seus princípios como itens centrais do modelo. Ou seja, o mapeamento do espaço do projeto, a integração por intersecção e a garantia da viabilidade da solução antes do compromisso

formam o corpo central do modelo. Contudo, ele não funcionará de uma maneira adequada se todo o LPDS não estiver estruturado. Assim, o engenheiro-chefe, a equipe especializada, o fluxo puxado cadenciado e o valor definido completam o modelo de caracterização da SBCE.

8.2 Avaliação da adequação de projetos do setor aeroespacial à SBCE

Nessa Seção, serão apresentados resultados de pesquisas realizadas em instituições que desenvolvem produtos de alta complexidade.

Ambas as instituições, aqui chamadas de “A” e “B”, são consideradas de grande porte, com mais de mil funcionários, e são especializadas em desenvolvimento de produtos de alta complexidade.

O objetivo da pesquisa é entender quão próximas essas instituições estão em relação ao LPDS e principalmente à SBCE para apresentar sugestões de melhoria.

A pesquisa realizada nesse trabalho pode ser classificada como uma pesquisa aplicada e exploratória (Silva, 2001), visto que entrevistas foram usadas como instrumento de coleta de dados. As amostras são intencionais e a entrevista é usada como instrumento de coleta de dados. Ela é estruturada com roteiro previamente estabelecido e é feita com pessoas que tiveram experiências práticas com o assunto pesquisado.

A pesquisa foi realizada através de um questionário de 24 perguntas relacionadas aos elementos do modelo de caracterização da SBCE apresentados na Seção 6. A Tabela 8-1 apresenta a relação entre eles.

Tabela 8-1: Relação do questionário com os elementos do LPDS.

<u>Elementos do modelo de caracterização da SBCE</u>	<u>Perguntas Relacionadas</u>
Mapear o espaço de projeto.	4; 5; 12; 16; 17; 18; 19.
Integrar por intersecção.	10; 13; 15.
Estabelecer a viabilidade antes do compromisso.	11; 14.
Engenheiro-chefe.	22; 23; 24.
Equipes altamente qualificadas.	1; 2; 3; 6.
Valor definido.	8; 9.
Ter cadência e fluxo puxado.	7; 20; 21.

Na instituição “A” foram feitas cinco entrevistas com engenheiros-chefe, engenheiros seniores e diretores. Na instituição “B” foram feitas duas entrevistas com engenheiros seniores. O critério de escolha dessas pessoas foi baseado no conhecimento que elas possuem em relação ao processo de desenvolvimento de produto da instituição propriamente dita. As entrevistas foram gravadas em áudio e estruturadas para uma duração média de uma hora.

A Seção 8.2.1 apresenta os resultados da pesquisa conforme os elementos do modelo de caracterização. O anexo I apresenta o questionário respondido na instituição “A”, e o anexo II, o questionário da instituição “B”.

8.2.1 Resultados da pesquisa

Mapear o espaço do projeto

Instituição “A”

Nas fases iniciais, todas as partes responsáveis pelos subsistemas conhecem o sistema como um todo, sendo que todos os conjuntos de possibilidades são comunicados por cada função dentro do time de trabalho.

Os ábacos internos (produzidos na instituição) tem uma concentração de uso maior nas fases iniciais do projeto, porém existe uma tendência de aumento de

seu uso nas fases posteriores. Frequentemente, um ábaco que estabelece uma relação entre dois ou mais parâmetros é mais útil que uma análise com duas ou três alternativas.

Os engenheiros sêniores de carreira técnica ajudam na integração e são responsáveis por trazer lições aprendidas dos programas anteriores para o em vigor.

Instituição “B”

A arquitetura é definida em nível de sistemas e os subsistemas são desenvolvidos após o congelamento do sistema. Uma boa sugestão de melhoria para esse caso seria o adiamento do congelamento do sistema para que as soluções de subsistemas trabalhassem em conjunto com as soluções de sistemas. Essa abordagem pode aumentar as chances de se projetar um produto melhor em um curto espaço de tempo.

As lições aprendidas não são registradas, havendo dependência do conhecimento que está com as pessoas. Uma pessoa nova possivelmente sofrerá problemas já vividos anteriormente. Para resolver esse ponto, pode-se criar um banco de lições aprendidas e sempre transferi-las para os processos das áreas funcionais, de modo a garantir que elas estejam sendo utilizadas para projetar o novo produto.

Integrar por intersecção

É fundamental ter uma engenharia experiente para trabalhar com requisitos abertos. Não é recomendável pedir para a equipe manter requisitos abertos, o ajuste de detalhamento do requisito varia de caso a caso, sendo que há necessidade de engenheiros experientes para avaliar a situação.

Na relação com fornecedores é importante conhecê-los de modo a compreender sentir o nível de detalhamento dos requisitos. Fechando muito o

requisito, o fornecedor fica sem margem de trabalho e mantendo-o muito aberto, ele pode lhe entregar um equipamento diferente do imaginado.

Fazendo correlação com a Toyota: ela aplica o princípio das restrições mínimas na comunicação dos requisitos “caixa preta” para seus fornecedores. Ela provê aos seus fornecedores: informações como requisitos de desempenho; interface; custo; e peso alvo (alto nível). O fornecedor, então, projeta a “caixa preta” sem a intervenção da Toyota. Para fazer esse trabalho junto com o fornecedor, é preciso ter confiança nele.

Instituição “A”

As soluções de cada área são apresentadas a todos e chega-se a solução final através da intersecção, além de existir a consciência da aplicação dos ábacos.

Busca-se usar uma solução somente após a certeza de que ela é robusta, mas existe certo risco, normalmente em função do prazo de lançamento do produto que é muito curto. Isso é um problema e há casos em que a solução foi definida pela limitação de tempo, mantendo uma mitigação do risco ao longo do tempo. Para esse caso, a SBCE prega que a solução deve ser atrasada até a certeza da solução escolhida, para não correr o risco de ter que refazê-la mais a frente no projeto. Nesse ponto, a cultura da instituição ditará a estratégia a ser seguida, isso justifica o motivo pelo qual a cultura faz parte dos elementos do LPDS.

Instituição “B”

Os conjuntos de possibilidades não são integrados por intersecção. Existe uma definição em nível de sistema que é levada para a definição dos subsistemas, os quais são projetados em paralelo.

Preferencialmente, procura-se uma solução já utilizada anteriormente. Se for necessário desenvolver uma nova, é preciso provar que ela é melhor.

Essa instituição pode ganhar desempenho protelando a definição da solução de sistema, de modo a trabalhar em paralelo com as definições dos subsistemas.

Estabelecer a viabilidade antes do compromisso

Um dos engenheiros-chefe entrevistados comentou sobre uma mensagem importante que recebeu em um seminário de práticas enxutas. A mensagem que lhe valeu todo o dia foi protelar as suas decisões ao máximo possível, principalmente na fase de definição conjunta da maioria dos subsistemas com os fornecedores. Antes disso, ele tinha o sentimento que teria que fechar os itens o mais rápido possível. Esse atraso nas tomadas de decisões é sempre auxiliado por perguntas com a finalidade de saber sempre o porquê das coisas, para decidir na hora certa, não mais tarde que isso, o que é muito difícil, visto que é necessário ter conhecimento para saber o ponto exato da tomada de decisão, além de controlar a pressão por resultados. Isso requer muita experiência do engenheiro-chefe, sendo um dos seus principais desafios.

Instituição “A”

Busca-se explorar mais soluções o mais cedo possível, mas percebe-se que há espaço para melhorias aumentando a quantidade de ensaios; hoje o costume de simulação é maior. Mas, mesmo a simulação já é um bom sinal para a decisão entre alternativas em nível de sistema e subsistema. Percebe-se que nos últimos desenvolvimentos, a quantidade de protótipos dos subsistemas aumentou consideravelmente.

Os conjuntos de possibilidades são conhecidos por todos nas fases iniciais, ou seja, cada um conhece não só o seu sistema, como também tem a visão do todo, e as análises das possíveis soluções são feitas em eventos de integração, onde toda a equipe está presente. Esse é o processo de decisão que gradualmente elimina possibilidades até a chegada da solução final pregada pelos princípios da SBCE.

Instituição “B”

Existem possíveis ganhos no aumento das chances de sucesso e no tempo do projeto ao se trazer as soluções dos subsistemas para serem discutidas juntas com as do sistema. Além disso, não descartar as soluções enquanto não houver certeza de que elas servem para o projeto também pode trazer ganhos.

De uma forma conservadora, preferencialmente, busca-se usar soluções de projeto já utilizadas anteriormente, caso seja necessário usar uma nova solução, é necessário mostrar e provar que ela funciona. Isso é muito bom, está diretamente ligado à SBCE. Porém, é necessário registrar as lições aprendidas e generalizar o conhecimento adquirido nos projetos anteriores em ábacos ou *checklists* para o uso no processo.

Engenheiro-chefe

Tanto na instituição “A” quanto na “B”, o engenheiro-chefe é uma posição técnica e sempre é ocupada por uma pessoa com experiência, que lidera através da influência pessoal.

Na instituição “A”, um ciclo de desenvolvimento completo é guiado por dois engenheiros-chefe. O primeiro é especializado em estruturar o conceito inicial do produto para ser aprovado para a continuação do desenvolvimento. Uma vez aprovado, existe uma fase de transição, onde os dois engenheiros-chefe trabalham em conjunto para o engajamento do engenheiro-chefe que levará o desenvolvimento até o início da fase seriada. Na instituição “B”, um único engenheiro-chefe segue com o produto do início ao fim.

Treinar os engenheiros-chefe dessas instituições em SBCE pode auxiliá-los nas tomadas de decisões ao longo do desenvolvimento do projeto.

Equipes altamente qualificadas

Instituição “A”

As equipes que trabalham nas primeiras fases possuem um nível de experiência bem alto que, de preferência, são pessoas que já participaram de todas as fases do desenvolvimento. Elas têm conhecimentos técnicos que podem ser obtidos da documentação do processo, *checklist*, ábacos e manuais de prática. Além disso, ainda existe a transferência de conhecimento tácito que acontece no dia-a-dia. Apesar dos engenheiros das primeiras fases conhecerem o conceito da SBCE, é importante que todos sejam treinados para que essa filosofia seja aplicada em nível de componente de uma forma mais consciente.

Instituição “B”

As pessoas com mais experiência estão alocadas nos subsistemas, enquanto que, no nível de sistemas, existem pessoas com menos experiência. Esse é um ponto de sugestão de melhoria, visto que se pode ganhar desempenho alocando pessoas mais experientes nas primeiras fases do projeto, ou seja, em nível de sistemas.

Existe transferência do conhecimento tácito no dia-a-dia, porém é preciso registrar esse conhecimento para que ele não seja perdido com as pessoas.

Valor definido

Instituição “A”

O valor do cliente é capturado, desenvolvido e disseminado com clareza. Eles são capturados através de *workshops* com os clientes. Porém, essa captura é feita por uma determinada área, que por sua vez, filtra as informações obtidas dos clientes para a engenharia. Aproximar a engenharia do cliente, retirando esse filtro, é um ponto de sugestão de melhoria.

Na interação com o cliente são usados modelos em abundância para melhorar a interação com o cliente, percebe-se que as análises feitas em papel ou em computador não são suficientes, sendo preciso realizar ensaios em *mockups* de madeira ou isopor para suprir informações que não são encontradas em cálculos ou simulações.

Instituição “B”

A interação com o cliente através de modelos é pequena, devido ao tipo de produto produzido por esta instituição.

Ter cadência e fluxo puxado

Instituição “A”

Os *checklists* de projeto e engenharia ajudam a diminuir a quantidade de retrabalho, assim como bibliotecas de soluções e procedimentos que auxiliam na solução de problemas recorrentes. Um ponto de melhoria seria diminuir a facilidade que se tem em criar um componente novo e, também, diminuir a dificuldade burocrática que se tem para reusar um componente já liberado para outro produto. Com isso, pode-se ganhar com o reuso de soluções previamente liberadas para resolver um problema atual.

Pode-se dizer que os ciclos de desenvolvimento para novos produtos estão relativamente padronizados, diferentemente do que acontece com os ciclos de melhoria e correções de produtos já existentes, prejudicando o fluxo cadenciado dos projetos. A sugestão de melhoria seria classificar os projetos, com base em critérios pré-estabelecidos, para ajudar no estabelecimento de uma cadência. Um bom critério de classificação é o esforço necessário para finalizar o projeto.

Instituição “B”

Percebe-se um conservadorismo, visto que se buscam soluções previamente usadas em programas anteriores. O registro do conhecimento é um ponto importante a ser verificado.

Os fornecedores são historicamente novos em cada projeto. Assim, busca-se fechar os requisitos ao máximo, para que não haja problemas futuros com eles. A sugestão de melhoria nesse caso seria trabalhar com os mesmos fornecedores por mais tempo. Havendo um aumento de confiança no trabalho deles, e conseqüentemente, permitindo uma melhoria no trabalho realizado em conjunto com eles, trazendo-os mais próximos do processo da SBCE.

9 CONCLUSÃO

Para que uma instituição que desenvolve produtos pratique a SBCE, ela precisa conhecer os conceitos do LPDS como um todo. No final da Seção 6.2, são apresentados os sete elementos que sintetizam as visões das principais referências sobre o assunto. Assim, um Sistema de Desenvolvimento de Produto que possui uma equipe funcional e um engenheiro-chefe qualificados tecnicamente, com a SBCE sendo praticada para alcançar o valor definido junto com o cliente em um fluxo puxado e cadenciado, tem-se um LPDS. Esse sistema dinâmico deve estar sempre em melhoria contínua e, finalizando, a incorporação da cultura do LPDS nas pessoas, que fazem parte do time de desenvolvimento do produto, é fundamental para a sustentabilidade desse sistema.

A Seção 7.3 apresenta o modelo de caracterização da SBCE com o foco nos seus três princípios, sustentados pelos pilares do engenheiro-chefe, da equipe especializada, do fluxo puxado cadenciado e do valor definido. Percebeu-se que não é possível praticar a SBCE sem os outros elementos do LPDS.

Esse conceito deve ser patrocinado pela direção da instituição para que seja feita uma mudança cultural. Os engenheiros-chefe devem conhecer bem o seu papel de maestro na condução do fluxo de valor até o cliente final.

Eventos de integração devem ser introduzidos ao longo das fases de projeto para cadenciar o fluxo puxado com a quantidade de conhecimento necessária em cada momento do projeto. Os próprios *phase gates* podem ser adaptados para funcionar como eventos de integração.

As áreas funcionais devem ter ciência da importância em transformar o conhecimento aprendido em reutilizável, registrando-o principalmente em ábacos de engenharia e fazendo deles parte do processo.

Três pontos, que por si só podem fazer uma grande diferença, devem ser ressaltados na prática da SBCE em um projeto:

1. No momento em que foi capturada a necessidade do cliente, o leque de alternativas deve ser aberto não só no nível de sistema, mas também no de subsistema, para que o nível de confiabilidade do projeto aumente.
2. O engenheiro-chefe deve tomar suas decisões no momento certo, postergando-as até o momento de se ter certeza de que o caminho escolhido é o melhor.
3. Ao mesmo tempo em que é prudente adiar a tomada de decisão enquanto não se tem todos os dados necessários, deve-se trabalhar para conseguir esses dados o mais rápido possível.

Na pesquisa de campo, a instituição “A” possui um nível de aplicação da SBCE maior que a instituição “B”, porém ambas têm pontos de melhoria. Na instituição “A”, não são todos os engenheiros-chefe que conhecem o conceito e sem eles não há SBCE. A instituição “B” pode ter um grande ganho no registro do conhecimento adquirido nos projetos anteriores para uso nos mais novos e outra sugestão seria antecipar para a fase de definição de sistemas as análises dos subsistemas, visando aumentar as opções já no início do projeto.

A pesquisa de campo possui limitações devido à pequena amostra de entrevistas, porém é suficiente para dar uma boa visão do LPDS nas instituições pesquisadas.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se estudar mais detalhadamente a SBCE na relação com o fornecedor e também estudar problemas específicos para a criação de ábacos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLARK, B; FUJIMOTO, T. **Strategy, organization, and management in the world auto industry**. Boston: Harvard Business School Press, 1991.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS – E-ST-10C space engineering** – system engineering general requirements. [S.I.], Mar. 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS – M-ST-10C Rev. 1 space project management** – project planning and implementation. [S.I.], Mar. 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS – M-ST-40C space project management** – configuration and information management: March 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS – P-00A standarization policy**. [S.I.], Apr. 2000.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS – Q-ST-20C space product assurance** – quality assurance. [S.I.], Nov. 2008.

FOX, B.; BRANCATO, K; ALKIRE, B. **Guidelines and metrics for assessing space system cost estimates**. USA: Rand Corporation, 2008.

KENNEDY, M. **Product development for the lean enterprise: why Toyota's system is four times more productive and how you can implement it**. Richmond: The Oaklea Press, Apr. 2003.

KENNEDY, M.; HARMON, K; MINNOCK, E. **Ready, set, dominate** – implement Toyota's set-based learning for developing products and nobody can catch you. Richmond: The Oaklea Press, 2008.

INCOSE, SE Handbook Working Group. **Systems engineering handbook** – a guide for system life cycle processes and activities. San Diego: October 2011.

MORGAN, J.; LIKER, J. **Sistema Toyota de desenvolvimento de produto** – integrando pessoas, processo e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MURMAN, E. et al. **Lean enterprise value** – insights from MIT's lean aerospace initiative. New York: Palgrave, 2002.

OPPENHEIM, B.; MURMAN, E.; SECOR, D. **Lean enablers for systems engineering**. Wiley InterScience. DOI 10.1002/sys.20161. Disponível em: www.interscience.wiley.com: November 2009.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. Pennsylvania, 2008.

SILVIA, E.; MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SOBEK II, D; WARD, A.; LIKER, J. **Toyota's principles of set-based concurrent engineering**. Cambridge: Sloan Management Review, 1999.

SOUZA, P. **Aspectos do processo de desenvolvimento de satélites artificiais**. São José dos Campos: INPE, Maio de 2009.

SUGIMORI, Y., KISUNOKI K, CHO F., UCHIKAWA S. Toyota production system and kanban systems—materialization of just-in-time and respect-for-human systems. **International Journal of Production Research**, v.15, n. 6, g. 553–564, Japan, 1977.

THOMKE, S.; FUJIMOTO, T. The effect of “front-loading” problem-solving on product development performance. **J Prod Innon Manag**, v. 9, n.2, p. 154-168, New York, 2000.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill/Irwin, May, 2012.

UZAIR, K. **Development of a framework for comparing performance improvement**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2001.

WARD, A. **Lean product and process development**. Cambridge: The Lean Enterprise Institute Inc., Sept. 2009.

WARD, A; LIKER, J; CRISTIANO, J; SOBEK II, D. **The second Toyota paradox**: how delaying decisions can make better car faster. Pg. 43. Sloan Management Review: 1995.

WHEELWRIGHT, S.; CLARK, K. **Revolutionizing product development – quantum leaps in speed, efficiency, and quality**. New York: The Free Press, 1992.

WORMARK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **The machine that changed the world**. New York: The Free Press, 1990.

WOMACK, J.; JONES, D. **Lean thinking** – banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press, 2003.

ANEXO I

Questionário realizado com a instituição “A”:

- 1. Qual é o nível de experiência das pessoas que trabalham nas primeiras fases do projeto?**

O nível de experiência das pessoas que trabalham nas fases iniciais do projeto é bem alto. De preferência, devem ter participado de todas as fases do desenvolvimento, incluindo a série, visto que é necessário ter uma visão muito abrangente de todos os aspectos ligados aquele produto.

Observação: Ele tem consciência do peso das pessoas experientes no desenvolvimento.

- 2. As equipes são treinadas em resolução de problemas?**

O treinamento em resolução de problemas foi feito com as pessoas responsáveis pela integração dos times, porém existe a meta de treinamento de todos no time.

- 3. Nessa instituição é promovida a padronização do conjunto de habilidades baseadas em treinamento e monitoramento?**

Padronização para organizar as atividades. Padronizar muito pode podar a inovação.

- 4. Nessa instituição existe um efetivo corpo de conhecimento que é histórico, pesquisável, compartilhado pelo time e uma estratégia de gerenciamento de conhecimento para habilitar o compartilhamento de dados e informações dentro da instituição?**

A instituição possui um corpo de conhecimento pesquisável. É um dos pontos mais importantes, principalmente nas fases iniciais, para saber quais são as fronteiras do conhecimento. O conhecimento é formalizado em forma de manuais de projeto, *checklists*, ábacos, etc.

A grande dificuldade é usar toda informação disponível. Os eventos de integração coletam uma grande quantidade de informação valiosa. Os requisitos hoje estão todos

cadastrados em uma base de dados e o controle de configuração gerencia uma grande parcela desse banco de informações.

Observação: Um dos entrevistados tem a opinião de que os dados não precisam ser integrados ao processo, mas apenas organizados para serem encontrados de uma maneira mais fácil.

5. Esses dados são tratados e integrados o máximo possível?

Engenheiros sêniores de carreira técnica ajudam bastante na integração através de participação em eventos de integração, além de serem responsáveis em trazer lições aprendidas dos programas anteriores para o programa atual.

6. Como o conhecimento é transmitido de pessoa a pessoa de uma mesma função?

Através do registro das melhores práticas, *checklists*, ábacos e no dia-a-dia, dependendo de quem está fornecendo e recebendo a informação.

Nas fases iniciais, além da preocupação no registro do conhecimento, busca-se também cuidar do conhecimento tácito, colocando sempre uma pessoa menos experiente junto a uma mais experiente, com o objetivo de se realizar uma mentoria no dia-a-dia. Complementando esse processo, quando a pessoa mais experiente estiver a cinco anos da aposentadoria, ela entra em um programa de transferência de conhecimento tácito para o seu sucessor.

7. A padronização de projetos é promovida com *checklists* de engenharia, arquitetura padrão, modularização e plataformas?

Sim, por exemplo, utiliza-se a padronização através de diversos *checklists* de projeto e engenharia na verificação de requisitos. Os projetistas procuram usar soluções prontas para determinado tipo de problema quando possível.

Existem bibliotecas de soluções e procedimentos chamadas Manuais de Prática que auxiliam na solução de problemas na engenharia.

Um ponto de melhoria está na facilidade que se tem em criar um componente novo e a dificuldade que se tem para reusar um componente já liberado para outro produto.

Em produtos que já estão no mercado é possível encontrar soluções diferentes para um mesmo problema em produtos diferentes e até mesmo dentro do mesmo produto.

8. Existe um processo robusto de captura, desenvolvimento e disseminação do valor do cliente com extrema clareza?

Sim, para a geração de requisitos existe um processo de captura de requisitos, no qual são feitos *workshops* com os clientes para compreender suas expectativas. Existe uma área responsável por isso e por transmitir as necessidades dos clientes para dentro da instituição. Só que ela não é o cliente final e acaba funcionando como um filtro. Sente-se falta da participação do cliente final nas fases a posteriori do desenvolvimento. Quando eles são envolvidos já existe um conceito preliminar formado.

Em desenvolvimentos recentes selecionou-se em torno de cinco requisitos mortais dentre centenas para servir como norteadores das ações, neles estão o valor principal do cliente que precisa ser totalmente alcançado. Eles são usados para explicitar ao time o principal valor do cliente.

Times de suporte ao produto em campo são alocados nas fases de definição para trazer experiências com produtos anteriores e transformá-las em requisitos para o novo produto.

9. São usados modelos para representar os sistemas (ferramentas CAE 3D, *mockups*, protótipos, simulações, etc), permitindo assim uma melhor interação com o cliente e extrair dele seus requisitos?

São usados em abundância modelos (*mockups*, protótipos, ferramentas CAE 3D) para melhorar a interação com o cliente.

Às vezes percebe-se que as análises feitas em papel ou em computador não são suficientes, sendo preciso realizar ensaios em *mockups* de madeira ou isopor para suprir informações que não são encontradas em cálculos ou simulações.

10. Quando possível, existe a preocupação em se fazer requisitos abertos/faixas?

A construção de requisitos por faixas não é feita de uma maneira sistemática, mas com o auxílio de pessoas de maturidade bem alta é possível flexibilizar um requisito ou um parâmetro para ter um benefício global maior.

Por outro lado, deixando o requisito mais aberto pode dar margem ao fornecedor especificar algum ponto relacionado a um requisito mais aberto que pode dar problema em algum momento no futuro. Assim, o trabalho com requisitos mais abertos tem que ser bem pensado e fechá-los quando necessário. É um balanço entre fechar muito e o fornecedor não ter muita margem de trabalho e deixar mais aberto com aumento do risco de um problema futuro.

Assim, os requisitos que devem ser fechados são fechados e aqueles que podem ficar abertos ficam abertos e o fornecedor pode vir a fornecer mais alternativas para aquele determinado sistema.

Não é possível orientar a equipe para deixar os requisitos abertos. Depende do caso, por isso pessoas experientes, que enxergam todo o desenvolvimento, são necessárias para trabalhar melhor os requisitos.

O formato e a filosofia do documento que rege os requisitos passados para os fornecedores atualmente não é simplesmente um desejo que se forneça um sistema que funcione e que seja certificado (requisitos de alto nível), e muito menos um requisito detalhado (requisito de baixo nível), já praticado em programas anteriores. Atualmente, esse documento possui um nível de detalhes intermediário com um ajuste fino feito pelos engenheiros mais experientes.

A fase do ciclo de desenvolvimento onde há a definição conjunta dos subsistemas com os fornecedores começa com a apresentação de um documento com os requisitos de alto nível, tem duração de aproximadamente um ano, são realizados *trade-offs* dos vários sistemas para no final ser apresentado um documento com um conjunto de requisitos mais fechados.

Há também a flexibilização de requisitos classificando-os como mandatório e desejável, e a flexibilização no tempo no qual os requisitos são gerados mais a frente, quando se tem uma visão melhor do mercado e do que o produto consegue entregar.

Mais uma vez requer experiência do time para que isso seja feito de uma maneira adequada.

11. São exploradas várias soluções, arquiteturas e projetos o mais cedo possível?

Sim, são exploradas várias arquiteturas o mais cedo possível, são realizados vários *trade-offs*, mas há espaço para melhorar. Os subsistemas mais relevantes, de maior valor para o sistema e que tem a capacidade inerente de restringir o projeto dos outros subsistemas, são definidos mais cedo, seguidos dos subsistemas no ciclo de desenvolvimento.

Têm situações que, de um modo geral, nas fases iniciais você estaria menos pressionado. Isso é uma ilusão, porque tudo que você deixou de ganhar, talvez você esteja perdendo em uma fase posterior. As fases mais adiante possuem uma pressão para convergir ainda maior, visto que a meta não está longe.

A condição de se postergar uma decisão varia de caso a caso, tem caso que não dá para esperar e é necessário assumir o risco, utilizando-se de técnicas de gestão de risco, e caso que não dá para assumir o risco.

12. Os conjuntos de possibilidades são comunicados por cada função dentro do time de trabalho?

Nas fases iniciais, todas as partes responsáveis pelos subsistemas, conhecem não só a sua área, mas também devem ter a visão do sistema como um todo.

Dependendo da fase do projeto são realizadas análises de possíveis soluções (*trade-offs*) talvez as dezenas ou centenas. Isso é feito nos eventos de integração onde está toda equipe para compartilhar os desafios nos detalhes.

13. Os conjuntos de possibilidades são integrados por intersecção para se chegar à solução final?

As soluções de cada área são apresentadas a todos e chega-se a solução final através da intersecção. Existe um trabalho inicial de nivelamento do conhecimento antes de desenvolver as soluções para conhecer o que cada área pode desempenhar. Se todos os times chegam à conclusão de que uma determinada área precisa fazer uma

inovação (aumentar o seu conjunto de soluções) para chegar a um produto melhor, então isso é feito. Existe a situação de se antecipar um ensaio para ampliar a zona do que é possível. As interseções tem que ser questionadas, para isso todos devem saber o que cada área é capaz de fazer.

Observação: Tem a consciência da aplicação dos ábacos.

- 14.** Busca-se falhar as soluções comentadas na questão anterior o quanto antes através de técnicas de aprendizado rápido (por exemplo, prototipagem, pré-montagem digital, simulações, análises de *trade-off*, etc)?

Na fase inicial busca-se falhar as soluções o quanto antes, mas usa-se muita simulação. Deveria aumentar o número de experimentação física, pois só tem ensaio de túnel e *mockup*.

Simulação nunca é a realidade. Está-se trabalhando melhorar a quantidade de ensaios, mas esbarra-se em questões de custo. Sente-se falta de testes simples de sistemas e estruturas.

Em um desenvolvimento de produto com alta inovação, é aceitável que ele tenha muitos problemas durante o desenvolvimento, com isso coloca-se margem no orçamento proporcional a sua inovação.

- 15.** Existe a prática de se usar uma determinada solução somente depois da certeza de que ela é robusta?

Sim, usa-se a solução tendo certeza que ela é a robusta, mas não é 100% de acerto. Existe certo risco. Tenta-se atrasar as decisões o máximo possível para que a robustez seja atingida, porém em algum momento é necessário tomar uma decisão por conta de prazo e gerenciar o risco assumido.

- 16.** As lições aprendidas são capturadas e absorvidas dos outros programas?

As lições aprendidas são absorvidas de outro programa, mas é preciso separar lições identificadas de lições aprendidas. Ela tem que ser colocada em prática, quando vira um *checklist*, ábaco, manual...

- 17.** São usados formulários concisos de uma página (formulário A3, por exemplo) para resolver e registrar os problemas, em vez de apresentações extensas?

A cultura do uso do A3 está sendo implementada. Eles são usados para sintetizar os problemas de campo ou mesmo de projeto. Em algumas áreas eles são usados para a apresentação do problema ao engenheiro-chefe. No mínimo, deve estar com a definição do problema, descrição da situação e análise preliminar da causa-raiz.

- 18.** Existem mecanismos de captura, comunicação e aplicação dos aprendizados gerados em *checklists* ou ábacos?

Atualmente existe um mecanismo sistematizado e oficial para o registro dos aprendizados gerados nos programas, que é o banco de lições aprendidas. Esse banco nada mais é que uma tabela listando o problema, o contexto e a solução adotada. Esse banco de soluções é enorme, o que dificulta encontrar o que se deseja. Não tem uma estrutura formalizada que facilite o reuso de soluções. O desenvolvimento de arquiteturas padrão pode melhorar. Por exemplo, em partes diferentes do mesmo produto e para o mesmo problema, existem soluções diferentes. Nos últimos anos aumentou-se bastante o uso de *checklists* aplicados em pontos de importância do processo que trazem as soluções encontradas nas lições aprendidas para dentro do processo, mas esse processo não é oficial e depende muito das pessoas para que isso aconteça.

Os ábacos internos (produzidos na instituição) tem uma concentração de uso maior nas fases iniciais do projeto, além de existir uma tendência de aumento de uso dos ábacos.

- 19.** Pratica-se a identificação das melhores práticas através de *benchmarking* e literatura profissional dedicada?

Sim, é feito *benchmarking* e a instituição possui um banco de soluções de produto, além de conhecer todos os produtos da concorrência.

20. Os fornecedores são convidados a fazer contribuições sérias para o projeto e desenvolvimento como sendo parceiros de programa confiáveis?

Existe confiança para tratamento com fornecedores. Os principais são convidados a dar contribuições aos projetos nas fases iniciais. Posteriormente, na fase de fechamento dos requisitos de baixo nível, com a realização de análises de *trade-off* e detalhamento da arquitetura, os fornecedores são convidados a participar das soluções, sendo fundamentais nas definições das mesmas.

21. O progresso do trabalho está visível e de fácil entendimento para todos, incluído o cliente externo?

O processo ainda não está bem visível para todos em todas as áreas. Na maioria é feito *flowdown* através de reunião somente. A visibilidade do progresso do trabalho está melhorando de forma geral na instituição com a criação de relatórios e indicadores que medem o avançamento das atividades e o uso de Obeyas. Por fim, muitas áreas estão usando a metodologia do *Scrum* para organizar a programação das atividades das áreas e mantê-las visíveis para todos.

22. Existe uma pessoa responsável por liderar e integrar o programa do começo ao fim?

Existe um engenheiro-chefe nas fases iniciais de estudo; posteriormente, existe uma fase de transição com a presença de dois engenheiros-chefes, a partir da fase seguinte o novo engenheiro-chefe assume a posição até o final do projeto.

23. O engenheiro-chefe lidera através de influência pessoal, conhecimento técnico e autoridade nas decisões do desenvolvimento de produto?

Sim. Na estrutura organizacional da instituição, as áreas funcionais não estão ligadas diretamente ao engenheiro-chefe, com isso ele precisa ter influência pessoal e conhecimento técnico para trazer os líderes funcionais para o seu lado. Ele tem autoridade total para tomada de decisões relacionadas ao produto.

24. O engenheiro-chefe possui sólidos conhecimentos técnicos?

Sim, o engenheiro-chefe é uma posição técnica, sempre ocupada por pessoas muito experientes.

ANEXO II

Questionário realizado com a instituição “B”:

- 1. Qual é o nível de experiência das pessoas que trabalham nas primeiras fases do projeto?**

Tem pessoas com experiência no geral, foram feitos poucos produtos, nas primeiras fases as pessoas tem pouca experiência. A maior parte das pessoas que tem experiência hoje está trabalhando em subsistemas. No nível de sistema as pessoas não tem experiência. Engenheiros experientes que trabalharam em projetos anteriores não estão mais na instituição.

- 2. As equipes são treinadas em resolução de problemas?**

Não. Os engenheiros ganham conhecimento durante o trabalho para a execução do trabalho, mas não há uma modo sistematizado de resolução de problemas seguido por essa instituição.

- 3. Nessa instituição é promovida a padronização do conjunto de habilidades baseadas em treinamento e monitoramento?**

Não, o conhecimento é passado de pessoa a pessoa durante o trabalho, mas o conjunto de habilidades não é formalizado.

- 4. Nessa instituição existe um efetivo corpo de conhecimento que é histórico, pesquisável, compartilhado pelo time e uma estratégia de gerenciamento de conhecimento para habilitar o compartilhamento de dados e informações dentro da instituição?**

A história do projeto do produto está registrada. Quando existe, por exemplo, uma falha em uma peça, o motivo dessa falha deve ser registrado porque a estrutura exige o registro para fins de rastreio e não para aprendizado.

As lições aprendidas não são registradas. Uma pessoa nova que entra em certa área provavelmente sofrerá problemas já passados anteriormente visto que não existe um

banco de lições aprendidas e processos estabelecidos para serem seguidos e consultados.

5. Esses dados são tratados e integrados o máximo possível?

Não são tratados.

6. Como o conhecimento é transmitido de pessoa a pessoa de uma mesma função?

Através do contato no dia-a-dia.

7. A padronização de projetos é promovida com *checklists* de engenharia, arquitetura padrão, modularização e plataformas?

Existe uma padronização. Existe documentação interna que padroniza algumas coisas. Por exemplo, algumas soluções estruturais de fixação, conectores, materiais ou mesmo parafusos possuem soluções pré-definidas que estão registradas em documentação interna. Porém, essa documentação é antiga, sofrendo praticamente nenhuma atualização.

Não há a prática de *checklists*.

8. Existe um processo robusto de captura, desenvolvimento e disseminação do valor do cliente com extrema clareza?

Sim, busca-se entender as necessidades dos clientes e atendê-las da melhor forma possível.

Existe uma documentação que estabelece os requisitos de missão do produto. Esses requisitos são trabalhados para chegarem ao nível de subsistema.

9. São usados modelos para representar os sistemas (ferramentas CAE 3D, *mockups*, protótipos, simulações, etc), permitindo assim uma melhor interação com o cliente e extrair dele seus requisitos?

São usados modelos, ferramentas CAE 3D, simuladores, *mockups*. Quando existe a necessidade de interação com o cliente, isso é feito.

10. Quando possível, existe a preocupação em se fazer requisitos abertos/ faixas?

O nível de abertura dos requisitos varia de acordo com a confiança que se tem com um fornecedor contratado. Se esse fornecedor for uma empresa competente é possível manter requisitos mais abertos.

11. São exploradas várias soluções, arquiteturas e projetos o mais cedo possível?

São exploradas soluções o mais cedo possível e procura-se decidir a arquitetura o mais cedo possível porque o pessoal de baixo (subsistemas) não consegue começar a trabalhar se as decisões não foram feitas.

Não se costuma desenvolver duas soluções em paralelo devido ao alto custo.

12. Os conjuntos de possibilidades são comunicados por cada função dentro do time de trabalho?

A arquitetura é definida em nível de sistemas, assim os subsistemas não possuem necessidade de comunicação.

Para certo caso essa arquitetura não foi bem definida. Exemplificando, houve um projeto de um subsistema, que sofreu um processo de decisão dentre várias opções de configuração de um equipamento para a escolha de uma opção para o detalhamento, porém uma das tecnologias que pode influenciar a decisão não foi consultada, com isso a solução escolhida para o detalhamento teve que ser revista.

13. Os conjuntos de possibilidades são integrados por intersecção para se chegar à solução final?

Não. Houve um caso em um projeto que se definiu uma solução dentro de um conjunto de possíveis soluções bem no início sem ter a certeza que ela funcionaria. No final, a solução utilizada foi outra e foi feita em um décimo do tempo da solução original que não deu certo.

14. Busca-se falhar as soluções comentadas na questão anterior o quanto antes através de técnicas de aprendizado rápido (por exemplo: prototipagem, pré-montagem digital, simulações, análises de *trade-off*, etc)?

Sim.

15. Existe a prática de se usar uma determinada solução somente depois da certeza de que ela é robusta?

Preferencialmente procura-se usar uma solução já utilizada anteriormente, se for utilizar uma nova, é preciso provar que ela é melhor, por exemplo, através de análises com *mockups*.

16. As lições aprendidas são capturadas e absorvidas dos outros programas?

Sim, porém não existe a disciplina de se registrar as lições aprendidas. Fica-se na dependência do conhecimento que está com as pessoas. A NASA disponibiliza várias lições aprendidas. Também não existe um processo registrado do trabalho a ser realizado.

17. São usados formulários concisos de uma página (formulário A3, por exemplo) para resolver e registrar os problemas, em vez de apresentações extensas?

Não são usados.

18. Existem mecanismos de captura, comunicação e aplicação dos aprendizados gerados em *checklists* ou ábacos?

Não.

19. Pratica-se a identificação das melhores práticas através de *benchmarking* e literatura profissional dedicada?

Sim. Isso é feito principalmente quando há projetos em conjunto com outras instituições.

20. Os fornecedores são convidados a fazer contribuições sérias para o projeto e desenvolvimento como sendo parceiros de programa confiáveis?

Sim. A interação com fornecedores e clientes tem aumentado com o tempo. Essa interação tem o intuito de ter ideias e melhorar os processos e as atividades.

21. O progresso do trabalho está visível e de fácil entendimento para todos, incluído o cliente externo?

Sim. Sempre foi bem divulgado. Essa divulgação é feita através da sistemática de relatório mensal de progresso. Esses relatórios são divulgados para toda a equipe. Além disso, são feitas reuniões periódicas de comunicação com as equipes.

22. Existe uma pessoa responsável por liderar e integrar o programa do começo ao fim?

Sim. Percebe-se que a pessoa precisa saber fazer. Já houve casos que um projeto ficou parado cinco anos e quando se trocou essa pessoa por outra o projeto evoluiu.

23. O engenheiro-chefe lidera através de influência pessoal, conhecimento técnico e autoridade nas decisões do desenvolvimento de produto?

Sim. Às vezes nem tanto conhecimento técnico, mas com o auxílio dos técnicos envolvido nos sistemas.

24. O engenheiro-chefe possui sólidos conhecimentos técnicos?

Sim. Conhece bem o processo de desenvolvimento.