

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

**APLICAÇÃO DE *LEAN ENGINEERING* NA TROCA DE
INFORMAÇÕES DURANTE O DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA.**

Taubaté – SP
2016

Maria Regina H. O. Lindgren

**APLICAÇÃO DE *LEAN ENGINEERING* NA TROCA DE
INFORMAÇÕES DURANTE O DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA.**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Mestrado
Profissionalizante de Engenharia Mecânica
do Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica
Orientadora: Profa. Dra. Valesca Alves
Corrêa

Taubaté – SP

2016

Maria Regina H. O. Lindgren

**APLICAÇÃO DE *LEAN ENGINEERING* NA TROCA DE
INFORMAÇÕES DURANTE O DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA.**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Mestrado
Profissionalizante de Engenharia Mecânica
do Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Produção Mecânica

Data: 26/07/2016

Resultado: Aprovada

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Valesca Alves Corrêa

Universidade de Taubaté

Assinatura



Prof. Dr. Luis Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes

Universidade de Taubaté

Assinatura

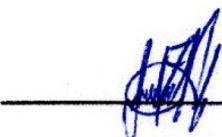


Prof. Dr. José Vitor Cândido de Sousa

Universidade Estadual

Paulista Júlio de Mesquita Filho

Assinatura



Dedico este trabalho ao meu marido Paulo Cesar Corrêa Lindgren, às minhas filhas Marilia Hidalgo Salles de Oliveira e Ana Carla Hidalgo e aos meus pais Ivan Pereira de Oliveira (in memoriam) e Floriza Hidalgo de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido Paulo Cesar Corrêa Lindgren, às minhas filhas Marília Hidalgo Salles de Oliveira e Ana Carla Hidalgo e aos meus pais Ivan Pereira de Oliveira (*in memoriam*) e Floriza Hidalgo de Oliveira, que desde o início estiveram ao meu lado, me incentivando e apoiando.

À professora Dra. Valesca Alves Corrêa pela impecável orientação, confiança e incentivo atribuído ao desenvolvimento desta dissertação.

Aos professores Dr. José Vitor Cândido de Sousa e Dr. Luis Eduardo Nicolini do Patrocinio Nunes por suas valiosas observações durante as bancas.

Aos colegas da Turma 34 que estiveram comigo nesta caminhada.

À Universidade de Taubaté e Professores, que forneceram todos os recursos e conhecimentos necessários para a minha formação e para realização deste trabalho.

Às secretárias da PRPPG e do Departamento de Engenharia Mecânica, pela atenção, respeito e incentivo.

À empresa Alfa que, gentilmente, colaborou com a disponibilização de fatos e dados, tornando possível a conclusão deste trabalho.

Os ousados começam, mas só os determinados terminam.

(GEORGE BERNARD SHAW)

RESUMO

A otimização de processos é um desafio importante para o sucesso de uma empresa de engenharia. Para se atingir um desenvolvimento mais ágil e com menos defeitos e retrabalhos, destaca-se a Filosofia *Lean*, originalmente desenvolvida na matriz da fabricante automobilística japonesa *Toyota Motor Company*, e que tem se mostrado muito eficiente não só na fabricação, mas também no desenvolvimento de produtos e serviços, incluindo não somente o fluxo de materiais nas operações produtivas, mas, principalmente, o fluxo de “informações. Embora existam diferenças entre a Produção *Lean* (*Lean Manufacturing*) e a Engenharia *Lean* (*Lean Engineering*), ambas aplicações da Filosofia *Lean* têm abordagens e objetivos muito semelhantes. Os processos e atividades que realmente conferem valor ao produto, sob a ótica do cliente, durante sua transformação, são identificados como Adicionadores de Valor (*VA – Value Added*). Os problemas, no entanto, são identificados como desperdícios (*wastes*), devendo ser eliminados, ou, na pior das hipóteses, reduzidos ao mínimo aceitável. O setor aeronáutico implica na demanda por sistemas e produtos de elevada complexidade, os quais requerem, até por força de legislação específica, uma estrutura e organização particularmente adequadas no desenvolvimento de produtos. Para se atender à esta exigência, deu-se origem à abordagem de Engenharia de Sistemas (*SE - Systems Engineering*), a qual, quando combinada com os princípios da Engenharia *Lean* (*Lean Engineering*), resulta na Engenharia *Lean* de Sistemas (*Lean Systems Engineering*), um tema relativamente recente e pouco explorado na literatura e na prática industrial. Neste trabalho buscou-se analisar os problemas no compartilhamento de informações entre Engenharia de Sistemas e Engenharia Mecânica para efeitos de melhoria de processos no desenvolvimento de produtos complexos para aeronaves, em ambiente de Engenharia Simultânea, aplicando-se os métodos da *Lean Engineering*. Dentre os resultados obtidos, ressalta-se a identificação do desperdício de espera como sendo o de maior impacto no fluxo de informações entre três projetos analisados, com dados oriundos das reuniões de Análise Crítica dos Projetos, também sendo identificadas e propostas possíveis soluções para sua eliminação, como a adoção da ferramenta *Stage-Gate* no desenvolvimento dos projetos.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produto. Indústria Aeronáutica. *Lean Engineering*. Redução de Custo.

LEAN ENGINEERING APPLICATION IN THE EXCHANGE OF INFORMATION IN THE AERONAUTICAL INDUSTRY PRODUCT DEVELOPMENT.

ABSTRACT

The processes optimization is a major challenge to the success of an engineering company. To achieve a more agile development, with less "defects and reworks," it was decided to adopt the Lean Philosophy, originally developed in the headquarter of the Japanese automobile manufacturer Toyota Motor Company, which has proved very effective not only in manufacturing, but also in product and services development. This no longer applies only to the flow of materials in production operations, but mainly to the flow of information". Although there are differences between Lean Manufacturing and Lean Engineering, both are applications of Lean Philosophy and have very similar goals and approaches. The processes and activities that really bring "value" to the product, from the perspective of the customer, during their transformation are identified as VA - Value Added. The problems, however, are identified as "wastes" and should be eliminated or, at least, reduced to the minimum acceptable. Aircraft imply the demand for highly complex systems and products, which require, even due to specific legislation, particularly suitable structure and organization in product development. To meet this requirement, there has been rise to the SE - Systems Engineering approach, which, when combined with the principles of Lean Engineering, results in the Lean Systems Engineering, a relatively new and little explored theme in science and industrial practice. This study aimed the analysis of the problems in sharing information between Systems Engineering and Mechanical/Electronic Engineering / Electronics for the purpose of improving processes in the development of complex aircraft products, in a Concurrent Engineering environment, by applying the methods of Lean Engineering. Amongst the obtained results, it emphasizes the "waiting" waste identification as of the highest impact on the flow of information, from the three analyzed projects, with data coming from the meetings of Project Critical Analysis, and also identifying and proposing possible solutions to eliminate the problem, like the adoption of the Stage-Gate tool in the project development.

Keywords: *Aeronautical Industry. Cost Reduction. Lean Engineering. Product Development.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formulação do Problema.....	15
Figura 2 - Pensamento Sistêmico	19
Figura 3 - Exemplo do Sistema de Aeronave	20
Figura 4 - O ciclo de vida do produto de uma aeronave.....	22
Figura 5 - Campos de aplicação da Engenharia de Sistemas.....	24
Figura 6 - O Modelo-V.....	26
Figura 7 - O Modelo-V nas fases do ciclo de vida do produto	27
Figura 8 - Ciclo em V da Vida de um Processo de Aquisição de Sistema	28
Figura 9 - Teoria e Prática da Verificação e Validação no Ciclo de Vida do Processo	30
Figura 10 – Evolução da Filosofia <i>Lean</i>	31
Figura 11 - Tempo empregado no desenvolvimento de produto	35
Figura 12 - Desperdícios, suas Fontes e as Práticas Capacitadoras <i>Lean</i> (<i>Lean Enablers</i>)	46
Figura 13 - Modelo usual de <i>Stage-Gate</i> , composto por 6 <i>Stages</i> e 5 <i>Gates</i>	47
Figura 14 - Organograma da Empresa Alfa.....	53
Figura 15 - Linha do Tempo do Sistema de Gerenciamento Antes da Implantação .	54
Figura 16 - Linha do Tempo do Sistema de Gerenciamento Durante a Implantação.....	56
Figura 17 - Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 1	59
Figura 18 - Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 2	60
Figura 19 - Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 3	61
Figura 20 - Recuperação dos Custos Não-Recorrentes no Projeto 3	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas e Engenharia	25
Quadro 2 - <i>Lean Manufacturing</i> e <i>Lean</i> no Desenvolvimento de Produto	32
Quadro 3 - Os Sete Desperdícios Originais da <i>Lean Manufacturing</i> manifestados no Desenvolvimento de Produtos.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados de Desempenho: Antes e Depois da Aplicação de <i>Lean Engineering</i> e <i>Stage-Gate</i> (em % de Desvio em Relação às Metas)	63
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Formulação do Problema	15
1.2. Objetivo geral	16
1.3. Justificativa	16
1.4. Estrutura do trabalho	16
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1. Processos de Desenvolvimento de Aeronaves	18
2.1.1. Pensamento Sistêmico.....	18
2.1.2. Fases de Desenvolvimento do Produto.....	20
2.1.3. Engenharia de Sistemas como uma abordagem de desenvolvimento.....	23
2.1.3.1 Definição de Engenharia de Sistemas (<i>SE – Systems Engineering</i>).....	24
2.1.4. O Modelo-V no processo de desenvolvimento de produto	25
2.2. Engenharia Lean (<i>Lean Engineering</i>)	31
2.2.1. Os Cinco Princípios <i>Lean</i>	33
2.2.1.1 Valor para o Cliente.....	33
2.2.1.2. Identificar o Fluxo de Valor	34
2.2.1.3. Princípio de Fluxo	36
2.2.1.4. Princípio de Puxar.....	36
2.2.1.5. Buscando a Perfeição	37
2.2.2. Engenharia <i>Lean</i> de Sistemas (<i>LSE - Lean Systems Engineering</i>).....	37
2.2.3. Engenharia Simultânea	38
2.3. O Papel da Informação no Desenvolvimento de Produtos	40
2.3.1. Os problemas existentes no compartilhamento de informações	40
2.4. Desperdícios no Desenvolvimento de Produtos	42
2.4.1. Os Três Desperdícios Complementares da Informação	44
2.4.1.1. Problemas na Comunicação da Informação.....	44
2.4.1.2. Baixa Qualidade da Informação	44
2.4.1.3. Falta de Ferramentas/Sistemas de TI	44
2.5. Práticas Capacitadoras <i>Lean</i> (<i>Lean Enablers</i>)	45
2.6. A Ferramenta <i>Stage-Gate</i>	47
2.7. A Técnica <i>Delfos</i> e sua derivação	48

2.7.1. Origem e aplicação da técnica <i>Delfos</i>	48
2.7.2. Características da técnica <i>Delfos</i> e de sua adaptação	49
2.7.3. A técnica <i>Delfos</i> empregada “face a face”	51
3. MATERIAIS E MÉTODOS	52
3.1. A Empresa Estudada	53
3.2. A implantação de <i>Lean Engineering</i> e <i>Stage-Gate</i>	54
3.2.1 Durante a implantação de <i>Lean Engineering</i> e <i>Stage-Gate</i>	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1. Resultados para o Projeto 1	58
4.2. Resultados para o Projeto 2	59
4.3. Resultados para o Projeto 3	60
4.4. Resultado Global	61
5. CONCLUSÕES	65
5.1. Trabalhos Futuros	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A – <i>Checklist</i> de Análise Crítica de Projeto	76
APÊNDICE B - Figura 12 Ampliada: Desperdícios, Suas Fontes e as Práticas Capacitadoras <i>Lean</i> (<i>Lean Enablers</i>)	78

1. INTRODUÇÃO

A atual situação de forte concorrência global obriga às empresas a serem guiadas por outras estratégias que sustentem o seu desenvolvimento. Baseando-se no já consagrado “triângulo mágico” dos três essenciais elementos sob o ponto de vista do cliente/consumidor: qualidade (escopo), custo e tempo (KERZNER, 2011), tem-se que a característica “pontualidade” está desempenhando um papel de ressaltada importância na satisfação do cliente, principalmente se considerado o fator de se praticar “ciclos de desenvolvimento de produtos” cada vez mais reduzidos e rápidos. Se uma empresa conquista a habilidade de satisfazer, consistentemente, as expectativas de seus clientes no que tange a esta característica, ela passa a contar com uma grande vantagem competitiva frente a seus concorrentes e por esta razão, se tem praticado, há vários anos, o método de Engenharia Simultânea (GALINA; SANTOS, 1998). Ela consiste em se tornar concomitantes, paralelos, ao invés de consecutivos, sequenciais, os trabalhos executados nos diferentes departamentos envolvidos no processo de desenvolvimento de produtos, com o intuito de se reduzir os tempos de desenvolvimento. No entanto, a Engenharia Simultânea apresenta algumas importantes inconveniências, aumentando-se, por exemplo, o número de interfaces e, por decorrência, as exigências impostas à Comunicação Interdisciplinar. Por consequência, se faz necessário um robusto processo de gerenciamento de informações, pois muitas informações devem ser trocadas entre as diferentes disciplinas envolvidas no processo. Por outro lado, isto faz com que alguns problemas, como os que ocorrem durante as iterações, representem uma importante parcela de consumo de tempo, podendo, inclusive, representar causas, diretas ou indiretas, de aumento do risco à vida dos usuários dos produtos finais.

No desenvolvimento da aviação, as fases de desenvolvimento dos produtos têm sido, comparativamente, mais longas, dado os igualmente longos ciclos de vida dos produtos (alguns com mais de 30 anos) (LINDGREN, 2004). Todos estes fatores, combinados, no desenvolvimento de produtos aeronáuticos, conferem uma grande e particular importância aos problemas que ocorrem na troca de informações entre os departamentos de uma empresa de desenvolvimento de produtos aeronáuticos, assunto abordado neste estudo.

Os problemas que ocorrem na troca de informações durante o processo de desenvolvimento de produtos complexos, como aqueles pertinentes à indústria aeronáutica, são causadores de grandes impactos, tanto em termos de “*lead time*” quanto de consumo de recursos físicos e financeiros dos projetos, devendo ter suas fontes precisamente localizadas e devidamente tratadas o mais cedo possível, a fim de se atenuar tais impactos e se assegurar a execução dos projetos em atendimento aos requisitos de prazo, custo e qualidade (PEREIRA FILHO, 2002).

Neste trabalho buscou-se analisar os problemas no compartilhamento de informações entre Engenharia de Sistemas, Engenharia Mecânica e Engenharia Eletrônica para efeitos de melhoria de processos no desenvolvimento de produtos complexos para aeronaves, em ambiente de Engenharia Simultânea, aplicando-se os métodos da *Lean Engineering*.

1.1. Formulação do Problema

Os problemas de comunicação das informações que ocorrem durante os processos de desenvolvimento de produtos complexos aeronáuticos têm impactado seriamente os custos, a qualidade e os cronogramas de desenvolvimento dos projetos, conforme ilustrado à Figura 1, mobilizando grandes esforços gerenciais para a localização de suas fontes e a mitigação de seus riscos, sem que haja um método de consenso que possa ser recomendado como solução.

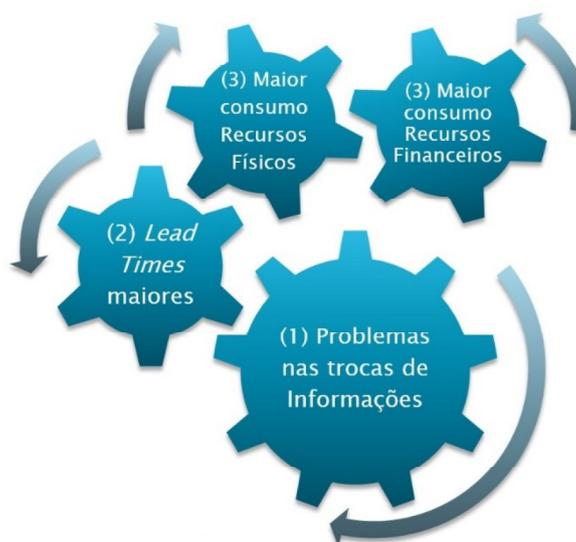


Figura 1: Formulação do Problema

Fonte: Autora (2015)

1.2. Objetivo geral

Analisar problemas no compartilhamento de informações entre Engenharia de Sistemas e Engenharia Mecânica e Eletrônica para efeitos de melhoria de processos no desenvolvimento distribuído em paralelo, em relação aos métodos de Engenharia *Lean*, como parte de compartilhamento de informações nos processos de desenvolvimento de produtos complexos para aeronaves.

Para se alcançar tais objetivos, serão implementados os conceitos de Engenharia de Sistemas *Lean* (*LSE – Lean System Engineering*), ilustrando-se como as ferramentas oriundas da *Lean Manufacturing* podem ser adaptadas e empregadas nos estágios de desenvolvimento de produtos, exemplificando-se, ainda, com um estudo de caso único, a eficiência da adoção da Engenharia de Sistemas *Lean* na identificação das fontes dos problemas e no tratamento de suas causas.

1.3. Justificativa

Justifica-se este trabalho pela dificuldade em se analisar e identificar as principais causas dos problemas de comunicação das informações durante os processos de desenvolvimento de produtos complexos, os quais têm impactado sobremaneira tanto os custos quanto a manutenção dos cronogramas de desenvolvimento dos projetos.

1.4. Estrutura do trabalho

Esta dissertação está estruturada em capítulos e subcapítulos, quais sejam:

O capítulo 1 introduz o tema, o problema que motivou a pesquisa, o objetivo geral, a justificativa e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o processo de desenvolvimento de aeronaves, a engenharia de sistemas e a utilização do Modelo-V

nos estágios do ciclo de vida de um sistema, finalizando com uma explanação sobre Engenharia *Lean* de Sistemas, o papel vital da informação no desenvolvimento de produtos, a abordagem dos “*Stage-Gates*” e as características, originais e adaptadas, da técnica Delfos, adotada no processo.

O capítulo 3 trata da metodologia e da linha de pensamento adotada na pesquisa, classificando-a e apresentando onde e como se realizou a coleta de dados e explicando a aplicação prática dos vários conceitos teóricos abordados no capítulo anterior.

No capítulo 4 são apresentados e representados, graficamente, os resultados, seguidos de suas necessárias discussões.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências adotadas neste trabalho e o apêndice, contendo dados que facilitam o entendimento do mesmo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo aborda os processos de desenvolvimento de aeronaves, definindo e situando o pensamento sistêmico neste contexto, assim como as fases de desenvolvimento do produto e a apresentação da Engenharia de Sistemas como uma abordagem de desenvolvimento.

Também neste capítulo se define a utilização do Modelo-V no processo de desenvolvimento de produto, ilustrando a sua incorporação nos estágios do ciclo de vida de um sistema. O papel da informação no desenvolvimento de produto é, então, detalhado e explicado, ressaltando-se os problemas existentes no compartilhamento de informações e a caracterização dos desperdícios existentes no desenvolvimento de produtos, os quais podem e devem ser identificados, analisados e combatidos por meio das assim chamadas “práticas capacitadoras *Lean*”, ou *Lean Enablers*.

Finalizando este capítulo, abordam-se as técnicas de avaliação e gestão do desenvolvimento de produtos, não somente se explicando os chamados “*stage gates*” mas também a técnica Delfos, cuja derivação foi adotada pela empresa consultora no processo de determinação e priorização dos principais desperdícios a serem tratados.

2.1. Processos de Desenvolvimento de Aeronaves

Segundo Lindgren (2004), no mercado aeronáutico o atendimento a rígidos padrões de qualidade, desempenho e confiabilidade estão intrinsecamente ligados ao produto aeronave, o qual também se destaca por possuir ciclo de vida relativamente longo, elevado valor unitário e ser fabricado em séries relativamente pequenas, com custos de desenvolvimento tecnológico elevados e, notavelmente, crescentes. A consideração simultânea de todos estes fatores constitui-se, por excelência, em objeto de desenvolvimento que demanda uma abordagem estruturalmente sistêmica.

2.1.1 Pensamento Sistêmico

Sistemas são classificados como populações dinâmicas. Eles consistem de partes, as quais estão ligadas entre si e interagem (SEIDEL, 2001), conforme exemplo

ilustrado à Figura 2. Um sistema permite que seja possível encontrar uma resposta para um problema complexo. Mas, primeiramente, se faz necessário garantir que as necessidades, os objetivos e as limitações do sistema estão claramente definidas junto ao cliente, sendo o fornecedor o ponto inicial do processo de projeto do produto. Dado o fato de que os elementos têm relações diferentes e complexas uns com os outros, tem-se que a definição de "sistema" é limitada. Um aparelho eletrodoméstico simples, como uma máquina de lavar, não pode ser considerado complicado o suficiente para que seja aplicada nele a engenharia de sistemas, segundo Kossiakoff et al. (2011). Um sistema é muito mais do que uma coleção de *hardware* e *software* e terá que comportar a descrição de mais recursos, como pessoal, material, instalações e dados (Palestra MIT, 2007). Uma característica importante dos sistemas é que eles podem ser divididos em subsistemas, quase que indefinidamente.

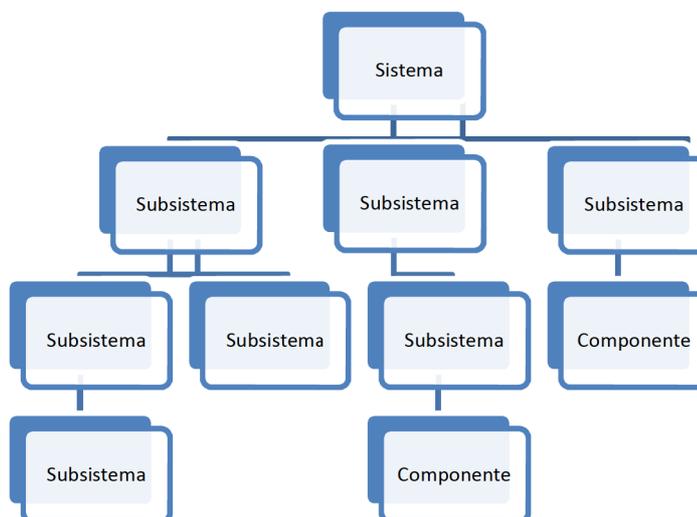


Figura 2: Pensamento Sistêmico

Fonte: Adaptado de SEIDEL, 2001

Esta hierarquia de sistemas, em que o bloco de sistema nos níveis mais altos tem um impacto sobre os blocos dos sistemas nos níveis abaixo, costuma ser a forma pela qual são analisados os sistemas mais complexos. Assim, por exemplo, se representam os blocos básicos de construção para os sistemas da aeronave, descendo para os blocos de subsistemas e, em níveis mais baixos, os blocos de componentes (bombas, válvulas, sensores, atuadores, etc.). Decidir o quão longe se pretende dividir um sistema em subsistemas depende da complexidade do sistema e da capacidade de se visualizar as funções e interfaces como um todo. O conceito de

sistema descrito na Figura 2 pode ser utilizado na representação dos sistemas de tecnologias das aeronaves em uma Estrutura Analítica de Trabalho, ou *WBS* (*Work Breakdown Structure*), como ilustrado à Figura 3 (MOIR; SEABRIDGE, 2004).

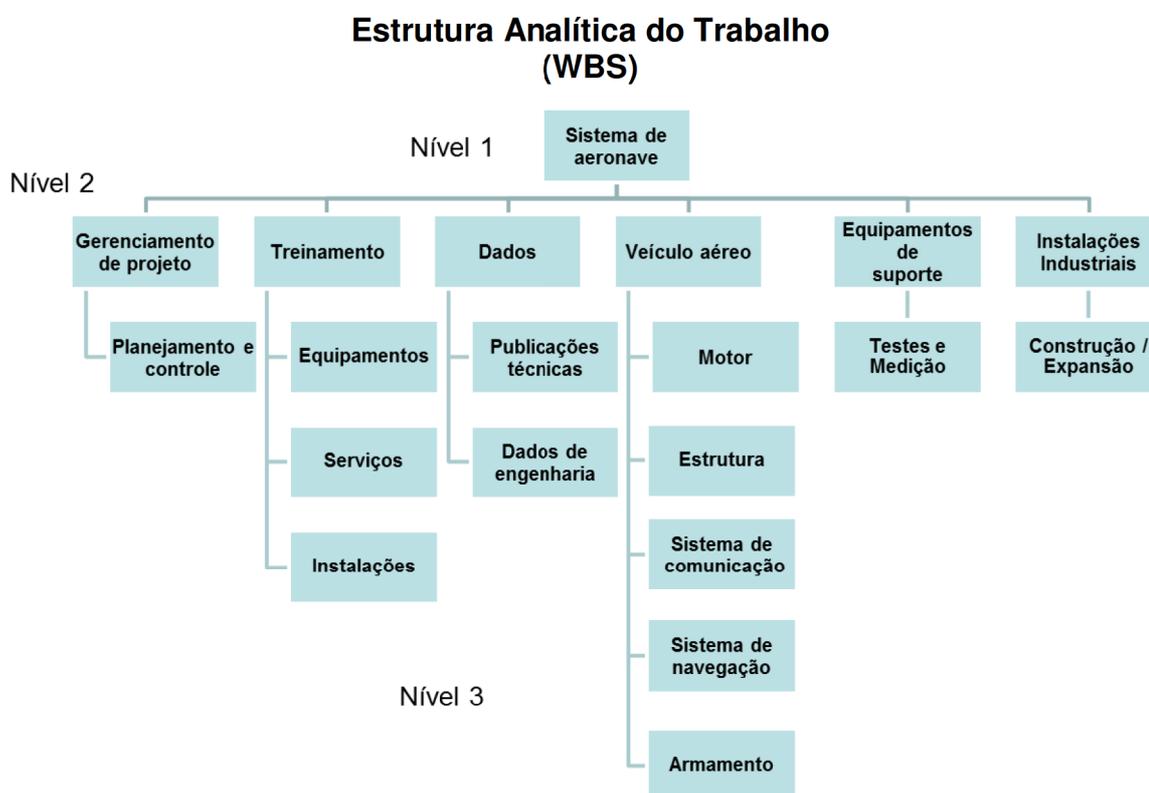


Figura 3: Exemplo do Sistema de Aeronave

Fonte: adaptado de MOIR; SEABRIDGE, 2004

2.1.2 Fases de Desenvolvimento do Produto

Conforme mencionado por Moir e Seabridge (2004), ao adotar-se a metodologia tradicional de desenvolvimento do produto, como ilustrado à Figura 4, é extremamente importante trabalhar em estreita colaboração com todas as partes interessadas, os *stakeholders*, durante a fase de conceito. Como resultado, podem ser evitadas grandes mudanças no projeto. Se o projeto for estabelecido, a viabilidade de montagem e os aspectos funcionais do sistema podem ser verificados por meio de um protótipo. Uma vez que o projeto tenha sido acordado, um teste de verificação e validação será realizado para confirmar que ele corresponde às especificações e objetivos da aeronave. Se um teste falhar, ou se as metas não forem atingidas, serão realizadas repetições. Isso pode, no entanto, afetar vários subsistemas. Repetições

podem criar riscos e, eventualmente, colocar em perigo um projeto ótimo. O processo de verificação tem relações com atividades da qualidade, para se coletar dados para avaliação da confiabilidade e para demonstrar a robustez do projeto.

Rozenfeld et al. (2006) compartilham deste conceito de desenvolvimento de produto quando declaram que o processo de desenvolvimento de produto pode ser separado em dois momentos distintos: o de *design* e desenvolvimento do produto e o do projeto propriamente dito. A etapa de *design* envolve o estabelecimento de conceito do produto, a definição de suas aplicações e usuários, culminando com a definição de seus processos produtivos.

Também é prevista nessa etapa a construção de protótipos e a realização de ensaios e testes com estes modelos, ressaltando-se que as tecnologias de Prototipagem Rápida atualmente disponíveis permitem a construção, em curto espaço de tempo de um protótipo com a maioria das funcionalidades pretendidas no produto final acabado. A etapa subsequente, de projeto propriamente dito, é caracterizada pela definição da capacidade (recursos e meios) e do cronograma (*lead time*) para a construção do produto, também constando desta etapa a especificação completa dos materiais a serem utilizados, da forma geométrica e das tolerâncias do produto e a complementação da documentação.

A fase de projeto conceitual do produto pode ser descrita pelas atividades da equipe do projeto do produto relacionadas com a busca e seleção de soluções para o problema do produto. O conceito do produto pode ser representado por esboços (*sketches*), diagramas, protótipos simples ou até mesmo um memorial de cálculos, sendo que, de acordo com Ferreira (2008), o objetivo dessa etapa conceitual é convergir idéias e conceitos para a definição de um produto específico que atenderá a uma necessidade do mercado e que seja economicamente viável.

Em geral, a fase de definição é a fase subsequente à de conceito. Ela visa combinar os interesses de todos os grupos de desenvolvimento e suas interfaces. Toda informação que for coletada durante a fase de conceito, como mostrado à Figura 4, é, geralmente, consolidada para dar cumprimento aos requisitos do cliente. Ainda segundo Moir e Seabridge (2004), abordagens típicas nesta fase são:

- Desenvolvimento do conceito por meio de uma definição sólida do que se pretende ter como solução;
- Desenvolvimento das arquiteturas e configurações do sistema;

- Quantificação de medidas-chave de desempenho do sistema, tais como massa, volume e resistência (em horas ou em ciclos).
- Identificação de riscos e introdução de planos de mitigação;
- A seleção e a confirmação das tecnologias apropriadas.



Figura 4: O ciclo de vida do produto de uma aeronave

Fonte: Adaptado de MOIR; SEABRIDGE, 2004

Nesta fase de definição dos componentes do produto e das funções que cada um deles exercerá, a utilização de modelos ou protótipos funcionais, mais complexos, permite que os produtos já sejam representados por meio de suas funcionalidades, tanto aquelas desempenhadas pelo produto em sua interação com os demais componentes (itens, subconjuntos ou conjuntos) ou com o meio externo, quanto às funções internas desempenhadas por suas partes. “De uma maneira geral, funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que tornarão um produto capaz de desempenhar seus objetivos e especificações” (ROZENFELD et al., 2006).

Ainda de acordo com Rozenfeld (2006), o plano de projeto de um produto deverá consolidar as informações necessárias para a execução do projeto, tais como a definição dos recursos necessários, das atividades a serem desenvolvidas e a melhor forma de integrá-los.

O resultado, ou “*output*”, dessa fase de definição pode ser encontrado, geralmente, em relatórios de estudos de viabilidade, estimativas de desempenho ou em modelos de desempenho operacional. Se o resultado desta fase for bem sucedido

e a empresa decidir pela continuidade do produto, ela irá para a próxima fase, a fase de desenvolvimento. Isso pressupõe que a arquitetura e os desenhos esquemáticos (*drafts*) do produto já estejam desenvolvidos (MOIR; SEABRIDGE, 2004).

Estas definições apresentadas facilitam o entendimento de que existem várias etapas para o processo de desenvolvimento de produto, sendo que a entrega de resultados (*deliverables*) é o que caracteriza o término de uma fase e o início de outra. A avaliação dos resultados entregues serve como análise do andamento do projeto, antecipando problemas e gerando aprendizado para a equipe.

2.1.3 Engenharia de Sistemas como uma abordagem de desenvolvimento

Segundo Kossiakoff et al. (2011), os princípios da Engenharia de Sistemas têm sido utilizados, intuitivamente, desde a construção das pirâmides, sendo provável que tenham sido empregados ainda antes disso. O reconhecimento da Engenharia de Sistemas como um método aplicável deu-se por meio dos efeitos da Segunda Guerra Mundial, sendo mais claro, especialmente, nas décadas de 1950 e 1960, quando o assunto aparece em várias publicações.

A Segunda Guerra Mundial trouxe um grande incentivo para promover a tecnologia com o objetivo de se ganhar vantagem militar. O desenvolvimento de aviões de combate, o radar militar e, particularmente, a bomba atômica, demandaram uma revolução no uso de energia, materiais e informações. Também foi necessária a compressão do tempo de desenvolvimento durante a guerra, implicando em um elevado nível de organização e eficiência e exigindo um alto nível de gestão de tecnologia, coordenação técnica e de programação. No entanto, outra tendência pode ter tido um impacto maior sobre o progresso tecnológico: a dos dispositivos semicondutores. Estes embasaram o desenvolvimento da "era da informação", possível graças às redes que excederam o âmbito dos sistemas muito além de seus limites anteriores. Tal sucesso reside no desenvolvimento do computador digital e das tecnologias de *software* integradas, os quais levaram, cada vez mais, à substituição do controle humano dos sistemas.

Ainda segundo Kossiakoff et al. (2011), o controle associado ao computador aumenta a complexidade dos sistemas e é, portanto, uma questão importante para a Engenharia de Sistemas.

2.1.3.1 Definição de Engenharia de Sistemas (*SE – Systems Engineering*)

Conceituada resumidamente pela NASA como sendo "uma abordagem colaborativa interdisciplinar para desenvolver e verificar, de modo que as expectativas dos clientes satisfeitos e a aceitabilidade pública correspondam a uma solução de sistema para o ciclo de vida", tem-se que a Engenharia de Sistemas concentra-se em definir as necessidades dos clientes e o cronograma das funcionalidades necessárias logo ao início do ciclo de desenvolvimento (SEXTONE, 1998). As operações que são documentadas devem, então, ser ligadas à síntese de criação e a validação do sistema. O processo de *SE* é versátil, cobrindo e executando operações, desempenho, teste, produção, custo, treinamento, apoio e disposição/descarte, integrando todas as disciplinas e grupos de especialização que, juntos, formam um processo de desenvolvimento estruturado (INCOSE, 2004).

Tem-se ainda que, segundo Kossiakoff et al. (2011), a *SE* é focada no sistema como um todo, enfatizando sua operação total. Ela focaliza o sistema a partir do exterior, isto é, nas suas interações com outros sistemas e com o meio ambiente, bem como a partir do interior. A desigualdade dos elementos em um sistema complexo exige que várias disciplinas de engenharia estejam envolvidas, tanto na sua concepção quanto no seu desenvolvimento. Em um sistema cada item deve agir, física e funcionalmente, em combinação com os outros elementos que integram o sistema. Então, os vários elementos não podem ser projetados de forma independente uns dos outros, caso se deseje, efetivamente, gerar um sistema de trabalho (KOSSIAKOFF et al., 2011).

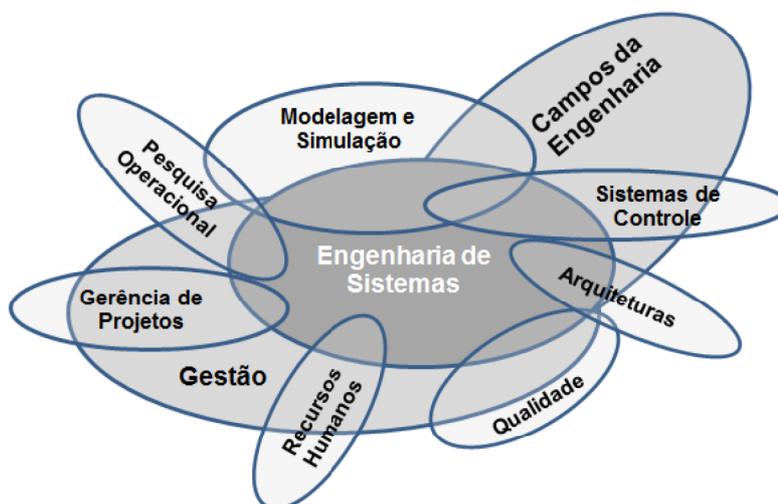


Figura 5: Campos de aplicação da Engenharia de Sistemas

Fonte: Kossiakoff et al. (2011)

O Quadro 1 provê um breve resumo da filosofia de sistema, ilustrando, comparativamente, as abordagens empregadas pela Engenharia de Sistemas e pelos Sistemas de Engenharia.

Pensamento Sistêmico	Engenharia de Sistemas	Sistemas de Engenharia
Foco no Processo	Foco no Produto Completo.	Foco em ambos: Processo e Produto.
Consideração de questões	Resolver problemas técnicos complexos.	Resolver questões complexas interdisciplinares: técnicas, sócias e de gestão.
Avaliação de múltiplos fatores e influências	Desenvolver e testar soluções tangíveis de sistemas.	Influenciar políticas, processos e fazer uso da Engenharia de Sistemas para desenvolver soluções de sistemas.
Inclusão de padrões de relacionamentos e entendimento comum	Necessidade de atender requisitos, medir resultados e resolver problemas.	Integra dinâmicas e abordagens humanas e técnicas.

Quadro 1: Sistemas e Engenharia

Fonte: Kossiakoff et al. (2011)

2.1.4 O Modelo-V no processo de desenvolvimento de produto

Originalmente proposto por Rook (1986), e sob a forma que permanece em uso até hoje, o Modelo-V era um processo de desenvolvimento de *software* que demonstrava as relações entre cada fase do ciclo de vida do desenvolvimento e sua correspondente fase de teste. Ao invés de se desdobrarem sequencialmente para baixo, como em uma “cascata”, os passos do processo se orientavam para cima depois da fase de codificação, para constituírem o típico formato em “V”.

Assim como o modelo tradicional, “em cascata”, o Modelo-V também utiliza caixas para representar as fases de desenvolvimento. Adicionalmente, Rook enfatiza que a representação das setas não deve ser atrelada a nenhum fluxo estrito de tempo ou prazo (*lead time*) e que as interações entre as atividades devem ser vistas como sendo uma prática habitual.

O Modelo-V é um modelo de processo para o planejamento e execução de projetos. Ao definir procedimentos específicos, padronizados, os resultados associados e os papéis dos responsáveis, o Modelo-V aumenta a transparência do projeto, melhorando a gestão de projetos e, de forma sustentável, aumenta a probabilidade de sucesso (KÜFER, 2004). Portanto, considera-se este modelo como plenamente aplicável para Engenharia de Sistemas, sendo ilustrado à Figura 6.

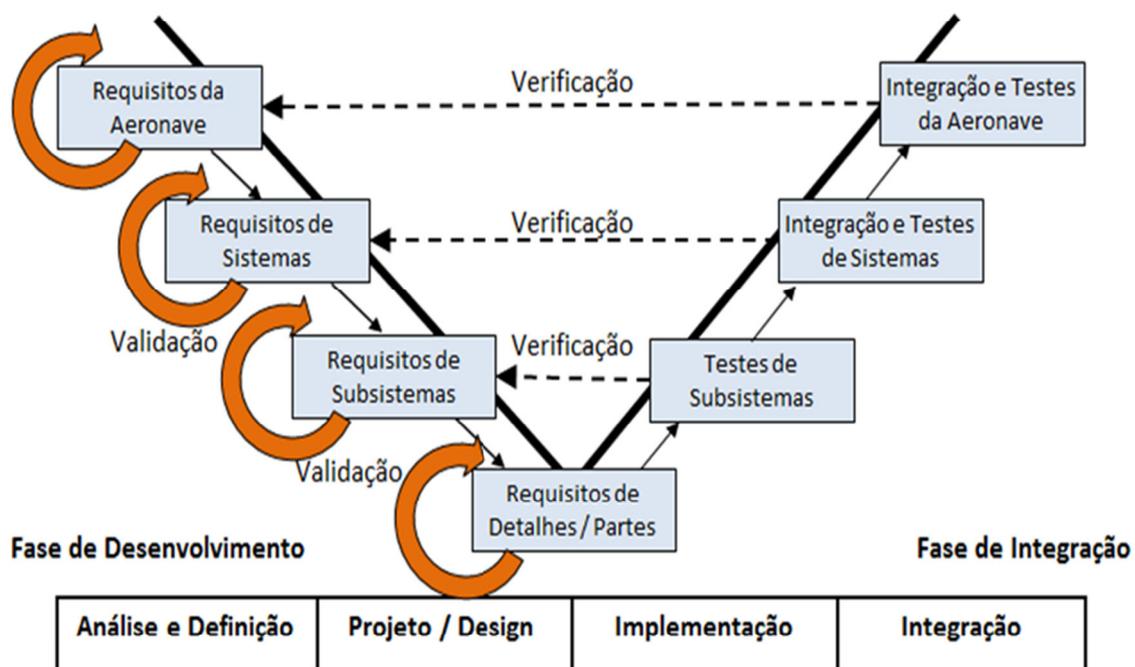


Figura 6: O Modelo-V

Fonte: adaptada de ANLEHNUNG; PARTSCH (1998)

Adaptando-se o texto de *Bundesrepublik Deutschland* (2004), tem-se que o Modelo-V é uma diretriz para o planejamento e execução de projetos de desenvolvimento, concebidos levando-se em conta todo o ciclo de vida do sistema. Ele define os resultados a ser criados em um projeto e descreve as formas concretas pelas quais estes resultados serão obtidos. Além disso, o Modelo-V define as responsabilidades de cada um dos participantes do projeto, fornecendo, adicionalmente, orientações metodológicas normalizadas que podem ser sistematicamente aplicadas na realização de projetos complexos e de grande porte.

Desta forma, esses projetos passam a ser melhor planejados e compreendidos, permitindo alcançar resultados confiáveis e de alta qualidade, o que se constitui em vantagem tanto para o cliente quanto para o fornecedor. Portanto, os requisitos do Modelo-V fornecem a base para os contratos entre clientes e prestadores de serviços, servindo, desta forma, como uma base contratual, de instrução e de comunicação.

Por outro lado, autores como Weber, J. (2009), advertem que o Modelo-V pode ter efeitos negativos, como o aumento da variedade desnecessária de produtos e da burocracia, além da definição de funções irrealistas para pequenos projetos, tornando-os excessivamente complexos.

Segundo a ISO/IEC TR 19760:2003, os "Vs" representam uma sequência de etapas do ciclo de vida do projeto de um produto. O modelo descreve as atividades que são realizadas e os resultados que precisam ser produzidos durante o desenvolvimento do produto. Durante a fase de desenvolvimento as condições e especificação funcional são analisadas. Na fase de integração, as partes são reunidas e verificadas quanto à validade, como mostrou a Figura 6. Aprofundando-se o escopo, em cada fase específica do ciclo de vida do produto pode ser aplicável um Modelo-V, como, por exemplo, durante a fase de desenvolvimento, ilustrada à Figura 7.

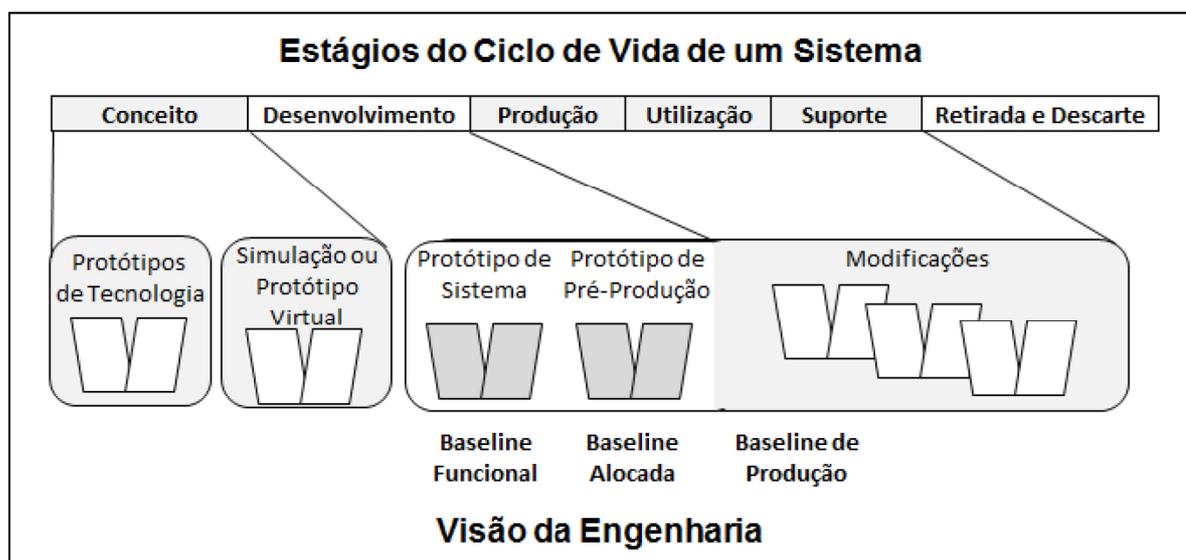


Figura 7: O Modelo-V nas fases do ciclo de vida do produto

Fonte: ISO/IEC 19760 (*Systems Engineering - System Life Cycle Processes*)

A segunda fase do ciclo de vida de um sistema é a fase de desenvolvimento. Uma grande quantidade de trabalhos tem sido publicada nesta área, a exemplo de Back (1983), Bonsiepe (1984), Bonfim (1995), Lobach (2000), Kaminski (2000), Baxter (2000) e Bitterncourt (2001), havendo muitos modelos de ciclo de vida. Esta fase inicia-se com a especificação do sistema e termina com a entrega do sistema desenvolvido, sendo empregada, quase que universalmente, uma abordagem de “dividir e conquistar”. Nesta, a arquitetura do sistema, representado na especificação do sistema, é dividida e subdividida em componentes que são, individualmente, especificados, projetados, construídos, testados e integrados, para comporem o sistema desejado. Pode-se dizer que os sistemas são projetados “de cima para baixo” e, em seguida, implementados “de baixo para cima”. Ould (1990) representou esta abordagem como o Modelo de Processos em "V" para a engenharia de *software*, mas

que se aplica, generalizadamente, aos sistemas. Algumas vezes se argumenta que novos requisitos de *software* podem ser introduzidos ao longo do desenvolvimento. Desta forma, existe a necessidade de um modelo flexível de processo. Como observado anteriormente, no entanto, todas as fases do processo de desenvolvimento são, em si, um processo que é susceptível de uma abordagem de validação que reconhece e satisfaz, repetidamente, as necessidades. A conclusão é, então, praticamente inevitável de que o modelo de processo de engenharia de *software* é uma redescoberta e uma descrição alternativa do modelo de processos de Engenharia de Sistemas.

Ould (1990) também descreve uma variação do Modelo-V de processo conhecida como VP, onde P refere-se à prototipagem. Quando os requisitos não são bem compreendidos por elementos do sistema, protótipos podem ser desenvolvidos para fornecer informações e respostas para os problemas e questões. A utilização de um protótipo pode ser vista como uma forma dirigida de Pesquisa e Desenvolvimento, exatamente como na fase de definição, com a Figura 8 retratando o “V” como uma composição de três camadas, ou visões, para o sistema, em um detalhamento crescente de engenharia.

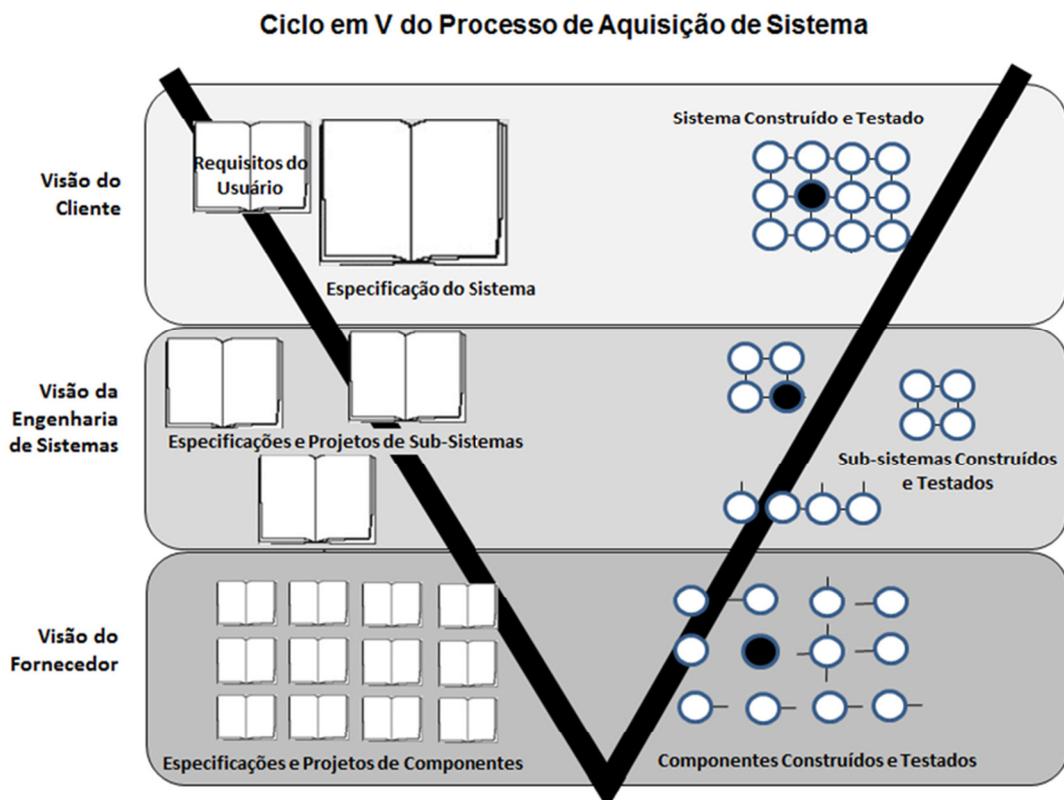


Figura 8: Ciclo em V da Vida de um Processo de Aquisição de Sistema.

Fonte: adaptada de WHYTOCK (1993)

Segundo Whytock (1993), a visão superior é o modelo do usuário, que associa os requisitos do sistema com a sua realização como um sistema construído e entregue. Este modelo do usuário é a perspectiva do cliente ou *stakeholder* (parte interessada), que está interessado em apresentar uma lista de requisitos e receber um produto acabado que atenda aos requisitos.

A segunda camada, ou camada intermediária de detalhes é o modelo arquitetônico, que aborda a decomposição da especificação de nível de sistema em projeto do sistema e especificações e projetos de subsistemas; emparelhados com subsistemas construídos e testados e, finalmente, o sistema testado. O modelo de arquitetura é o ponto de vista do engenheiro de sistemas, que está interessado na decomposição do todo em partes gerenciáveis, reespecificando e projetando as partes, e integrando as partes para compor o sistema acabado.

O terceiro nível, o inferior, é o modelo de implementação, que combina especificações e projetos de componentes com componentes totalmente testados. O modelo de implementação é a perspectiva do fabricante, que está interessado em especificações e projetos ao nível de componentes e produtos.

A sutileza destes modelos reside no papel do engenheiro de sistemas, cujo trabalho deve englobar três atividades fundamentais: reconhecer o produto ou componente como um sistema, analisar os requisitos do sistema e sintetizar os componentes do sistema. Essas três atividades - reconhecer, analisar e sintetizar – são as partes necessárias do processo de Engenharia de Sistemas, não só no desenvolvimento mas também na definição e implantação. Por exemplo, segundo Patterson Jr. (1995) a “reengenharia” de um sistema de *software* pode ser demonstrada como sendo diretamente relacionada com a capacidade do sistema ser reconhecido, analisado, e sintetizado; e métricas podem ser atribuídas a cada uma dessas dimensões, proporcionando, assim, medições indiretas da capacidade de “reengenharia”.

Ambas, Verificação e Validação (V & V), podem ser visualizadas usando o modelo de processo em V (Whytock, 1993). A Verificação é uma forma de análise da árvore documental que certifica que todos os requisitos, de uma especificação de nível mais elevado, são decompostos, com sucesso, em requisitos a um nível mais baixo na árvore (e vice-versa), seguindo a forma de “V”.

Esta é, essencialmente, uma preocupação no plano vertical, tal como representado na Figura 9. De acordo com o padrão ANSI / IEEE 729, de verificação

de *software* é "o processo de determinar se os produtos de uma determinada fase do ciclo de desenvolvimento de *software* conseguem ou não cumprir os requisitos estabelecidos durante a fase anterior" (*American National Standards Institute / Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos - ANSI / IEEE, 1983*).

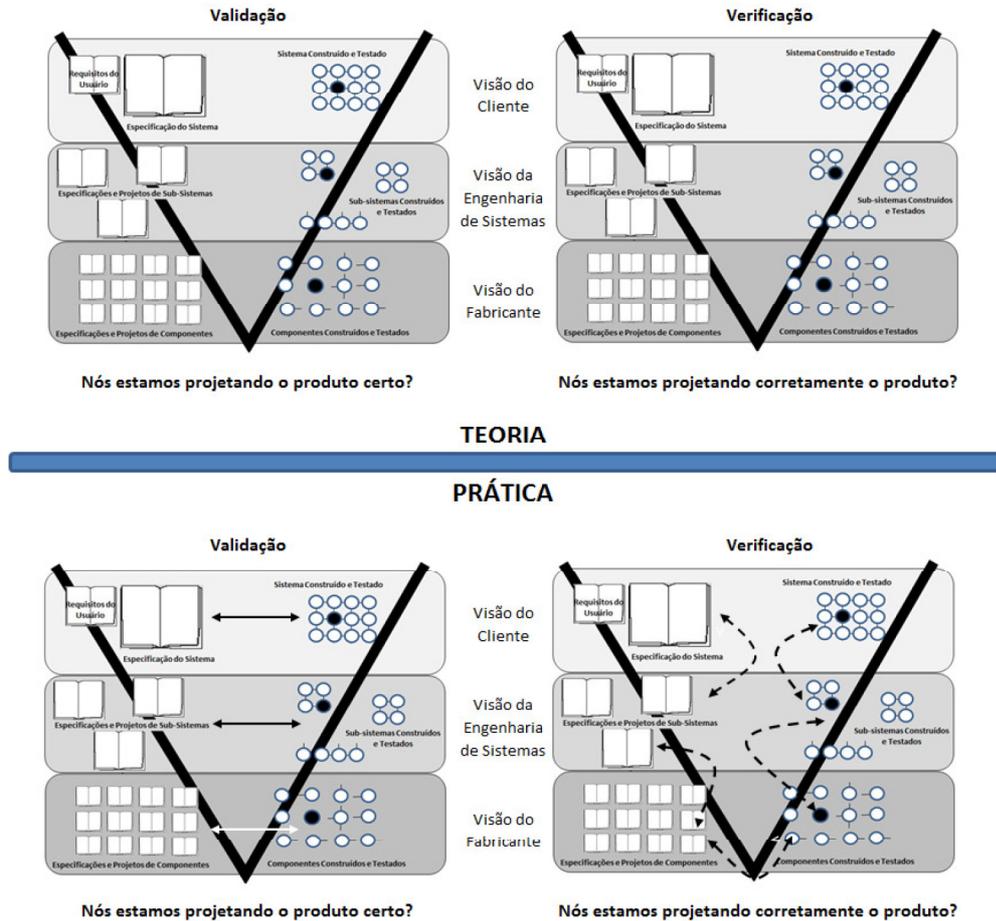


Figura 9: Teoria e Prática da Verificação e Validação no Ciclo de Vida do Processo.

Fonte: adaptada de WHYTOCK, 1993

A dimensão horizontal faz uma pergunta diferente: ou seja, se o produto construído e testado a algum nível de conclusão representa, com sucesso, as especificações e projetos ao mesmo nível do modelo. Esta é a Validação. Ainda de acordo com a definição padrão ANSI / IEEE, validação de *software* é "o processo de avaliação de *software* no final do seu processo de desenvolvimento para garantir a conformidade com requisitos" (ANSI / IEEE, 1983). Essas definições, específicas para *software*, podem ser, e muitas vezes são, generalizadas para os sistemas. Como ilustrado na Figura 9, considerações de risco muitas vezes resultam em um desvio, na prática, em relação a estas definições. Em ambos os casos, de verificação e de

validação, o custo de se detectar e corrigir problemas mais tarde, em vez de mais cedo, no ciclo de vida, é não-linear com a distância entre o início do projeto e o ponto de detecção do problema. Como resultado, é muito provável que a despesa adicional de *overhead* em se reduzir esta distância por validação a cada estágio e por meio de verificação em cada etapa de engenharia, acabe por resultar em economia de custos no aspecto global.

2.2 Engenharia Lean (*Lean Engineering*)

A *Lean Manufacturing* foi idealizada originalmente pela Toyota, deste fato derivando o nome *Toyota Production System* (TPS). O TPS era um método para eliminar o desperdício, esforçando-se para produzir apenas o que o cliente queria. O Programa Internacional de Veículos a Motor (*IMVP – International Motor Vehicle Program*), uma iniciativa do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*MIT – Massachusetts Institute of Technology*) chamou o conceito de *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta ou Produção Enxuta), o qual representou uma mudança radical a partir da produção em massa (WOMACK et al., 1992). A *Lean Manufacturing*, no entanto, transcendeu o espaço físico da fábrica, transformando-se em um novo modo de pensar, uma verdadeira Filosofia *Lean*, conforme ilustrado à Figura 10.



Figura 10: Evolução da Filosofia *Lean*.

Fonte: Autora, 2016

Muito da *Lean Manufacturing* depende do fluxo de informações entre o fabricante, o cliente e os fornecedores. Quanto mais visível este fluxo de informação, mais o fabricante produz o que o cliente realmente deseja (WOMACK et al., 1992).

Ao Quadro 2 detalha-se como a Filosofia *Lean* foi movida para além do âmbito da produção, inserindo-se no campo de Desenvolvimento de Produtos e Serviços, decorrente do fato de, no passado, a empresas que optaram por adotar a *Lean Manufacturing* terem obtido sucesso não só na produção, mas também em áreas como Processos e Logística (Entrega e Distribuição).

Princípios Lean	<i>Lean Manufacturing</i>	Comportamentos <i>Lean</i>	Aplicação no Desenvolvimento de Produtos
Valor	Valor é definido pelo Cliente / Consumidor Final.	Compreender os desejos e as expectativas das pessoas com as quais se interage.	Atender às expectativas do programa, superando os desafios técnicos enquanto se mantém firme compromisso com o cronograma.
Fluxo de Valor	Compreender todas as ações específicas necessárias para fabricar um produto, e eliminar os desperdícios.	Compreender o que as pessoas fazem e porque elas fazem.	Compreender a comunicação multifuncional necessária para se obter acesso contínuo à base de dados e conhecimento ao longo de todo o processo.
Fazer Fluir	Fazer com que as etapas que agregam valor ocorram continuamente, sem interrupção.	Comportar-se de forma a minimizar ou eliminar atrasos e paradas no trabalho, tanto próprio quanto executado por outros.	Assegurar que os <i>inputs</i> e o conhecimento são obtidos no momento adequado e comprometer-se a mantê-los com mudanças mínimas.
Puxar	Responder à demanda do Cliente / Consumidor.	Reconhecer que as pessoas operam sob muitos e diferentes modelos mentais, que requerem que ajustes frequentes nos estilos ou abordagens (comportamentais).	Capacidade de fornecer respostas oportunas (a tempo) e precisas às necessidades do programa.
Perfeição	Continuar, sistematicamente, a buscar a melhoria em valor, fluxo, produção puxada e eliminação de defeitos na produção.	Sistematicamente identificar e eliminar desperdícios "comportamentais".	Sistematicamente identificar e eliminar desperdícios no desenvolvimento de produtos.

Quadro 2: *Lean Manufacturing* e *Lean* no Desenvolvimento de Produto

Fonte: tradução livre de Garza, L.A., 1992

Os benefícios em se incorporar os Princípios *Lean* foram reconhecidos imediatamente. Hoje em dia, pode se dizer que não existem áreas da sociedade em

que os Princípios *Lean* não possam ser implementados na prática. Empresas *Lean* "entendem o que é valor para o cliente. Em seguida, identificam todas as ações necessárias para levar o produto da concepção ao lançamento. Então, retiram todas as ações que não adicionam valor. Por fim, a empresa analisa os resultados e continuamente renova o processo de avaliação." (WOMACK; JONES, 2004). Esta definição combina os cinco Princípios *Lean* e é válida para todas as empresas durante o seu Mapeamento do Fluxo de Valor (*VSM – Value Stream Mapping*). A Iniciativa *Lean* Aeroespacial (*LAI – Lean Aerospace Initiative*) no *MIT* tem aplicado, com sucesso, o que foi definido por Womack e Jones como "*Lean Thinking*", ou Mentalidade Enxuta.

2.2.1 Os Cinco Princípios *Lean*

2.2.1.1 Valor para o Cliente

A identificação exata do valor, a partir da perspectiva do cliente, é o primeiro passo importante do Pensamento *Lean*.

O primeiro passo na Filosofia *Lean* começa com uma análise aprofundada e uma discussão detalhada com o cliente. Analisando o valor no desenvolvimento de produtos, a investigação está em se determinar conformidade com as expectativas do programa e os desafios técnicos. As decisões não podem ser tomadas sem se estar conectado às partes que irão entregar o resultado. Se as expectativas são irrealistas ou não são apreciadas pelas partes interessadas, elas precisam ser discutidas e negociadas ao início do processo (WOMACK; JONES, 2004).

Shillito e De Marle (1992) também trazem uma abordagem quantitativa para a descrição do valor, o que é uma visão adicional sobre a relação entre os atributos que compõem o mesmo. O valor é considerado como sendo diretamente proporcional à capacidade do produto em satisfazer as necessidades do cliente, sendo inversamente proporcional ao custo do produto ou serviço (SHILLITO; DE MARLE, 1992). A Equação 1 apresenta este conceito em termos matemáticos:

$$Valor = \frac{N \times A \times f(t)}{C} \quad (1)$$

Onde:

N = a necessidade pelo produto ou serviço

A = a capacidade do produto ou serviço satisfazer o cliente

C = o custo do produto ou serviço

$f(t)$ = a função do tempo

Existem vários exemplos bem-sucedidos de empresas mencionados por Womack e Jones (2004), mas uma abordagem generalista, elaborada para várias empresas, faz com que a implementação deste primeiro princípio *Lean* (a exata identificação do que agrega valor para o cliente) seja consideravelmente mais difícil, sendo a falta de orientação ao cliente, muitas vezes, a causa dos problemas encontrados na aplicação deste princípio. Além disso, existem significativas lacunas de informação em relação ao ambiente do cliente, bem como aos problemas e solicitações específicas dos clientes, sendo que o preenchimento de tais lacunas deve ser buscado da forma mais completa possível, sob a pena de se impactar, seriamente, as etapas subsequentes de desenvolvimento do produto ou serviço.

Finalmente, o Valor só pode ser determinado pelo cliente e só faz sentido se a empresa puder relacionar suas próprias habilidades com produtos específicos, para os quais tenha definido preços especialmente reconhecidos (como vantajosos) pelo cliente (WOMACK; JONES, 2004).

2.2.1.2 Identificar o Fluxo de Valor

O próximo passo na Filosofia *Lean* é chamado de identificação do real Fluxo de Valor. Isso significa identificar todas as atividades, necessárias e específicas, para produzir o produto, independentemente de seus benefícios e seus serviços (WOMACK; JONES, 2004).

A fim de se tornar visíveis os desperdícios, é necessária a identificação do Fluxo de Valor. Com os funcionários realizando todas as tarefas associadas, é preciso identificar pontos de controle e outros fluxos físicos que sejam empregados para agregar valor sob o ponto de vista do cliente. Para este fim, a empresa tem que eliminar todas as atividades que não agregam valor, minimizar todas as atividades que não agregam valor, mas são necessárias e otimizar as atividades que agregam valor. Na produção, a ênfase recai sobre o fluxo de material enquanto que, durante o desenvolvimento de produto, ela se concentra na área da informação. Para se resolver

este problema, é particularmente importante se compreender a diferença entre a produção e o desenvolvimento de produtos.

O termo "fluxo de dados" refere-se aos pacotes de informação (conhecimento) a serem criados ao longo de várias tarefas e, em outras tarefas, se refere aos fluxos de revisão de decisão e integração. (OPPENHEIM et al., 2010).

Nesta análise podem ser encontrados, em geral, os seguintes três tipos de atividades (HINES, 2001), que se encontram representadas à Figura 11:

- Atividades com Valor Agregado: são aquelas decisivas para as atividades do cliente, originando um benefício para ele, como no desenvolvimento de um novo radar para uma aeronave militar.

- Atividades Necessárias, mas Sem Valor Agregado: embora essas atividades não criem valor e representem mais desperdício, elas não podem ser eliminadas imediatamente, sem que grandes mudanças sejam efetuadas no sistema como um todo. Isto ocorre devido às circunstâncias atuais e aos limites das tecnologias disponíveis, tal como um teste adicional de garantia da qualidade.

- Atividades que Não Agregam Valor: essas atividades são um completo desperdício e devem ser eliminadas o mais rapidamente possível. Nesta classe devem se incluir, por exemplo, o processamento duplicado, tempos de espera e transporte desnecessário.

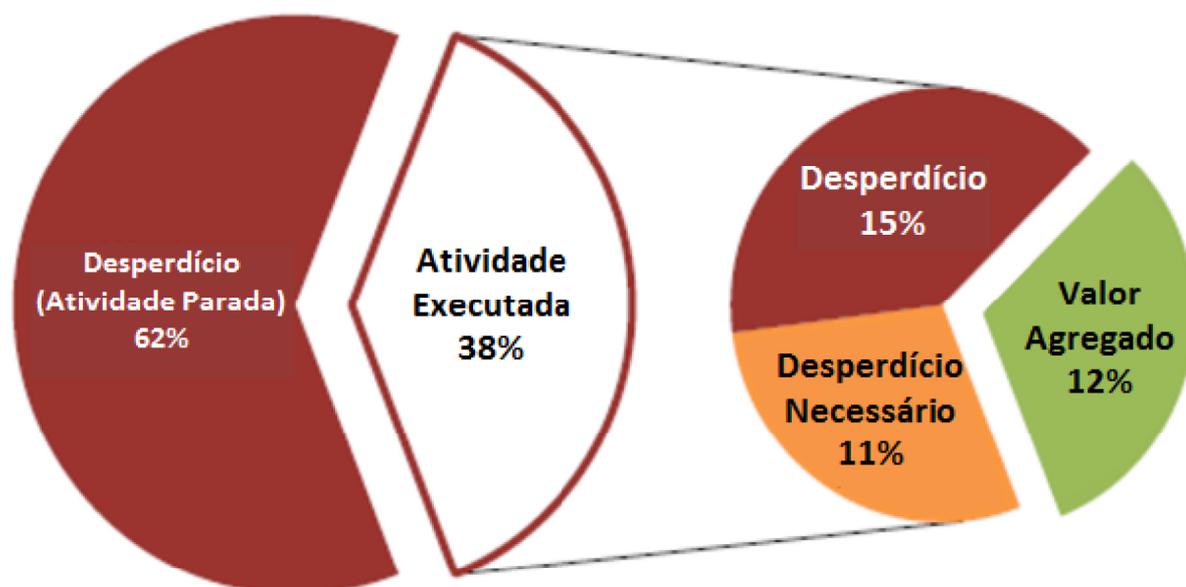


Figura 11: Tempo empregado no desenvolvimento de produto

Fonte: Oehmen & Rebertisch, 2010

2.2.1.3 Princípio de Fluxo

Após se ter identificado o Valor e terem sido eliminados os desperdícios, as etapas restantes de criação de valor devem “fluir”. As etapas de criação de valor se comparam ao fluxo de um rio, movendo-se incessantemente e sem interrupção a fim de otimizar o fluxo, demandando que seja planejada uma simultaneidade máxima de tarefas para o mais próximo possível da capacidade de execução da empresa.

A aquisição de valor e o planejamento do programa são as duas condições necessárias para a subsequente execução de um programa *Lean* (OPPENHEIM et al., 2010).

Repetições (*loops*) planejadas de tecnologia são sempre necessárias no desenvolvimento de produtos, mas elas tendem a consumir muito tempo se houver o envolvimento de mais disciplinas (como, por exemplo, na Engenharia de Sistemas) (MURMAN et al., 2002). O objetivo do princípio de fluxo consiste em uma nova operação por funções, departamentos e empresas para fazer fluir a troca de informações. Isso permite a criação de valor e fornece uma resposta para todos os participantes do processo (WOMACK; JONES, 2004).

Uma redefinição ou reconsideração bem-sucedida requer não apenas um grande foco no produto alvo, mas também métodos de trabalho e ferramentas tradicionais (WOMACK; JONES, 2004). Quando tomadas sem critérios sólidos e estruturados, redefinições ou reconsiderações podem impactar negativamente tanto a qualidade quanto o tempo e o custo dos projetos.

2.2.1.4 Princípio de Puxar

A Filosofia *Lean* não se preocupa apenas com a questão de como a empresa pode satisfazer as necessidades de seus clientes, mas pode também como os produtos e serviços entregues aos clientes se comparam com os que estiverem disponíveis. O princípio de puxar, portanto, não aborda apenas a realização do desejo dos clientes, mas também a possibilidade de que a empresa possa, a qualquer momento, estar pronta para atender e executar o que lhe é pedido (disponibilidade). Ao invés de impor produtos e serviços ao cliente, busca-se atender às exigências e necessidades dos clientes mesmo que manifestas no último instante possível (OPPENHEIM et al., 2010).

2.2.1.5 Buscando a Perfeição

O último princípio desta série é a busca pela Perfeição. Ele lembra que não há fim na busca crescente pela otimização de esforço, tempo, espaço e custos (WOMACK; JONES, 2004). Portanto, a força de trabalho sempre deve tentar encontrar uma melhor maneira de entregar valor ao cliente com um mínimo de recursos empregados, desde o contato inicial com o cliente.

Os processos de engenharia, dentre outros, devem ser incessantemente melhorados, na busca por condições mais competitivas para a empresa. Isso permite que se tornem visíveis os erros que estão ocultos no fluxo de informações (MORGAN; LIKER, 2006). Afinal, é de extrema importância para as empresas entender a distinção entre perfeição no processo e no produto, disponibilizando investimentos da melhor forma possível.

2.2.2 Engenharia *Lean* de Sistemas (*LSE - Lean Systems Engineering*)

A Engenharia de Sistemas (*SE*) é o “sistema nervoso” do Desenvolvimento de Produto (*PD – Product Development*), sem deixar de ser, simultaneamente, uma parte inerente ao mesmo *PD* (HITCHENS, 2007). Com base no sucesso da Toyota em *PD* e na dificuldade de se aplicar a Filosofia *Lean* diretamente em *PD*, não é de estranhar que a *SE* tenha se tornado um desafio para a Filosofia *Lean*. A combinação de *Lean* e Engenharia de Sistemas foi denominada Engenharia *Lean* de Sistemas, ou *LSE – Lean Systems Engineering* (OPPENHEIM et al., 2010). *SE* e *Lean* têm sido, ambas, tradicionalmente focadas em diferentes fases do ciclo de vida do produto, com seus respectivos desafios.

A área tradicional da prática de *SE* é, geralmente, o desenvolvimento de produtos, enquanto que a produção, em geral, é o campo tradicional da prática de *Lean* (nascida como *Lean Manufacturing*). Como a *SE* atua, tradicionalmente, nas atividades de definição do produto (desde requisitos até especificações detalhadas), pode obter maior êxito na satisfação dos requisitos dos clientes. Por outro lado, *Lean* é definida tradicionalmente nas atividades de realização do produto, garantindo que o mesmo seja entregue ao cliente com sucesso em termos de Valor agregado. Por ter ênfase nas diferenças existentes dentro das fases do ciclo de vida do produto, a *SE* tem seu foco mais direcionado ao Planejamento, enquanto que a *Lean* mantém seu

foco na condução empírica das atividades (REBENTISCH et al., 2004). Desta forma, a Engenharia *Lean* de Sistemas é a área de sinergia entre *Lean* e *SE*, com o objetivo de proporcionar o melhor valor para o ciclo de vida de sistemas tecnicamente complicados, com o mínimo de recursos (INCOSE, 2010). Esta sinergia deu origem à seguinte definição de *LSE*: A Engenharia *Lean* de Sistemas é a aplicação dos Princípios, Métodos e Ferramentas *Lean* à Engenharia de Sistemas (*SE*) para aumentar a transferência segura de Valor para as partes interessadas (*stakeholders*) do sistema (OPPENHEIM et al., 2010).

2.2.3 Engenharia Simultânea

A Engenharia Simultânea pode ser definida, de acordo com Ernst (2002), como sendo a abordagem de desenvolvimento integrado do produto para todas as partes interessadas (*stakeholders*), em forma paralela, ao invés de sequencial, no ciclo de desenvolvimento do produto.

Segundo o mesmo autor, as vantagens da Engenharia Simultânea são:

- O período (*lead time*) mais curto decorrido desde a idéia do produto até a comercialização do mesmo;
- A redução do tempo de desenvolvimento por meio da disposição em paralelo dos sub-processos.

No entanto, a crescente demanda na área de inovação, reduzindo os tempos de ciclo e encurtando os passos nos processos de manufatura, não pode ser satisfeita com o método habitual de engenharia no desenvolvimento de produto.

No processo sequencial tradicional de desenvolvimento, o resultado de cada fase é passado para a fase seguinte, no próximo departamento. O fluxo de informação é possível apenas em uma direção, porque não é dada nenhuma possibilidade de realimentação. Se ocorrerem erros, será difícil descobri-los a tempo. Os erros são descobertos somente quando em contato com o cliente e a realização do necessário retrabalho, além de onerosa, acaba por, prolongar a duração do projeto.

Na engenharia simultânea as relações de desenvolvimento em paralelo entre os departamentos são mais acentuadas e aceleradas, trazendo, segundo Ernst (2002), benefícios em termos de tempo, custo e qualidade.

Entretanto, a Engenharia Simultânea não oferece somente vantagens, mas também traz desvantagens e riscos. Os três principais desafios são, segundo Ernst (2002) e Terwiesch et al. (2002):

- Qualificações:

Tanto para o líder da equipe, quanto para a própria equipe, são exigidos altos níveis de qualificação. Os líderes de equipe precisam lidar com um alto esforço de coordenação, enquanto uma alta capacidade de trabalho em equipe é necessária para todos os envolvidos. "Sem essas habilidades a convivência é ameaçada e não se conseguem efeitos de integração" (ERNST, 2002).

- Desafios humanos:

"Graças à dedicação da equipe de *SE*, outros funcionários da empresa podem ter uma idéia do que desenvolver", entretanto, isso pode levar a rivalidades. Por isso, é possível que a equipe de *SE* não receba o total apoio das outras áreas dentro da empresa" (ERNST, 2002).

- A incerteza das informações:

Este terceiro ponto é muito relevante para este trabalho. Embora a realização de atividades em paralelo traga ganho direto em termos de tempo, com um início antecipado do processo de desenvolvimento, isto não ocorre sem inconvenientes. A implementação de duas atividades paralelas vai forçar os desenvolvedores a não compartilhar informações finalizadas. Se não houver nenhum paralelismo, a informação pode ser trocada na sua forma final. Se uma dependência está faltando, não há necessidade de se trocar informações. Não se obtendo uma informação ideal, esta é a consequência direta da interação entre disciplina, paralelismo e dependência (TERWIESCH et al., 2002).

Quanto mais cedo um processo a jusante começar, tanto maior o risco de ocorrerem futuras mudanças, especialmente se os resultados de atividades a montante forem difíceis ou impossíveis de se prever. Neste caso, a paralelização de disciplinas traz o risco de gerar esforços técnicos adicionais, sob forma de retrabalho. Segundo Clark e Fujimoto (1991) e Soderberg (1989), isto tem sido responsável pelo consumo de até 50% da capacidade de engenharia.

2.3 O Papel da Informação no Desenvolvimento de Produtos

Os processos de engenharia exigem criatividade e incluem atividades como projeto, análise de Engenharia e avaliações de desempenho. Na fase de Desenvolvimento, a Engenharia é largamente dependente de informação e relatórios, desenhos, modelos e manuais (COSTA; YOUNG, 2001). Hoje em dia, se faz necessária uma utilização mais eficaz da informação e do conhecimento, a fim de atender, de forma eficiente, os objetivos das organizações (DIETEL, 2000), (CHAFFEY; WOOD, 2004). Segundo Björk (2003), a busca por documentos digitais, armazenados em um computador corporativo, é muito mais complicada se comparada à pesquisa em um arquivo de pastas particulares. A gestão confiável, uniforme e duradoura de informações dentro de uma empresa é de fundamental importância para os setores de engenharia. A informação é crucial nas áreas de projeto/*design*, produção e ciclo de vida de um produto. (ULLMAN, 2003), (CHRISTIAN; SEERING, 1995), (LOWE et al., 2004).

2.3.1 Os problemas existentes no compartilhamento de informações

Há muitas dificuldades na troca de informações hoje em dia. Seguem alguns exemplos desses problemas, identificados a partir da literatura por Starck (2011) e Loch e Terwiesch (1998):

- Acessibilidade

Uma gestão complicada do acesso pode modificar os direitos de acesso de um usuário aos dados específicos do produto durante o ciclo de vida do produto. Desse modo, pode acontecer que um usuário que tinha o direito de obter e atualizar informações sobre o produto em desenvolvimento, em outro momento, não tenha mais acesso a essa informação. E, em um dado tempo, uma pessoa pode ter diferentes direitos de acesso a diferentes projetos e produtos.

O acesso aos dados do produto pode ser ainda mais complicado, devido a aspectos de segurança de TI e pela introdução de novas aplicações, os quais podem interagir de forma inesperada, acumulando barreiras ao acesso e gerando inconsistências em termos de autorização aos usuários.

- Arquivamento

Muitos dados do produto devem ser mantidos na indústria por um longo período de tempo. Os clientes podem, por exemplo, exigir que os dados sejam arquivados durante várias décadas.

- Disponibilidade

Informações sobre o produto devem estar disponíveis para os usuários onde e quando eles precisarem. Por exemplo, uma aeronave requer a opção de ser reparada em todas as partes do mundo. Então, as informações pertinentes devem estar disponíveis a qualquer momento, para qualquer tipo específico de configuração.

- Confidencialidade

Dados do produto são valiosos. Muitos destes são confidenciais e não devem ser editados ou sequer vistos por pessoas de outras organizações, como os concorrentes.

- Intercâmbio/Troca

Informações sobre o produto devem ser frequentemente “deslocadas” de um lugar para outro. Esta reorganização pode tanto ser transmitida de uma pessoa para outra, quanto pode ocorrer entre duas aplicações (ou representação ou proprietários) fins de substituição/atualização. A transferência de dados pode, por exemplo, seguir caminhos diferentes via apresentação dos meios de comunicação, correndo o risco de ser alterada no processo.

A partir do momento em que dados do produto forem transmitidos de uma representação para outra, ou por meio de um veículo de comunicação, podem ser necessárias conversões precisas e demoradas. No entanto, as conversões exatas são praticamente impossíveis de se obter, porque sempre existe uma perda de qualidade (degradação).

Há muitos mais problemas com a troca de informações, os quais, no entanto, são impossíveis de se identificar sem a ajuda e o estudo da Engenharia *Lean*. Portanto, desenvolveu-se, neste trabalho, o conceito de análise e comparação de dados que permite uma melhor identificação e categorização destes problemas, com o auxílio das Práticas Capacitadoras *Lean (Lean Enablers)*.

2.4 Desperdícios no Desenvolvimento de Produtos

Os processos de Desenvolvimento de Produtos criam valor por meio da geração de informações. Uma vez que a participação no desenvolvimento de sistemas complexos requer a troca de informações em uma grande variedade de formatos, entre muitas disciplinas diferentes, isto pode causar perdas por “transporte da informação” (equivalente aos “desperdícios”). O *Lean Thinking* (Pensamento Enxuto) trouxe resultados positivos em termos de eficiência e redução do tempo de processamento total (WOMACK; JONES, 2004). A transferência de princípios *Lean* para os processos de desenvolvimento de produto, trouxe, desta forma, efeitos positivos sobre o desempenho do processo (McMANUS et al., 2005), (OPPENHEIM, 2004), (MURMAN et al., 2002).

Em seu livro "*Lean Thinking*", de 2004, os autores Womack e Jones explicam que os princípios e ferramentas de produção enxuta podem ser transferidos para o campo de desenvolvimento de produto, como mostrado no Quadro 3 a seguir.

O estudo de diferentes autores, como Murman et al. (2002), Womack e Jones (2004), Oppenheim (2004) e McManus et al., (2005), para citar alguns, demonstra que mesmo os profissionais nesta área não têm as mesmas idéias e, portanto, focalizam em aspectos diferentes.

Esta diferença de abordagem pode ser devida ao fato de que, diferentemente da produção de bens, praticamente nenhum material físico, excetuando-se os exemplares ilustrativos de conceitos, protótipos e pré-séries, é considerado no desenvolvimento de produtos, mas tão somente a informação (sob suas diversas formas).

Manufatura	Como ocorrem no Desenvolvimento de Produto / SE	Possíveis Soluções (Sugestões de Malotaux)
Superprodução (geração de excesso de material ou informação)	Recursos extras, Documentos não usados; Duas pessoas trabalhando na mesma informação; Entregar informação muito antecipadamente.	Priorizar as reais necessidades; Decidir o que não fazer.
Estoque (ter/manter mais material ou informação do que se necessita)	Trabalho parcialmente realizado; "Empilhar" informações.	Sincronização, <i>Just In Time</i> .
Transporte (movimentação de material ou informação)	Passar informações muitas vezes, de um para outro; Erro de comunicação; Transmissão ineficiente da informação; Reuniões grandes e muito longas; Transmissão ineficiente de e-mails para longas listas de distribuição.	Manter em mente: - Responsabilidade (o que fazer); - Conhecimento (como fazer); - Ação (fazer); - <i>Feedback</i> (aprender com os resultados).
Movimentação Desnecessária (mover pessoas para ter acesso a ou processar materiais ou informações)	Troca de Tarefas; Pessoas necessitando se mover para ganhar acesso a informação.	Estabelecer um máximo de duas tarefas em paralelo.
Espera (Esperar por materiais ou informação, ou material ou informação esperando para serem processados)	Atrasos; Pessoas aguardando por informação; Informação aguardando por pessoas; Processos paralelos não-sincronizados; Atividades de longo <i>lead time</i> ; Cronogramas não-realistas.	Reprojeto do Processo e/ou da organização.
Outputs Defeituosos (Erros ou enganos fazendo com que o esforço seja feito novamente para corrigir o problema)	Defeitos; Informação necessitando de retrabalho; Corrigir informação; Erros no projeto de componentes ou da arquitetura; Informação incorreta ou obsoleta passada para a próxima tarefa.	Prevenção.
Superprocessamento (Processar mais do que o necessário para produzir o <i>output</i> desejado)	Ineficiência do Projeto; Pensamento irrealista; Reinvenção; Diferentes sistemas de TI requerendo conversão de dados entre eles; "Excesso" de engenharia.	Conhecimento, experiência, revisões.

Quadro 3: Os Sete Desperdícios Originais da *Lean Manufacturing* manifestados no Desenvolvimento de Produtos

Fonte: Adaptado de UnicomALM2001Malotaux (Malotaux,N. 2011)

2.4.1 Os Três Desperdícios Complementares da Informação

Sobre o tema "desperdícios no desenvolvimento de produtos", contemplando-se tanto a revisão de literatura (OEHMEN, 2010) quanto o contexto da análise dos projetos estudados, são totalizados dez tipos relevantes de desperdícios, acrescentando-se outros três aos sete tipos originais, já abordados anteriormente e ilustrados ao Quadro 3, quais sejam:

2.4.1.1 Problemas na Comunicação da Informação

A comunicação de informações é muito importante para a cooperação em um processo pois confere transparência ao mesmo, ou seja, permite uma identificação mais clara dos papéis e responsabilidades dos participantes. Desta forma, uma comunicação eficaz e eficiente reveste-se de grande importância para o sucesso dos projetos de desenvolvimento de produto. Os desperdícios ocasionados por comunicação ineficiente podem se manifestar sob a forma de:

- responsabilidades/funções pouco claras;
- barreiras de entendimento (em processos multinacionais e transculturais, por exemplo) que também dificultam a transferência de conhecimento e tecnologia.

2.4.1.2 Baixa Qualidade da Informação

Ainda segundo Oehmen (2010), este desperdício inclui todas as questões referentes à baixa qualidade da informação, como:

- formato inadequado;
- imprecisão;
- baixo grau de objetividade;
- informação de difícil compreensão, dentre outras.

2.4.1.3 Falta de Ferramentas/Sistemas de TI

O desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas de informação tem aberto novas oportunidades na indústria durante os últimos 20 anos (como análise de "Big Data" a partir de extensos bancos de dados). No entanto, isto também tem criado novos problemas. A principal razão para esses problemas está na grande variedade

de componentes de TI existente no âmbito dos sistemas de informação. Sob o ponto de vista da tecnologia da informação, o desafio (no desenvolvimento de produtos) é mapear os resultados de todo o sistema de um único modelo de dados. Estes resultados deveriam ser obtidos usando ferramentas simples, úteis e de uso corrente. Entretanto, isso tem sido desnecessariamente complicado por novos desenvolvimentos em matéria de ferramentas de *software*, sistemas operacionais e sistemas de *hardware*. Além disso, a Engenharia Simultânea exige uma prática correspondência entre as diferentes ferramentas e disciplinas de TI. Para este fim, é fundamental a coordenação e a padronização de troca de dados. Ainda seguindo a linha de Oehmen (2010), como exemplos de manifestações deste Décimo Tipo de Desperdício tem-se as subcategorias de:

- baixa compatibilidade;
- baixa capacidade;
- baixa disponibilidade.

2.5 Práticas Capacitadoras *Lean* (*Lean Enablers*)

Se os métodos de agregação valor, relevantes para o melhoramento necessário, estão adequadamente identificados no processo de desenvolvimento de produto mas não é óbvio como eles podem ser integrados à estratégia da empresa ou mesmo como podem ser especificamente implementados, pode-se lançar mão das chamadas Práticas Capacitadoras *Lean* (*Lean Enablers*), as quais explicam como o método de agregação de valor pode ser aplicado, como mencionado por Oehmen (2012) em “O Guia para Práticas Capacitadoras *Lean* no Gerenciamento de Programas de Engenharia.” (“*The Guide to Lean Enablers for Managing Engineering Programs.*”), do qual deriva a Figura 12 (mostrada a seguir e também ampliada no Apêndice B, para facilitar sua visualização mais detalhada), ilustrando as Práticas Capacitadoras *Lean* e os problemas que elas visam solucionar.

Dentre as Práticas mencionadas por Oehmen (2012), as seguintes destacaram-se como aplicáveis nesta pesquisa:

- O Princípio de “Puxar”;
- A Padronização;
- A Comunicação;
- O Projeto depois de Testar (valorização da Prototipagem de Conceito);

- O “Fluxo”;
- A Matriz da Estrutura do Projeto (*DSM – Design Structure Matrix*).

Destas, a *DSM* é uma representação compacta da estrutura de informação de um processo de criação. Diferindo-se das tradicionais ferramentas de gerenciamento de projetos, este método se concentra na representação dos fluxos de informação de um projeto ao invés dos fluxos de trabalho (EPPINGER; BROWNING, 2012). Trata-se um método bastante útil para a análise de um processo de desenvolvimento de produtos, subsidiando a redução da quantidade de *loops* de realimentação (*feedback*) que aumentam o tempo de execução dos projetos. Esta metodologia demonstra como a sequência de tarefas de projeto pode ser representada por meio de uma rede de interações.

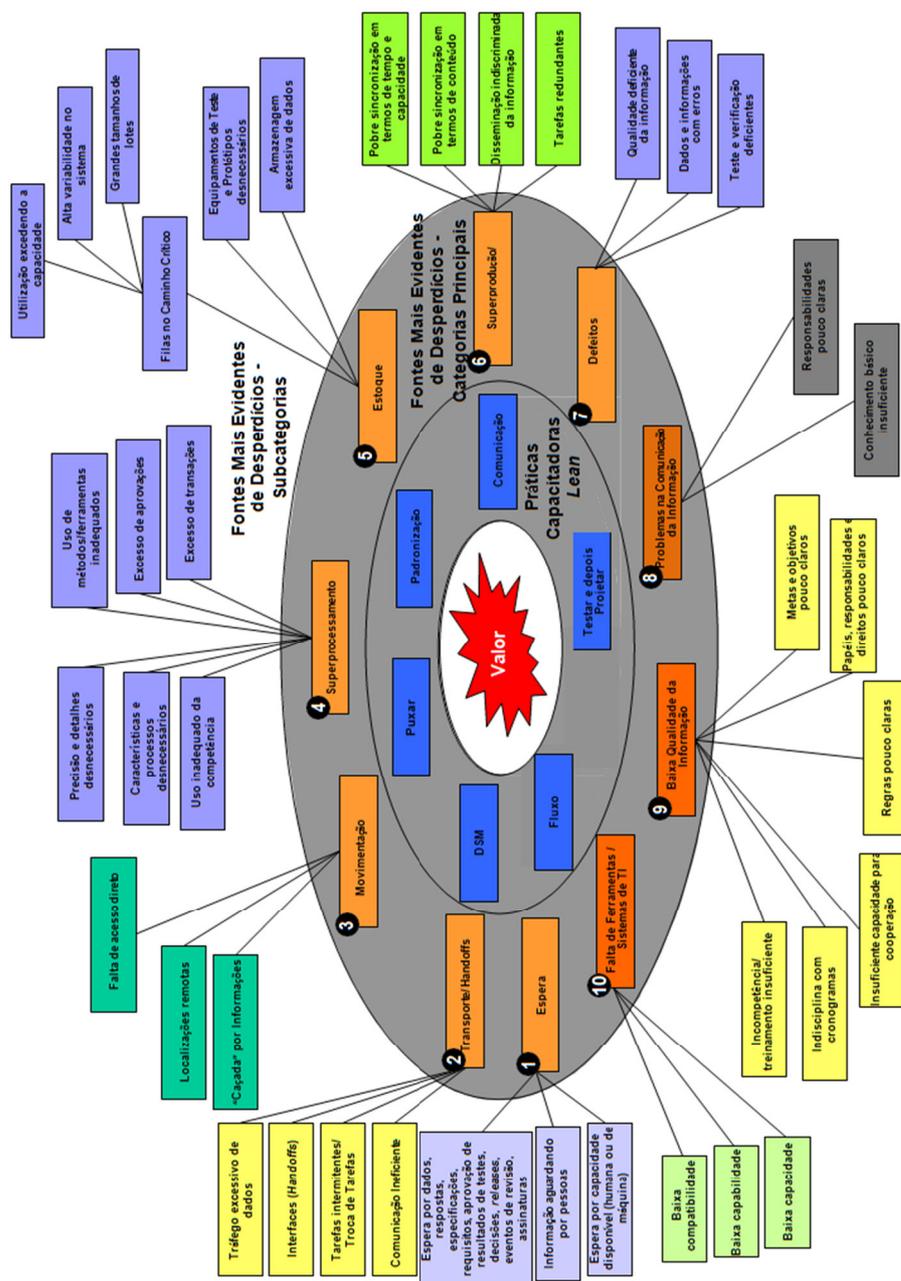


Figura 12: Desperdícios, Suas Fontes e as Práticas Capacitadoras Lean (*Lean Enablers*)

Fonte: adaptada de Bauch, 2004

2.6 A Ferramenta *Stage-Gate*

Desenvolvida por Cooper (1990), a ferramenta *Stage-Gate* se constitui em “uma prática de gestão que cria a disciplina necessária para impedir o desperdício de recursos em projetos de menor potencial. Os projetos são separados em diversos estágios (*Stages*) seguidos por pontos de decisão (*Gates*) onde se reavalia se o projeto deve ou não ter continuidade (ELO GROUP, 2010).

Em síntese, trata-se de um processo estruturado por meio do qual o projeto é desenvolvido. Sendo composto por estágios (*Stages*) intercalados por eventos de avaliação e tomada de decisão (*Gates*), tem-se que cada *Stage* abrange um conjunto de atividades de desenvolvimento com resultados entregáveis (*deliverables*) bem definidos. Um *Stage-Gate* padrão se inicia com *Stages* mais simples, com maior ênfase em planejamento, evoluindo então para *Stages* de maior comprometimento e de cunho mais executivo. Por sua vez, os chamados *Gates* se constituem tipicamente em reuniões nas quais a equipe de projeto realiza uma apresentação dos *deliverables*, desenvolvidos durante o *Stage* precedente, para uma comissão avaliadora. Tal comissão deve analisar e discutir, baseada em um conjunto de critérios previamente definidos e constantes de um questionário no padrão “*check list*” (atendendo-se ao item 7.3.4 – Análise crítica de projeto e desenvolvimento, da norma NBR ISO 9001:2008), tanto os problemas elencados como obstáculos ao atingimento das metas de desempenho quanto se ao projeto será permitido prosseguir para o *Stage* seguinte, em uma representação gráfica que pode ser visualizada à Figura 13. É recomendado por Cooper (1990) que a comissão avaliadora seja constituída por profissionais com diferentes formações e experiências, permitindo uma avaliação multidisciplinar do projeto.



Figura 13: Modelo usual de *Stage-Gate*, composto por 6 *Stages* e 5 *Gates*

Fonte: ELO Group, 2010

2.7 A Técnica *Delfos* e sua derivação

Esta técnica já tem sido utilizada com sucesso em estudos similares com o objetivo de se analisar tendências, não somente em diversos tipos de indústrias, mas também na maior parte dos campos de conhecimento humano, revelando-se particularmente apropriada no compartilhamento de opiniões durante a busca por previsões, diante de elevada incerteza do futuro (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000).

2.7.1 Origem e aplicação da técnica *Delfos*

Originada nos Estados Unidos, no início dos anos 1960, graças aos estudos desenvolvidos pelos pesquisadores da Rand Corporation, Olaf Helmer e Norman Dalkey, a técnica *Delphi* (conhecida também por *Delfos*, em português), tinha o objetivo original de desenvolver uma técnica para aprimorar o uso da opinião de especialistas na previsão tecnológica (ESTES; KUESPERT, 1976). O método acabou se disseminando em praticamente todo o mundo, nos centros de pesquisa em “futurologia”, na previsão de possíveis ou prováveis eventos, bem como de tendências da evolução de mercados e de situações militares, econômicas, políticas e sociais (GORDON, 1994).

Citado por vários autores como o criador do “Método de *Delfos*”, Olaf Helmer também tem este mérito por vezes compartilhado, sob o ponto de vista de outros autores, como Gordon (1994) e Rowe e Wright (1999), com outros pesquisadores da *Rand Corporation*, que datam o nascimento desta técnica entre as décadas de 1950 e 1960, resultante de esforços combinados de estudiosos como Olaf Helmer, Nicholas Rescher, Norman Dalkey e outros pesquisadores da instituição.

A base conceitual para o Método *Delfos* foi, então, sendo desenvolvida a partir dos estudos sobre o futuro pensados por Olaf Helmer e Nicholas Rescher, em 1958, que apresentaram o trabalho *On the Epistemology of the Inexact Sciences*, introduzindo o uso da metodologia de opinião de especialistas como adequado para as ciências não-exatas (HELMER; RESCHER, 1958).

Apresentando uma extensa argumentação, esses autores defendem que a instrumentação metodológica do campo das ciências não-exatas é diferente do das exatas, enfatizando o emprego de opinião de especialistas no contexto do

desenvolvimento de instrumentos de previsão específicos para o campo das ciências não-exatas (HELMER; RESCHER, 1958).

Com o intuito de se demonstrar que o uso da opinião de especialistas não é incompatível com a objetividade científica, os mesmos autores citam exemplos da área de medicina e argumentam que mesmo que desempenhos anteriores sejam desconhecidos, a sua previsão pode ser justificada pelo *background* e conhecimento do especialista. Adicionalmente, a confiabilidade pode ser fortemente sugerida pelo elevado grau de concordância entre os especialistas participantes do estudo (HELMER; RESCHER, 1958).

Embora a técnica *Delfos* visasse, originalmente, mais a previsão dentro do segmento militar com o objetivo de traçar soluções políticas, a mesma foi sendo gradativamente aperfeiçoada com as práticas e os resultados de aplicações em ampla diversidade de organizações.

Originalmente, a técnica *Delfos* deveria seguir três princípios basilares: o anonimato dos respondentes, a representação estatística da distribuição dos resultados e a realimentação (ou o *feedback*) de respostas do grupo para reavaliação nas rodadas subseqüentes (MARTINO, 1993).

Desta forma, como originalmente concebida, a técnica *Delfos* é um método para a busca de um consenso de opiniões de um grupo de especialistas, a respeito de eventos futuros. Como tal, este método tem se revelado bastante eficaz no levantamento de informações e diagnósticos empresariais ou industriais, pois permite se estruturar a aplicação de consultas organizadas, mediante a participação de um grupo de especialistas.

2.7.2 Características da técnica *Delfos* e de sua adaptação

Pelo que já se abordou, constata-se que o Método *Delfos* visa, de modo particular, obter a contribuição e a ajuda de especialistas em determinadas áreas ou zonas de incerteza face à necessidade de uma tomada de decisão sobre eventos futuros ou análise de tendências em todos os campos do conhecimento humano. Para tanto, originalmente, os respondentes ou os participantes do painel enviam separadamente suas contribuições a partir de um questionário previamente estabelecido.

Segundo Gordon (1994), o método *Delfos* é um debate controlado, o que permite conhecer todas as opiniões. Este mesmo autor ressalta que o anonimato dos especialistas é outro fator chave no método. O fato dos especialistas não se reunirem presencialmente implica na redução da possível influência de fatores psicológicos como, por exemplo, os efeitos da capacidade de persuasão, a relutância em abandonar posições assumidas e a dominância de grupos majoritários em relação a opiniões minoritárias (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000).

A escolha dos especialistas é outro ponto determinante no método *Delfos*. O resultado do estudo depende do conhecimento e da cooperação dos especialistas participantes, sendo essencial a participação de pessoas que possam contribuir com idéias valiosas. Logo, a identificação preliminar dos potenciais especialistas é uma das principais tarefas daqueles que se propõem a empregar a técnica (GORDON, 1994).

O método em questão ressalta o fato das informações obtidas se revestirem que maior qualidade intrínseca, pois são mais seguras e mais expressivas quando procedem do consenso de um grupo de elevado conhecimento técnico, ou ao menos da maioria dos seus integrantes, a respeito da análise de fatos, dados e tendências, e não apenas de um indivíduo ou de um único perito (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000).

Em seu formato original, a técnica *Delfos* conta com uma quantidade relativamente pequena de respondentes, abrangendo de 15 a 35 especialistas, sem se ter intenção de se obter significância estatística nos resultados obtidos. Segundo Gordon (1994), o principal objetivo é representar a síntese da opinião dos especialistas participantes do painel, sendo que, geralmente, o índice final de respondentes na última rodada é 35 a 75% da primeira rodada.

Quanto ao número de rodadas a serem realizadas, não existe uma regra pré-estabelecida. Enquanto alguns estudos podem usar várias rodadas, Wright e Giovinazzo (2000) sugerem que, no mínimo, devem ser efetuadas duas, sendo raros os estudos com mais de três rodadas, pois os participantes terminam por não cooperar mais dada à excessiva repetibilidade.

Em sua forma original, rodadas de perguntas são ministradas por escrito, podendo ser, até mesmo, distribuídas por e-mail, no caso de se contar com especialistas não co-localizados. Mesmo tendo sido adaptada para uso em grupos “face a face”, em reuniões e eventos presenciais, busca-se fazer com que a essência do processo permaneça intacta, permitindo que os especialistas tenham tempo

adequado para refletir e igual oportunidade de contribuir, “usando eventuais desacordos como um “gatilho” para uma análise mais profunda” (DICK, 2000).

2.7.3 A técnica *Delfos* empregada “face a face”

Segundo Linstone e Turoff (1975), existem quatro fases individuais no processo *Delfos*. A primeira fase explora o assunto que está sendo pesquisado, dando aos participantes a oportunidade de contribuir com informações que acharem mais adequadas. A segunda fase visa determinar uma compreensão de como o grupo, como um todo, interpreta a questão. Se houver um significativo desacordo, a terceira fase é usada para explorar essa discordância e determinar razões para as diferenças. A quarta fase é a avaliação final de todas as informações recolhidas.

Quanto à estruturação da técnica *Delfos*, tem-se que existem três estruturas diferentes dentro da mesma: o Modelo de Política (*Policy*), o Modelo de Tendência (TUROFF, 1970), e o Modelo Estrutural (LENDARIS, 1980; GEOFFRION, 1987).

O Modelo de Política é empregado para se descobrir os mais fortes argumentos, pró e contra, sobre diferentes resoluções para uma questão específica de Política. Este modelo não gera um consenso.

O Modelo de Tendência trata, primeiramente, de uma tendência específica, que é motivo de preocupação para o grupo, e os participantes opinam sobre o provável rumo desta tendência ao longo de um período de tempo (projeção futura). Tanto as suposições quanto as incertezas são listadas ao se realizar as projeções, sendo as premissas submetidas à votação quanto à sua validade. Os participantes são, depois, convidados a rever os pressupostos válidos e re-estimar suas projeções de tendências anteriormente feitas.

A técnica de Modelagem Estrutural, de especial interesse para este trabalho, permite que os participantes expressem, individualmente, suas opiniões sobre relacionamentos e julgamentos, de forma independente, mas sendo todos eles usados para produzir um grupo ou modelo completo ou mesmo um sistema. Isto é suportado por Helmer (1977), que registra que a *Delfos* é um método útil de comunicação dentro de um painel de peritos, o que, por sua vez, facilita a formação de um julgamento em grupo, com opiniões de consenso.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo aborda o detalhamento do método aplicado para o atendimento do objetivo proposto, além de descrever a empresa estudada.

A pesquisa realizada emprega o método de estudo de caso único, lançando mão de uma abordagem de pesquisa eminentemente qualitativa, pois ilustra a aplicação de conceitos da Filosofia *Lean*, associados à Engenharia de Sistemas, na busca pela análise e solução de problemas encontrados nos processos de desenvolvimento de produtos complexos para aeronaves, sem abrir mão, entretanto, de ferramentas matemáticas básicas (como somatória e média), empregadas na redução de dados e análise dos resultados.

Em se tratando de uma pesquisa-ação, mostra-se o emprego de uma técnica relativamente pouco conhecida, a técnica adaptada “Delfos face a face”, como forma mais objetiva e direta de se fazer várias perguntas aos especialistas do painel e, cotejadamente, se resumir as respostas consensadas, sendo que, no desenrolar do processo, um membro do painel tanto pode mudar sua estimativa, na direção de um consenso emergente, quanto pode, alternativamente, deixá-la intacta, fornecendo informações que a justifiquem.

As sessões de Preenchimento dos *Check Lists* na Análise Crítica do Projeto (que, a partir desta aplicação inicial, passaram a fazer parte de todas as reuniões de Análise Crítica dos Projetos em cada um dos “Gates” implementados), foram efetuadas com a participação de uma equipe multidisciplinar de até trinta especialistas, no máximo, empregando-se uma adaptação “face a face” da técnica Delfos, em busca de um consenso de opiniões do grupo de especialistas para o levantamento de informações e elaboração de diagnóstico. Cada um dos especialistas preencheu, inicialmente, um *Check List* de Percepção de Impacto das Subcategorias de Fontes Mais Evidentes de Desperdícios, assinalando as alternativas que, em sua percepção, haviam tido maior responsabilidade pelo não-atingimento das metas de desempenho do projeto, intermediárias e/ou finais, no que concerne a qualidade (escopo), custo e tempo.

Orientando-se pelo trabalho seminal de Linstone e Turoff (1975), as opiniões individuais foram, então, submetidas a uma ou duas rodadas de debates, coletivos e diretos, na busca por revisões de opiniões e construção de consenso final acerca da

classificação e priorização das Fontes Mais Evidentes de Desperdícios, cujos resultados encontram-se no Capítulo 4 desta dissertação, acompanhados das necessárias discussões acerca de suas propriedades.

3.1. A Empresa Estudada

A empresa objeto deste estudo é uma subsidiária brasileira de uma empresa multinacional europeia, identificada nesta pesquisa como empresa Alfa, constituindo-se em uma das maiores fornecedoras de sistemas mecânicos e eletrônicos para a indústria aeronáutica internacional, atuando tanto no mercado civil quanto no militar e tendo participação na engenharia de programas aeroespaciais de significativa importância multinacional.

Subordinada diretamente ao Gerente Geral para as Américas, a Divisão de Engenharia da empresa Alfa, posicionada organizacionalmente conforme ilustrado à Figura 14, opera, integrada e coordenadamente, com as áreas de Vendas/Desenvolvimento de Novos Negócios, de Estratégia & Financeiro e de Novas Tecnologias & Inovação, em estrutura organizacional matricial forte.

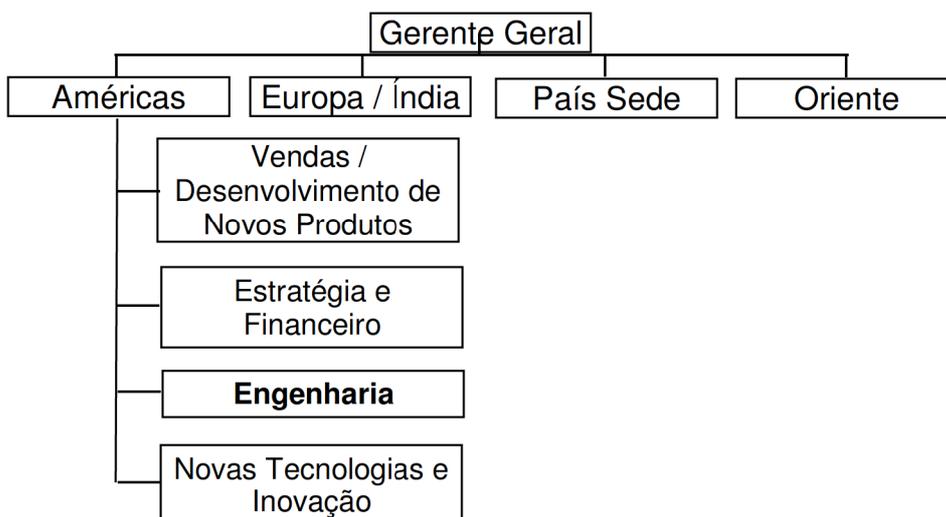


Figura 14: Organograma da Empresa Alfa

Fonte: Empresa Alfa

Os colaboradores da Divisão de Engenharia participam em todas as etapas de desenvolvimento de novos negócios baseados no desenvolvimento de novos

produtos, dos quais se originam os novos projetos, tanto orientados para produtos e/ou processos inovadores quanto para novas adaptações de produtos e/ou processos já existentes, como nos casos de tropicalização de sistemas mecânicos ou eletroeletrônicos.

3.2. A implantação de *Lean Engineering e Stage-Gate*

Esta pesquisa foi realizada por meio de análise das constatações feitas durante a execução dos trabalhos de consultoria junto à empresa Alfa, sob as óticas tanto teórica quanto prática, abrangendo as opiniões de engenheiros especialistas e projetistas, manifestas em seus Relatórios de Engenharia e Atas de Reunião de Análise Crítica dos Projetos, documentos de caráter confidencial, referentes a três projetos de Desenvolvimento de Produtos de Sistemas de Aeronaves, envolvendo as disciplinas de Engenharia Mecânica e Eletrônica (E-M/E), ao longo de aproximadamente dezoito meses. A condução dos projetos repousava, fortemente, sobre a presumida capacidade gerencial dos especialistas envolvidos, dotados, em sua totalidade, de sólida formação técnica e larga experiência em projetos da mesma classe.

Na representação da Figura 15, a Linha do Tempo do Sistema de Gerenciamento reflete as condições em que ocorriam as Reuniões de Análise Crítica e eram gerados os correspondentes Relatórios de Engenharia, na modalidade de gerenciamento empregada anteriormente à implantação da *LSE* e da ferramenta “*Stage-Gate*”.

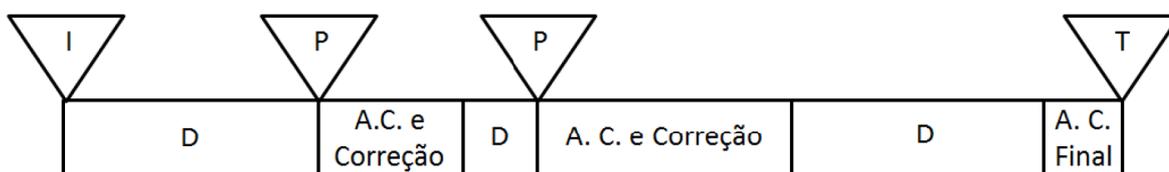


Figura 15: Linha do Tempo do Sistema de Gerenciamento Antes da Implantação

Fonte: Autora (2015)

A partir do início (I) das atividades de desenvolvimento (D) do projeto, a ocorrência de algum problema (P), percebido pelos especialistas envolvidos como não

sendo “corriqueiro” e de “fácil solução”, gerava atividades de Análise Crítica (A.C.) e adoção de medidas corretivas embasadas na experiência dos envolvidos, sendo a duração das atividades de desenvolvimento fortemente impactada pelo tempo consumido tanto no processo de Análise Crítica quanto no da implantação das medidas corretivas, até o término (T) do projeto.

Ressalta-se aqui que a Análise Crítica das atividades de um projeto de desenvolvimento trata-se de um estudo ou uma avaliação geral do andamento do projeto com relação aos requisitos planejados, conforme recomendado no item 7.3.4 – Análise crítica de projeto e desenvolvimento, da norma NBR ISO 9001:2008, tendo por objetivo a identificação antecipada de possíveis problemas, visando tanto a atuação preventiva, de modo a evitá-los, quanto a solução dos mesmos ainda em sua fase inicial, quando as correções são mais viáveis técnica e economicamente.

Ainda conforme a ISO 9001:2008 no seu item 7.3.4, tem-se que as Análises Críticas sistêmicas devem que ser realizadas em fases apropriadas do projeto, adequadamente definidas por sua equipe de gestores.

Para a condução deste trabalho os Relatórios de Engenharia e as Atas de Reunião de Análise Crítica dos Projetos, disponíveis desde o início de cada um dos projetos, foram analisados para se configurar o estado anterior dos projetos, submetidos à análise das situações sob a ótica da Engenharia de Sistemas *Lean* (*Lean System Engineering*) e à introdução da ferramenta “*Stage-Gate*”. Os resultados desta análise da situação anterior, em termos de Qualidade/Escopo, Custo e Tempo, são mostrados na Tabela 1, apresentada no Capítulo 4 subsequente, e referente aos Resultados de Desempenho: Antes e Depois da Aplicação de *Lean Engineering* e *Stage-Gate* (em % de Desvio em Relação às Metas).

3.2.1 Durante a implantação de *Lean Engineering* e *Stage-Gate*

Visando tanto encontrar a adequada justificativa pelas eventuais dificuldades no atingimento de metas e cumprimento dos cronogramas dos projetos, atuando-se corretivamente em suas causas-raízes e recuperando, se possível, as deficiências em relação às metas contratadas, quanto a formação de um banco de dados de lições aprendidas (*lessons learned*), para suportar o desenvolvimento de futuros projetos, optou-se pela implantação de um programa de Engenharia *Lean* de Sistemas (*LSE - Lean Systems Engineering*), modificando-se significativamente o Sistema de

Gerenciamento dos projetos, o qual passou a configurar-se assemelhadamente ao ilustrado à Figura 16, a qual representa, genericamente, um projeto com cinco “*stages*” e quatro “*gates*”.

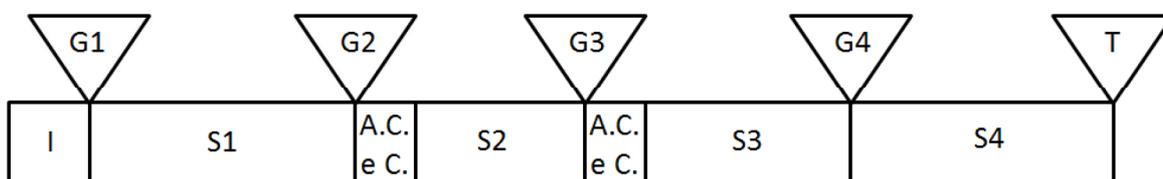


Figura 16: Linha do Tempo do Sistema de Gerenciamento Durante a Implantação

Fonte: Autora (2015)

Neste novo formato do Sistema de Gerenciamento, partir do início (I), com a geração de idéias para as atividades de desenvolvimento compreendidas no “*Stage 1*” (S1) do projeto, a probabilidade da ocorrência de problemas tende a ser minimizada por meio da ação dos especialistas de forma estruturada e padronizada, avaliando-se, nos “*Gates*” (Gn) ao final de cada “*Stage*”, o que foi realizado frente ao planejado, adotando-se medidas corretivas e preventivas muito mais rápidas e eficazes, baseadas em reuniões de Análise Crítica com emprego de técnicas *LSE* em sessões de técnica Delfos “Face a Face” adaptada. Com isto, minimizam-se os impactos dos problemas nos cronogramas originais dos projetos, como os ilustrados nos quadrantes inferiores da Figura 9, referente à prática da Verificação e Validação no Ciclo de Vida do Processo, desenvolvido no modelo V, evitando-se os tanto as constantes comparações entre os modelos projetados e os efetivamente construídos (no quadrante inferior esquerdo da Figura 9) quanto os erráticos percursos de verificação de informações (no quadrante inferior direito da mesma figura), todos, infelizmente, de elevada incidência nos projetos de alta complexidade.

Na aplicação inicial da *LSE*, fazendo-se uso de *Check Lists* de percepção de impacto das subcategorias de fontes mais evidentes de desperdícios, em questionário mostrado no Apêndice A desta dissertação, preenchidos em reuniões de aplicação da Técnica Delfos “Face a Face” adaptada, os dados apurados em relação aos três projetos, e suas correspondentes análises preliminarmente efetuadas, podem ser condensados na forma dos gráficos apresentados às Figuras 17, 18 e 19. Estes gráficos ilustram a representatividade de cada um dos Dez Desperdícios nos problemas apurados de troca de informações ocorridos nos projetos analisados,

relacionadas as manifestações percebidas (os sintomas) com os possíveis desperdícios que as originaram (as causas), encontrando-se representados no Capítulo 4, referente aos Resultados e Discussão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Procedendo-se às análises dos *Check Lists* de percepção de impacto das subcategorias de fontes mais evidentes de desperdícios, preenchidos para os Projetos 1, 2 e 3, tem-se que, em sua totalidade, os itens assinalados como sendo mais impactantes no desempenho dos projetos foram os referentes ao desperdício de espera, ou seja, aqueles relativos às subcategorias de fontes mais evidentes de desperdícios, quais sejam:

- Atrasos;
- Pessoas aguardando por informação;
- Informação aguardando por pessoas;
- Processos paralelos não-sincronizados;
- Atividades de longo “*lead time*”; e
- Cronogramas não-realistas.

Todas estas subcategorias, manifestadas em diferentes momentos e sendo, quase sempre, assumidas por seus protagonistas como sendo inerentes ao tradicional processo de desenvolvimento de produtos, contribuíram para os efeitos ligados ao desperdício de espera, notadamente negativos e economicamente impactantes sob qualquer ponto de vista em que se analise o desempenho de um projeto.

Desta forma, discutindo-se, detalhadamente e por projeto avaliado, os resultados obtidos na análise dos *Check Lists* preenchidos, tem-se que:

4.1 Resultados para o Projeto 1

Os resultados obtidos para o Projeto 1 encontram-se representados graficamente à Figura 17.



Figura 17: Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 1

Fonte: Autora (2015)

Tais resultados refletem que as subcategorias referentes ao desperdício de espera foram assinaladas como sendo as mais impactantes, atingindo 50% nos *Check Lists* preenchidos pelos especialistas, seguidas por aquelas relativas ao desperdício de movimentação, assinaladas como 46% nos *Check Lists* e com aquelas concernentes ao desperdício de problemas na comunicação da informação ocupando a terceira posição, assinaladas como 26% em termos de responsabilidade percebida no impacto das subcategorias de fontes mais evidentes de desperdícios nos *Check Lists*.

4.2 Resultados para o Projeto 2

Aplicando-se, rigorosamente, a mesma técnica de apuração de respostas dos questionários submetidos ao grupo de especialistas envolvidos no Projeto 2, foram obtidos os resultados que encontram-se representados à Figura 18:

Desperdícios em % no Projeto 2

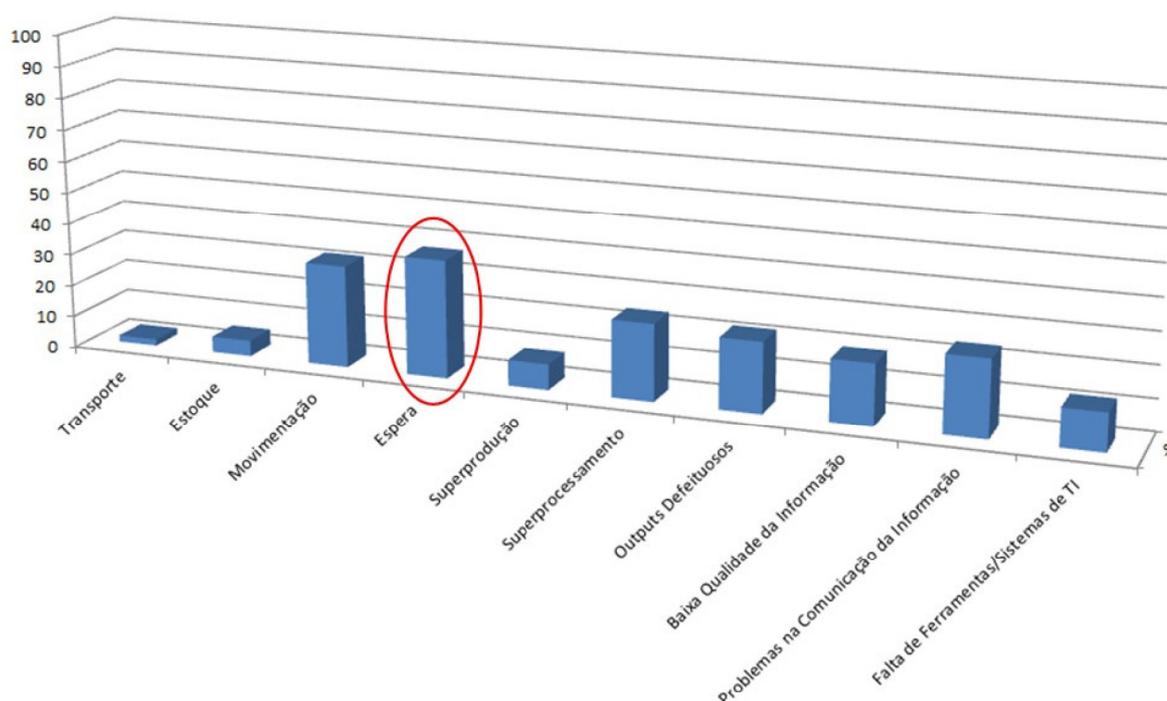


Figura 18: Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 2

Fonte: Autora (2015)

Nesta representação gráfica, tem-se um valor de 37%, nos *Check Lists* preenchidos, para as subcategorias pertinentes ao desperdício de espera assinaladas como sendo as de maior impacto, com um valor de 32% nos *Check Lists* elegendo as subcategorias relativas ao desperdício de movimentação e, obtendo o mesmo percentual assinalado nos *Check Lists*, 24%, equiparando-se as subcategorias concernentes ao desperdício de problemas na comunicação da informação àquelas que dizem respeito ao desperdício de superprocessamento.

4.3 Resultados para o Projeto 3

Por sua vez, os resultados para o Projeto 3, obtidos exatamente da mesma forma que os dois anteriores e representados graficamente à Figura 19, ressaltam, de forma ainda mais evidente, a maior expressividade da participação das subcategorias referentes ao desperdício de espera.

Desperdícios em % no Projeto 3

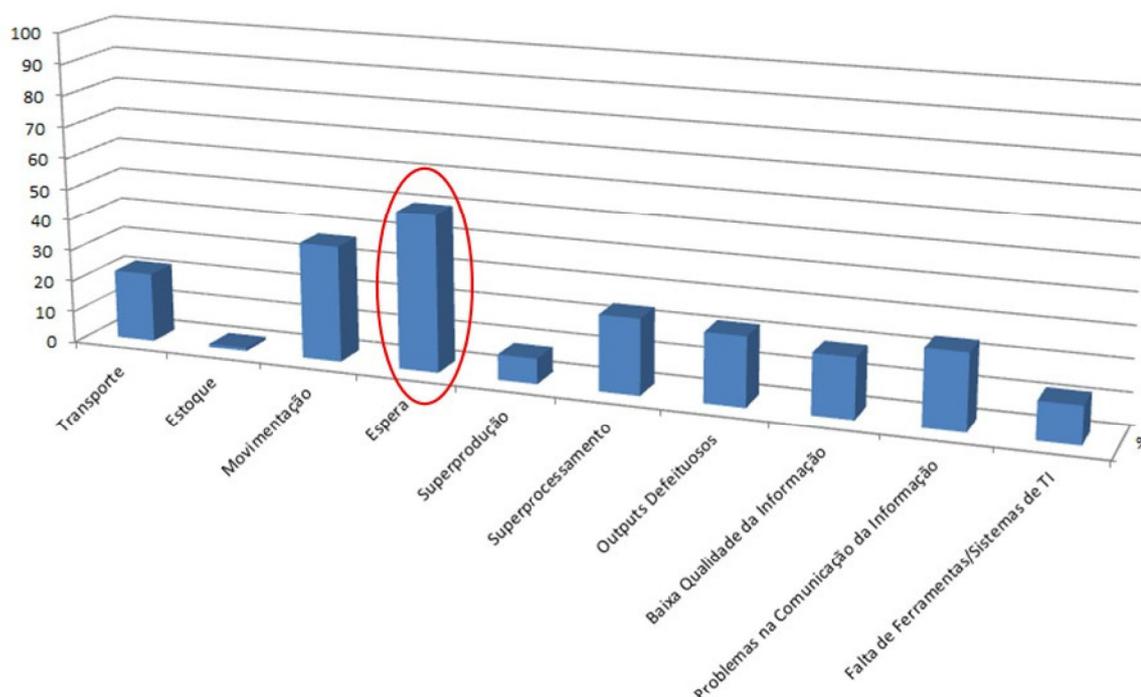


Figura 19: Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 3

Fonte: Autora (2015)

Nesta última representação, tem-se para o desperdício de espera a indicação de 50% nos *Check Lists* avaliados, seguindo-se, novamente, por aquelas concernentes ao desperdício de movimentação, presentes como 37% nos *Check Lists* analisados, e terminando com um “empate técnico” em terceiro lugar, de forma similar àquela do Projeto 2, representado pelas subcategorias dos desperdícios de superprocessamento e de problemas na comunicação da informação, com 24% cada.

4.4 Resultado Global

Os benefícios resultantes da análise estatística para se obter uma imagem confiável de desperdícios nos processos, mostrou a mesma tendência para todos os três projetos analisados. O desperdício de espera foi apurado como a principal razão da perda de valores no processo de troca de informações entre as disciplinas de engenharia envolvidas. Tal resultado parece estar alinhado com o apresentado na pesquisa realizada em 2014 pelo Estudo de *Benchmarking* em Gerenciamento de Projetos Brasil, segundo o qual, utilizando as respostas obtidas nas classes de frequência da ocorrência dos problemas em “sempre têm” e “têm na maioria das

vezes”, 67% das organizações reconhecem ter problemas em alcançar os prazos de seus projetos, sendo que, da mesma forma, 50% tem problemas em não ultrapassar seus custos e finalmente, 32% apresentam problemas para alcançar os padrões de qualidade exigidos para seus projetos (PMI, 2014). Em seguida, sobressaem-se nos gráficos analisados os desperdícios de "movimentação", "problemas na comunicação da informação" e “superprocessamento”, os quais também se constituem em seguras oportunidades de melhoria nos projetos vigentes, além de se constituírem em objetivos prioritários para o desenvolvimento e aplicação de medidas de contenção e prevenção de desperdícios.

Lançando-se as bases de uma possível solução para os problemas associados ao majoritário desperdício de espera, identificado como o de maior impacto nos três projetos avaliados e evidenciado tanto em suas manifestações recorrentes quanto no consistente não-atingimento dos objetivos contratados de desempenho, em termos de qualidade (escopo), custo e, principalmente, tempo (*lead time*), tem-se na recomendação de Malotaux (2011), a principal vertente a ser seguida: o Reprojeto do Processo e/ou da organização, como mostra o Quadro 3.

A solução recomendada, de Reprojeto do Processo e/ou da organização, foi analisada com o suporte da consultoria contratada para orientar a implementação da *Lean Engineering* na empresa Alfa e que, com base em sua experiência na condução de processos similares em escala multinacional, recomendou à empresa Alfa a adoção da ferramenta *Stage-Gate*, desenvolvida por Cooper (1990). O emprego desta ferramenta, combinadamente com as reuniões de Análise Crítica dos Projetos, deverá propiciar uma forma mais cíclica e retroalimentada de se assegurar uma análise adequada de cada fase do desenvolvimento do projeto, garantindo um aumento de eficiência e eficácia no atingimento das metas de desempenho contratadas junto aos seus clientes, notadamente a adesão ao cronograma com estrito acompanhamento dos *lead times* das atividades e aplicação imediata de medidas corretivas e preventivas.

Com os três projetos ainda em andamento, a avaliação da eficácia da solução proposta pode ser confirmada por meio do acompanhamento dos resultados parciais de desempenho, expressados na forma de percentual de desvio em relação às metas pretendidas em cada reunião de Análise Crítica efetuada. Os resultados obtidos até o momento, antes e depois da implementação da ferramenta *Stage-Gate*, correspondem aos mostrados na Tabela 1:

	Projeto 1		Projeto 2		Projeto 3	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Qualidade/Escopo	-20%	+5%	-25%	-5%	-15%	+10%
Custo	+15%	+10%	+20%	+5%	+15%	-5%
Tempo	+30%	+5%	+10%	0%	+35%	-10%

Tabela 1: Resultados de Desempenho: Antes e Depois da Aplicação de *Lean Engineering* e *Stage-Gate* (em % de Desvio em Relação às Metas)

Fonte: Autora (2016)

A implementação do *Stage-Gate*, após a aplicação das técnicas de *Lean Engineering* para identificação do principal desperdício que impactava o desempenho nos três projetos analisados, trouxe melhorias significativas nos Resultados Parciais de Desempenho obtidos até o momento, quais sejam:

- Para o **Projeto 1** foram melhorados os resultados de Qualidade/Escopo em 25%, passando-se de uma avaliação de que o projeto, como um todo, estava 20% aquém das metas de desempenho, para uma avaliação de que o mesmo superou em 5% as metas estabelecidas para o período analisado. Da mesma forma, os resultados de Custo apresentaram uma redução de 5%, passando de um sobrecusto de 15% em relação às metas de desempenho para um sobrecusto de 10%, enquanto que os resultados de Tempo indicaram uma redução no *lead time* total, até o momento, de 25%, apesar do projeto ainda se apresentar 5% atrasado em relação ao prazo total contratado.

- Para o **Projeto 2** os resultados de Qualidade/Escopo apresentaram uma melhoria de 20%, partindo-se de uma avaliação de que o projeto se encontrava 25% aquém das expectativas de desempenho, para uma avaliação de que o mesmo ainda não atendia às metas estabelecidas em somente 5%, para o período analisado. Por sua vez, os resultados de Custo apresentaram uma significativa redução de 15%, reduzindo-se o sobrecusto inicial de 20% em relação às metas de desempenho para cerca de 5%, com uma igualmente significativa redução nos resultados de Tempo, recuperando-se o atraso inicialmente avaliado de 10% em relação ao *lead time* contratado.

- Em relação ao **Projeto 3** foram obtidos os melhores resultados em todos os indicadores de Desempenho avaliados, com uma melhoria de 25% nos resultados de

Qualidade/Escopo, evoluindo-se de uma avaliação negativa de 15% para uma positiva de 10%, superando-se as metas estabelecidas para o período. Igualmente, os resultados de Custo totalizaram uma melhoria de 20%, não somente se eliminando um sobrecusto de 15% em relação às metas de desempenho como também se atingindo uma redução de 5% em relação às metas para o período avaliado. Mas foi em relação aos resultados de Tempo que se obtiveram os valores de maior impacto, indicando uma redução no *lead time* total, até o momento, de 45%, não somente se recuperando o atraso inicial de 35% mas ainda se conseguindo finalizar as atividades planejadas em prazos 10% menores do que aqueles originalmente contratados.

Ilustrando de forma mais prática e evidente os benefícios alcançados por meio das práticas de *Lean Engineering* implementadas, têm-se que, no Projeto 3, utilizando-se as informações de divulgação liberada por adendo ao Acordo de Confidencialidade celebrado entre a empresa de Consultoria e a empresa Alfa (cliente), os ganhos em termos de Custo correspondem a aproximadamente US\$ 472,173.00, ou seja, recuperando-se os 15% de sobrecusto acumulado que haviam sido incorridos nos meses anteriores sobre o custo-alvo (*target cost*) de US\$ 2,360,870.00 (o que elevava o custo total não-recorrente para US\$ 2,715,000.00), e ainda conseguindo-se uma economia de 5% em relação ao custo-alvo, atingindo-se um custo efetivo não-recorrente de US\$ 2,242,827.00 (Figura 20).

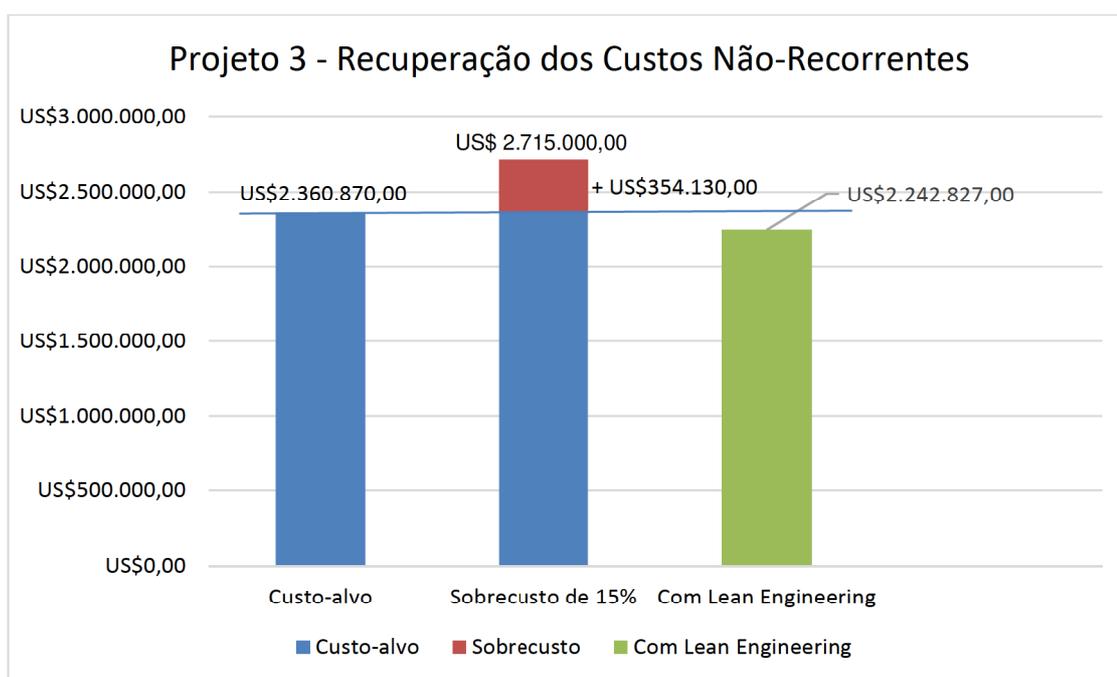


Figura 20: Recuperação dos Custos Não-Recorrentes no Projeto 3

Fonte: Autora (2016)

5. CONCLUSÕES

O conceito desenvolvido neste trabalho permitiu a aplicação de métodos de Agregação de Valor para reduzir os desperdícios, ao identificá-los com os seus parâmetros. A aplicação das melhorias compreendeu as recomendações das práticas classificadas como Capacitadoras e Sub-capacitadoras para a *Lean Engineering*, em uma periodicidade ciclicamente melhor definida e com sistematização da retroalimentação, sugerindo-se a adoção da ferramenta *Stage-Gate*, de modo a assegurar uma forma mais cíclica e retroalimentada para se analisar adequadamente cada fase do desenvolvimento do projeto.

A correta identificação dos problemas que podem ocorrer com a troca de informações durante o desenvolvimento de produtos complexos, bem como a aplicação de imediatas medidas de contenção de seus efeitos e de correção de suas causas, podem significar efetivamente a diferença entre um projeto bem-sucedido e um projeto malogrado, influenciando diretamente sobre a adequação de valores incorridos *versus* valores orçados, o atendimento ao *lead time* contratado e, conseqüentemente, sobre a percepção do cliente final a respeito da qualidade global do projeto.

Problemas de troca de informações têm um importante impacto sobre a eficiência dos engenheiros e projetistas que trabalham no processo de desenvolvimento do produto. Quanto mais problemas existirem no compartilhamento de informações, tanto mais longos serão os tempos de desenvolvimento de produtos que dependem das mesmas.

As causas possíveis são, por exemplo, iterações desnecessárias, a falta de comunicação e tarefas supérfluas, dentre outras. Se estes problemas de troca de informações não puderem ser precisamente identificados, implicarão na redução da eficiência da engenharia simultânea para o processo de desenvolvimento do produto.

Depois de várias análises dos três projetos estudados, os resultados foram classificados utilizando-se as categorias de desperdícios, tendo sido identificado o desperdício de espera como o principal problema na troca de informações entre as áreas das diferentes disciplinas envolvidas no processo de desenvolvimento de produtos complexos de sistemas aeronáuticos.

A análise comparativa dos Resultados Parciais de Desempenho nos Fatores de Sucesso (qualidade/escopo, custo e tempo) dos três projetos estudados, com dados de antes e depois da implementação das melhorias, mostraram os efeitos positivos da aplicação da *Lean Engineering* na identificação do principal desperdício (Espera) que originava os problemas na troca de informações no Desenvolvimento de Produtos Complexos, bem como da bem-sucedida indicação da Ferramenta *Stage-Gate* para se atuar, corretiva e preventivamente, no combate à causa-raiz destes problemas.

5.1 Trabalhos Futuros

Os resultados obtidos nesta dissertação permitem à autora sugerir para futuros trabalhos os seguintes temas:

- Aplicação do conceito em projetos similares

Ampliando-se o universo de aplicação e acompanhando-se a implementação destas novas práticas nos projetos a serem desenvolvidos sob o mesmo escopo, tanto na subsidiária brasileira da empresa Alfa quanto em suas outras unidades que conduzam projetos de mesma natureza.

- Extrapolação do conceito para projetos dissimilares, conduzido em estudo de campo em empresas brasileiras

Outra proposta é que sejam realizadas pesquisas-ação em empresas brasileiras, verificando-se a possível aplicabilidade do conceito para outros segmentos que não o aeronáutico, bem como para projetos de porte e complexidade diversos.

REFERÊNCIAS

- ANLEHNUNG, A.; PARTSCH, H.; ***Requirements Engineering systematisch: Modellbildung für softwaregestützte Systeme.*** Springer, Berlin, 1998.
- BACK, N.; ***Metodologia de Projeto de Produtos Industriais.*** Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Dois, 1983.
- BAUCH, C.; ***Lean product development: making waste transparent.*** Munich, 2004. 140p. Tese (Doutorado) – Technical University of Munich.
- BAXTER, M.; ***Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos.*** Edgard Blucher, 2000.
- BERTERO, C. O.; BINDER, M. P.; & VASCONCELOS, F. C.; 2005, ***Estratégia empresarial: a produção científica brasileira entre 1991 e 2002.*** In C. O. Bertero, M. P. Caldas, & T. Wood Jr. *Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte* (pp. 18-34). São Paulo: Atlas.
- BITTENCOURT, A.C.P. ***Desenvolvimento de uma Metodologia de Reprojeto de Produto para o Meio Ambiente*** [dissertação]. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Mecânica, 2001.
- BJÖRK, B-C.; 2003, ***Electronic Document Management in Construction – Research Issues and Results.*** ITcom Vol. 8.
- BONFIM, G. A.; ***Metodologia para Desenvolvimento de Projeto.*** João Pessoa, Universitária/UFPB, 1995.
- BONSIEPE, G.; ***Metodologia experimental: desenho industrial.*** Coordenação Guy Bonsiepe. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1984.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND; 2004, ***V-Modell XT***. Internet URL: http://vmodell.iabg.de/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=14, acessado em Julho 2015.

CHAFFEY, D.; WOOD, S.; 2004, ***Business Information Management: Improving Performance Using Information Systems***. FT Prentice Hall.

CHRISTIAN, A.D.; SEERING, W.P.; 1995, ***A model of information exchange in the design process***.

CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T.; ***Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry***. Boston; Harvard Business School Press, 1991.

COSTA, C.A.; YOUNG, R.I.M.; 2001, ***Product range models supporting design knowledge reuse***.

CRESWELL, J. W.; 2007, ***Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches***. 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage. Denzin, NK.

DICK, B.; 2000, ***Delphi face to face*** [Online]. Resource Papers in Action Research Available at http://www.uq.net.au/action_research/arp/delphi.html

DIETEL, J.E.; 2000, ***Improving corporate performance through records audits, information management journal***.

EPPINGER, S. D.; BROWNING, T. R.; 2012, ***Design Structure Matrix Methods and Applications***. The MIT Press, Cambridge.

ERNST, H.; 2002, ***Success factors of new product development: A review of the empirical literature***. International Journal of Management Review, v.4, 1-40.

ESTES, G. M. ; KUESPERT, D. ***Delphi in industrial forecasting***. In: Chemical and Engineering News, EUA, p. 40-47, agosto 1976.

FERREIRA, E. P. F. **Considerações sobre o desenvolvimento de produtos com diferencial em serviços**. Dissertação de mestrado, Mestrado em Engenharia Mecânica – Escola Politécnica da USP, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

GALINA, S. V. R.; SANTOS, A. C. **Um Ambiente para Auxílio ao Trabalho Cooperativo na Engenharia Simultânea**. In: 18^o ENEGEP / 4th International Congress of Industrial Engineering, 1998, NITEROI. Anais do 18^o ENEGEP / 4th International Congress of Industrial Engineering, 1998.

GARZA, L.A., **Integrating lean principles in automotive industries: breaking down barriers in culture and process**. M. Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Thesis Supervisor: Deborah Nightingale, 2005.

GEOFFRION, A.; 1987, **Introduction to structured modeling**. Management Science (33) 5, 547-588.

GRAEBSCH, M.; 2005, **Information and communication in Lean product development**.

HEISIG, P.; CLARKSON, P.J.; VAJNA, S.; 2010, **Modelling and Management of Engineering Processes**. Springer, Cambridge.

HELMER, O.; 1977, **Problems in futures research: Delphi and causal cross-impact analysis**. Futures, 17-31.

HINES, P.; 2001, **Value stream management: The next frontier in Supply Chain Management**. Taylor D. and Brunt D. (eds.) – Manufacturing Operations and Supply Management, Thomson Learning: 339-361.

HOPPEN, N.; MEIRELLES, F. S.; 2005, **Sistemas de informação: a pesquisa científica entre 1990 e 2003**. In C. O. Bertero, M. P. Caldas, & T. Wood Jr. Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte (pp. 147-164). São Paulo: Atlas.

IABG Information Technology; 2009, **V-Model**. Internet URL: http://www.iabg.de/infokom/software_einfuehrung/v-modell_en.php, acessado em Abril 2015.

INCOSE; 2010, **Lean enablers for systems engineering**. Internet: <http://www.leanssc.org/files/201004/powerpoint/4.22%203.45pm%20Oppenheim%20LeanEnablersForSystemsEngineering.pdf>

INCOSE; 2004, **Systems Engineering Handbook v2a**, Version 2a.

ISO/IEC TR 19760:2003, **Systems engineering: A guide for the application of ISO/IEC 15288 (System life cycle processes)**.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

KERZNER, H. **Gerenciamento de projetos: uma abordagem sistêmica para planejamento, programação e controle**. São Paulo: Blücher, 2011.

KOSSIAKOFF, A.; SWEET, W.N.; SEYMOUR, S.J.; BIEMER, S.M.; 2011, **Systems Engineering principles and practice**. Second edition, John Wiley, CA.

KÜFER, I.C.; 2004, **Projektplanung und Anforderungserstellung in einem V-Modell-Projekt**.

LENDARIS, G.; 1980, **Structural modeling: A tutorial guide**. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics*, 807-840.

LINDEMANN, U.; 2012, **Adaptiv Entwicklungsmethodik Wissenschaftliche Bachelorarbeit 61**. Internet URL: http://www.pe.mw.tum.de/studium/vorlesungen/adaptiv-bionischelosungsprinzipien-fur-gebäudehüllen-1/adaptiv_sose12_vo_02_entwicklungsmethodik.pdf, acessado em Abril 2015.

LINDGREN, P. C. C.; **Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (LEAN MANUFACTURING) na indústria aeronáutica**. 2004. 302 f. Dissertação (Mestrado

em Administração) Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté.

LINSTONE, H.A.; TUROFF, M. (Ed.); **The Delphi method: Techniques and applications**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1975.

LOBACH, B.; **Desenho Industrial – base para configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgar Blucher, 2000.

LOCH, C.; TERWIESCH, C.; 1998, **Product development and concurrent engineering**; INSEAD.

LOWE, A.; McMAHON, C.; CULLEY, S.; 2004, **Characterizing the requirements of engineering information systems**. Internet URL: <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/characterising-the-requirements-of-engineering-information-systems-pTk3hOaY2v/1> acessado em Novembro 2015.

McMANUS, H.; HAGGERTY, H.; MURMANN, A.; 2005, **Lean Engineering: Doing the Right Thing Right**. Sciences, CEIAT, Queen's University Belfast.

MOIR, I.; SEABRIDGE, A.; 2004, **Design and development of aircraft systems, an introduction**. AIAA education series: Professional Engineering, 2004.

MORGAN, J.M.; LIKER, J.K.; 2006, **The Toyota Product Development System Process and Technology**. Productivity Press, New York.

MURMAN, E.; ALLEN, T.; BOZDOGAN, K.; CUTCHER-GERSCHENFELF, J.; McMANUS, H.; NIGHTINGALE, D.; REBENTISCH, E.; SHIELDS, T.; STAHL, F.; WALTON, M.; 2002, **Lean Enterprise value: Insights from MIT's Lean Aerospace Initiative**.

NBR ISO 9001. **Sistema de Gestão da Qualidade: Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008. Adquirida em <<http://www.abntdigital.com.br/>>

OEHMEN, J.; REBENTISCH, E.; **Waste in Lean Product Development**. LAI Paper Series “Lean Product Development for Practitioners”. Lean Advancement Initiative (LAI), Massachusetts Institute of Technology, July 2010.

OEHMEN, J.(Ed.); 2012, **The Guide to Lean Enablers for managing Engineering Programs, Version 1.0**. Cambridge, MA: Joint MIT-OMI-INCOSE Community of Practice on Lean in Program Management. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/70495>, acessado em Julho 2015.

OPPENHEIM, B.W.; MURMAN, E.M.; SECOR, D.A.; 2010 (online), **Lean enablers for systems engineering**. Journal of Systems Engineering, Jan. 2010 (online). Vol.14 No.1, 2011.

OPPENHEIM, B.W.; 2004, **Lean Product Development Flow - Systems Engineering.**, Vol.7, No.4., 2004, pp 352-376.

OULD, M.A.; 1990, **Strategies for Software Engineering: The Management of Risk and Quality**. Chichester, UK: Wiley.

PACHECO, R. S.; 2005, **Administração pública: a produção científica veiculada nas revistas especializadas – 1995-2002**. In C. O. Bertero, M. P. Caldas, & T. Wood Jr. Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte (pp. 86-99). São Paulo: Atlas.

PATTERSON JR.,F.G.; 1995, **Systems Engineering Life Cycles: Life Cycles for Research, Development, Test and Evaluation; Acquisition; and Planning and Marketing**. In Sage, A.P. & Rouse, W.B. Handbook of Systems Engineering and Management, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc.

PEREIRA FILHO, O. R.; **Gerenciamento Logístico do Fluxo de Informações e Materiais em Unidade Industrial Aeronáutica**. 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado em Administração) Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté.

REBENTISCH, E.; RHODES, D.H.; MURMAN, E.; 2004, ***Lean systems engineering: research initiatives in support of new paradigm.*** Internet URL: http://web.mit.edu/adamross/www/RHODES_CSER04.pdf, acessado em Julho 2015.

ROOK, P.E.; ***Controlling software projects.*** IEEE Software Engineering Journal, 1(1), 1986, pp. 7-16.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K.; ***Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo.*** São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SEIDEL, R.; 2001, ***Lerngruppe Marcopolo***, Systems Engineering.

SEXTONE, M.; 1998, ***Systems Engineerings essentials (in Aerospace).*** NASA Langley Research Center.

SHILLITO, M.L.; DE MARLE, D.J.; 1992, ***Value: Its Measurement, Design, and Management.*** Wiley-Interscience.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M.; ***Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.*** 4^a. Ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SODERBERG, L.G.; 1989, ***Facing up to the engineering gap.*** The McKinsey Quarterly, Spring:3-23.

STARCK, J.; 2011, ***Product lifecycle management.***; 21st Century Paradigm Realisation, 2nd edition.

TERWIESCH, C.; LOCH, C.H. ; DE MEYER, A.; 2002, ***Exchanging preliminary information in concurrent engineering, alternative coordination strategies.***

TONELLI, M. J., CALDAS, M. P., LACOMBE, B. M. B., & TINOCO, T.; 2005, ***Recursos humanos: a produção científica no Brasil entre 1991 e 2000.*** In C. O. Bertero, M.

P. Caldas, & T. Wood Jr.; **Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte** (pp. 50-66). São Paulo: Atlas.

TUROFF, M.; **The design of a policy Delphi**. Technological Forecasting and Social Change, (21:149-171),1970.

ULLMAN, D.G.; ***The mechanical design process***. The McGraw-Hill, Inc., 2003.

WEBER, J.; **Automotive Development Processes: Processes for Successful Customer Oriented Vehicle Development**. Nova Iorque: Springer, 2009.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. RJ: Elsevier, 2004.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D.; **A máquina que mudou o mundo**. RJ: Campus, 1992.

WHYTOCK, S.; 1993, ***The development life-cycle***. In Thomé (1993b), 81-96.

APÊNDICE A – *Checklist* de Análise Crítica de Projeto

Percepção de Impacto das Subcategorias de Fontes Mais Evidentes de Desperdícios

Esta é uma pesquisa para se coletar dados sobre a Percepção de Impacto das subcategorias de fontes mais evidentes de desperdícios, devendo ser realizada à cada reunião de passagem de fase (*Stage-Gate*) dos projetos em desenvolvimento.

CHECKLIST – ANÁLISE CRÍTICA DE PROJETO

1. Informações Gerais

Projeto: (1) _____ Stage-Gate: (1) _____

Nome: _____

Área: _____ Função: _____

2. Atribua, percentualmente, sua classificação de importância relativa de impacto dos problemas percebidos e registrados neste Stage-Gate:

2.1. Houve necessidade de utilização de recursos extras? Documentos solicitados não foram utilizados? Houve redundância na execução de trabalhos? Informações foram solicitadas e entregues com muita antecedência?

Resposta: %

2.2. Foi constatada a realização parcial de trabalhos? Houve “acúmulo” de informações?

Resposta: %

2.3. Constatou-se a passagem de informações “em loops”? Erros ou transmissão ineficiente de informações? Ocorrência de reuniões com duração demasiada e/ou envolvendo quantidade excessiva de participantes?

Resposta: %

2.4. Troca de tarefas prejudicaram os trabalhos? Pessoas tiveram que se deslocar para obter acesso às informações?

Resposta: %

2.5. Ocorreram atrasos na obtenção de informações ou materiais, ou de ambos? Pessoas aguardando por informações e vice-versa? Falta de sincronização entre processos paralelos? Atividades muito extensas? Cronogramas não-realistas?

Resposta: %

2.6. Ocorreram retrabalhos de informações? Informações com erro precisaram de correção? Houve passagem de informação incorreta ou obsoleta para a próxima tarefa?

Resposta: %

2.7. Constatou-se algum caso de ineficiência da tarefa ou do projeto? Foi necessária a conversão de dados entre diferentes programas ou sistemas de TI? Percepção de “excesso

de engenharia”? Atenção excessiva a detalhes de importância secundária? Ferramentas, soluções ou técnicas tiveram que ser “reinventadas”?

Resposta: %

2.8. Constatou-se algum caso de responsabilidades/funções pouco claras? Barreiras de entendimento que também dificultaram a execução das tarefas ou a transferência de conhecimento e tecnologia?

Resposta: %

2.9. As atividades foram impactadas por informações com formato inadequado? Imprecisas? Com baixo grau de objetividade? Houve casos de dificuldade no entendimento das informações?

Resposta: %

2.10. Houve casos de problemas gerados por baixa compatibilidade de softwares, ferramentas ou sistemas de TI? Baixa capacidade de processamento de informações? Baixa disponibilidade de recursos de TI?

Resposta: %

APÊNDICE B – Figura 12 Ampliada: Desperdícios, Suas Fontes e as Práticas Capacitadoras Lean (Lean Enablers)

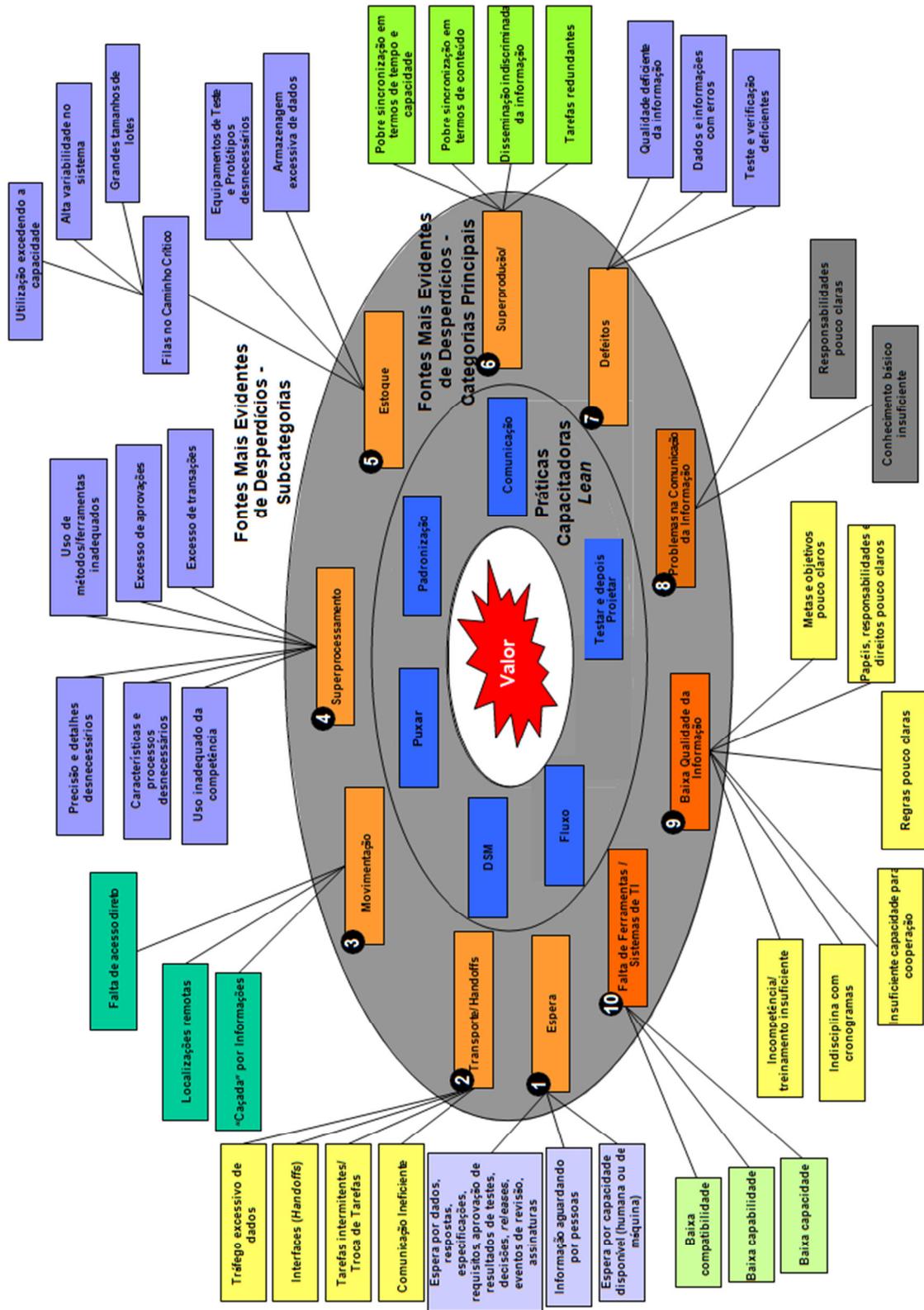


Figura 12: Desperdícios, Suas Fontes e as Práticas Capacitadoras Lean (Lean Enablers)

Fonte: adaptada de Bauch, 2004