

OK

CONSULTA
FD-3309

São Paulo
2003

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia.
Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica
Orientador:
Prof. Dr. Oscar Brito Augusto

**ENGENHARIA SIMULTÂNEA E SUA APLICAÇÃO À INDÚSTRIA
NAVAL**

CARLOS LUIZ PIMENTEL

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Oscar Brito Augusto pela orientação segura, pela amizade e pelo apoio que proporcionaram a realização deste trabalho.

Ao Vice-Almirante (EN) Othon Luiz Pinheiro da Silva pelos exemplos de liderança e de como gerenciar um projeto de grande envergadura e de alta complexidade tecnológica.

Ao Robert I. Winner, Ph.D., Presidente da R. Winner & Associates, pelo fornecimento de material atualizado, que permitiu a conclusão do trabalho com um "Estudo de Caso".

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

pela compreensão e apoio permanente.

À Cláudia e Marcela, esposa e filha,

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1	1	INTRODUÇÃO
1	1.1	Justificativa.....
2	1.2	Objetivos.....
3	1.3	Estratégia de pesquisa.....
3	1.4	Apresentação dos capítulos.....
2	2	A ENGENHARIA SIMULTÂNEA E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....
4	2.1	O que é Engenharia Simultânea?.....
8	2.2	Abordagem tradicional (seqüencial) de desenvolvimento de produtos.....
9	2.3	Fases do desenvolvimento de produtos.....
11	2.4	Estruturas organizacionais para desenvolvimento de produtos.....
17	2.5	Comparação da abordagem de engenharia simultânea com o processo tradicional (seqüencial) de desenvolvimento de produtos..
26	2.6	Implementação da engenharia simultânea.....
39	2.7	As quatro dimensões da engenharia simultânea.....
41	2.8	Ferramentas da engenharia simultânea.....
42	2.8.1	CAD (Computer Aided Design).....
46	2.8.2	CAM (Computer Aided Manufacturing).....

50	2.8.3	CAPP (Computer Aided Process Planning).....
58	2.8.4	Quality Function Deployment (QFD).....
62	2.8.5	Product Data Management (PDM).....
67	3	ENGENHARIA SIMULTÂNEA NA INDÚSTRIA NAVAL.....
71	3.1	Porque usar engenharia simultânea.....
81	3.2	A utilização da simulação e da tecnologia “3D Product Model” na indústria naval.....
81	3.2.1	Simulação.....
93	3.2.2	3D Product Modeling.....
104	4	O EMPREGO DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA NO PROGRAMA DA NOVA CLASSE DE SUBMARINOS NUCLEARES DE ATAQUE DOS E.U.A (CLASSE “VIRGINIA”): UM ESTUDO DE CASO.....
104	4.1	Introdução.....
104	4.2	As Dimensões da Tarefa.....
108	4.3	Porque o estaleiro propôs a engenharia simultânea (IPPD).....
110	4.4	Apoio da Marinha às mudanças.....
111	4.5	Engenharia Simultânea: etapas da implantação.....
111	4.5.1	Etapa 1: Aprender com outras implementações de IPPD.....
112	4.5.2	Etapa 2: O comprometimento da alta direção.....
113	4.5.3	Etapa 3: Cumprimento à nova sequência de projeto/construção.....
115	4.5.4	Etapa 4: Organização para engenharia simultânea.....
119	4.5.5	Etapa 5: Demonstração do processo.....
119	4.6	Resultados.....
126	5	CONCLUSÃO.....
128		REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

LISTA DE FIGURAS

5	Figura 2.1 - Composição de um time de desenvolvimento multidisciplinar.....
10	Figura 2.2 - Fases do desenvolvimento de produtos.....
12	Figura 2.3 - Organização Matricial.....
13	Figura 2.4 - Estrutura Funcional.....
14	Figura 2.5 - Estrutura de gerente de produtos "Peso Leve".....
15	Figura 2.6 - Estrutura de gerente de produtos "Peso Pesado".....
16	Figura 2.7 - Estrutura de Time de Execução de Projetos.....
18	Figura 2.8 - Exemplo de desenvolvimento sequencial de produtos.....
19	Figura 2.9 - Fragmentação dos dados de produto no desenvolvimento sequencial.....
20	Figura 2.10 - Desenvolvimento simultâneo (paralelo e integrado).....
22	Figura 2.11 - Custo das alterações de projeto.....
24	Figura 2.12 - Integração dos dados do produto para apoiar a engenharia simultânea.....
29	Figura 2.13 - Modelo Conceitual expandido.....
37	Figura 2.14 - Estrutura para implantação da engenharia simultânea.....

51	Figura 2.15 - Localização do Planejamento do processo.....
53	Figura 2.16 - Tempo Gasto no Planejamento do Processo Conventional
56	Figura 2.17 - Planejamento CAPP Híbrido.....
56	Figura 2.18 - Modos de Edição do Planejamento do Processo
60	Figura 2.19 - Casa da Qualidade
61	Figura 2.20 - QFD das Quatro Fases
69	Figura 3.1 - Processo Tradicional de Construção de Navios.....
70	Figura 3.2 - Processo Moderno de Construção (“Produção”) de Navios.....
73	Figura 3.3 - Influência das Etapas de Projeto no Custo de um Sistema Naval.....
75	Figura 3.4 - Redução do Ciclo de Desenvolvimento do Produto.....
76	Figura 3.5 - Primeira “Verdade”.....
77	Figura 3.6 - Componentes do Desenvolvimento – Influência x Custo
78	Figura 3.7 - Segunda “Verdade”.....
80	Figura 3.8 - Terceira “Verdade” (Equipes Multidisciplinares de Projeto).....
82	Figura 3.9 - O dilema do Desenvolvimento de Sistemas
85	Figura 3.10 - Prototipagem Virtual: Rompendo o Paradigma

85	Figura 3.11 - Prototipagem Virtual do Ciclo de Vida do Sistema
87	Figura 3.12 - Abordagem Clássica de Projeto/Construção.....
88	Figura 3.13 - Abordagem Moderna Projeto/Construção.....
92	Figura 3.14 - Modelo 3D de um dos Botes do LPD 17 "San Antonio".....
95	Figura 3.15 - O 3D Product Model e suas Interfaces.....
97	Figura 3.16 - Fluxo de Projeto usando o 3D Product Model.....
100	Figura 3.17 - Perfil e Características Principais do LPD 17 "San Antonio".....
102	Figura 3.18 - Troca de Dados do 3D Product Model.....
103	Figura 3.19 - Princípio de troca de dados STEP.....
105	Figura 4.1 - Projção da Força de Submarinos 1995 – 2030
110	Figura 4.2 - Três Elementos Chaves para a Mudança
114	Figura 4.3 - Sequência Tradicional de Aquisição
114	Figura 4.4 - Sequência de Aquisição com Engenharia Simultânea.....
115	Figura 4.5 - "Quinze "Equipes de Grandes Areas".....
117	Figura 4.6 - Estrutura dos Times.....
118	Figura 4.7 - Organização para Aplicação do IPPD.....

120	Figura 4.8 - Situação Atual do Projeto x Planejado.....
120	Figura 4.9 - Desenhos Prontificados: Virginia x Seawolf.....
121	Figura 4.10 - Prontificação dos "Work Packages".....
122	Figura 4.11 - Estabilidade do Projeto: Virginia x Seawolf.....
123	Figura 4.12 - Maturidade do Projeto.....
124	Figura 4.13 - Alterações Contratuais do "Virginia"(29/01/02) e projeções até 06/2004.....
125	Figura 4.14 - Disponibilidade de Material.....

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOM	- Bill of Materials
CAD	- Computer Aided Design
CAE	- Computer Aided Engineering
CAM	- Computer Aided Manufacturing
CAPP	- Computer Aided Process Planning
CIM	- Computer Integrated Manufacturing
CN	- Comando Numérico
CNC	- Comando Numérico Computadorizado
ERP	- Enterprise Resource Planning
FMEA	- Failure Modes and Effect Analysis
IDA	- Institute for Defense Analysis
IPPD	- Integrated Product and Process Development
ISO	- International Standardization Organization
MRP	- Manufacturing Research Planning
NUMA	- Núcleo de Manufatura Avançada
PCP	- Planejamento e Controle da Produção
PDM	- Product Data Management
QFD	- Quality Function Deployment
STEP	- Standard for the Exchange of Product Model Data

LISTA DE TABELAS

Tabela I - Resultados obtidos pela implementação da Engenharia Simultânea.....	25
Tabela II - Comparação entre Projetos.....	107

RESUMO

O presente trabalho apresenta a filosofia da Engenharia Simultânea e sua aplicação à indústria naval. A Engenharia Simultânea, ou Desenvolvimento Integrado de Produto e Processo, apesar de ser uma ajuda preciosa para que as empresas enfrentem as novas condições de sobrevivência impostas, ao mercado, pela globalização, ainda não é muito conhecida. Além disso, existe poucos trabalhos científicos que abordam a aplicação desta filosofia à indústria naval com apresentação de resultados. O trabalho é dividido basicamente em duas partes. Na primeira, que introduz a filosofia Engenharia Simultânea, as etapas de desenvolvimento de produtos, o conceito de desenvolvimento tradicional ou sequencial versus a abordagem da Engenharia Simultânea, as estruturas organizacionais empregadas no processo de desenvolvimento de produtos, sendo ainda apresentado um modelo para sua implantação e algumas das principais ferramentas utilizadas. Na segunda parte é analisada a inserção da Engenharia Simultânea na indústria naval, sendo mostrado porque o seu emprego resulta em vantagens, a importância do emprego da tecnologia de simulação e do “*3D Product Model*”, que é de fundamental importância para o sucesso do emprego da filosofia. Um estudo de caso sobre o emprego/implantação da Engenharia Simultânea na indústria naval é apresentado, onde são mostrados resultados decorrentes da implantação.

This report introduces the Concurrent Engineering philosophy and its application in shipbuilding. Concurrent Engineering or Integrated Product and Process development, although being a precious aid to allow companies to face the new survival conditions imposed to the market by globalization, is not very well known. Besides that, few scientific works related to the philosophy implementation to shipbuilding, that present application results, are available. The report is divided in two parts. In the first, that introduces the philosophy in product development process, is presented the concurrent engineering concept, the product development steps, the organizational structures of product development, the traditional (serial) products development process is compared to concurrent engineering approach. An implementation model and the principals tools are presented too. In the second part the following is presented: the analysis of Concurrent Engineering insertion in shipbuilding, why concurrent engineering application causes advantages, the importance of use of simulation technology and "3D Product Model" is presented. A case study about use/implementation of Concurrent Engineering in shipbuilding is presented with its results.

ABSTRACT

I INTRODUÇÃO

A globalização tem elevado sobremaneira o nível de competição entre as empresas, forçando-as a lançar novos produtos em intervalos cada vez menores.

Desta maneira, torna-se uma questão de sobrevivência a redução do tempo gasto no ciclo de desenvolvimento de novos produtos, acrescentando ainda a necessidade de produzi-los com elevada qualidade, dentro de padrões internacionais e com drástica redução de custo.

A indústria naval se insere nesse contexto de alta competitividade, tendo um mercado atualmente dominado pelos países asiáticos, que produzem com rapidez, qualidade e baixo custo, quando comparados com o restante do mundo.

Os produtos da indústria naval, que neste trabalho serão chamados de sistemas navais, caracterizam-se por necessitarem, em geral, de longos ciclos de desenvolvimento. O ciclo de desenvolvimento ou projeto é, seguramente, um dos mais importantes, se não o mais importante, determinante (*driver*) do custo final de um sistema.

A Filosofia da Engenharia Simultânea, com seus objetivos de redução do ciclo de desenvolvimento, garantia da qualidade e diminuição do custo final, dentre outras teorias, surge como uma alternativa para a indústria de construção naval do mundo ocidental, que busca competir com os países asiáticos pelas encomendas que nos últimos anos têm crescido, devido ao incremento do comércio internacional, como também devido a expansão da área de *offshore*.

É apresentada a seguir a justificativa para este trabalho, logo após os objetivos que nortearam o mesmo, um breve comentário acerca da revisão da literatura, e por fim uma pequena apresentação dos capítulos que compõem o trabalho.

1.1 Justificativa

A filosofia da engenharia simultânea, apesar de ser uma ajuda preciosa para as empresas em geral, e principalmente para a indústria naval, que nos últimos anos tem enfrentado grandes dificuldades, principalmente devido a baixa competitividade,

não é muita conhecida em nosso país, necessitando de estudos mais aprofundados e principalmente maior divulgação.

Além disso, praticamente inexistem no Brasil, trabalhos relacionados à implantação desta filosofia na indústria naval, principalmente com a apresentação de dados realistas que mostrem resultados do processo de implantação.

1.2 Objetivos

Com o propósito de contribuir para o aprofundamento da pesquisa sobre essa filosofia, principalmente no que tange à sua aplicação na indústria naval, num momento em que a mesma dá sinais, ainda que tênues de alguma recuperação, sendo portanto o momento oportuno para estudos visando aumento de competitividade, os seguintes objetivos serão perseguidos neste trabalho:

- Efetuar pesquisa bibliográfica com a finalidade de obter conhecimento teórico sobre o assunto;
- Apresentar as diferenças de condução do ciclo de desenvolvimento de produtos, e em especial de sistemas navais, sem a aplicação da filosofia da Engenharia Simultânea e com a introdução da mesma;
- Apresentar, ao longo do trabalho, as consequências para a fase de produção/fabricação do emprego da Engenharia Simultânea; e
- Buscar obter e apresentar dados atualizados sobre um projeto de implantação já efetuado ou em andamento da Engenharia Simultânea na indústria naval, mostrando os resultados alcançados.

1.3 Estratégia de pesquisa

Visando os objetivos, a pesquisa bibliográfica foi conduzida em duas etapas. A primeira visando a obtenção de uma visão geral acerca da Engenharia Simultânea, suas aplicações na indústria em geral, e das ferramentas que servem de apoio à aplicação da filosofia. Esta etapa consistiu da leitura de livros consagrados sobre o assunto, bem como de dissertações e artigos.

A segunda etapa foi conduzida através de estudo de material específico sobre a aplicação da Engenharia Simultânea na indústria naval, que constou de artigos e relatórios dos estudos de casos.

1.4 Apresentação dos capítulos

O Capítulo 1 apresenta uma introdução ao trabalho, a justificativa para o mesmo, os objetivos a serem perseguidos na sua elaboração, a estratégia de pesquisa adotada e uma breve apresentação dos capítulos o compõem.

O Capítulo 2 trata da Engenharia Simultânea (ES) e seu relacionamento com o desenvolvimento de produtos, definindo o que é ES, apresentando as etapas de desenvolvimento de produtos, o método tradicional (seqüencial) de desenvolvimento de produtos, a abordagem da Engenharia Simultânea, comparando ainda, o método tradicional de desenvolvimento de produtos com o método proposto pela Engenharia Simultânea. É apresentado um modelo genérico para implantação da Engenharia Simultânea, e algumas das ferramentas geralmente utilizadas para operacionalizar a filosofia.

O capítulo 3 trata da Engenharia Simultânea e a indústria naval de uma maneira mais específica, com apresentação de dados que justificariam a implantação da filosofia. Discute-se a utilização da tecnologia de simulação e da tecnologia *3D Product Model* no desenvolvimento de sistemas navais e seus reflexos na produção. No capítulo 4 é apresentado um estudo de caso acerca da implantação da Engenharia Simultânea em um estaleiro, mostrando-se resultados comparativos entre dois projetos: um que não teve aplicação da ES e outro com aplicação da Engenharia Simultânea.

No capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho.

2 A ENGENHARIA SIMULTÂNEA E O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

2.1 O que é Engenharia Simultânea ?

Engenharia Simultânea (ES), ou mais modernamente, Desenvolvimento Integrado de Produto e Processo (*Integrated Product and Process Development - IPPD*) é uma filosofia que na verdade envolve mais do que Engenharia. No início o objetivo era o projeto simultâneo do produto e dos respectivos processos de manufatura. O objetivo cresceu passando a incluir todas as etapas do ciclo de vida do produto, desde a sua concepção até a sua retirada de serviço, sua destinação final, após transcorridos seu período de vida útil (BENNETT; LAMB, 1995).

Assim como o "Just-in-Time", a Engenharia Simultânea é uma filosofia e não uma tecnologia. Engenharia Simultânea usa tecnologia para atingir seus objetivos (BENNETT; LAMB, 1995).

O principal objetivo da Engenharia Simultânea ou Desenvolvimento Integrado de Produto e Processo é a diminuição do tempo desde o pedido até a entrega, para um novo produto, com custo mais baixo e maior qualidade. Isto é alcançado através do desenvolvimento paralelo, ao invés de sequencial, das diferentes etapas que compõem o Projeto do Produto, com o emprego de times ou equipes multi-disciplinares ("*cross-functional teams*") (BENNETT; LAMB, 1995). Segundo Syan (1994), estes times devem conter pessoas de vários departamentos da empresa, como mostrado na figura 2.1, incluindo os principais fornecedores e clientes.

“Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado de um produto e os processos relacionados, que enfatiza a responsabilidade para com as expectativas do consumidor e incorpora os valores de cooperação dos times, confiança e compartilhamento, de uma maneira tal que a tomada de decisões se processa com largos intervalos de trabalho paralelo,

E a definição do “Concurrent Engineering Research Center” (CERC).

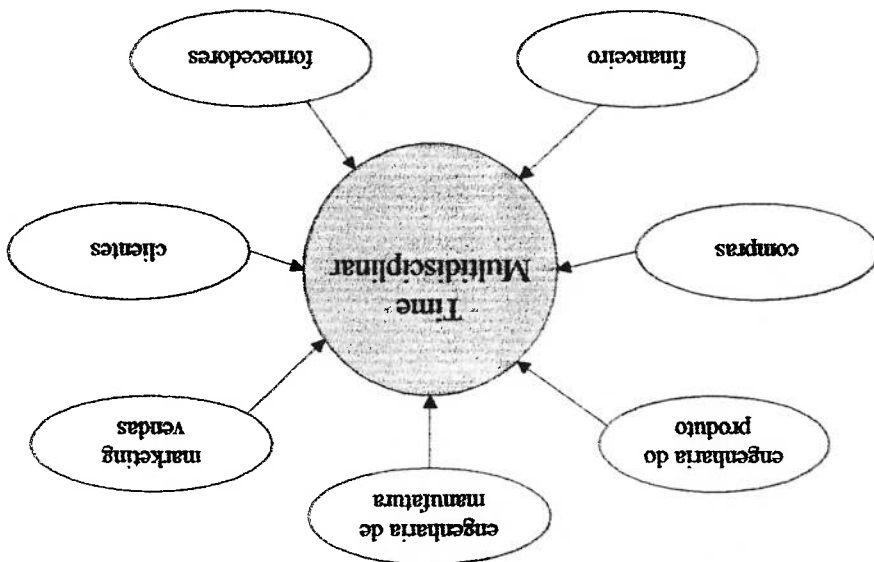
“Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para o projeto integrado e concorrente de produtos e de seus processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Esta abordagem intenciona provocar que os desenvolvedores, desde o início, considerem todos os elementos envolvidos no ciclo de vida do produto desde a sua concepção até o seu descarte, fim de sua vida útil, incluindo qualidade, custo, prazos e os requisitos dos clientes” (WINNER et al, 1988).

“Institute of Defense Analysis” (IDA) dos E.U.A. (BENNETT, LAMB, 1995):

Entre as várias definições de Engenharia Simultânea pode-se citar a do

Baseada em Syan (1994)

Figura 2.1 – Composição de um time de desenvolvimento multidisciplinar



englobando todas as perspectivas do ciclo de vida do produto, de uma maneira sincronizada, por meio de diálogo para obtenção de consenso” (CERC, 1992). Em ambas as definições duas palavras são usadas, que necessitam ser redefinidas para o entendimento completo bem como evitar interpretações errôneas (BENNETT; LAMB, 1995):

Projeto – O desenvolvimento de todos os atributos do produto através de engenharia, planejamento, pedido, fabricação, teste, operação e retirada de serviço.

Processos – Uma série ordenada de etapas, executadas visando um objetivo.

Os processos relacionados ao desenvolvimento de um produto correspondem a todas as atividades executadas para obtenção e suporte do desenvolvimento e integração do projeto, dando sempre ênfase às expectativas e requisitos dos clientes no produto final, possibilitando que todos os envolvidos no desenvolvimento tornem real um produto de qualidade com uma alta produtividade, tornando o processo de engenharia bastante eficiente (SILVA, 1996).

Definição orientada a processo de negócio – com base nos conceitos de modelagem de processos de negócios, pode-se definir Engenharia Simultânea como sendo a filosofia utilizada no processo de desenvolvimento (ou alteração) de novos produtos, visando:

- Aumento de qualidade do produto, como foco no cliente;
- Diminuição do ciclo de desenvolvimento; e
- Diminuição de custos.

Esta filosofia toma como base a sinergia entre seus agentes, que devem trabalhar em equipes multifuncionais, formadas por pessoas de diversas áreas da empresa. Esta equipe deve crescer e diminuir ao longo de sua existência, mantendo sempre um mesmo núcleo de pessoas, que acompanham o desenvolvimento.

Durante algumas atividades devem fazer parte desta equipe clientes e fornecedores, quando se trabalhar no conceito de Cadeia de Suprimentos, conforme a posição da empresa dentro desta cadeia. Todo o trabalho desta equipe deve ser suportado por recursos, métodos e técnicas integradas, tais como: QFD (Quality Function Deployment); FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), CAD, CAM, CIM, CAPP, etc. (NUMA¹, 2002).

Como visto acima, idealmente, a Engenharia Simultânea envolve todos os participantes no desenvolvimento do produto, incluindo o cliente e os fornecedores, em um ambiente de time, desde o início e ao longo do projeto do produto e dos processos relacionados.

Conceitos básicos da Engenharia Simultânea já eram aplicados por empresas ocidentais no início dos anos 80, no entanto, a primeira definição formal, apresentada acima, surgiu com o trabalho de Winner et al. (1988). A abordagem tem sido usada por muitas companhias, em vários países. A experiência tem mostrado, que, se aplicada de maneira adequada levará ao atingimento dos benefícios e objetivos citados nas definições acima (BENNETT; LAMB, 1995).

Segundo Bennett; Lamb (1995) as abordagens ("*approachs*") para introdução e manutenção da Engenharia Simultânea em uma empresa dividiam-se em "*Team Based*" e "*Computer-Based*". A abordagem do "*Team Based*" é focada na formação de times ou equipes multifuncionais ("*cross-functional teams*"), onde os membros que os compõem são instalados, e colocados, bem próximos uns aos outros. Idealmente, em uma mesma sala ou a alguns metros uns dos outros (em inglês esta proximidade é chamada de "*colocated*") e onde cada membro traz consigo e oferece, ao time, os seus conhecimentos especializados sobre uma determinada área (departamento) da empresa, desde o "start-up" do projeto. Esta abordagem envolve significativos treinamentos sobre o trabalho em equipe, sem o qual o time estará, portanto a implantação da Engenharia Simultânea, conforme relatos de empresas que adotaram a filosofia, fadada ao fracasso (BENNETT; LAMB, 1995).

O "*Computer Based approach*" busca prover todas as ferramentas necessárias para que os objetivos e metas estabelecidas pela Engenharia Simultânea sejam alcançadas. Isso é obtido através do desenvolvimento, representação, integração e

coordenação do conhecimento requerido, permitindo o acesso instantâneo de todos os usuários às informações necessárias (BENNETT; LAMB, 1995).

Na realidade, pode-se afirmar com total certeza que o conceito central da Engenharia Simultânea é a completa difusão das informações para todos os membros da equipe, (time), sendo-lhes garantido, ainda, acesso em tempo real às informações (BENNETT; LAMB, 1995).

Com essa necessidade de difusão de informações, em tempo real, é imperioso que haja total integração das ferramentas utilizadas para desenvolvimento do produto e dos processos de manufatura. A ausência de integração das ferramentas é fatal para Engenharia Simultânea, sendo a integração a ênfase do “*Computer Based approach*”. Atualmente não cabe mais essa separação, já que está claro que não se pode

abrir mão da tecnologia da informação. O *computer based approach* é básico para o sucesso da filosofia, assim como a formação dos times é primordial. A implantação da ES deve envolver, idealmente, desde o início a formação de equipes e implantação de um sistema de informações adequado. Atualmente sofisticados programas são desenvolvidos para serem utilizados em computadores de mesa, Laptops, Notebooks e mais recentemente em Palmtops, permitindo acesso, mesmo que remoto, às mais variadas informações e aplicações, seja através de redes locais (Intranets) ou através de Internet, o que sem dúvida alguma potencializa de maneira espetacular as capacidades das equipes multifuncionais criadas no âmbito da Engenharia Simultânea. Hoje, sem dúvida alguma, a tecnologia da informação é fundamental para qualquer empreendimento, sendo fator crítico de sucesso para a Engenharia Simultânea. Permitindo, inclusive, o nascimento de equipes multifuncionais virtuais, onde as reuniões e tomadas de decisões ocorrem através de vídeo-conferências, podendo alguns membros da equipe estarem, afastados por milhares de quilômetros.

2.2 Abordagem tradicional (seqüencial) de desenvolvimento de produtos

Nesta abordagem tradicional, o desenvolvimento de produtos é realizado de maneira seqüencial, onde cada etapa tem de ser completada para que a etapa seguinte tenha início (SYAN, 1994).

No início de qualquer desenvolvimento de produtos existe um elevado grau de incerteza. Esta incerteza diminui no decorrer do desenvolvimento, mas é justamente no início que se seleciona a maior quantidade de soluções construídas. As escolhas de alternativas ocorridas no início do ciclo de desenvolvimento são responsáveis por 60 a 95% do custo final (SYAN, 1994).

Segundo Rozenfeld; Veja (1995) apud Omokawa (1999) o custo de modificação aumenta ao longo do ciclo de desenvolvimento, pois quanto mais tarde for realizada uma mudança, um número maior de decisões já tomadas podem ser invalidadas. No processo de desenvolvimento sequencial a detecção da necessidade de alterações ocorre tardiamente, provocando elevados custos nas implementações.

Segundo Omokawa (1999) além das alterações que ocorrem muito tardiamente, fazendo com que os custos de desenvolvimento aumentem, existem outros problemas:

- O desenvolvimento de produtos de forma sequencial é baseado na premissa de que uma nova fase não pode começar sem que a fase precedente tenha sido completada. Isto significa um aumento no tempo de desenvolvimento do produto;
 - A linearidade das fases do desenvolvimento de produto faz com que uma parte significativa (50 a 80%) dos custos de manufatura sejam decididos antes dos engenheiros de manufatura começarem a fazer parte do projeto;
 - Os prazos de lançamento muitas vezes não são cumpridos, fazendo com que o produto final não sirva mais ou não seja mais viável ao mercado alvo;
 - Pouca atenção é dada para os processos de manufatura nos estágios iniciais de desenvolvimento, causando alterações caras em ferramentas e outros equipamentos.
- Muitos desses problemas são resolvidos com a aplicação da engenharia simultânea.

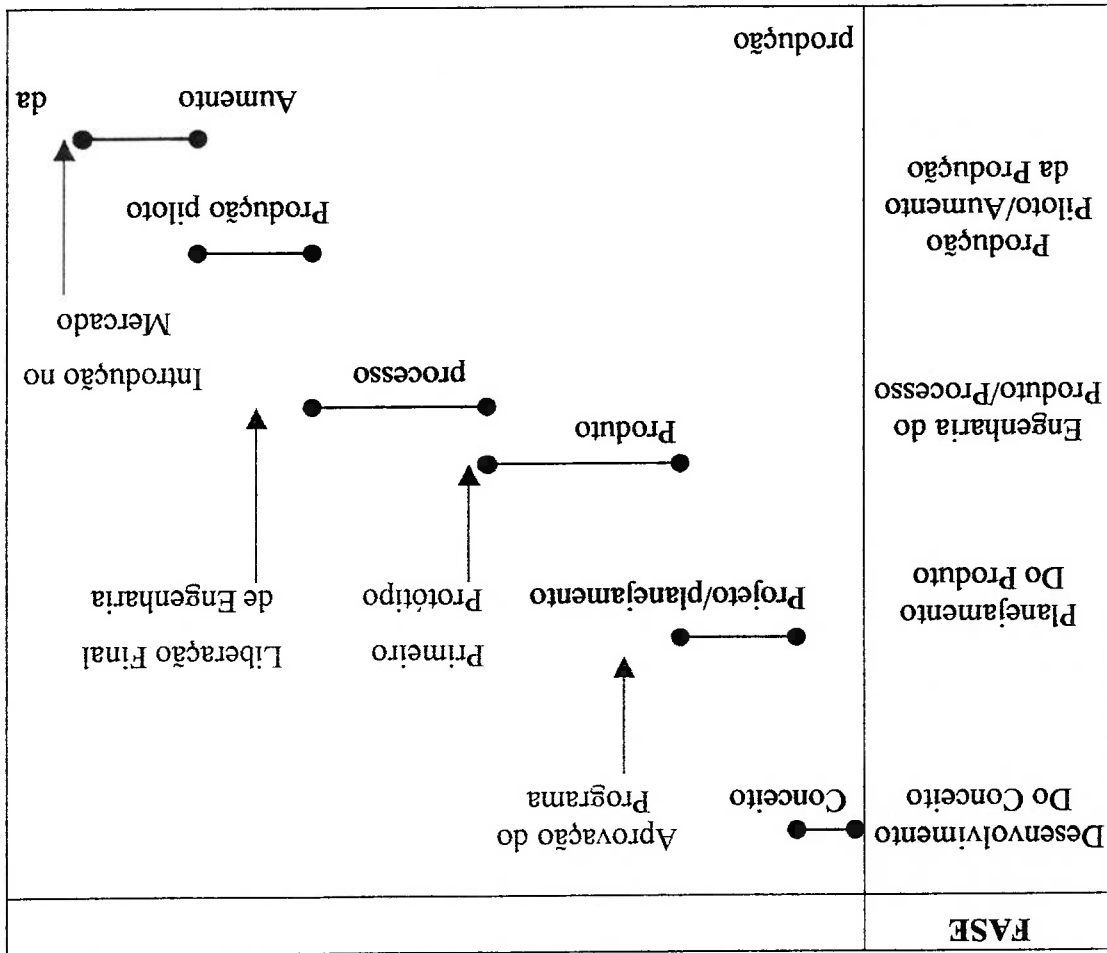
2.3 Fases do desenvolvimento de produtos

Segundo Wheelright; Clark (1992), o desenvolvimento de produtos é dividido em quatro fases: desenvolvimento do conceito, planejamento do produto, engenharia do produto/processo e produção piloto/aumento da produção (figura 2.2).

As duas primeiras fases – desenvolvimento do conceito e planejamento do produto – incluem informações de oportunidades de mercado, possibilidades técnicas, e requisitos da produção devem ser combinadas para se definir a arquitetura do novo produto. Isto inclui seu projeto conceitual, mercado alvo, necessidades em investimentos e viabilidade econômica. Para a aprovação do programa de desenvolvimento do produto, o conceito deve ser validado através de testes e discussão com potenciais clientes.

Uma vez aprovado, o projeto entra na fase detalhamento da engenharia de produto e processo. Esta fase envolve o desenvolvimento do projeto, a construção de protótipos e o desenvolvimento de ferramentas e equipamentos a serem utilizados na

Figura 2.2 – Fases do Desenvolvimento de Produtos
 Baseada em Wheelwright, Clark (1992)



produção em larga escala. O detalhamento de engenharia envolve o ciclo “projetar – construir – testar”. Os produtos e processos gerados no conceito são incorporados em um “modelo de trabalho”, que é submetido a testes que simulam o produto em uso. Caso ocorram problemas, alterações são buscadas e implementadas de modo a melhorar o projeto, e o ciclo “projetar – construir – testar” é repetido, até atingir a maturidade necessária para início da produção piloto. A conclusão desta fase de detalhamento da engenharia é marcada pela liberação da versão final, que indica que o projeto está pronto para iniciar uma produção piloto.

Na fase de produção piloto os componentes individuais são construídos e testados os meios de produção. Durante esta fase, são produzidas muitas unidades do produto com o objetivo de testar os planos de processo nos níveis de produção comercial. A conclusão desta fase indica que todo o ferramental e equipamentos estão prontos, incluindo os fornecedores de peças/equipamentos, estando assim o produto pronto para início da produção comercial.

A fase final do desenvolvimento é o aumento da produção. Isso envolve o refinamento do processo de produção, que deve ser testado para operar com um alto nível de produção. Nesse momento, a empresa inicia a produção em um nível relativamente baixo, e assim que a organização e seus fornecedores desenvolvem confiança em sua capacidade de produção e comercialização, vai-se aumentando seu volume até atingir as metas planejadas de produção, custo e qualidade.

2.4 Estruturas organizacionais para desenvolvimento de produtos

A forma com que uma empresa se organiza para o desenvolvimento de produtos tem influência direta no desempenho e no resultado do processo de desenvolvimento.

O tipo de processo de desenvolvimento exerce influência em três dimensões da organização do desenvolvimento de produtos, identificadas por Clark; Fujimoto (1991) apud Zancul (2000): o grau de especialização, a integração interna e a integração externa. O grau de especialização refere-se aos conhecimentos específicos necessários para se projetar funcionalmente os elementos de um produto. A integração interna diz respeito à coordenação da equipe de desenvolvimento, e a

integração externa relaciona-se com o atendimento das necessidades dos consumidores.

O desenvolvimento de um produto baseado em componentes tecnológicos que evoluem rapidamente, por exemplo, requer um alto nível de conhecimentos específicos. O alto grau de especialização necessário determina a segmentação da organização em departamentos e unidades e pode dificultar a coordenação e comunicação entre os grupos funcionais, ou seja, diminuir a integração interna (CLARK; FUJIMOTO, 1991 apud ZANCU, 2000).

Existe várias maneiras da empresa se organizar para o processo de desenvolvimento de produtos. Segundo Syan (1994), a organização matricial, representada na figura 2.3, é a que mais se adapta às empresas que utilizam a abordagem de Engenharia Simultânea. Este tipo de organização compreende a superposição ou cruzamento de dois tipos de estruturas: a funcional ou departamental (permanente) e as estruturas de projetos (transitórias, que existem apenas enquanto durarem os projetos nos quais as pessoas estão alocadas), permitindo a formação dos times multifuncionais.

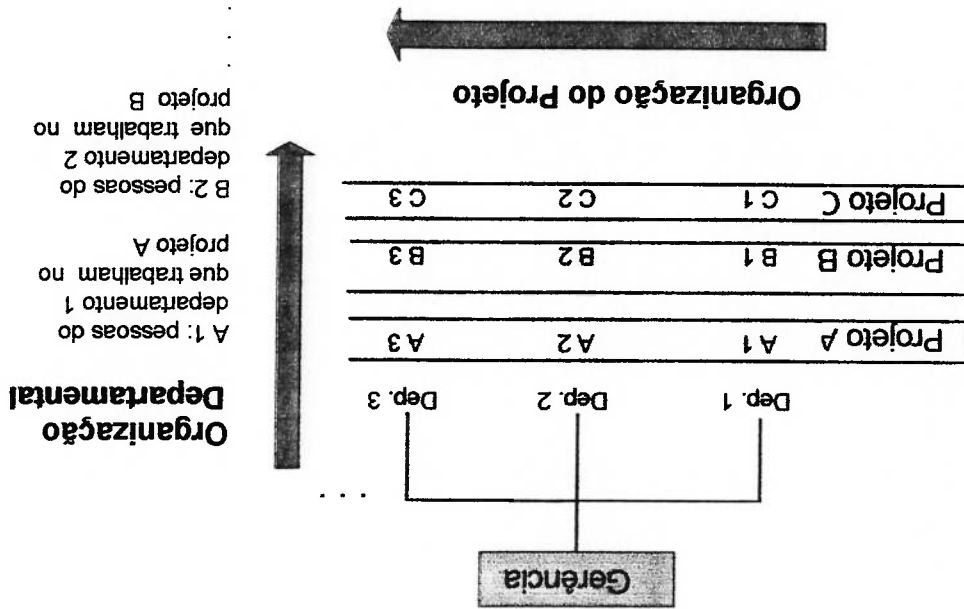


Figura 2.3 - Organização Matricial (OMOKAWA, 1999)

Clark, Fujimoto (1991) apud Omokawa (1999) são mais completos que Syan (1994) na identificação das formas de organização do desenvolvimento de produto. Os autores identificam quatro formas de organização: estrutura funcional tradicional, estrutura de gerente de produtos “peso leve”, estrutura de gerente de produto “peso pesado”, e estrutura de time de execução de projeto.

Na **Estrutura Funcional Tradicional**, figura 2.4, não existe uma pessoa responsável por todo o desenvolvimento de produtos. Os gerentes funcionais são responsáveis pela alocação de recursos e pela realização das atividades atribuídas aos seus departamentos (CLARK; FUJIMOTO, 1991 apud OMOKAWA, 1999).

Na figura 2.4, cada departamento (D1 – Engenharia, D2 – marketing, etc.) é supervisionado por um gerente funcional (GF). Os engenheiros (ou pessoas de outras áreas) que trabalham em um determinado projeto são representados pelos círculos hachurados nos departamentos.

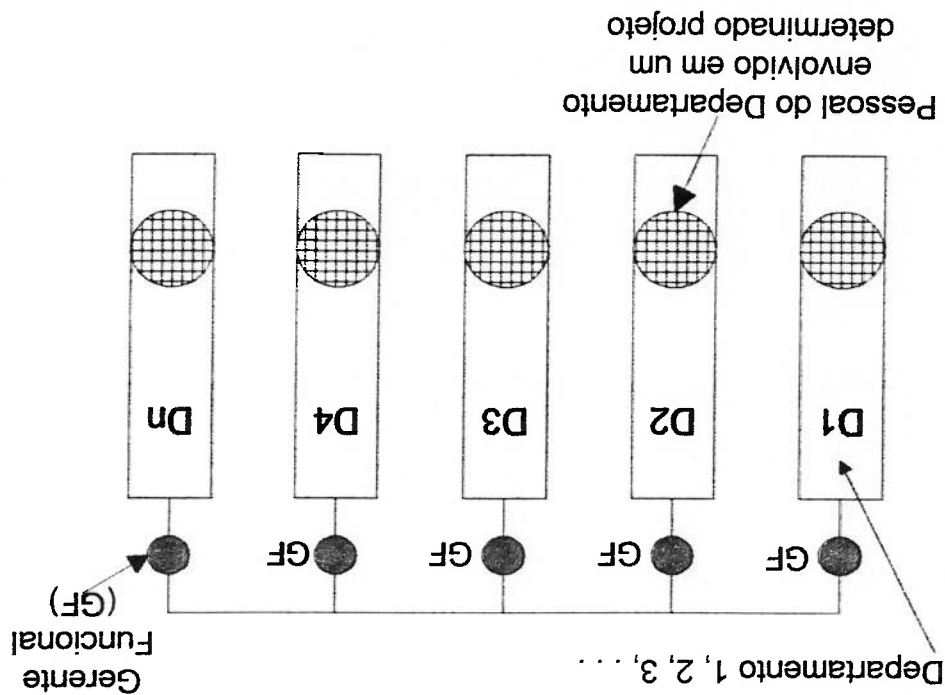


Figura 2.4 - Estrutura Funcional (OMOKAWA, 1999)

No desenvolvimento de produtos utilizando a estrutura de Gerente de Produtos “Peso Leve”, figura 2.5, a organização básica continua sendo funcional, e o nível de especialização é comparável ao encontrado no modelo funcional. A

diferença esta na presença do gerente do produto (GP), que coordena as atividades de desenvolvimento através de representantes (R). Estes representantes formam o elo de ligação entre o GP e os especialistas nos departamentos, uma vez que o GP não tem autoridade sobre as pessoas envolvidas no trabalho (representadas pelos círculos quadriculados), nem acesso direto a elas. A área delimitada pelo retângulo tracejado onde o GP exerce influência.

Os principais objetivos do gerente de produto são: coletar informação do *status* do trabalho e ajudar a resolver conflitos dos membros/departamentos nos grupos funcionais (CLARK; FUJIMOTO, 1991 apud OMOKAWA, 1999).
Nesta estrutura os GP não possuem um contato direto com o mercado e nem responsabilidade em relação ao conceito do produto.

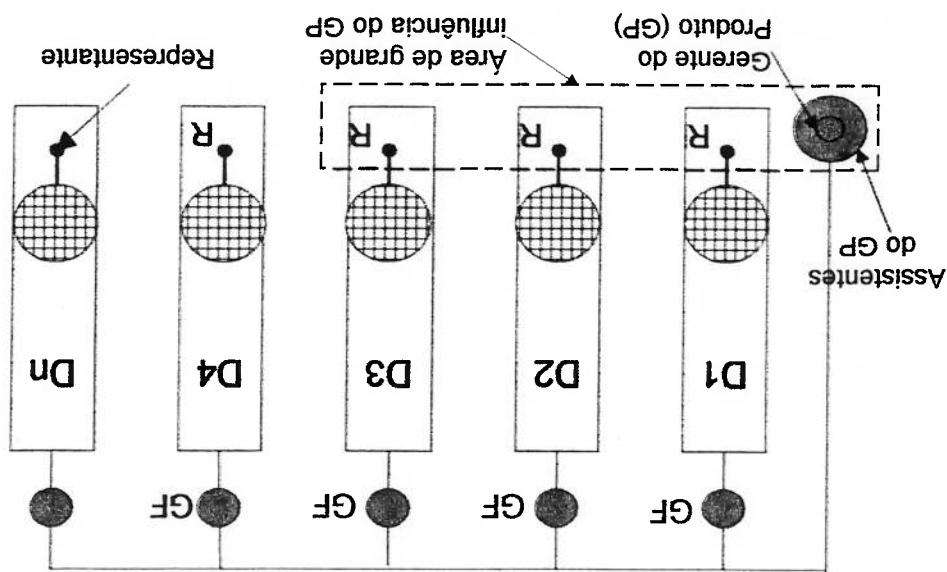


Figura 2.5 - Estrutura de Gerente de Produtos "Peso-Leve" (OMOKAWA, 1999)

No desenvolvimento de produtos utilizando a estrutura de Gerente de Produtos "Peso Pesado", figura 2.5, o gerente de produto (GP) possui mais responsabilidade e poder de influência. O trabalho deste gerente ocorre junto aos representantes das áreas funcionais, mas, quando necessário, o GP tem acesso direto às pessoas envolvidas dos departamentos. A interseção entre o mercado e a zona de influência do gerente, conforme mostrado na figura 2.6, indica que os gerentes

também são responsáveis pelo planejamento do produto e desenvolvimento do conceito (integração externa), além de contato com os clientes (CLARK; FUJIMOTO, 1991 apud OMOKAWA, 1999).

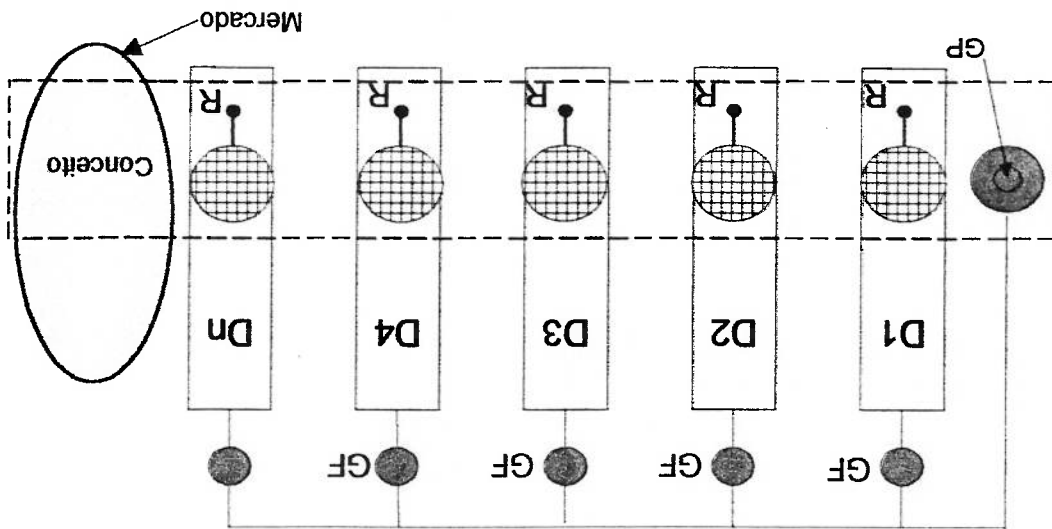


Figura 2.6 - Estrutura de Gerente "Peso Pesado" (OMOKAWA, 1999)

Apesar de trabalhar sobre uma organização funcional, utilizando os recursos da mesma, são organizados times responsáveis por todo o desenvolvimento do produto.

As estruturas de gerentes de produtos "peso leve" e "peso pesado" são variações da estrutura matricial citada por Syan (1994) como sendo a que mais se adapta ao ambiente de engenharia simultânea.

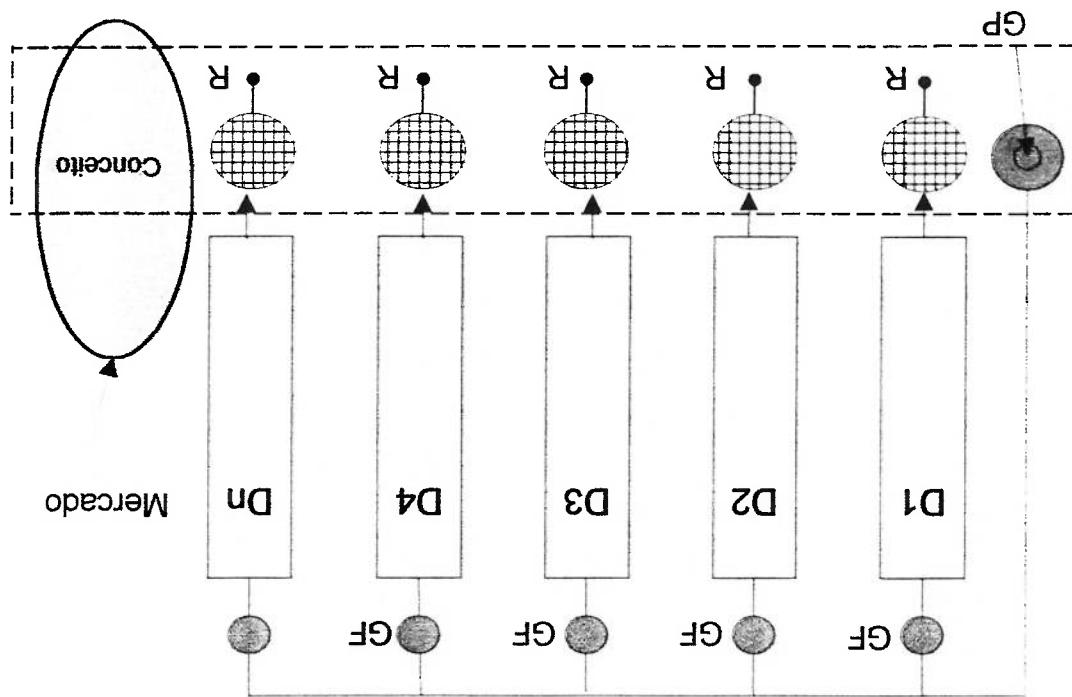
Na estrutura de **Time de Execução de Projeto**, figura 2.7, o GP coordena uma equipe de pessoas dedicadas integralmente ao desenvolvimento. As pessoas envolvidas no desenvolvimento deixam as suas áreas funcionais e passam a se reportar diretamente ao GP. Ao final do desenvolvimento as pessoas retornam para as suas áreas funcionais (CLARK; FUJIMOTO, 1991 apud OMOKAWA, 1999).

No desenvolvimento de produtos através de um **Time de Desenvolvimento de Produtos Independente**, proposto por Clausing (1994) apud Omokawa (1999) as pessoas são membros apenas do time, não possuindo um lugar na estrutura funcional. Esta estrutura se assemelha à estrutura de time de execução de projeto, sem a necessidade de dissolução do time após o término do projeto.

Se os produtos são bastante simples, o mercado muda apenas vagarosamente e a especialidade técnica é muito importante, então a organização funcional tem bons resultados. Entretanto, para produtos complexos, num mercado que muda rapidamente com especialidades técnicas normais, a organização funcional tem se mostrado insatisfatória. É muito lenta e traca ao tratar da tal complexidade.

Para produtos relativamente simples, as equipes interdisciplinares são suficientes. Entretanto, para produtos mais complexos, a estrutura de desenvolvimento deverá contar com uma equipe para cada subsistema. Para produtos ainda mais complexos é possível que a estrutura tenha características adicionais, como por exemplo, outras camadas e módulos que serão posicionados entre a chefia da engenharia e as equipes de subsistemas.

Figura 2.7 - Estrutura de Time de Execução de Projetos (OMOKAWA, 1999)



Uma extensão às equipes de subsistemas pode ser obtida desde que os líderes das mesmas também formem uma equipe para tomada de decisões. Por exemplo, recursos podem ser desviados de um subsistema para outro se necessário. A prática deste tipo de trabalho, em equipe interdisciplinar de alto nível, deixa ainda a desejar em função do sucesso de equipes interdisciplinares de subsistemas.

Recentemente tem se tomado importante estender o conceito de equipes interdisciplinares de forma que abranjam toda a cadeia produtiva. A tendência é que sejam realizadas parcerias entre os integrantes da cadeia, o que de certa forma transcende o conceito tradicional de empresa, para que contemple participantes de várias organizações, conforme abordado no item 2.1 e exemplificado na figura 2.1 (Composição de um time de desenvolvimento multidisciplinar).

Segundo Clausing (1994) apud Omokawa (1999), qualquer uma das três últimas formas de organização de: time de desenvolvimento de produtos independente, time de execução de projetos e gerente ("peso pesado") podem ser utilizadas com sucesso em ambientes de engenharia simultânea, sendo que a escolha de uma das três depende somente das características da empresa.

2.5 Comparação da abordagem de engenharia simultânea com o processo tradicional (seqüencial) de desenvolvimento de produtos

O processo tradicional ou seqüencial de desenvolvimento de produtos, anteriormente apresentado no item 2.2, também conhecido pela expressão em inglês "over the fence" ou "over the wall", que significa "sobre a cerca" ou "sobre o muro", é baseado na organização departamental, o que não favorece a integração entre as unidades funcionais, uma vez que cada departamento ou setor responsável por determinada etapa do projeto, trabalhando estanque ou independente dos demais, tende a preocupar-se somente com suas atividades específicas, e não existe um responsável pelo desenvolvimento como um todo. A figura 2.8 apresenta um exemplo de desenvolvimento seqüencial, sendo que as etapas foram previamente apresentadas no item 2.3.

Um departamento ao executar a etapa que lhe corresponde, "passa adiante", ou "joga sobre a cerca ou muro" (*over the wall*), para o próximo departamento, os documentos e/ou desenhos gerados, para que seja dada continuidade aos mesmos, sendo ainda o progresso do projeto, geralmente, medido através da quantidade de desenhos que tenham sido concluídos.

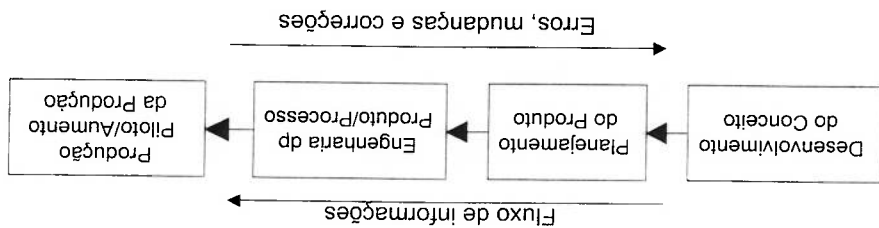
Ainda no processo tradicional, a verificação do estado do projeto é tratada como uma maneira de resolver problemas e não de como evitá-los, isto é, solucionase os problemas e não se impede sua ocorrência. Esta característica constitui uma análise *off-line*, isto é, quando uma determinada análise é efetuada, os resultados somente serão avaliados depois que o projeto tenha efetivamente sido alterado.

Em um processo serial, como o tradicional, o aumento da produtividade das tarefas pode ter algum efeito no tempo total de conclusão do projeto. Entretanto, reduzindo-se o tempo necessário para cada tarefa não se proporciona, necessariamente, uma redução de tempo do projeto como um todo, pois cada tarefa requer conclusão de alguma outra tarefa, anterior a ela própria, tendo como consequência o fato de que qualquer problema encontrado em alguma etapa do projeto, irá provocar um retorno à etapas anteriores, ocasionando atrasos na conclusão do projeto.

A falta de uma visão ampla sobre todo o desenvolvimento dificulta a medição dos resultados obtidos e a realização de projetos de melhoria.

As diferentes visões descritivas, utilizadas pelas várias unidades organizacionais envolvidas no desenvolvimento, resultam em bases de dados independentes, separadas em vários sistemas e plataformas de *hardware*, conforme apresentado na figura 2.9.

Figura 2.8 - Exemplo de desenvolvimento sequencial de produtos



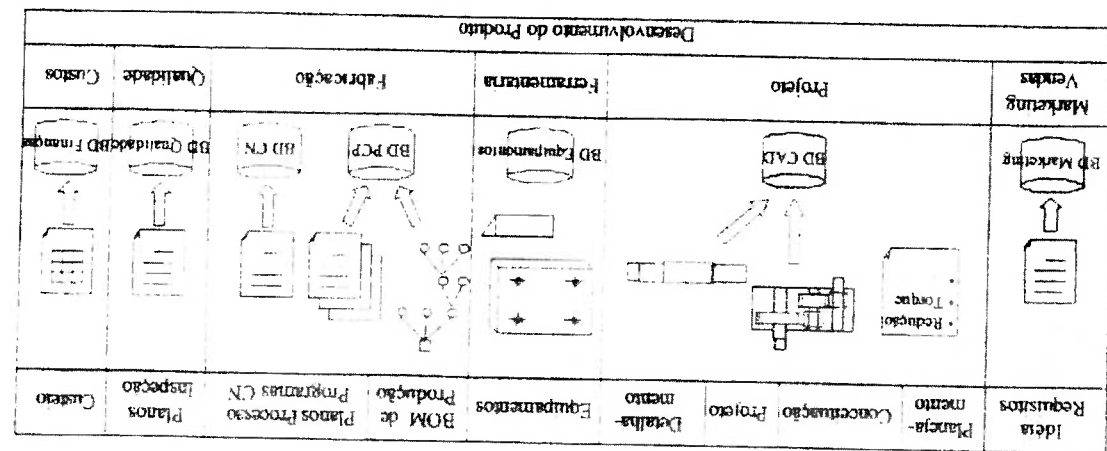


Figura 2.9 - Fragmentação dos dados de produto no desenvolvimento sequencial (ZANQUELLI, 2000)

A descrição geométrica do produto, por exemplo, é armazenada na base de dados do sistema CAD, enquanto que a estrutura de produto e os planos de processo macro, gerados em uma fase posterior, são armazenados na base do sistema de planejamento da produção (figura 2.9).

A abordagem da Engenharia Simultânea é focada em três preocupações: a integração antecipada e coordenada entre as áreas de conhecimento relevantes ao desenvolvimento de produtos, organização da equipe sob o prisma de multidisciplinaridade e dedicação integral ao projeto e, enfoque sobre as necessidades do cliente. Esta abordagem busca alcançar os seguintes objetivos: menor tempo de desenvolvimento do produto; menor custo; e aumento da qualidade do produto final.

O paralelismo (simultaneidade) na execução das etapas de desenvolvimento de produtos ocupa uma posição de destaque no contexto da Engenharia Simultânea, uma vez que é fundamental na redução do ciclo de desenvolvimento de produtos, reduzindo desta maneira o *time-to-market* (tempo transcorrido desde a detecção da necessidade, até a introdução de um novo produto no mercado) o que constitui uma importante vantagem competitiva. Para tal é vital que haja a integração entre áreas de conhecimento, mediante a constituição de equipes multidisciplinares (figura 2.1).

O paralelismo (simultaneidade) bem como a integração, entre as diversas áreas envolvidas nas etapas de desenvolvimento é representado na figura 2.10.

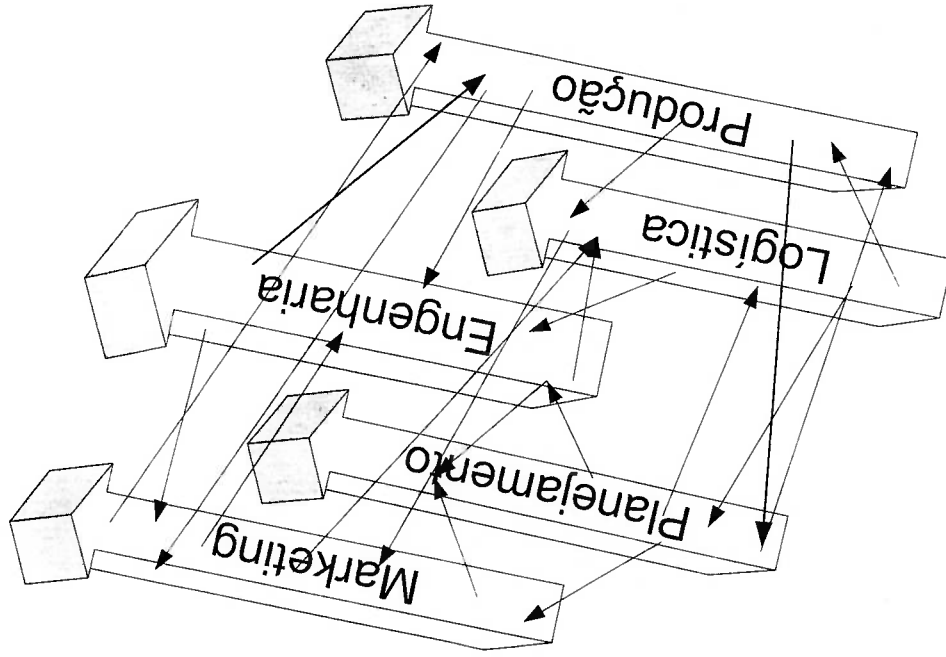


Figura 2.10 – Desenvolvimento Simultâneo (paralelo e integrado) do Produto

A estratégia de simultaneidade, com o emprego de equipes multidisciplinares, fornece uma oportunidade para tratar antecipadamente, no processo de desenvolvimento, de fontes de conflitos entre agentes do desenvolvimento, que representam os pontos de vista de diferentes áreas: projeto do produto, marketing, fabricação, logística, operação, etc.

O custo tende a ser reduzido sobremaneira, principalmente devido à participação do pessoal de produção nas equipes multidisciplinares, desde o início do desenvolvimento, de modo que participando no desenvolvimento, contribuem para que quando da fabricação não seja detectada a necessidade de correções no projeto (rejeitos), que ocasionam não só atrasos no lançamento de produtos, que representam elevado custo em um mercado competitivo, como também evitam os elevados custos que representam as alterações de projeto, que aumentam

drasticamente à medida que o projeto se aproxima da etapa de produção, pois quanto mais próximo desta etapa, maior é a quantidade de itens integrados, e consequentemente maior é a quantidade de interfaces que necessitam de revisão em função de alterações a serem introduzidas.

A figura 2.11 apresenta o custo de alterações ao longo do desenvolvimento, comparando a abordagem de desenvolvimento serial e a abordagem de Engenharia Simultânea.

A curva de custo de alterações indica que idealmente se deve procurar reduzir ao máximo as alterações ao final da fase de engenharia (desenvolvimento) e na fase de produção, devido ao elevado custo, como também procurar "trazer" para o início do ciclo do produto o máximo de alterações que poderão advir do projeto.

A figura 2.11 mostra que a Engenharia Simultânea, com o emprego das equipes multidisciplinares de projeto, busca atingir o objetivo acima, concentrando o maior número de alterações na etapa de concepção, onde o custo é muito baixo, ao contrário da abordagem tradicional (serial), que concentra elevado número de alterações na etapa de desenvolvimento de produto e de processo, quando o custo é bem mais elevado, apresentando ainda grande número de alterações na fase de produção/operação, onde o custo é extremamente alto, ao contrário da ES que apresenta número bastante reduzido de alterações.

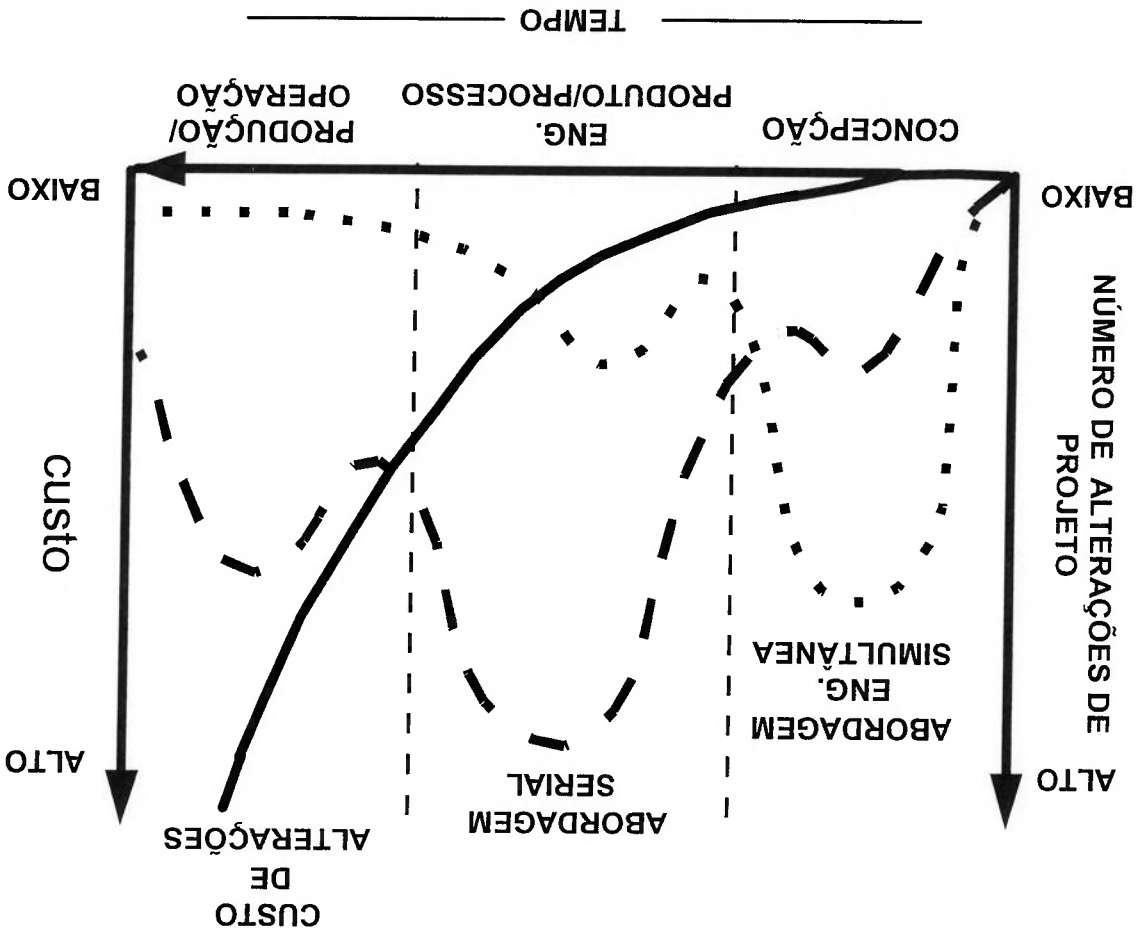


Figura 2.11 – Custo das alterações de projeto

Baseada em (OFFICE OF THE UNDER SECRETARY OF DEFENSE, 1998)

A participação do cliente (armadores na indústria naval) nas equipes multidisciplinares, desde o início, conforme mostrado pela figura 2.1, é muito importante para o aumento da qualidade do produto, já que mantém permanentemente o foco da equipe na satisfação do cliente.

A presença do cliente é importante na medida em que permite um perfeito entendimento, por parte da equipe multidisciplinar, dos requisitos que o produto deve satisfazer, bem como o cliente pode ser assessorado com relação a requisitos conflitantes, que possam trazer como consequência degradação na operação do produto final, ocasionando insatisfação por parte do mesmo. Deste modo, esse entendimento provoca, desde o início, um desenvolvimento contínuo, sob uma estrutura sólida (requisitos do produto), perfeitamente compreendida e edificada a “quatro mãos”.

Na aplicação da Engenharia Simultânea é fundamental que as equipes multidisciplinares de projeto “ataquem” todos os aspectos do desenvolvimento de forma paralela e concorrente, em contraste com o processo tradicional (*over the wall*), resultando com isso na necessidade imperiosa de maior integração entre os dados do produto. Tais informações devem estar localizadas em uma base de dados única, conforme mostrado na figura 2.12, ao invés de se encontrarem fragmentadas, como no caso do desenvolvimento sequencial (mostrado na figura 2.9).

A integração das informações do produto (figura 2.12) permite que todos os membros da equipe tenham acesso a informações atualizadas e comuns a todos, facilitando o processo decisório e diminuindo os riscos de decisões baseadas em informações desatualizadas.

A abordagem da Engenharia Simultânea conduz a melhores projetos, que buscam atender perfeitamente os requisitos dos clientes (armadores na indústria naval); com aumento da qualidade e da confiabilidade, além de propiciar à alta gerência e aos gerentes de projeto um melhor controle dos custos envolvidos. Estas vantagens podem ser quantificadas com os dados constantes da tabela I.

Figura 2.12 - Integração dos dados do produto para apoiar a Engenharia Simultânea (ZANCUL, 2000)


















Descrição Integrada do Produto	Desenvolvimento Simultâneo do Produto			
	 Planos de Reciclagem	 Planos de Manutenção	 Planos Inspeção	 Planos Processo
	 BOM	 Equipamento	 Geometria	 Ideia
	 Custo	 \$ 300-600	 & 350-550	 \$ 370-480
	 \$ 420			
	Planejamento	Concepção	Projeto	Detalhamento

Tabela I – Resultados obtidos pela implementação da Engenharia Simultânea (WINNER et al, 1988); (BENNETT; LAMB, 1995); (CARTER; BAKER, 1992); e (HARTLEY, 1992)

Tempo de Desenvolvimento do Projeto	30% - 70% Redução
Alterações de Projeto e Retrabalho	65% - 90% Redução
Tempo de Lançamento de Produto	20% - 90% Redução
Qualidade Total do Produto	200% - 600% Melhoria
Produtividade	20% - 110% Melhoria
Retorno sobre Vendas (“ <i>dollar sales</i> ”)	5% - 50% Melhoria

Estes resultados da implementação da engenharia simultânea, apresentadas com dados bastante expressivos da tabela I, são decorrentes da aplicação de seis elementos básicos (SILVA, 1996), descritos a seguir:

1) Equipes multidisciplinares de projeto (*cross-functional teams*):

As equipes são formadas e voltadas para o produto e o seu respectivo projeto de desenvolvimento, não perdendo a orientação e mantendo-se coesas em torno das ferramentas de projeto e de uma metodologia eficiente.

2) Realização de atividades relacionadas com o Desenvolvimento de Forma Paralela e Concorrente:

As atividades são iniciadas independentemente do término de anteriores, antecipando o aparecimento de problemas e deficiências do projeto. Durante a etapa de planejamento, os membros das equipes multidisciplinares definem em conjunto as várias atividades relacionadas com o desenvolvimento, definindo o encadeamento lógico das mesmas, o envolvimento dos departamentos, bem como o estabelecimento de metas (custo, tempo, desempenho) e objetivos (preferencialmente mensuráveis).

3) Compartilhamento e utilização de informações atualizadas e integradas:

Como as atividades podem ser executadas em paralelo e concorrentemente, torna-se fundamental que todas as informações do projeto estejam atualizadas e concentradas em um único banco de dados (*3D Product Model*).

4) Integração do gerenciamento do projeto: Este elemento é consequência do anterior, sendo garantido pela possibilidade de utilização de informações atualizadas de forma integrada. A utilização de um único banco de dados para o projeto, permite o acompanhamento permanente da execução de todas as etapas, possibilitando tomadas de decisão rápidas.

5) Envolvimento contínuo e antecipado de fornecedores: Este elemento é decorrente do segundo elemento, proporcionando um melhor conhecimento do projeto por parte dos fornecedores e as suas reais capacidades, possibilitando que estes também participem como projetistas e objetivando retirar a aquisição de materiais da linha crítica do projeto; e

6) Envolvimento contínuo e antecipado dos clientes: Este elemento é decorrente da busca da qualidade do produto através da identificação precisa das necessidades dos clientes, de tal forma que estas possibilitem a determinação exata dos requisitos do projeto e do seu produto final, orientando precisamente a equipe de projeto.

2.6 Implementação da engenharia simultânea

“Apesar dos conceitos serem simples, sua aplicação deve ser considerada não trivial. Dificuldade em parte relacionada à mudança cultural necessária à implantação e também com a migração de poder dos departamentos para as equipes de projeto. Sendo o projeto do produto resultado da interação entre vários departamentos é preciso quebrar as barreiras departamentais e melhorar a comunicação na organização” (JUNQUEIRA, 1995).

Segundo Junqueira (1995) a Engenharia Simultânea não pode ser encarada como programa a ser delegado e acompanhado periodicamente, precisa sim do envolvimento total da alta administração e de seu comprometimento com o processo e resultados. É um assunto de interesse da organização, não só do departamento de Engenharia ou Desenvolvimento, assim uma das obrigações da alta administração é definir um objetivo comum e a visão estratégica de onde a organização quer chegar com a Engenharia Simultânea.

A reestruturação organizacional, segundo Junqueira (1995), não é uma necessidade imprescindível à implantação da Engenharia Simultânea. Contudo muitos autores constataram que as empresas que a adotaram passaram por uma adequação da estrutura, seja com a implantação ou anteriormente a esta. De forma genérica a estrutura organizacional considerada mais adequada a Engenharia Simultânea é a estrutura matricial, com os projetos em uma dimensão e os departamentos funcionais na outra.

Independentemente de uma reestruturação organizacional, os autores recomendam que se defina uma estrutura própria para implantação, por exemplo, com a formação de um comitê diretor e a definição de um coordenador para implantação. Recomendam ainda que a implantação seja feita através do uso de projetos-piloto, que têm como objetivo permitir o aprendizado. Para gerenciar os projetos-piloto, deve-se selecionar pessoas-chave (*champions*), que têm a característica de "fazer acontecer" (JUNQUEIRA, 1995).

O treinamento nos conceitos e ferramentas deve ser realizado num primeiro momento junto aos principais envolvidos, equipes de projeto e chefes de departamento, e em seguida estendido a toda a organização (JUNQUEIRA, 1995).

Considerando a globalização da economia mundial, que exige que o intervalo de tempo entre lançamentos de novos produtos no mercado seja cada vez mais curto, tomando o ambiente altamente competitivo e propício para a implantação da Engenharia Simultânea, corroborado pelos diversos casos descritos na literatura, deve ser estudada e preparada uma metodologia, um esquema, para uma possível implantação da Engenharia Simultânea na empresa, como o proposto por Junqueira (1995) denominado "Modelo Conceitual Expandido" (figura 2.6), voltado para empresas que apresentem algumas das seguintes características:

- Setor Industrial – pelo fato da maioria dos casos relatados na literatura serem da empresas deste setor, embora haja autores que ressaltam a aplicabilidade da metodologia da Engenharia Simultânea em serviços, de forma semelhante àquela voltada para produto;

- Importância do Desenvolvimento do Produto – para empresas com processo de desenvolvimento de produtos tradicional, a introdução da engenharia Simultânea requer alterações profundas na forma de trabalho e até mesmo na cultura

da organização. A decisão por uma empreitada deste porte deve estar condicionada a importância estratégica da função desenvolvimento de produtos. Assim sendo, é recomendado a aplicação do modelo proposto a empresas, que realmente tenham no desenvolvimento de produtos um fator de competitividade significativo; e

- Segmentação da Função Desenvolvimento de Produtos – o modelo proposto foi desenvolvido para atender empresas que tenham como característica forte a fragmentação do seu processo de desenvolvimento entre vários departamentos. Mesmo que a Gerência de Desenvolvimento de Produtos tenha um grande peso na estrutura, a participação, como já citado anteriormente neste capítulo, das demais áreas se mostra essencial para se chegar a um produto mais adequado em termos de custo, prazo e qualidade. Empresas onde o processo de desenvolvimento dos produtos seja dependente de apenas um ou dois departamentos devem buscar modelos alternativos à Engenharia Simultânea, como, por exemplo, a simples integração dos respectivos departamentos sob uma única gerência.

Como a Engenharia Simultânea não é um produto de prateleira, um modelo precisa ser desenvolvido e adequado para cada organização em particular. Além disso a Engenharia Simultânea não é um assunto exclusivamente técnico, pois envolve, em muitas organizações, uma mudança cultural, o que reforça a necessidade de se contar com uma metodologia abrangente para o sucesso de sua implantação.

A indústria naval possui as características anteriormente discutidas e que nortearam a construção e o modelo proposto por Junqueira (1995), encaixando-se perfeitamente como candidata a aplicação do mesmo que, conforme citado anteriormente, é geral e abrangente, devendo ser discutido e adaptado à cada situação que se apresenta em cada estaleiro.

A figura 2.13 apresenta a metodologia proposta, chamada de Modelo Conceitual Expandido, e as Etapas que o compõem são discutidas a seguir:

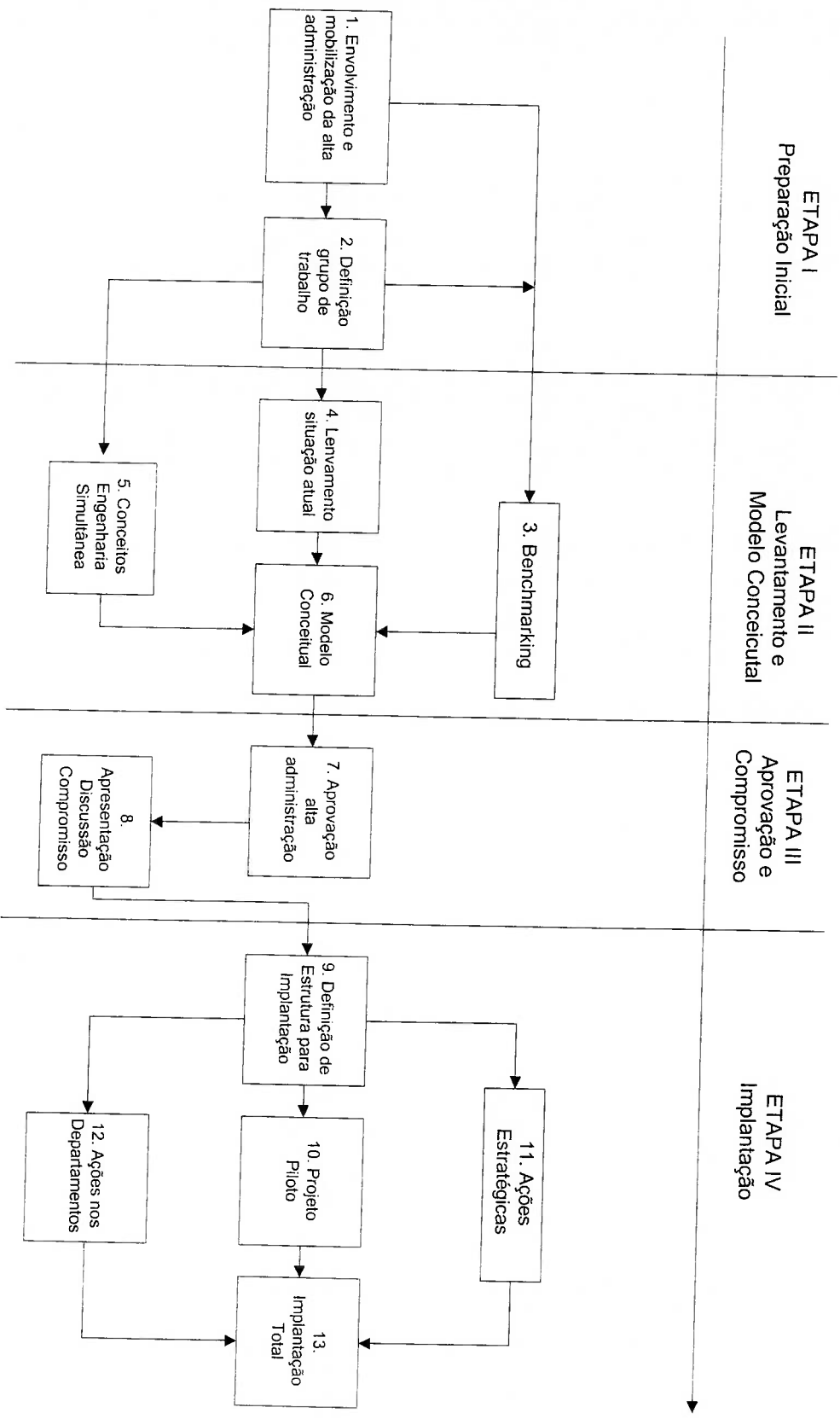


Figura 2.13 - Modelo Conceitual Expandido (JUNQUEIRA, 1995)

Etapa I – Preparação Inicial

Fase 1 – Envolvimento e Mobilização da alta administração

Conforme ressaltado por diversos autores, dentre eles Carter; Baker (1992) e Hartley (1992), o comprometimento da alta administração é requisito básico, sem o que o processo não terá êxito.

Os temas discutidos nesta fase incluem:

- Avaliação da função desenvolvimento de produto como arma estratégica e competitiva;
- Discussão sobre a necessidade de melhorias no processo de desenvolvimento;
- Informação sobre a metodologia e cronograma de trabalho;
- Esclarecimentos sobre a forma da participação de cada área no processo a se iniciar;
- Homogeneização e alinhamento dos objetivos departamentais e individuais aos objetivos da organização no tocante ao desenvolvimento do produto.

Fase 2 – Definição do Grupo de Trabalho

A Engenharia Simultânea não tem surgido naturalmente com o crescimento e evolução das organizações. O desejo da alta administração é necessário mas não suficiente, dado que não existe uma fórmula pronta e cada empresa deve definir e desenvolver seu próprio modelo. Assim, propõe-se, para levar a Engenharia Simultânea adiante, a formação de um grupo de trabalho com a responsabilidade de definir e obter aprovação de um modelo conceitual para a empresa. De modo a possibilitar que o grupo cumpra seu objetivo é necessário, antes de tudo, treinamento sobre o próprio processo de trabalho em grupo, incluindo:

- Técnicas de reunião;
- Princípios de comunicação;

- Dinâmica de grupo; e
- Processos de decisão em grupo.

Etapa II – Levantamento e Modelo Conceitual

A duração típica desta etapa é de 1 a 3 meses dependendo do tamanho da organização, complexidade do processo de desenvolvimento e da dedicação do grupo ao trabalho. Características que contribuem para o trabalho em grupo devem ser, quando possível, buscadas. Entre elas: participação em tempo integral, local próprio e exclusivo para o grupo e layout que incentive o trabalho em grupo.

Fase 3 – Benchmarking

Segundo David T. Reans, presidente da Xerox Corporation, Benchmarking é “o processo contínuo de manter produtos, serviços e práticas em relação aos mais acirrados concorrentes, ou àquelas empresas reconhecidas como líderes do ramo” (LEIBFRIED; McNAIR, 1994). Partindo de uma análise das atividades e práticas existentes dentro da firma, o objetivo é compreender processos, ou atividades existentes e, depois, identificar um ponto de referência externa, ou padrão, pelo qual umas atividades possam ser medidas ou julgadas. Um “*benchmark*” pode ser estabelecido a qualquer nível da organização, em qualquer área funcional. O derradeiro objetivo é bem simples: ser melhor do que os melhores – obter uma vantagem competitiva.

No caso específico da implantação da Engenharia Simultânea na Indústria Naval, o estaleiro que se propõem a implantar esta filosofia, deve procurar obter dados sobre a implantação, metas, indicadores de desempenho (métricas) e resultados obtidos por estaleiros líderes no mercado que trilharam o mesmo caminho, de modo a se ter um balisamento sobre as atividades e resultados a serem alcançados, sempre buscando um melhoramento contínuo com foco no cliente.

Fase 4 – Levantamento da Situação Atual

Como atividade principal desta fase tem-se a elaboração do fluxograma do processo de desenvolvimento praticado, identificando fases, documentos e responsáveis.

Outros pontos a serem levantados são características e indicadores de desempenho do processo, dentre os quais pode-se citar:

- Características dos produtos;
- Projetos por ano;
- *Lead-time* de desenvolvimento;
- Custo de desenvolvimento;
- Produtividade inicial do projeto;
- Qualidade inicial do projeto;
- Modificações por projeto;
- Recursos disponíveis x utilizados – hardware e software; e
- Ferramentas disponíveis x utilizados.

Com a Engenharia Simultânea, a intensidade e qualidade de participação de clientes e fornecedores no desenvolvimento de produtos se alteram, de um relacionamento esporádico e conflitante para um relacionamento contínuo e de parceria. As principais informações a serem levantadas quanto a clientes e fornecedores são:

- Principais clientes e suas características;
- Necessidades dos clientes quanto a novos produtos;
- Principais fornecedores e características, como porte e capacidade técnica;

- Formas atuais de participação no desenvolvimento de produtos;
- Formas e extensão atuais de comunicação; e
- Interesse em intensificar relacionamento.

Outra fonte a ser analisada corresponde ao fator humano como integrante principal do processo de desenvolvimento. Aqui o grupo de trabalho deve realizar entrevistas para perceber, interpretar o clima organizacional e avaliar questões como as que se seguem:

- As pessoas estão habituadas ou propensas a trabalhar em equipe?;
- Existe clima de cooperação entre departamentos e entre indivíduos?;
- Qual o nível de competição entre departamentos e entre indivíduos?;
- Como está a comunicação na organização, verticalmente e horizontalmente?;
- Qual o nível de satisfação dos funcionários para com a organização?;
- As pessoas e a organização estão dispostos a realizar mudanças?

Fase 5 – Conceitos da Engenharia Simultânea

Nesta fase o grupo deve buscar e analisar questões sobre Engenharia Simultânea, tais como:

- O que é ?;
- Conceitos básicos;
- Fatores críticos de sucesso; e
- Ferramentas.

O grupo deve receber treinamento sobre Engenharia Simultânea, inclusive tendo contato com exemplos de aplicações bem e mal sucedidas.

Fase 6 – Modelo Conceitual

Nesta fase elabora-se o modelo conceitual para a Engenharia Simultânea na organização, considerando:

- Os processos de desenvolvimento praticados em diferentes empresas;
- O processo de desenvolvimento atual; e

- Os conceitos de Engenharia Simultânea.

O modelo conceitual é a função desenvolvimento de produtos que se vislumbra como ideal para aquela determinada organização. Trata-se de um ideal possível de ser alcançado por aquela organização em particular, embora muitas vezes em múltiplos estágios de implantação.

Um modelo conceitual deve ser desenvolvido para cada situação particular. A adoção de um modelo desenvolvido para uma outra realidade será no mínimo imprópria, e terá grandes possibilidades de fracassar. Isto porque empresas diferentes dificilmente apresentarão as mesmas condições iniciais ou os mesmos potenciais para aplicação da Engenharia Simultânea.

Etapa III – Aprovação e Compromisso

Embora de execução simples, esta etapa tem importância vital para o processo. É preciso deixar transparente que, apesar de desenvolvida por um grupo de trabalho, a implantação da Engenharia Simultânea tem como responsável final a alta administração. Para se comprometer, a organização precisa receber sinais claros e constantes do comprometimento efetivo da alta administração. O aspecto mais importante desta etapa é a comunicação, para tanto devem ser estabelecidos canais múltiplos, formais e informais.

Fase 7 – Aprovação pela Alta Administração

Mudanças culturais e possíveis ajustes na estrutura organizacional tornam imprescindível que o modelo concebido e suas consequências sejam entendidos, aprovados e assumidos pela alta administração.

Fase 8 – Apresentação, Discussão e Compromisso

A apresentação deve compreender os seguintes tópicos:

- Resultados do benchmarking, desempenho e formas de atuação de outras empresas quanto ao desenvolvimento de produtos;
- Conclusões do levantamento da situação atual;
- Necessidade de mudança no processo de desenvolvimento; e
- Modelo conceitual.

Já a discussão deve abordar o tópico “modelo conceitual” no tocante a:

- Papel de cada um;
- Implicação para os setores e para os indivíduos;
- Incertezas e inseguranças causadas; e
- Cronograma de implantação.

Etapa IV – Implantação

A etapa de implantação consiste em executar os planos de ação decorrentes da visão representada pelo modelo conceitual.

Fase 9 – Definição da Estrutura para Implantação

Uma estrutura básica para a fase de implantação, é esquematizada na figura 2.14.

- Comitê para Implementação de Engenharia Simultânea: Deve ser composto por membros de alta direção, como, por exemplo, Gerente Geral e gerentes dos departamentos funcionais: comercial, suprimentos, desenvolvimento de produtos, industrial e qualidade.

As funções básicas do Comitê são:

- estabelecer as estratégias básicas para desenvolvimento de novos produtos;
- definir a política para escolha de produtos que serão desenvolvidos por ES;
- definir os líderes de projetos;

A função das equipes de ações estratégicas são apresentadas, adiante, na Fase II.

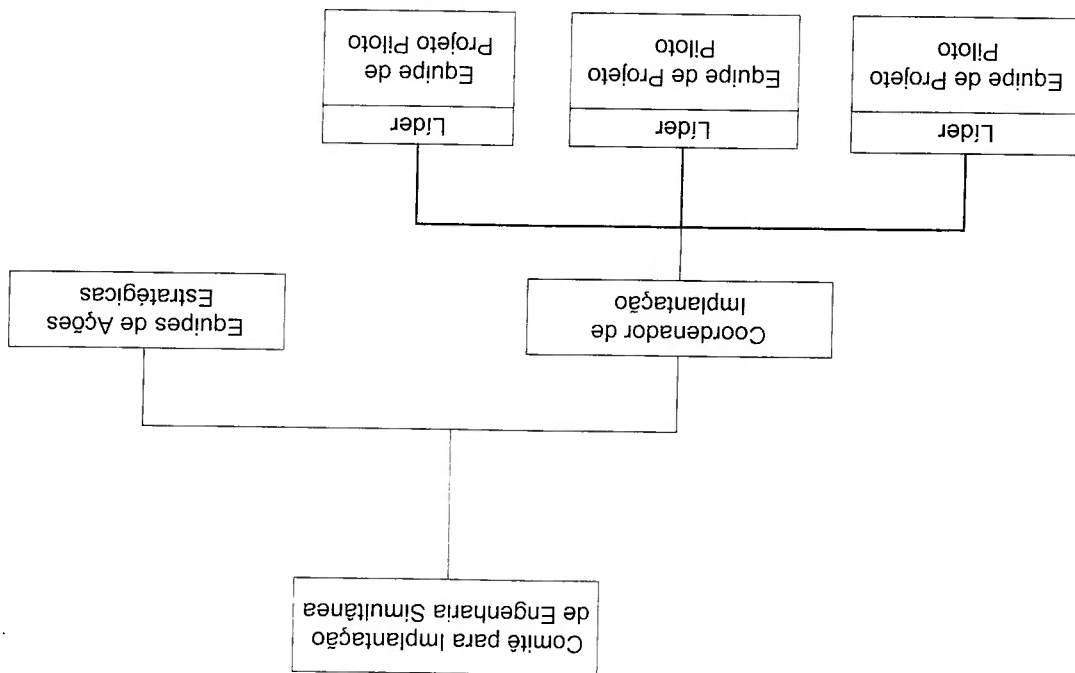
- responder pelo andamento e resultados do projeto.
 - definir a equipe de projeto e
 - cumprir as metas estabelecidas para o projeto;
 - executar e coordenar o projeto;
- As funções básicas do Líder de Projeto são:
- Líder de Projeto
- funcional;
 - intermediar e gerenciar conflitos entre projetos de ES e a estrutura
 - realizar reuniões de verificação de cumprimento e
 - facilitar o andamento dos projetos de ES;
 - servir de elo de ligação entre o Comitê e as equipes de projeto;
 - responder por todos os projetos de ES;
 - coordenar todos os projetos de ES em desenvolvimento;
- As funções básicas do Coordenador de Implantação são:
- Coordenador de Implantação
- definir o coordenador de ES;
 - definir as diretrizes a serem seguidas pelas equipes de projeto;
 - definir os objetivos e metas a serem atingidos pelos projetos;
 - monitorar o andamento dos projetos de desenvolvimento e
 - decidir sobre a distribuição dos recursos da organização entre projetos.

O objetivo dos projetos piloto é ajustar o modelo conceitual. Para tal a escolha dos projetos piloto deve seguir alguns critérios principais, dentre os quais:

- Representatividade – os projetos selecionados devem representar, no âmbito de estaleiros, produtos de desenvolvimento típico. Produtos especiais, no sentido de exceções no processo de desenvolvimento, não devem ser considerados para projetos piloto. Ou seja, deve-se escolher para projeto piloto um tipo de navio ou de plataforma oceânica que já tenha sido produzido anteriormente pelo estaleiro, de preferência, mais de uma vez;
- Tamanho – projetos-piloto devem apresentar porte pequeno ou médio, pois projetos de grande porte envolvem equipes novas, dificultando o gerenciamento durante uma fase de experimentação;
- Duração – é preciso que os projetos-piloto tenham duração curta ou média, de forma a permitir aprendizagem e retorno de informações mais rápido; e

Fase 10 – Projetos-Piloto

Fig. 2.14 - Estrutura para implantação de Engenharia Simultânea



- Complexidade – projetos-piloto não devem representar dificuldades técnicas. A Engenharia Simultânea aborda principalmente questões organizacionais, de integração e de coordenação, e não necessariamente deficiências técnicas. Projetos-piloto complexos tendem a desviar o foco de atenção do modelo conceitual para questões técnicas.

Aos projetos-piloto estão associadas metas quanto a prazo, custo, produtividade e qualidade. O desempenho das equipes piloto é avaliado pelo cumprimento das metas e também pela aplicação completa do modelo conceitual definido.

Fase 11 – Ações Estratégicas

Com a definição do modelo conceitual podem surgir ações estratégicas ou de caráter interdepartamental e que fogem ao âmbito das equipes de projeto piloto. Estas ações podem ser entendidas como sendo no sentido de prestação de total apoio às equipes multidisciplinares dos projetos, dotando-as de toda infra-estrutura necessária ao cumprimento de suas metas.

Fase 12 – Ações nos Departamentos

Outro tipo de ação que surge com o levantamento da situação atual e a definição do modelo conceitual são as ações de melhoria ao nível de departamento. São tipicamente ações de curto prazo, internas a um departamento específico, para melhoria do processo existente de desenvolvimento, mas que fogem ao escopo das equipes piloto e das equipes de ações estratégicas.

Fase 13 – Implantação Total

A implantação total é a adoção do modelo conceitual, agora refinado, a todos os projetos a serem desenvolvidos pelo estaleiro. A extensão dos projetos-piloto e a decisão de se partir para a implantação total é responsabilidade do Comitê orientado pelo Coordenador de Implantação.

2.7 As Quatro Dimensões da Engenharia Simultânea

Quando um estaleiro, ou outra companhia qualquer, decide iniciar a transição para um ambiente de engenharia simultânea, para desenvolvimento de seus produtos, é feito um comprometimento no sentido de se aproveitar e também controlar cinco forças que têm grande efeito sobre o ambiente de desenvolvimento de produtos: tecnologia, ferramentas (CAD, CAE, CAM, CAPP, etc.), tarefas, talentos e tempo.

Uma maneira de controlar estas forças, fazendo-as trabalhar em prol de mudanças no sentido de permitir perfeita implementação da Engenharia Simultânea, é criando um ambiente dinâmico baseado em quatro dimensões interconectadas: a organização de gerentes e funcionários, os seus meios de comunicação, o inabalável foco no que os clientes querem, e o processo de desenvolvimento integrado pelo qual o produto é concebido, evolui, é produzido, vendido e garantido.

Segue abaixo uma pequena visão de cada uma das dimensões segundo Carter; Baker (1992):

Organização – Duas entidades habitam e são responsáveis pela formação desta dimensão – os gerentes e as equipes multidisciplinares de desenvolvimento de produtos. Os gerentes devem criar, dar autoridade e total suporte às equipes (times) cujos membros e disciplinas representadas baseiam-se na complexidade do produto. As equipes multidisciplinares de desenvolvimento devem assumir a autoridade e responsabilidade pelas decisões relativas ao projeto, e cada participante da equipe, em particular, deve estar comprometido com o grupo (equipe) de maneira a aceitar e apoiar aquilo que o grupo em sua maioria decidir.

Infraestrutura de Comunicação – Boa comunicação é sempre importante, e uma boa infra-estrutura leva a comunicação possível, unindo pessoas, idéias, especificações, processos, empresas fornecedoras, ferramentas, etc. Informações relevantes oriundas das outras três dimensões podem permear esta dimensão e tornar-se disponíveis para os integrantes das equipes quando os mesmos necessitarem.

Cliente – O foco desta dimensão são os requisitos (necessidades) do cliente, e devem ser vistos em termos de fatores que afetam a satisfação do cliente. A companhia deve entender perfeitamente o que o cliente (armador) deseja, e deve procurar certificar-se se o cliente está recebendo o que foi requisitado, ter certeza que o produto está seguindo os padrões internos bem como padrões e regulamentos externos. Estes regulamentos, cada vez mais, tornam-se fatores determinantes em um projeto, como, por exemplo, as leis de proteção ambiental, que têm afetado sobremaneira os projetos de sistemas navais.

Entender perfeitamente o que o cliente (armador) quer e espera do produto é fundamental, porque muitas vezes os requisitos do armador são conflitantes. Não sendo possível o seu atendimento de maneira total, deve haver um diálogo e explicação para o mesmo dos motivos pelos quais algumas exigências não poderão ser cumpridas, o que deve levar a mudanças por parte do armador do conjunto de requisitos, tornando-os factíveis. Sem esse entendimento e diálogo entre as partes, certamente ao final do projeto e construção, serão detectadas não-conformidades em relação às características operacionais estabelecidas pelo armador, levando a insatisfação, prejuízo para o estaleiro em termos de multas contratuais, pelo não cumprimento, por parte do produto, de certas características e provável perda de clientes. Uma ferramenta extremamente útil neste sentido é o QFD (Quality Function Deployment), que interpreta os requisitos do cliente em termos de requisitos de engenharia para o projeto. O QFD será foco de maiores comentários, adiante no presente trabalho.

Desenvolvimento do Produto – Esta dimensão é responsável pela visão integrada de todo o processo de desenvolvimento, da concepção à fabricação e suporte que deve ser dado ao produto após a sua fabricação e entrega ao cliente. A metodologia de desenvolvimento integrado de produto e processo leva em consideração, no estágio inicial de projeto, e durante todo o ciclo de projeto do produto, os processos de fabricação, de fornecimentos de componentes e itens, de manutenabilidade e operação. Modernamente deve levar em consideração também o destino final do produto ao fim do seu ciclo de vida, uma preocupação ambiental.

Um ambiente onde cada dimensão está em relativo equilíbrio com as outras três deve ser buscado.

Grandes companhias devem continuamente examinar as dimensões da Engenharia Simultânea e ajustar cada uma delas de modo a levá-las ao equilíbrio. Deve-se ter sempre em mente que cada dimensão tem seus fatores internos que podem ser fortalecidos e podem afetar o ambiente como um todo, mas não se deve imaginar que ao resolver um problema de uma dimensão vai se resolver um outro de outra dimensão. Por exemplo, a interação com os clientes, com a possível participação dos mesmos, no sentido de acompanhar de maneira mais próxima o projeto, deverá provavelmente ser fonte de maior demanda por infra-estrutura de comunicação. A solução de questões de desenvolvimento do produto deverá passar pela autonomia (*empowerment*) das equipes multi-disciplinares, responsáveis pelo desenvolvimento.

Devido ao fato de que o ambiente de Engenharia Simultânea é formado por quatro dimensões, analisadas separadamente, mas que ao mesmo tempo interagem enormemente, deve levar a empresa a agir em um ajuste fino do ambiente que permite que haja convergência das dimensões, concorrendo assim para o sucesso da filosofia da Engenharia Simultânea.

2.8 Ferramentas da Engenharia Simultânea

A Engenharia Simultânea, como já foi dito anteriormente, é uma filosofia que se utiliza da tecnologia para atingir seus objetivos. Certamente sem o uso da moderna tecnologia na área da informática (incluindo softwares) e de tecnologia de informação grande parte dos benefícios advindos da implementação da Engenharia Simultânea não seriam alcançados. Neste item serão abordadas algumas das principais ferramentas de que se utiliza uma empresa para implantar com sucesso e, conseqüentemente, alcançar os resultados esperados com a implantação da Engenharia Simultânea.

2.8.1 CAD (Computer Aided Design)

As informações contidas neste item foram obtidas em (NUMA², 2002).

Com o contínuo avanço tecnológico, a soma de informações e conhecimentos que devem estar sob o domínio do engenheiro cresce ininterruptamente. Os sistemas CAD se propõem a auxiliar a manipulação e criação destas informações, sistematizando os dados de projetos, possibilitando uma rápida reutilização de informações, quando necessário.

A maior contribuição dos sistemas CAD ocorre no modelamento físico/dimensional dos produtos e componentes e no detalhamento de seus desenhos.

Outros sistemas como o CAE (Computer Aided Engineering), que atuam na área de cálculo de engenharia, onde são realizadas outras atividades do tipo análise estrutural por Elementos Finitos (FEM), análise de escoamentos, simulações multicorpos, análises hidrodinâmicas e de comportamento no mar (CFD), e CAM (Computer Aided Manufacturing), que será abordado com mais detalhe no decorrer deste Capítulo, utilizam-se, modernamente, dos modelamentos de produtos e itens produzidos pelos sistemas CAD como ponto de partida para o início das suas atividades intrínsecas.

As vantagens oferecidas no apoio ao projeto podem ser comprovadas em muitas de suas etapas, indo desde uma melhor documentação e apresentação do produto, com melhoria da qualidade dos desenhos, diminuição de tempo e custos e aumento de produtividade geral, até um melhor gerenciamento do projeto.

Por outro lado, os sistemas CAD somente podem ter seu potencial totalmente aproveitado, inclusive justificando-se técnica e economicamente, se estiverem integrados ao processo produtivo como um todo. Em uma estrutura integrada, o CAD proporciona além de ganhos intrínsecos ao projeto do produto, aumento da eficiência das funções relacionadas ao planejamento, fabricação e qualidade. Em outras palavras, o CAD deve estar integrado com outros sistemas como CAPP, CAM e Sistemas de Gestão da Produção (PCP, MRP, ERP).

Uma das vantagens de se usar CAD 2D é o rápido treinamento de operadores, geralmente habituadao ao uso de pranchetas comuns. Mas o seu uso é limitado, exercendo o sistema a função de uma simples prancheta eletrônica, pouco mais produtiva que as pranchetas comuns.

Para algumas aplicações a representação 2D é suficiente, como, por exemplo, em projetos de esquemas elétricos, hidráulicos, circuitos e placas eletrônicas, onde não há necessidade de informações volumétricas. Também na criação de vários tipos de croquis, para suportar a produção, por exemplo, o CAD 2D é mais apropriado. Neste caso ele deve trabalhar em conjunto com um sistema CAPP, que seria responsável pelo gerenciamento dos dados representados nos croquis (como lista de ferramentas, instruções de montagem e/ou inspeção, etc.).

No projeto mecânico tem-se utilizado a representação 2D para o desenvolvimento de desenhos de conjuntos, pois são mais facilmente alterados. Nessa fase emprega-se grande número de peças normalizadas, que são incluídas no desenho de forma interativa, o que confere uma grande produtividade a esta atividade. Empresas do setor mecânico de pequeno e médio porte preferem utilizar sistemas 2D, pois além de menor custo de aquisição e treinamento de seus funcionários, esses sistemas exigem máquinas menos poderosas. Entretanto, já existem, à algum tempo, no mercado uma série de sistemas 3D que se propõem a preencher essa lacuna.

Sistemas 3D

O modelamento 3D apresenta as dificuldades que são próprias do processo de desenho, pois o projetista é obrigado a considerar as três dimensões simultaneamente. Em alguns casos, a utilização do modelo 3D é imprescindível, como, por exemplo, na aplicação de análises por elementos finitos para verificação de tensões, escoamento, temperatura, etc. e ainda quando há a necessidade de se calcular o volume, propriedades de massa, eixo de inércia e principalmente, na área naval, na verificação de interferências. No arranjo de uma praça de máquinas, por exemplo, é fundamental, indispensável, o uso de um sistema CAD 3D haja vista a extensa quantidade de equipamento, válvulas, tubulações, dutos de ar condicionado,

Sistemas 2D

bandejas de cabos, onde as alterações de arranjo seriam extremamente onerosas e demoradas sem o uso de CAD e a checagem automática de interferências, hoje existente em vários softwares, evita que erros sejam cometidos, levando a modificações do projeto na fase de montagem, o que eleva os custos e os prazos de prontificação e muitas vezes reduz a eficiência do sistema.

A seguir são citados os principais métodos de representação 3D.

Modelagem por Wireframe

No passado a modelagem por *wireframe* era o principal método utilizado pelos sistemas CAD, possibilitando ligar linhas entre pontos no espaço 3D, permitindo a criação de módulos espaciais e garantindo a consistência de vistas 2D derivados e cotação associada.

Com o avanço tecnológico e maior capacidade de processamento dos computadores, esses sistemas começaram a ser substituídos pelos baseados nos métodos de modelagem sólida. Isto também aconteceu em parte devido a dificuldade de uso dos *wireframe* quando necessário incorporá-los em softwares de análise ou manufatura, já que não possuem nenhum tipo de informação relacionada a características físicas dos componentes reais.

Modelagem Sólida (Constructive Solid Geometry – CSG)

Sistemas que são capazes de realizar a modelagem sólida são muito mais poderosos que simples modeladores baseados em *wireframe*. Esses programas são usados para construir componentes que são objetos sólidos, e não simplesmente uma malha de linhas trançadas.

Um modelo CSG é uma árvore binária constituída de objetos primitivos e operadores booleanos. Os primitivos são representados pelas folhas da árvore e os objetos mais complexos são os nós. A raiz da árvore representa o produto completo. Cada primitivo é associado com uma transformação 3D que especifica a posição, orientação e dimensões. Este método caracteriza-se por compor modelos a partir de sólidos.

Utilizando sólidos para modelar os componentes, eles passam a adquirir propriedades físicas como volume, e caracterizando sua densidade, consegue-se obter outras características como peso e massa. Assim o computador pode calcular várias propriedades físicas desses componentes, como centro de gravidade, momento de inércia, etc. Estes cálculos podem ser utilizados em componentes com formas irregulares, onde o cálculo normal, torna-se extremamente difícil e trabalhoso. Além de facilitar o uso do modelo em softwares de análise.

Modelagem Sólida baseada em Features

Um “feature” pode ser definido como um elemento físico de uma peça que tem algum significado para a engenharia. Ele deve satisfazer as seguintes condições:

- ser um constituinte físico de uma peça;
- ser mapeável por uma forma geométrica genérica;
- ser tecnicamente significante, sob o ponto de vista da engenharia;
- ter propriedades predizíveis.

O significado técnico de “feature” pode envolver a função a qual um “feature” serve, como ele pode ser produzido, que ações a sua presença deve iniciar, etc.

“Features” podem ser pensados como “primitivas de engenharia” relevantes a alguma tarefa de engenharia. Por exemplo, para um projetista, um “feature” é um elemento que o auxilia a efetuar o projeto do produto, ou seja, um furo, um chanfro, um rasgo, uma nervura, arredondamento, cavidade, etc.

A modelagem por features vem ganhando espaço. O método permite criar furos, chanfros, rasgos, etc., para serem associados com outras entidades ou faces. A modelagem por features é baseada na ideia de se projetar utilizando *building blocks* – blocos de construção. Ao invés de se usar formas analíticas como paralelepípedos, cilindros, esferas e cones como primitivas, o usuário cria modelo do produto usando primitivas de maior nível que são mais relevantes para sua aplicação específica.

Modelagem Sólida Paramétrica

A modelagem sólida paramétrica permite que se crie modelos de produtos com dimensões variacionais. As dimensões podem ser ligadas através de expressões. Ligações bidirecionais entre o modelo e o esquema de dimensionamento permite a regeneração automática de modelos depois de mudanças nas dimensões e atualização automática das dimensões relacionadas.

2.8.2 CAM – Computer Aided Manufacturing

As informações contidas neste item foram obtidas em (NUMA³, 2002).

Pode-se definir CAM como auxílio via computador da preparação da manufatura, representando as tecnologias usadas no chão de fábrica, dizendo não só respeito à automação da manufatura, como: CNC (Comando Numérico Computadorizado), CLP (Controle Lógico Programável) coletores de dados (DNC), como também a tomada de decisões, plano operacional, etc.

Apesar de toda esta abrangência, o termo CAM, às vezes, ainda é sinônimo da programação CN, conceito que ficou muito difundido com a sigla CAD/CAM, que representa módulos de programação CN em sistemas CAM.

Funções da Programação CN

Os sistemas CN normalmente são utilizados para o cálculo do caminho de ferramenta, a partir da representação geométrica da peça disponível na forma computacional. Outra opção é a simulação final do programa, onde pode-se visualizar a usinagem. Com essas duas funções citadas é possível obter com boa precisão o tempo principal da operação, pois seu cálculo é determinístico, dependendo dos movimentos da máquina.

Os comandos de um programa CN são os responsáveis pelo acionamento de uma máquina CNC, informando todas as etapas de fabricação de uma determinada operação de uma peça. Uma linha de comando de um programa CN pode conter informações sobre o movimento da ferramenta (movimento rápido, interpolação,

etc.), informações tecnológicas (velocidade, avanço, etc.), ou informações que acionam funções auxiliares (ligar refrigerante, eixo árvore, etc.). A obtenção dessas informações depende sobretudo dos dados da peça a ser usinada, considerando-se as limitações da máquina, as características do CNC e da ferramenta.

Métodos de Programação CN

- Programação Direto na Máquina - MID (Material Data Input)

Esse método de programação descreve a programação direto no chão de fábrica sendo viabilizado devido aos recursos dos novos CNC. Neste método, o programador, com a geometria à disposição, define o percurso da ferramenta e transforma em linguagem (função de máquina). É utilizado em eventuais modificações para otimização de programas na máquina, e na programação de peças relativamente simples em oficinas de fabricação.

- Programação Manual

Neste caso, o programador interpreta o desenho da peça, calcula os pontos da trajetória da ferramenta, preenchendo um formulário que poderá ser digitado ou enviado diretamente ao operador da máquina, que digitará diretamente nela. Esse tipo de programação tem sido facilitada pela utilização de ciclos automáticos sendo de fácil execução para a geometrias não muito complexas.

- Programação Auxiliada por Computador

O mais tradicional método de programação auxiliada por computador é o que utiliza a linguagem APT (Automatically Programmed Tool). A função do programador, utilizando esse método, é escrever o programa fonte, aonde define-se a geometria da peça e/ou o percurso da ferramenta, de forma padronizada, pela linguagem de entes geométricos e funções auxiliares. Esse programa fonte é trabalhado por um processador, que realiza os cálculos geométricos, determina o contorno da ferramenta e gera um arquivo neutro (CLDATA ou CLFSLF) independente da máquina. Posteriormente esse arquivo é pós-processado, gerando um arquivo específico à máquina.

- Possibilitar a integração com sistemas CAD para diminuir esforços de digitação de dados geométricos;
- Trabalhar integrado com sistemas CAPP para possibilitar uma integração dentro de um ambiente CIM;
- Possuir estrutura modular, para garantir sua implantação gradual e possibilitar expansões;

Requisitos necessários a um sistema CN

A vantagem dos programas auxiliados por computador está no fato de não necessidade da realização dos cálculos da trajetória, transferindo esse trabalho para os recursos computacionais, economizando tempo, aumentando em muito a produtividade como também evitando possíveis erros de programação que podem surgir quando a programação é feita manualmente.

A vantagem dos programas auxiliados por computador está no fato de não máquina, tem-se o fato de máquina permanecer parada durante a programação. específicos de cada marca e modelo. Como agravante à programação direta na trajetória da ferramenta, também, o programador tem de conhecer os códigos inconveniente de não serem produtivas, pois gasta-se muito tempo no cálculo da A programação direto na máquina e a programação manual, apresentam o

Vantagens, Desvantagens dos Métodos

Um segundo método é aquele executado pelos modernos sistemas CAD/CAM, onde a entrada é o desenho da peça ou o percurso da ferramenta. Interativamente, no módulo CAM do sistema, inicia-se a programação CN que gerará um arquivo neutro.

Num terceiro novo conceito de programação CN, o usuário inicia a programação a partir de um sistema CAD e trabalha interativamente, definindo os parâmetros geométricos, de ferramentas e tecnológicos, através de ícones gráficos. Gera-se também um arquivo neutro, que posteriormente será pós-processado.

- Oferecer uma interface comum de programação para facilitar a comunicação dos usuários, tanto ao nível de escritório quanto no futuro, na programação na máquina CN;
- Executar cálculo automático das coordenadas da ferramenta, baseado na geometria da peça, verificação e testes, livrando o usuário para realização de tarefas voltadas ao planejamento de processos, eliminando tarefas mecânicas e repetitivas;
- Simular os programas gerados;
- possuir uma base de dados para cadastramento de diversas máquinas CN, para ser possível a geração dos programas para as diferentes máquinas CN; e
- possuir interface amigável formada por ícones, facilitando o aprendizado a processistas menos experientes.

Funções do Controle Numérico Direto (DNC)

Os primeiros sistemas DNC foram implementados no final da década de 60 nos EUA e Japão, para gerenciar e distribuir os programas CN. Esperava-se a simplificação do gerenciamento e distribuição de programas, maior velocidade na transmissão de dados, e maior confiabilidade na operação de transmissão. Inicialmente restringiam-se ao gerenciamento e distribuição dos programas. Em seguida, surgiram comandos simplificados onde parte das funções do CN eram deslocadas para o computador, barateando-se o hardware do CN, mas aumentava-se o risco de parada da linha.

Atualmente, pode-se dizer que o DNC possui várias funções:

- Integração de outros setores da empresa (engenharía, produção);
- Integração de sistemas CAD com máquinas CN;
- Gerenciamento e distribuição de programas CN;
- Correção de dados;
- Aquisição e processamento de dados da produção e de máquinas CN; e
- Funções parciais de controle da produção e do fluxo de materiais.

Diversas são as formas de realização destas funções. A forma clássica, que pode ser chamada de DNC terminal, utiliza o terminal anteposto a máquina operatriz, intermediando a transmissão de dados. Desse modo o comando centralizado de funções não é possível, sendo a iniciativa da transmissão dos dados a cargo do operador.

Uma segunda forma, pode ser chamada de DNC remoto. Ela permite o comando centralizado, e é necessária quando robôs e máquinas operatrizes são utilizadas no contexto de sistemas flexíveis de manufatura. Neste caso os programas são transmitidos e a máquina é preparada remotamente para usinagem. A decisão de transmissão parte do computador, controlando a linha.

Benefícios do DNC:

- Maior velocidade e segurança na transferência de informações do que quando se utiliza outros meios;
- Utilização de componentes padronizados;
- Melhor organização e maior capacidade disponível para o armazenamento dos programas CN;
- Maior racionalização do trabalho e rapidez na tomada de decisões;
- Controle dos dados de produção em tempo real; e
- Ajuda a integração da empresa.

2.8.3 CAP (Computer Aided Process Planning)

As informações contidas neste item foram obtidas em (NUMA⁴, 2002).

As funções do planejamento do processo são selecionar e definir os processos a serem executados em uma peça, de maneira econômica, de acordo com as especificações do projeto. O documento resultante do planejamento do processo, conhecido como plano de processo, é a base para se realizar o planejamento da produção e serve como referência à produção propriamente dita. Por isso é que se considera o planejamento do processo como o elo de ligação entre o projeto e o planejamento da produção e também o chão de fábrica, representado na Fig. 2.15.

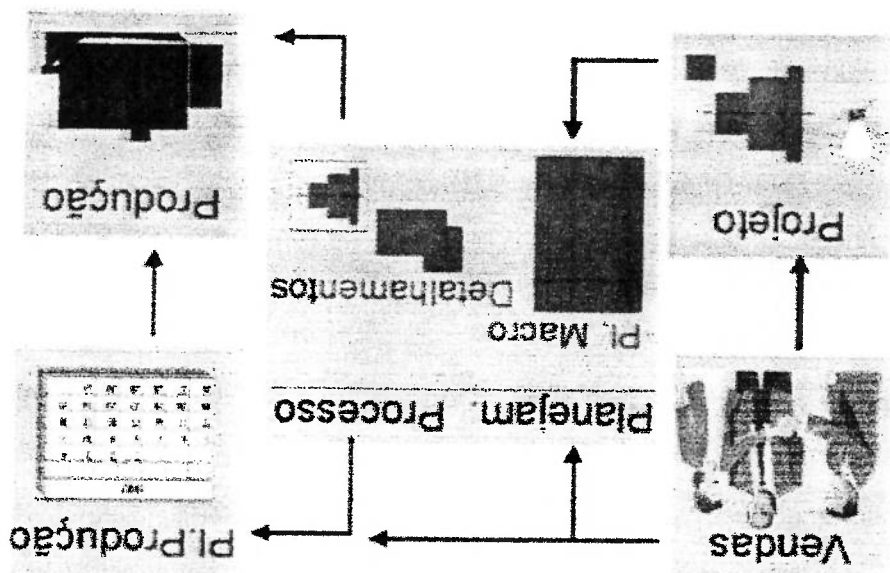
• **Plano macro**, que determina a sequência de operações executadas no ambiente fabril, ou seja, específica a rota pelo qual a peça que está sendo fabricada irá passar. O plano macro é a base para o planejamento e controle da produção;

Apesar da diversidade de planos de processos existentes, pode-se identificar pelo menos dois conjuntos de informações comuns a todos eles:

O plano de processo é um documento que reúne todas as informações necessárias para transformar o desenho do produto em um produto acabado. Cada empresa tem necessidades diferentes de documentação de processo, conforme a realidade do seu chão de fábrica, tanto em termos de equipamentos quanto em termos de pessoal.

Plano de Processo

Fig. 2.15 - Localização do planejamento do processo (NUMA⁴, 2002)



- **Detalhamentos das operações**, que são informações de apoio ao chão de fábrica (instruções e croquis para montagem de máquinas e do ferramental, lista de ferramentas, instruções de qualidade, folha de CEP, programas CN, etc.).

O Planejamento do Processo Conventional

O desenvolvimento de um plano de processo inicia-se, geralmente, a partir de um desenho de produto. A partir das informações de projeto, o processista passa a seqüenciar as operações do plano macro. Em uma fase posterior, estas operações são detalhadas, sendo que o nível de detalhe, como já citado, depende de características da empresa.

Há poucos anos atrás, o processista documentava o plano de processo utilizando a forma manuscrita e, em alguns casos, digitava em sistemas PCP (Planejamento e Controle da Produção). Esta forma de planejar o processo de fabricação continua sendo empregada em várias empresas de manufatura. Contudo, este modo de planejamento possui uma baixa produtividade, como mostrado na figura 2.16, na qual 63% do tempo é gasto com a relação do plano. Junto a isto, o tempo utilizado em cálculos diversos e em recuperação de informações totalizam 29%, ou seja, 92% do tempo é empregado em funções que não agregam valor diretamente, e apenas 8% é utilizado em funções como concepção e análise.

investimento.

formação da família de peças, proporcionando uma sistematização de curto período e planos padrões ligados a famílias de peças ou planos resultantes, que não requerem a modificação para se obter um novo plano. Neste tipo de planejamento utiliza-se

- Planejamento do Processo Variante: é aquele que parte de um plano base, é

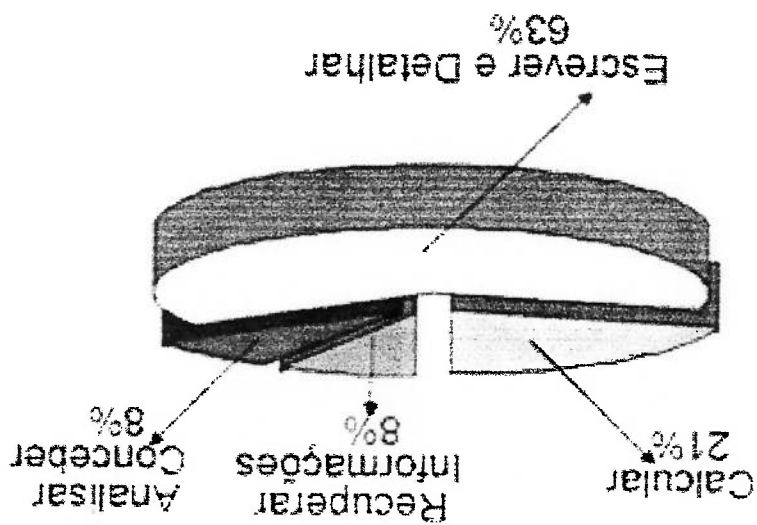
Existem quatro tipos de CAPP: Planejamento Variante, Planejamento Gerativo Interativo, Planejamento Genérico Automático e Planejamento Híbrido:

também, garantindo o domínio do processo.

As características do planejamento de processo convencional, que dependem da experiência do processista, resultam, em problemas que podem ser resolvidos pela aplicação do computador. As informações produzidas pelo CAPP tornaram-se padronizadas, eliminando-se a inconsistência de planos obtidos por processistas diferentes. A qualidade da documentação enviada ao chão-de-fábrica eleva-se

O Planejamento do Processo Assistido por Computador (CAPP)

Fig. 2.16 - Tempo gasto no planejamento do processo convencional (NUMA⁴, 2002)



• Planejamento do Processo Gerativo Interativo: inicialmente corresponde a solução indireta do plano, onde as informações do planejamento eram geradas pelos processistas e enviadas a um digitador, que alimentava o computador com os dados necessários. Normalmente era impresso um formulário que o processista conferia, ou seja, essa forma de trabalho continha idas e voltas que não agregam valor e era sujeito a erros. Em outras empresas, o processista substitui o digitador, colocando as informações diretamente no computador. Por eliminar a etapa intermediária, achava-se que o ciclo de obtenção de seria menor. Tal pressuposto mostrou-se falso, pois o processista normalmente não apresentava habilidade no computador. Com as pressões para aumento de produtividade, o processista tornou-se um digitador, não pensando nos processos e sim colocando dados no computador. Ele deixa de realizar as funções para as quais é melhor capacitado.

Ambas as atividades acima descritas não são consideradas CAPP interativo, e mantêm os problemas do planejamento convencional. No final da década de 90 o computador começou a ser utilizado como um guia na escolha de padrões pré-cadastrados, através de uma interface amigável. Desta maneira, o processista interage diretamente com o computador com um mínimo de digitação e dificuldade. Quando existir uma relação entre os padrões (por exemplo, a ferramenta "X" só pode ser utilizada na máquina "Y"), o processista não precisa navegar por muitas opções para escolher um padrão (no exemplo, a ferramenta). O sistema verifica o que já foi determinado e só apresenta para seleção aqueles padrões que se relacionam com os já escolhidos (por exemplo, uma lista das ferramentas que podem ser utilizadas na máquina "Y").

• Planejamento generativo automático: o princípio deste método de planejamento do processo é baseado no armazenamento de regras e dados de capacidade do processo de fabricação. Através destas informações, um plano de processo poderia ser gerado sem a necessidade de uma pessoa experiente, pois os mecanismos de inferência, decisões, lógicas e algoritmos, interpretariam os dados de projeto e tomariam as decisões sobre o "como fazer". Este é o caso mais completo de planejamento automático. No entanto, pode haver outras formas de planejamento automático, nas quais somente certas funções de planejamento são automatizadas.

A representação da peça deve estar armazenada no computador de uma forma interpretável pelo sistema CAP, para que este realize inferências automáticas nas tomadas de decisão. A melhor forma de representação para a inferência automática são os "features".

- Planejamento híbrido: como cada método apresenta vantagens e desvantagens, a conclusão natural é de que a combinação destes métodos em uma solução híbrida pode alcançar o melhor de cada um dos métodos.

A solução híbrida permite a utilização das vantagens de cada método em partes distintas das funções de planejamento de processo. Para uma peça totalmente nova, que não possua plano de processo semelhante inicia-se o planejamento através do generativo interativo, e em determinados pontos pode-se requisitar que o sistema faça uma inferência automática (cálculo de tempo, cálculo de condições de usinagem, geração de CN para um "feature" conhecido). Outras peças, de formato mais bem comportado que apresentem uma certa repetibilidade, podem ser melhor planejadas através do método variante.

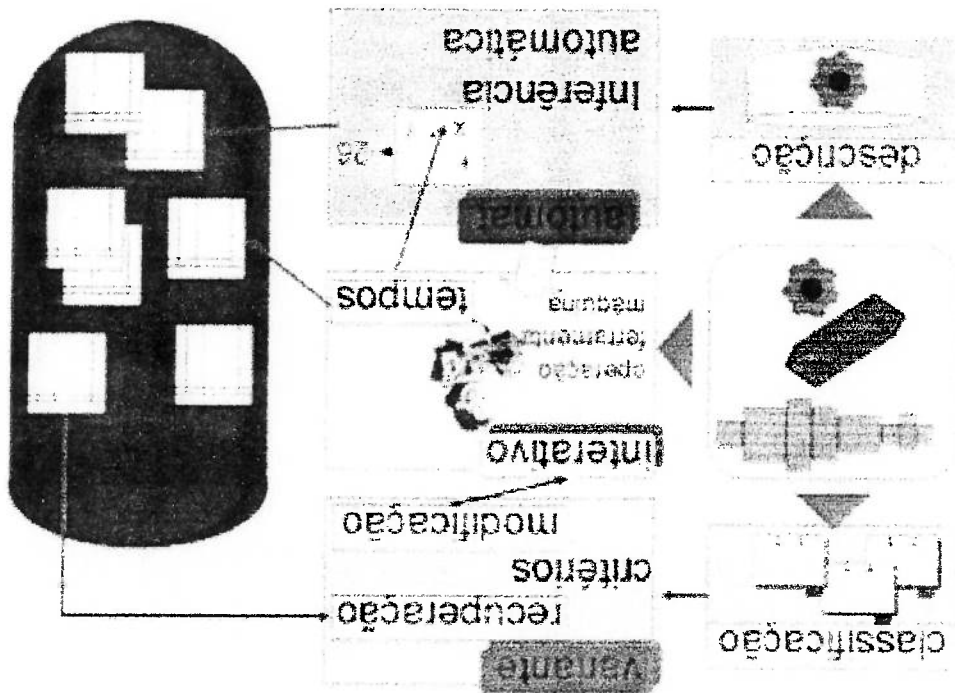
Pode-se realizar também a geração de planos de processo de maneira totalmente automática, como no caso de peças que podem ser parametrizadas, por exemplo uma engrenagem, a qual pode ser descrita pelo seu passo de base, diâmetro primitivo, módulos, etc. Neste caso o computador interpreta os parâmetros, realiza inferências automáticas e gera o plano de processo.

A Fig. 2.17 ilustra o planejamento híbrido, e a Fig. 2.18 mostra os diferentes modos de edição.

Fig. 2.18 - Modos de edição do planejamento do processo (NUMA⁴, 2002)



Fig. 2.17 - Planejamento CAPP híbrido (NUMA⁴, 2002)



Benefícios

A aplicação do CAPP, em qualquer um dos casos, traz um grande número de vantagens sobre o planejamento de processo convencional, entre elas podemos citar:

- Redução do tempo de planejamento: um dos principais ganhos com a implantação do CAPP é o aumento da produtividade do planejamento do processo. Com isso é possível elaborar os planos de processos com um número reduzido de processistas e curto período de tempo.

- Agilidade nas revisões: com o CAPP, cada operação do processo pode ser facilmente revisada. O histórico das revisões pode ficar armazenado em uma base de dados, possibilitando o acompanhamento de todas as modificações.

- Padronização dos processos: o uso do CAPP pode permitir que todos os parceiros trabalhem com um modelo único de plano de processo, garantindo uma padronização da documentação de processos de fábrica, além de garantir a padronização dos termos adotados.

- Criação de uma base única de processos: O CAPP permite a criação de uma base única de processos, garantindo a integridade das informações registradas.

- Aumento da qualidade dos processos: com o uso do CAPP pode-se adicionar outros tipos de informações aos planos de processos, além das informações descritivas. Assim pode-se fazer uso de informações visuais através de fotografia, gráficos, desenhos ou então outras instruções detalhadas do processo, como listas dos componentes montados em cada operação, instruções de controle e dispositivos necessários, por exemplo.

Existem ainda várias outras vantagens como a redução drástica de papel impresso, agilidade na elaboração e alteração de uma especificação de projeto, alta confiabilidade nos dados por estarem automatizados com fórmulas de cálculos, definição de hierarquia para aprovação de projeto, entre outras. A consequência do uso do CAPP nas outras áreas da empresa são: diminuição de refugos, diminuição dos custos de ferramentas, diminuição de *lead-time* e criação de padrões da engenharia.

Devido aos benefícios decorrentes do uso do CAPP, ele é hoje uma ferramenta muito importante para o aumento da qualidade e diminuição de custos da fase de planejamento do processo e da manufatura e consequentemente para o aumento da competitividade da empresa como um todo.

2.8.4 Quality Function Deployment (QFD)

As informações contidas neste item foram obtidas em (NUMA⁵, 2002).

O QFD é uma técnica que pode ser empregada durante todo o processo de desenvolvimento de produto e que tem por objetivo auxiliar o time de desenvolvimento a incorporar no projeto as reais necessidades dos clientes. Por meio de um conjunto de matrizes, parte-se dos requisitos expostos pelos clientes e realiza-se um processo de “desdobramento” transformando-os em especificações técnicas do produto. As matrizes servem de apoio para o grupo, orientando o trabalho, registrando as discussões, permitindo a avaliação e priorização de requisitos e características e, ao final, será uma importante fonte de informações para a execução de todo o projeto.

No trabalho com as matrizes realiza-se algumas operações básicas de extração, relação e conversão, onde:

- A extração é o processo de criar uma tabela a partir de outra, ou seja, de utilizar os elementos de uma tabela, como referência, para se obter os elementos de outra tabela;
 - A relação é o processo de identificar a intensidade do relacionamento entre os dados das duas tabelas que compõem a matriz; e
 - A conversão é o processo de quantificar a importância relativa dos dados de uma tabela em função da intensidade da relação destes com os dados de outra tabela. Nesse processo é também considerada a importância relativa dos dados que compõem a tabela que será convertida.
- A força do QFD está em tornar explícitas as relações entre necessidades dos clientes, características do produto e parâmetros do processo produtivo, permitindo a

desenvolvimento do produto, bem como em potencializar o trabalho de equipe. harmonização e priorização das várias decisões tomadas durante o processo de

Outro aspecto importante a considerar é que, por ser uma metodologia que se baseia no trabalho coletivo, os membros da equipe desenvolvem uma compreensão comum sobre as decisões, suas razões e suas implicações e se tornam comprometidos com iniciativas de implementar as decisões que são tomadas coletivamente.

Normalmente QFD é definido como: "A conversão dos requisitos do consumidor em características de qualidade do produto e o desenvolvimento da qualidade de projeto para o produto acabado através de desdobramentos sistemáticos das relações entre os requisitos do consumidor e as características do produto. Esses desdobramentos iniciam-se com cada mecanismo e se estendem para cada componente ou processo. A qualidade global do produto será formada através desta rede de relações" (AKAO, 1990 apud NUMA⁵, 2002).

Casa da Qualidade

A "casa da qualidade" é indubitavelmente a mais importante das matrizes do QFD. Isto porque todas as versões a incluem sempre como a primeira casa, ou seja, como o primeiro desdobramento. Ela é a matriz que auxilia o desdobramento dos requisitos do cliente em especificações técnicas do produto e permite que sejam estipulados os valores metas para o desempenho em torno destas características. A figura 2.19 apresenta a casa da qualidade (NUMA⁵, 2002).

Uma idéia geral e simples do funcionamento das matrizes do QFD pode ser vista analisando-se o modelo do QFD das quatro fases, que é apresentado conforme a figura 2.20. Na primeira casa faz-se o desdobramento dos requisitos do cliente transformando-os em especificações do produto. Em seguida, na casa do planejamento dos componentes, estes requisitos do produto são desdobrados em

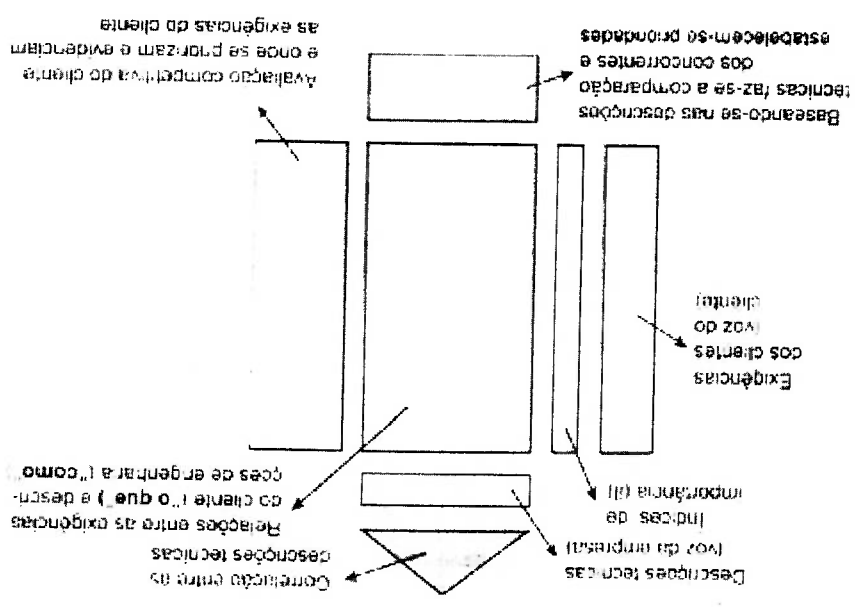
- QFD das quatro fases;
- QFD estendido, criado a partir da versão das quatro fases;
- QFD das quatro ênfases; e
- A matriz das matrizes, que é uma extensão da versão das quatro ênfases.

conforme enumeradas abaixo:

A evolução do QFD, a partir do trabalho original de Yoji Akao, levou ao surgimento de diferentes versões dessa metodologia. Tais versões são descritas na literatura nacional e internacional. Porém, dentre essas versões, quatro se destacam,

Versões de QFD

Fig. 2.19 - Casa da Qualidade (NUMA⁵, 2002)



requisitos para os componentes do produto. Na casa do planejamento dos processos, os requisitos gerados na etapa anterior, requisitos dos componentes, são transformados em requisitos dos parâmetros de processo e estes, por sua vez, são desdobrados nos requisitos dos padrões de operação do processo (controle da produção). Garante-se com esta abordagem que toda a especificação de produto, componentes, processos e padrões de operação estejam orientados às necessidades dos clientes.

Informações detalhadas a respeito desta importante ferramenta podem ser encontradas na literatura nacional e internacional:

- na literatura nacional: (CHENG et al, 1995); (AKAO, 1996) e (OHFUII et al, 1997), dentre outros.
- na literatura internacional: (CLAUSING, 1994), dentre outros.

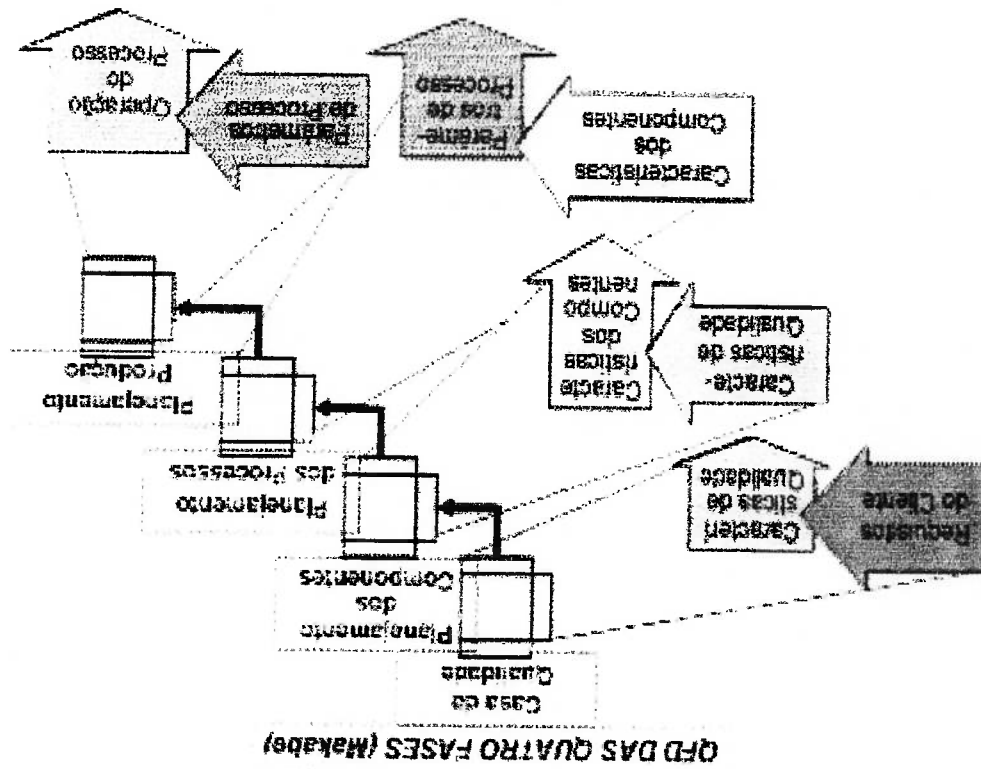


Fig. 2.20 - QFD das Quatro Fases (NUMA⁵, 2002)

Apesar do grande desenvolvimento da tecnologia informática, a maioria das indústrias de manufatura controla as informações de engenharia na forma de papel. Aproximadamente 80% das indústrias ainda usa um sistema manual, baseado em papel, para controlar as modificações de engenharia. Os problemas decorrentes desta situação são muitos e afetam diretamente o desempenho do processo de desenvolvimento de produtos. Cópias de desenhos desatualizadas, circulação lenta de informações criadas e as atividades a serem realizadas. Devido à pressão da concorrência, a melhoria do processo de desenvolvimento de produto com a adoção da engenharia simultânea vem sendo um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas. Isto significa lançar produtos no mercado em uma maior frequência, em um menor tempo ("time-to-market") e com a qualidade exigida pelos clientes. A fim de atingir esses requisitos, muitas empresas adotam métodos, técnicas da engenharia simultânea para tentar melhorar sua engenharia, assim como sistemas de informação. Porém, na maioria das vezes esbarram na dificuldade de implantação, englobando a dificuldade de se gerenciar as informações criadas e as atividades a serem realizadas.

As informações contidas neste item foram obtidas em (NUMA, 2002).

2.8.5 Product Data Management (PDM)

- Os membros da equipe desenvolvem uma compreensão comum sobre as decisões, suas razões e implicações.
- Aumenta o comprometimento dos membros da equipe com as decisões tomadas; e
- Seu formato visual ajuda a dar foco para a discussão dos time de projeto, organizando a discussão;
- Redução do tempo de lançamento e reparos após o lançamento;
- Interpretações convergentes das especificações;
- Registro das informações;
- Considera a concorrência;
- Foco no consumidor;

Benefícios da Aplicação do QFD:

de documentos, excesso de papel, alto índice de retrabalho, dificuldade de se obter informações dos produtos são problemas comuns na maior parte destas empresas. Os sistemas de gerenciamento de dados do produto (PDM) se destacaram no meio dos anos 90 como uma das principais ferramentas para a concretização da engenharia simultânea, gerenciando as informações e atividades de desenvolvimento de produto.

Conceito de PDM

Product Data Management (PDM) é uma tecnologia de software que visa gerenciar todas as informações e processos relativos ao ciclo de vida de um produto. Entendendo-se ciclo de vida como todo o período compreendido desde a concepção de um produto até sua obsolescência, passando pelas etapas de projeto e produção. A tecnologia PDM propõe-se a explorar ao máximo os benefícios da engenharia simultânea, controlando a informação e distribuindo-a sistematicamente para as pessoas que a necessitam.

Várias nomenclaturas como, PIM (Product Information Management), TDM (Technical Document Management), TIM (Technical Information Management) e EDM (Electronic Document Management) são usadas com significados semelhantes. Porém todo estes sistemas podem ser classificados dentro de dois grupos distintos: PDM e EDM. Sistema EDM (Electronic Document Management) são todos aqueles focados no gerenciamento de documentos podendo ou não estar relacionados à engenharia. Já os sistemas PDM são voltados para o gerenciamento do produto e de suas partes, possuindo assim funcionalidade especiais como controle da estrutura do produto e controle das modificações de engenharia.

Funcionalidades

As funções de um sistema PDM podem ser divididas e classificadas de várias formas. Segundo o Product Data Management Center, as dificuldades de um sistema PDM podem ser divididas basicamente em gerenciamento de dados do produto e gerenciamento do processo. O gerenciamento de dados do produto abrange o

controle da estrutura de produto, classificação de componentes e classificação de documentos.

O gerenciamento do processo inclui todas as funcionalidades relativas ao fluxo de trabalho, tais como o processo de aprovação de um produto e de modificação de engenharia.

As funções de um sistema PDM podem ser divididas em funções de usuário e funções complementares, como descrito abaixo:

Funções do usuário:

- gerenciamento do ciclo de projeto: controla a criação e aprovação de documentos e partes do produto, a circulação (por meio de *workflow*), segurança e o acesso aos dados, relacionamento entre os dados, check-in e check-out;

- alterações de engenharia: sistematização do processo de modificações de engenharia (ECM), controle de versões e revisões;

- estrutura de produto: controla a lista de materiais (BOM), estrutura de partes e de documentos, gerenciamento da configuração do produto;

- classificação: sistema de identificação e classificação de componentes e ferramentas de buscas rápidas e recuperação de informações;

- gerenciamento de projetos: funções de planejamento e controle de projeto, controle de prazos e alocação de recursos.

Funções Complementares

- Comunicação: viabiliza a comunicação e notificação entre os usuários, e mantém interface com o sistema de e-mail;

- Transferência de dados: mecanismos de troca de dados entre usuários do sistema, e entre diferentes aplicativos;

- Visualização: mecanismos de visualização rápida de imagens e redlines (anotações eletrônicas) sem a necessidade de executar o aplicativo de origem;

- Administração: configuração e customização, controle de usuários, administração do sistema.

Estrutura de um Sistema PDM

Existe uma grande variedade de sistemas PDM disponíveis no mercado. Eles podem se diferenciar em vários aspectos tais como domínio de aplicação, arquitetura do sistema, abrangência de funcionalidades, preço, etc. Porém, a maior parte utiliza os mesmos princípios para gerenciar as informações.

A figura 2.12 mostra esquematicamente a estrutura de um sistema PDM. Segue as descrições de seus principais elementos:

- “Vault” (cofre): o vault é o local onde os arquivos gerenciados ficam armazenados. É a parte do sistema que garante a segurança das informações e o controle de acesso dos usuários;
- Metadados: além do vault o sistema possui uma base de dados com metadados (informação sobre informação). Estes dados são informações sobre os arquivos, que permitem que estes sejam gerenciados. Alguns exemplos de metadados são: descrição do arquivo, autor, *part-number*, data de criação, etc.

- Integração: para obter as informações eficientemente é necessário que o sistema PDM esteja integrado com os aplicativos que geram as informações. Atualmente a integração com os sistemas CAD se encontra mais evoluída com sistemas comerciais, mas existe a preocupação em se desenvolver integração com outros sistemas como MRP, ERP, CAPP, etc.
- Interface: a interface dos sistemas comerciais, são geralmente gráficos e permite que o usuário acesse as informações disponíveis rapidamente, na forma de imagens, tabelas e gráficos.

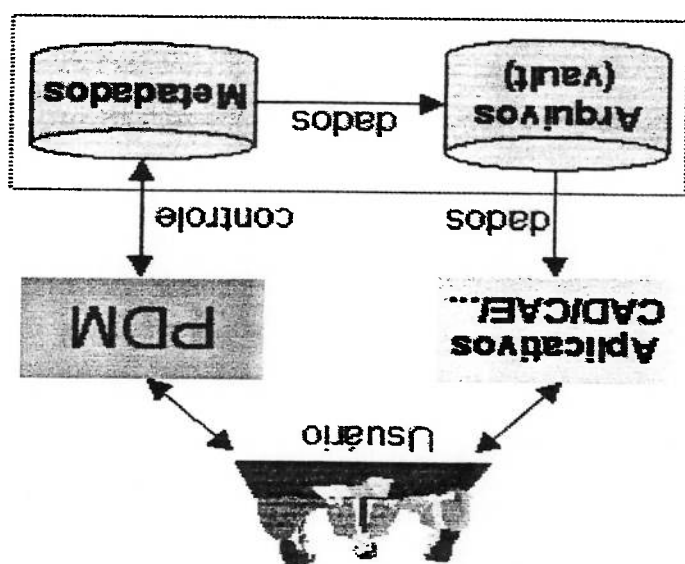
O maior problema que envolve essa tecnologia, impedindo sua rápida expansão, é a dificuldade do processo de implantação dos sistemas PDM. Geralmente estes processos são lentos, caros e exigem uma significativa adaptação técnica e cultural na empresa. Entretanto, muitos casos de sucesso estão mostrando que os benefícios de um sistema em funcionamento justificam sua utilização.

O principal resultado obtido é a redução do *time-to-market*, ou seja, tempo de lançamento do produto no mercado, através da eliminação de atividades improdutivas e da organização das informações do produto. Além disso o sistema contribui para a melhoria da qualidade do produto e para a redução do custo do produto e do seu processo de desenvolvimento.

Na indústria naval moderna o PDM tem sido fundamental no gerenciamento de todas as informações que são introduzidas e extraídas do *3D Product Model*, uma tecnologia que vai bem mais além da simples utilização da modelagem 3D e que será discutida mais adiante no presente trabalho.

Benefícios

Figura 2.21 - Estrutura de um Sistema PDM (NUMA, 2002)



3 ENGENHARIA SIMULTÂNEA NA INDÚSTRIA NAVAL

Antes de se iniciar a discussão da aplicação da Engenharia Simultânea no projeto e produção de sistemas navais, é útil que se apresente qual é o status e classificação usual com relação ao projeto e construção de navios (NISHIMOTO; PARSONS; LAMB, 1998).

Segundo Prasad, 1996 apud Nishimoto; Parsons; Lamb (1998) produtos podem ser projetados por diferentes processos, recebendo alguns autores a seguinte classificação: Projeto Rotineiro ou Fixo, Projeto Variante; Projeto Adaptativo ou Inovador e Projeto Original ou Criativo.

- Projeto Rotineiro ou Fixo:

Este é um processo onde os aspectos genéricos do projeto são bem conhecidos.

- Projeto Variante:

Novo projeto é criado pela combinação de partes ou características já existentes de projetos rotineiros.

- Projeto Adaptativo ou Inovador:

Envolve a geração de projeto(s), por meio da união de novos parâmetros (variáveis de projeto) ou adição de teoria a um projeto(s) já existente, criando assim novos sub-tipos.

- Projeto Original ou Criativo:

Geração completa de uma nova configuração, sem relação com os tipos já existentes.

Dependendo do tipo de navio que se quer projetar, o mesmo será classificado dentro de um dos quatro tipos acima descritos, sendo que a maior parte, provavelmente, será classificado como Projeto Variante. O projeto de um navio tanque, por exemplo, pode ser considerado Variante ou algumas vezes Adaptativo, uma vez que existe muitos petroleiros já construídos por vários estaleiros. Embora, haja diferenças, as formas e elementos estruturais são quase os mesmos.

Quando os navios LNG e LPG surgiram no mercado, os projetos iniciais podiam ser considerados inovadores ou adaptativos. Muitos subsistemas, como o sistema de refrigeração eram novos, mas o casco não era. Desse modo, mesmo para um novo tipo de cargueiro, sendo o mesmo monocasco, pode ser classificado como pertencente à classe de projetos adaptativos (NISHIMOTO; PARSONS; LAMB,1998).

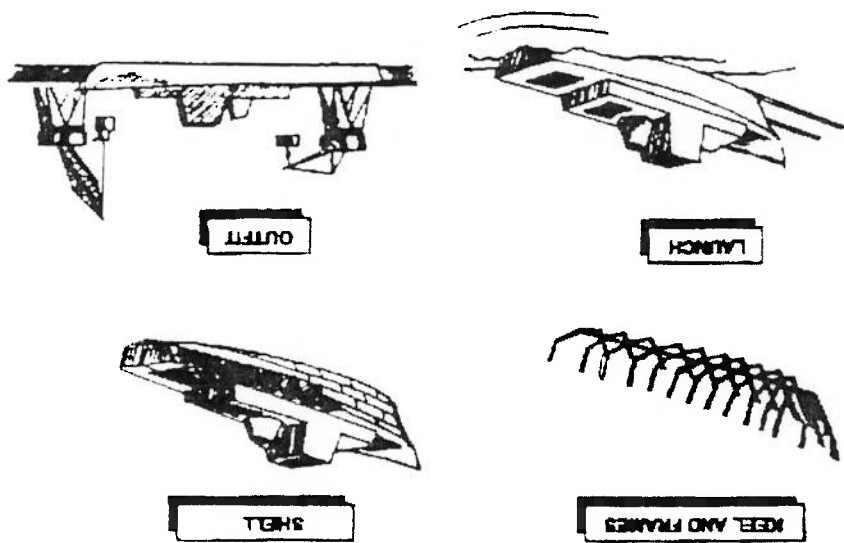
Portanto, se projetos, pesquisas e desenvolvimentos foram executados anteriormente, os dados são intensivamente reutilizados em novos projetos de modo a economizar tempo. A utilização de dados de “navios semelhantes” é uma metodologia extensivamente utilizada nas fases iniciais de projeto. O processo de utilizar os ensinamentos e experiências de projetos anteriores (*learning processes*) tem sido de muita importância nos projetos de navios (NISHIMOTO; PARSONS; LAMB,1998).

Por outro lado, a fase de detalhamento do projeto, que antecede a construção, consome uma grande quantidade de tempo dentro do ciclo de projeto e construção do navio, devido a grande quantidade, dimensões e complexidade de subsistemas, como por exemplo praça-de-máquinas, que compõem os sistemas navais (navio ou plataforma oceânica).

No passado, o termo “*shipbuilding*” era apropriado, devido ao fato que construir navios era bastante semelhante ao processo de construção de um prédio. Contudo, atualmente, em estaleiros modernos, para se obter mais produtividade, várias metodologias de produção foram introduzidas. Construção por blocos (“block building”), utilização de *Product Work Breakdown System (PWBS)* etc. (WHITEHURST, 1986; MINAMIZAKI, 1996 apud NISHIMOTO; PARSONS; LAMB,1998).

Na construção por blocos ou modular o navio é dividido em blocos ou seções, ocorrendo a construção e montagem de equipamentos, sistemas e itens em cada bloco (*outfitting*), de maneira totalmente independente dos demais, permitindo flexibilidade à produção do estaleiro, podendo inclusive blocos serem construídos em outros estaleiros e depois transportados para a montagem final. A figura 3.1 apresenta a metodologia tradicional de construção naval, enquanto a figura 3.2 exemplifica a construção “moderna de navios.

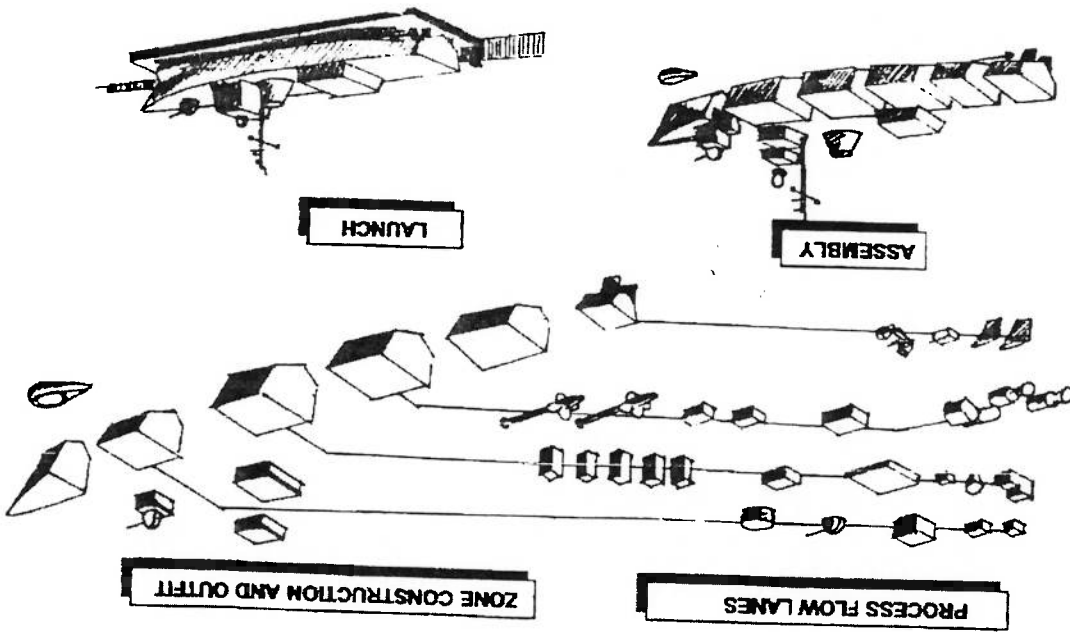
Figura 3.1 - Processo tradicional de construção de navios (KEANE; TIBBITS, 1996)



Embora utilizando novas metodologias de "produção", a etapa final, união dos blocos, ainda é um processo de "construção" ("building"). O ciclo de produção de um sistema naval é bem maior quando comparado à outros sistemas. Deste modo, existe elementos que diferem a construção naval de um processo de produção em massa como, por exemplo, o processo de produção de automóveis. Portanto, a chave para obtenção de custos competitivos para os navios é determinar como reduzir o tempo do ciclo de projeto, principalmente o detalhamento, que é o mais longo, e o tempo consumido na construção (MINAMIZAKI, 1996 apud NISHIMOTO; PARSONS; LAMB, 1998).

(TIBBITS; KEANE, 1995)

Figura 3.2 – Processo moderno de construção ("produção") de navios



3.1 Porque usar engenharia simultânea

No mundo globalizado que se iniciou nos anos 90 é imperioso, para quem intenciona sobreviver no mundo selvagem de competição, que possua capacidade de desenvolver e lançar no mercado novos produtos em intervalos cada vez menores, com custos consideravelmente baixos e com nível de qualidade aceito globalmente. Isto vale para qualquer produto, ou seja, vale também para a indústria naval. Os países líderes no mercado de construção naval, Japão e Coreia, produzem navios com as características apontadas acima. Assim sendo para entrar no mercado globalizado de construção naval, os estaleiros ocidentais e principalmente a indústria naval brasileira, que já foi uma das líderes no mercado de construção naval mundial, à parte outros problemas institucionais e políticos que não serão aqui abordados, devem mudar sua abordagem (“*approach*”) do problema para permitir que se consiga produzir com alta qualidade, custos competitivos e em intervalos de tempo cada vez menores.

Reduções de custo de 30 a 50% e reduções similares nos ciclos de projeto e construção são necessários.

Nos últimos anos houve a introdução, na construção naval, de técnicas que melhoraram o processo como um todo, tal como o projeto que leva antecipadamente em consideração a construção modular ou por bloco (“*zone design*”), bem como a própria construção modular. Somando-se a isso, houve o emprego, na construção, da metodologia chamada de “*Build Strategy*”, que segundo Lamb (1997) e Clark; Lamb (1995) é “um planejamento acordado antes do início dos trabalhos e que envolve o projeto, engenharia, gerenciamento do material, produção e plano de testes, com a intenção de identificar e integrar todos os processos necessários”, levando a projetos mais adequados à produção “*producibility*”. Embora estas medidas tenham contribuído para reduzir o *gap* entre os estaleiros ocidentais e os estaleiros asiáticos, líderes de mercado, é necessário que algo mais seja feito, que se tome a iniciativa de implementar as mudanças necessárias.

Cabe ressaltar que a utilização das técnicas acima mencionadas, como “*zone design*”, construção modular, “*build strategy*” e ainda “*pre-outfitting*” não estão difundidas na indústria naval brasileira, que atravessa a pior fase de sua história, com

perda de grande parte da mão de obra qualificada e obsolescência de seu parque industrial. Porém, parece que esta havendo o ressurgimento da indústria naval, principalmente no estado do Rio de Janeiro, devido à indústria do petróleo que tem atraído inúmeras companhias estrangeiras para a exploração no litoral do Rio de Janeiro. O arrendamento de vários estaleiros, por parte de estaleiros estrangeiros, que antes se encontravam praticamente inoperantes e que hoje já retomam o ritmo de contratações de operários, representa um indicativo de retomada da construção e de reparos navais no Brasil. Havendo realmente esta retomada, mesmo que pequena inicialmente, seria o momento ideal para a implantação de mudanças que permitissem, no futuro, a disputa no mercado globalizado como citado acima.

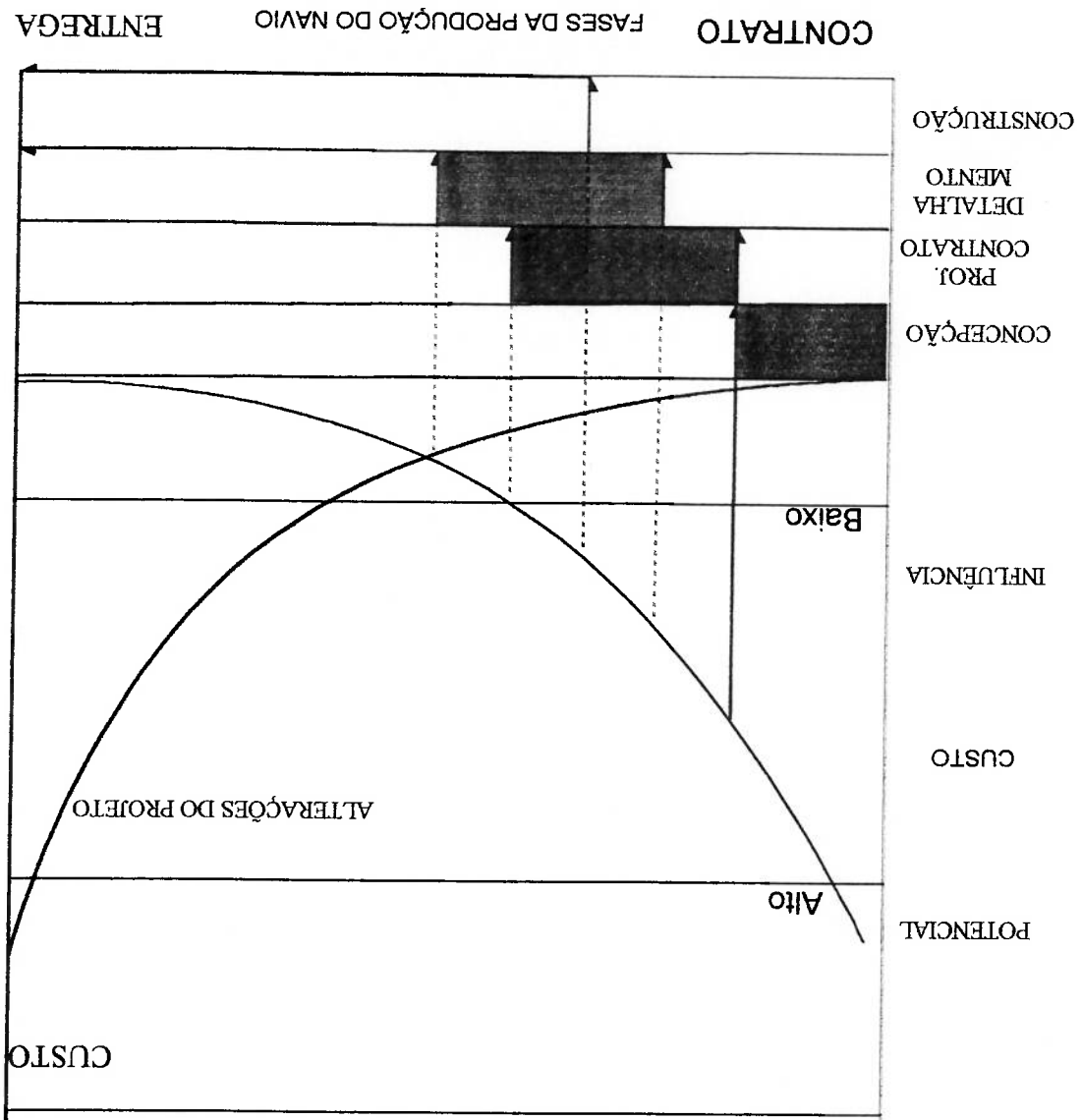
A engenharia simultânea surge como um caminho para prover a competitividade necessária. O objetivo da Engenharia Simultânea é produzir produtos que atendam os requisitos de performance, operacionalidade, manutenibilidade, qualidade, enfim os requisitos do cliente, no menor espaço de tempo possível e ao menor custo.

A Engenharia Simultânea reconhece que grande parcela dos custos de produção de um navio, assim como de qualquer produto, é estabelecido no estágio inicial do projeto, e que o custo para efetuar mudanças no mesmo, aumenta geometricamente com o progresso do ciclo de desenvolvimento, como mostrado na

figura 3.3.

Os benefícios reportados por empresas que implantaram a Engenharia Simultânea foram mostrados anteriormente na tabela 1, do capítulo anterior, e Simultânea válidos para o caso de implantação da filosofia da Engenharia Simultânea na indústria naval. Um estaleiro que consiga atingir tais benefícios, sem dúvida

Figura 3.3 – Influência das etapas de projeto no custo de um sistema naval (BENNETT, LAMB, 1995)



alguma estará no caminho certo para competir no mercado globalizado altamente competitivo da indústria naval.

A figura 3.4 mostra a redução, em média, que se consegue no ciclo de desenvolvimento do produto com a aplicação da engenharia simultânea, em comparação com o processo tradicional de desenvolvimento do produto.

Cabe ressaltar que o ganho médio apresentado na figura 3.4 com a aplicação de Engenharia Simultânea, refere-se apenas ao ciclo de desenvolvimento do produto, sendo que a fase referente à construção (fabricação) também apresentará reduções significativas, uma vez que o projeto, através da participação do pessoal da produção nas equipes multidisciplinares de projeto desde o início, estará voltado para facilitar a produção ("producibility"), levando a menores tempos de fabricação, e redução drástica de retrabalho, conforme apresentado na tabela I.

Segundo Huthwaite (1994) apud Tibbits; Keane (1999), um expert em desenvolvimento de novos produtos, há três "verdades" que formam a base para a Engenharia Simultânea ou o que ele chama de "*strategic design approach*".

Primeira Verdade: O projeto é o principal responsável pela qualidade, custo e tempo), conforme mostrado na figura 3.5.

- 70% ou mais do total do custo e performance envolvidos no ciclo de vida do produto (sistema naval), são conduzidos ou estão "presos" ("locked in") às fases iniciais do projeto;

- Muito é gasto, muito tardiamente;

- É necessário maior ênfase, foco, nos estágios preliminares de projeto, como no projeto de concepção.

A figura 3.5 mostra que as decisões tomadas nas etapas iniciais do projeto são extremamente importantes, sendo responsáveis por grande parte da performance e do custo final do sistema, conforme mostrado pela curva "*amount of cost and performance locked in*". Apesar de tal importância, o custo destas etapas iniciais, conforme mostrado pela curva "*cost incurred*", é extremamente baixo quando comparado com o custo total do sistema.

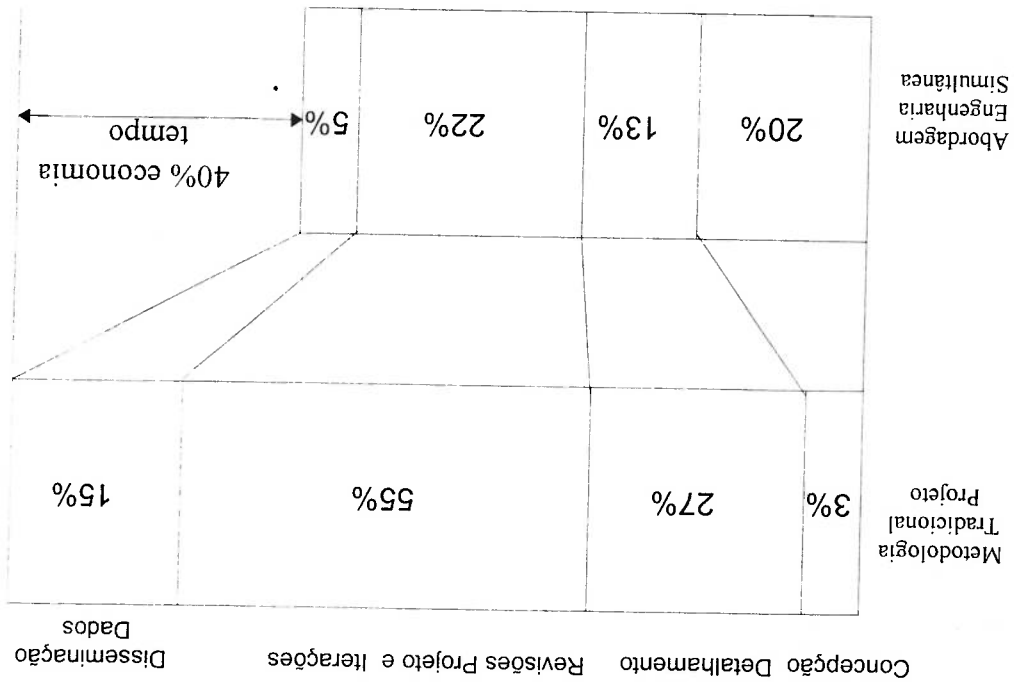
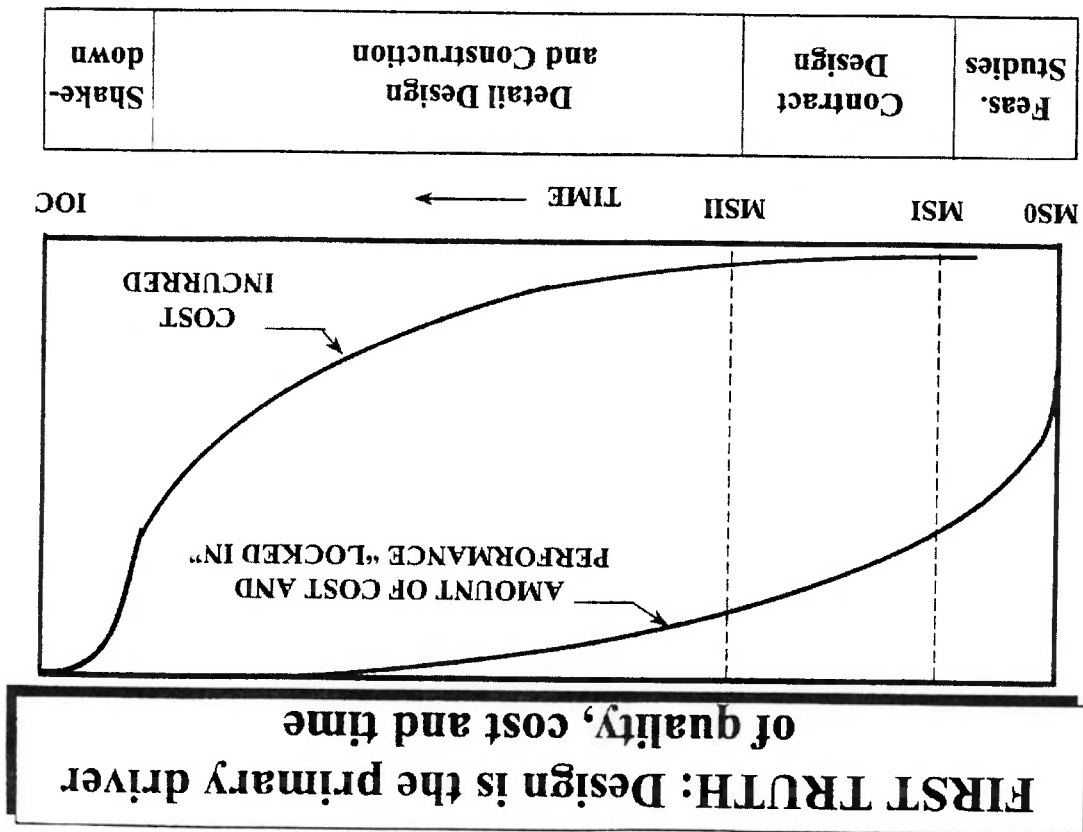


Figura 3.4 – Redução do Ciclo de Desenvolvimento do produto (CARTER, BAKER, 1992)

As siglas MS, na figura 3.5, significam "milestones", marcando o início e o término das etapas do projeto: Estudo de Viabilidade ou "Feasibility Studies", Projeto de Contrato ou "Contract Design", Projeto de Detalhamento e Construção ou "Detail Design and Construction", e no caso de sistemas navais, a última etapa corresponde às "Provas de Mar" ou "Shakedown".

Como mostrado na parte de inferior da figura 3.6, as fases do projeto, mesmo incluindo projeto de detalhamento, representam uma pequena fração do custo total de um novo sistema naval (civil ou militar). A parte superior, da referida figura, mostra ainda, em contrapartida, a enorme influência que o projeto tem sobre o custo total (TIBBITTS; KEANE, 1999).

Figura 3.5 - Primeira "Verdade" (TIBBITTS; KEANE, 1999)



material.

- É um erro se pensar em reduzir somente os custos relativos a mão de obra e sistema.

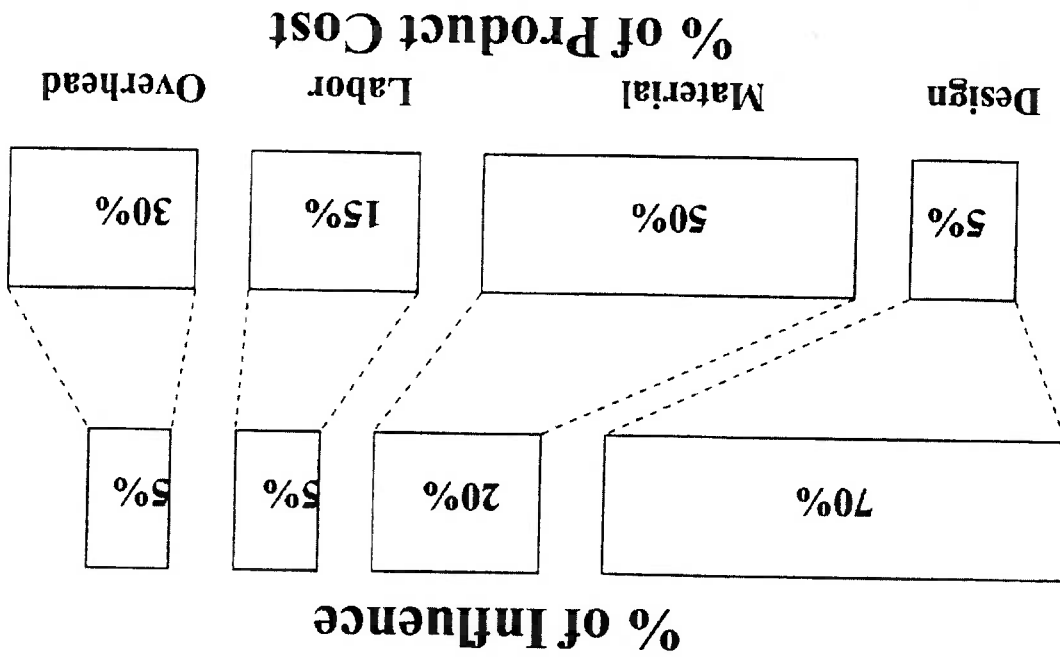
deve "olhar" todo o ciclo de vida: produção, operação, manutenção e "baixa" do ciclo de vida do produto, não se atendo apenas em determinadas partes. O projeto não sejam apenas superficiais, os mesmos devem atingir todo o processo que envolve

- Para que os melhoramentos introduzidos no projeto possam ser sentidos e

mostrado na figura 3.7.

Segunda Verdade: A força e importância da etapa de projeto necessitam ser avançados o mais cedo possível, de maneira ampla e profundamente, conforme

Figura 3.6 - Componentes do desenvolvimento – Influência X Custo (TIBBITTS; KEANE, 1999)



• O maior campo de batalha com relação a diminuição de custos nos dias de hoje, está relacionado ao "overhead", que são os custos regulares da empresa, que necessitam ser atacados agressivamente. No passado, esforços foram conduzidos no sentido de reduzir o tempo destinado às fases do projeto, visando uma redução do "lead time", o que obviamente constitui um erro, diante do que já foi explanado até agora sobre engenharia simultânea, que tem como uma de suas premissas básicas que o projeto e o planejamento devem consumir mais tempo ao invés de menos, principalmente as etapas iniciais do projeto, levando a concluir que "fazendo certo a primeira vez", ou seja um projeto bem discutido e executado, trará dividendos em termos de redução de mudanças, retrabalho em etapas posteriores, reduzindo o "lead time", conforme já mostrado na Figura 3.4.

SECOND TRUTH: Need to leverage the power of design earlier, broader and deeper

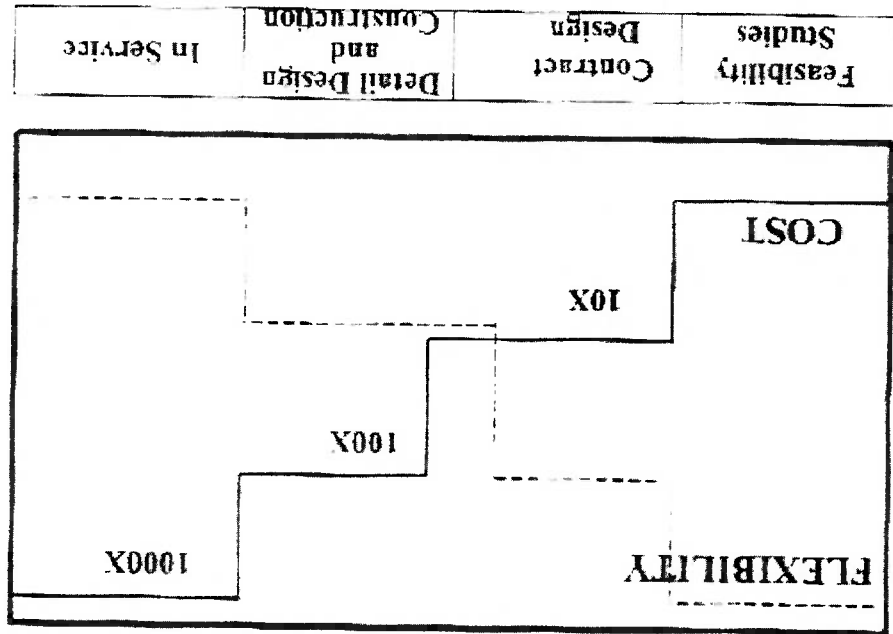


Figura 3.7 - Segunda "Verdade" (TIBBITTS; KEANE, 1999)

A figura 3.7, representando a “Segunda Verdade”, mostra claramente que a flexibilidade, para que sejam efetuadas alterações no projeto, é muito maior no início do processo, permitindo que várias alternativas sejam analisadas, e que tal flexibilidade vai diminuindo ao longo do tempo, quando as alterações tornam-se altamente problemáticas. O comportamento do custo decorrente de alterações de projeto é exatamente o contrário da flexibilidade, ou seja, aumenta conforme o projeto caminha ao longo das suas etapas, é bastante pequeno no início e vai aumentando ao longo do tempo, tornando-se proibitivo nas etapas finais do projeto, pois nestas etapas, maior é a quantidade de itens integrados, e consequentemente maior é a quantidade de interfaces que necessitam de revisão em função de alterações a serem introduzidas.

Isto corrobora com a importância das etapas iniciais do projeto e com a necessidade de se alocar tempo suficiente ao projeto, para se evitar erros que custarão muito mais para serem posteriormente corrigidos.

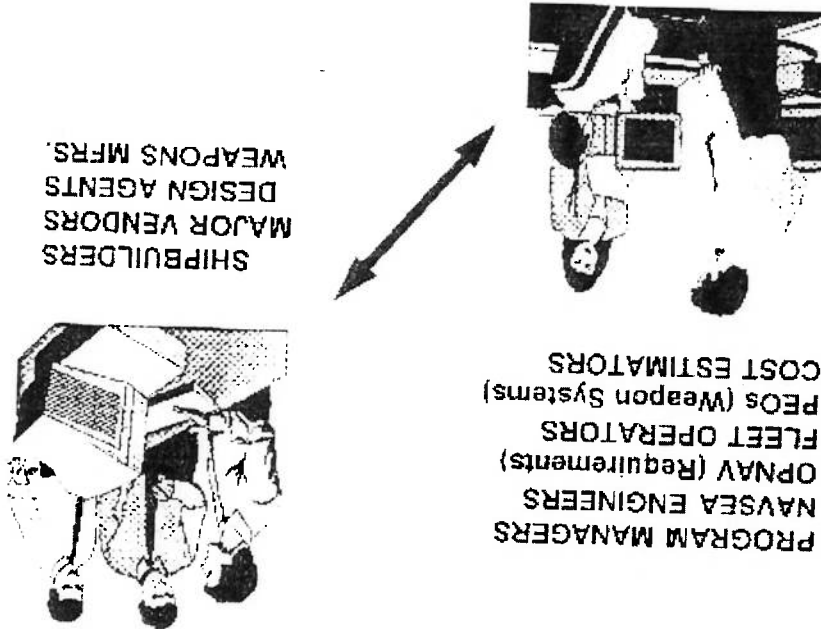
Terceira Verdade – As equipes multidisciplinares (“multifunctional teams” ou “crossfunctional teams” ou “integrated product teams”) são a chave para o sucesso de um projeto, figura 3.8.

- As equipes multidisciplinares de projeto tem uma visão completa do produto (“big picture”).
- Todas as funções relevantes para o projeto, construção, operação e manutenção do sistema naval, devem participar desde o início do projeto, através de representantes nas equipes multidisciplinares de projeto ou “integrated product teams” responsáveis pelo Desenvolvimento Integrado de Produto e Processo (“Integrated Product and Process Development”).

entre os membros da equipe. continuamente e até mesmo de maneira informal, levando a uma grande sinergia motivados. As reuniões que antes precisavam ser agendadas agora ocorrem das equipes adquirem um sentimento de "donos do projeto" e passam a ficar mais de corpo pode ser desenvolvido e a dinâmica do time implementada. Os membros uso mais eficiente dos recursos em geral escassos. Sob um líder habilidoso, o espírito mesma área, tende a facilitar e intensificar a comunicação entre os membros e a um multidisciplinares serem colocados próximos uns dos outros ("colocated"), em uma Segundo Tibbitts; Keane (1999), o fato dos membros das equipes (*design team*).

com os membros das equipes sendo colocados próximos uns dos outros ("colocated multidisciplinares, lideradas por um gerente de projeto com apoio da alta direção e A filosofia da Engenharia Simultânea é melhor conduzida por equipes

Figura 3.8 - Terceira "Verdade" (TIBBITTS; KEANE, 1999)



3.2 A Utilização da Simulação e da Tecnologia “3D Product Modeling” na Indústria Naval

3.2.1 Simulação

Segundo Jones; Ryan; Jones (1994) o desenvolvimento de produtos sempre se defrontou com o fato de que o “momento da verdade”, quando o protótipo é testado, ocorre em um estágio muito adiantado, já no fim, do ciclo de desenvolvimento. Somente após o produto ser testado pode o projetista saber se o mesmo satisfaz todos os requisitos operacionais e expectativas do cliente. Os problemas que porventura, não foram considerados durante a fase de desenvolvimento do projeto são, na maioria dos casos, de difícil correção, sem que se altere grandes partes do projeto, devido a grande integração e interação entre os subsistemas. Porém, o mais grave em ter que se alterar um projeto, em sua fase de conclusão, é o alto custo que isso invariavelmente representa, seja em termos de recursos humanos (homem-hora - HH), multas contratuais por atrasos, ou ainda demora no lançamento de um novo produto, o que pode levar a perda de fatias consideráveis de mercados. O “momento da verdade”, dentro do ciclo de desenvolvimento de um produto, é simplificada e mostrado na figura 3.9 (TIBBITS; KEANE, 1995); (JONS; RYAN; JONES, 1994).

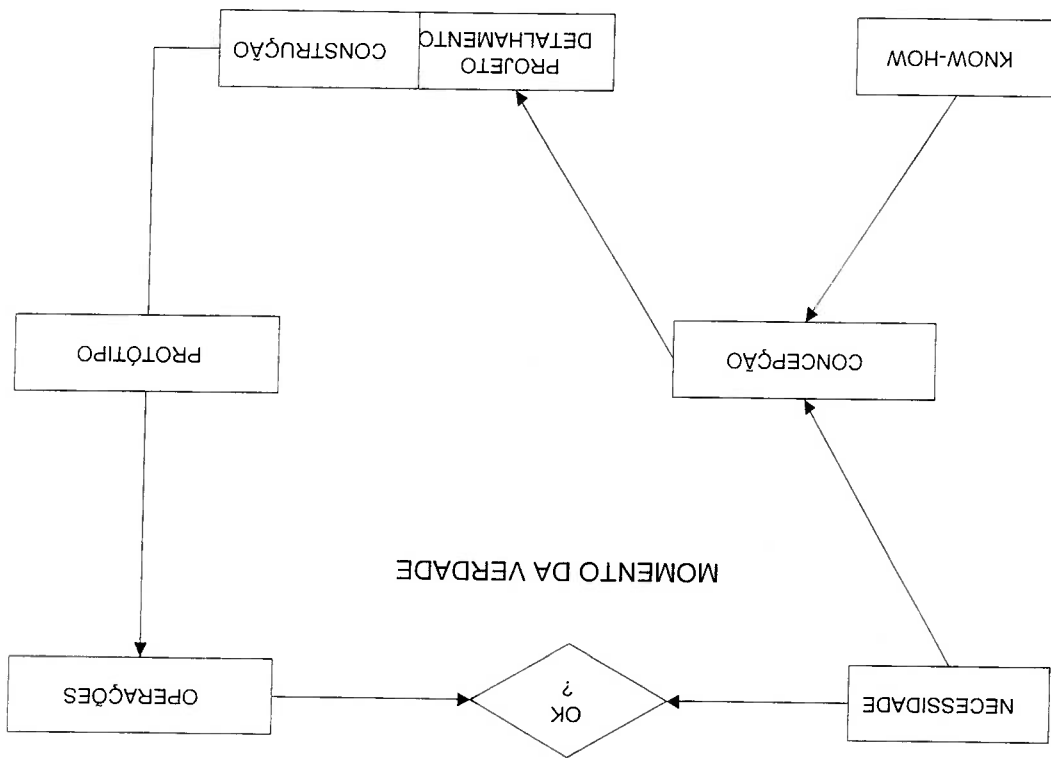


Figura 3.9 - O Dilema do desenvolvimento de sistemas: um grande investimento é realizado antes do protótipo estar disponível (JONS; RYAN; JONES, 1994)

A utilização de protótipo, também chamado *"fly-before-buy"* ou *"try-before-buy"*, é empregado rotineiramente antes do início da produção em série de um produto.

O desenvolvimento de um sistema naval (navio ou plataforma oceânica) representa, reconhecidamente, um grande desafio devido a complexidade resultante do grande número de sistemas e de interdependência dos mesmos, que requer integração. A utilização de protótipo para testar um sistema naval é impraticável por uma série de razões. Inicialmente o tempo que seria necessário para se testar totalmente um sistema naval, sob todas as condições de operação previstas no requisito do armador, no caso de meios civis, ou nos requisitos de estado-maior no caso de embarcações militares seria extremamente longo, sendo que no caso de sistemas militares pode chegar a vários anos.

O custo envolvido em um sistema naval é sem sombra de dúvida, bem maior do que em outros sistemas, sendo que navios e plataformas não são produzidos em massa, e possuem um ciclo de produção bem maior do que outros sistemas, levando a um custo unitário elevado, tornando inviável, proibitivo, o emprego de prototipagem na indústria naval.

Mesmo no caso de navios militares, onde um novo projeto pode dar origem a uma nova classe de navios, quando são construídos algumas embarcações baseadas no mesmo projeto, não se pode em hipótese alguma, pensar em produção em massa e como o ciclo de construção é longo, conforme já foi comentado, um ou mais navios já estarão sendo construídos antes que o primeiro navio que deu origem à classe, tenha completado a sua avaliação operacional. Por exemplo, da classe de *Destroyer* *DDG 51*, classe "*Arleigh Burke*", da Marinha Americana, já haviam sido contratados sete navios antes que o navio líder da classe fosse entregue à Marinha, e mais três navios haviam sido contratados antes que o primeiro navio da classe estivesse alcançado a Fase Operacional Inicial. Isto demonstra que possíveis correções de falhas de projetos são detectadas tardiamente, após milhões, e nesse caso, bilhões de dólares terem sido comprometidos, tornando as correções de projeto extremamente custosas e muitas vezes não implementadas.

Contudo, mesmo se a utilização de protótipos fosse viável para a indústria naval, como controle de risco, como é utilizado para a grande maioria dos outros produtos, inclusive na indústria aeronáutica, não se poderia saber, com grande confiança, se o protótipo era representante da melhor alternativa de projeto possível, porque somente uma alternativa dentre muitas possíveis poderia ser construída para ser submetida a testes, já que os custos, conforme anteriormente comentado, seriam extremamente elevados, além dos prazos envolvidos.

A utilização das modernas técnicas de simulação tem surgido como uma forma de romper este paradigma, aliviando sobremaneira esse dilema.

O projeto baseado em simulação ou "*Simulation Based Design*" (SBD) é um novo paradigma no qual o produto é totalmente concebido, projetado, construído, testado, e utilizado como plataforma de treinamento para aqueles que irão futuramente operá-lo, e ainda tem todo o seu ciclo de vida pensado e suportado em um ambiente virtual "*Virtual Environment*" (VE), conforme mostrado nas figuras 3.10

e 3.1.1. Assim como o *3D product model*, que será abordado com maiores detalhes mais adiante, é um novo paradigma comparado com projeto em 2D, o SBD vem afetando, de forma extremamente positiva, o tradicional processo de aquisição de grandes e complexos produtos, tais como sistemas navais, que até há bem pouco tempo atrás não contavam, devido aos motivos já expostos, com a capacidade de serem “testados”. Contando agora com a “prototipagem virtual” a preocupação com o risco que a não prototipagem poderia trazer para esses grandes e complexos sistemas é consideravelmente reduzida. Agora, com o advento das tecnologias do SBD mesmo navios e plataformas oceânicas que nunca haviam sido prototipados, podem ter seus protótipos construídos em um ambiente virtual (VE). Isto se reveste de uma especial importância no sentido que, eventualmente, grande número de alternativas podem ser simuladas e terem seus resultados comparados, não só tecnicamente como também economicamente, antes do projeto estar completado e, principalmente, antes que uma chapa sequer, tenha sido cortada.

A prototipagem virtual encoraja, quando não exige, que os principais interessados (“*stakeholders*”) no processo de desenvolvimento do produto, que no caso de um sistema naval são o armador ou marinha, como clientes, os projetistas, os construtores e os operadores, trabalhem de forma unida, como uma equipe. Os integrantes, desta forma, tem suas atividades executadas de forma concorrente, tendo ainda a troca de informações ocorrendo de forma muito mais eficiente.

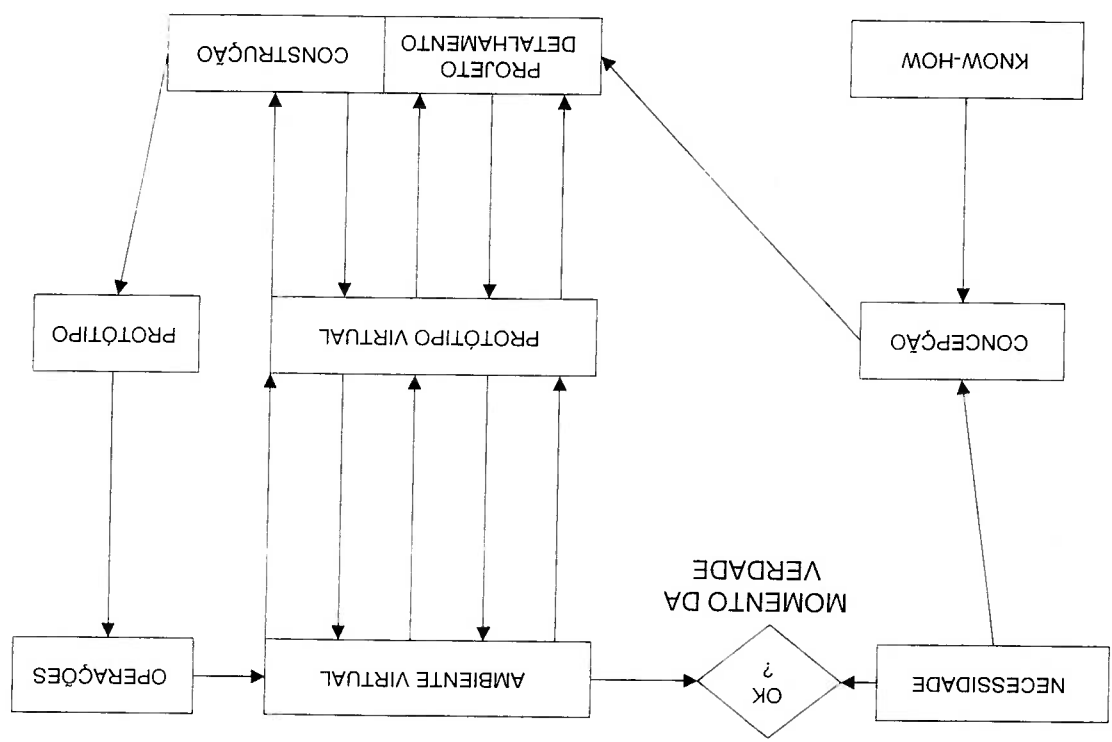


Figura 3.10 – Prototipagem Virtual: Rompendo o Paradigma Baseado em (TIBBITTS; KEANE, 1999)

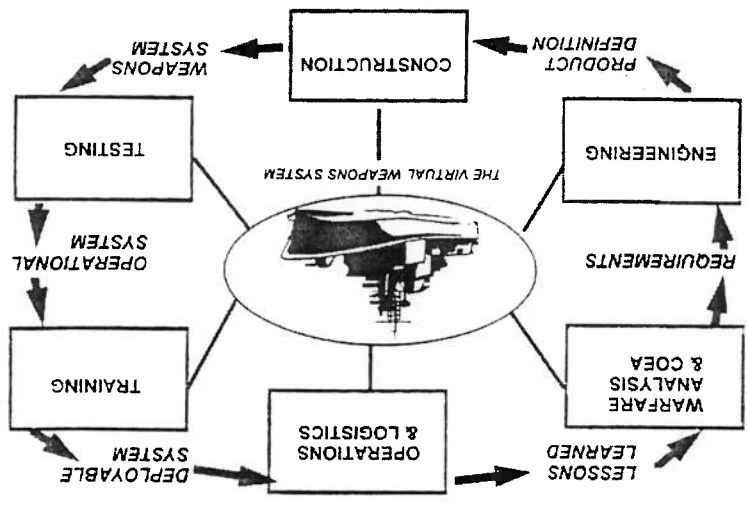


Figura 3.11 Prototipagem Virtual do ciclo de vida do Sistema (TIBBITTS; KEANE, 1999)

A simulação permite que seja alterada a abordagem de desenvolvimento de sistemas navais, que até há bem pouco tempo atrás era dominante, sem os recursos da era da informática hoje disponíveis, que se baseava em "projetar-testar-alterar-testar", figura 3.12, para uma abordagem do tipo "modelar-simular-alterar-simular-alterar-simular-testar", conforme fluxograma da figura 3.13. Desta maneira quando a necessidade de alteração do projeto é verificada, o tempo e os recursos dispendidos para cada alteração serão extremamente menores, uma vez que o modelo só existe em meio magnético, não tendo sido cortada uma chapa sequer e não tendo sido adquirido equipamento algum.

Segundo o Office Under Secretary of Defense (1998), em seu *Integrated Product and Process Development Handbook*, o Departamento de Defesa dos EUA tem buscado e conseguido, no processo de desenvolvimento de novos sistemas, através de uma estratégia chamada "Simulation Based Acquisition" (SBA), na qual são utilizadas maciçamente as ferramentas de modelagem e simulação, os objetivos de redução considerável de tempo; recursos; riscos associados em todo o processo; aumento da qualidade; e maior facilidade de manutenção de sistemas. A integração de modelagem/simulação permite que os sistemas, conforme dito anteriormente, sejam testados em ambiente virtual (VE) de modo a que sejam atendidos todos os requisitos operacionais exigidos pelos clientes, inclusive o requisito de manutenção. Para prover suporte e aumentar o uso da simulação no âmbito do Departamento de Defesa, foi criado o *Defense Modeling and Simulation Office (DMSO)*, tendo conseguido expressivos resultados, como por exemplo:

- O míssil AIM-7P Sea Sparrow, foi desenvolvido e testado usando somente 10 dos 50 lançamentos planejados. A Marinha Americana conseguiu eliminar os 40 lançamentos restantes através de um modelo que simulava a performance e a letalidade do míssil;
- A bomba GBU-28 foi desenvolvida em menos de 6 semanas, durante a operação "Tempestade no Deserto", baseando-se quase que exclusivamente na simulação do seu comportamento.

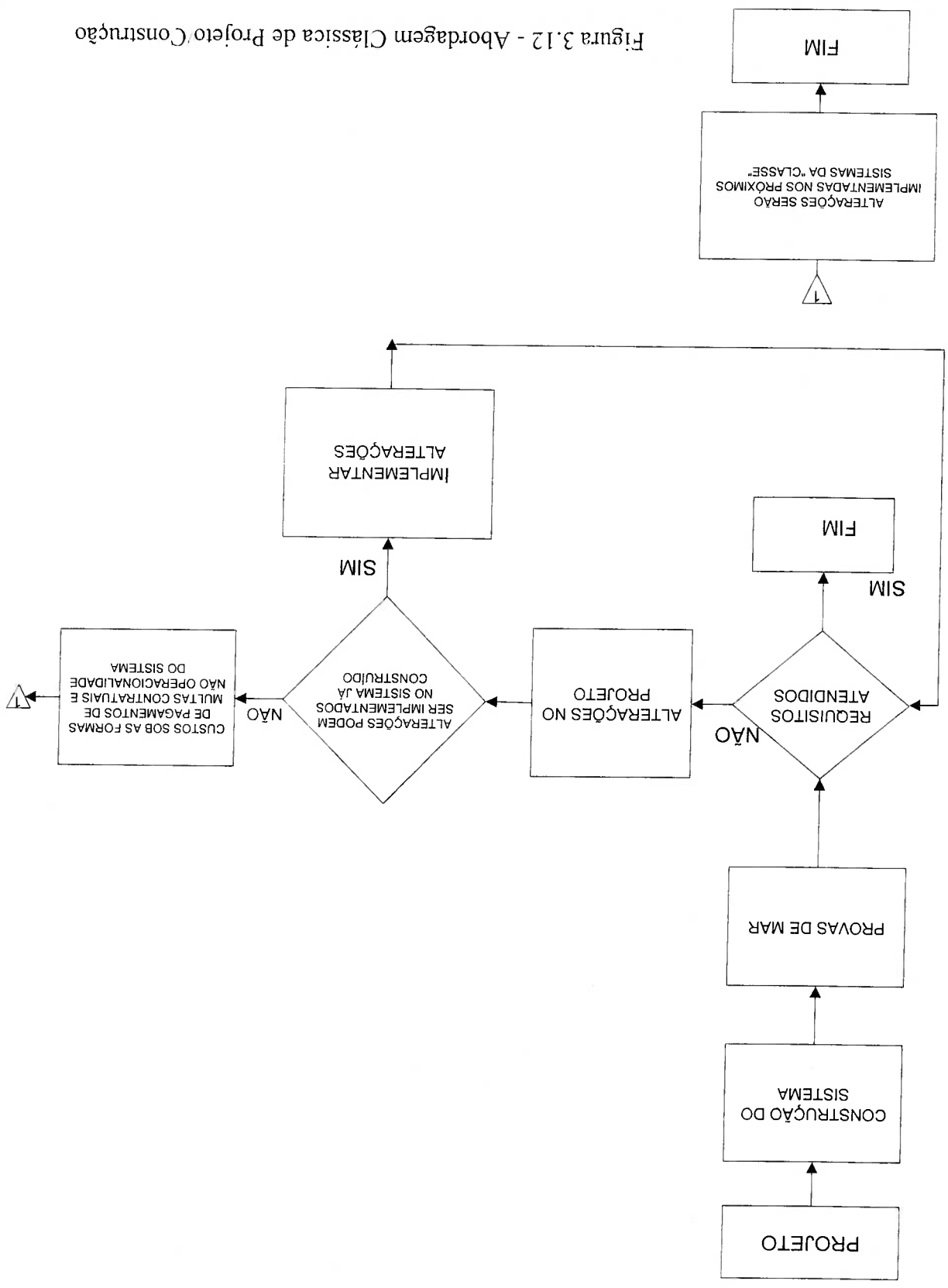


Figura 3.12 - Abordagem Clássica de Projeto Construção

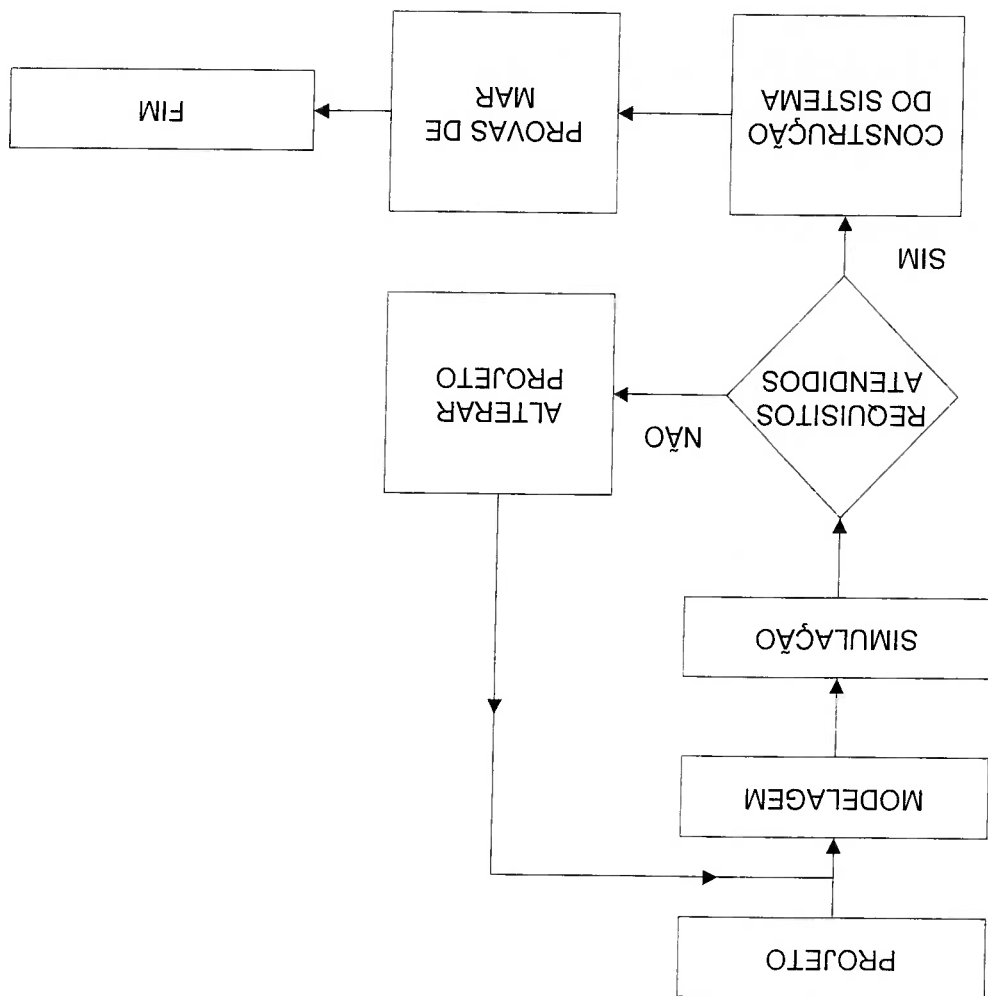


Figura 3.13 – Abordagem moderna Projeto/Construção

• A utilização de modelagem e simulação tem reduzido o tempo médio de utilização do túnel de vento do Arnold Engineering Development Center, da Força Aérea Americana, de seis semanas para apenas 3 a 4 dias.

A indústria aeronáutica, assim como a indústria automobilística, principais usuários da filosofia da Engenharia Simultânea, tem aplicado enormemente, e com grande sucesso, a simulação no desenvolvimento de novos produtos e na modernização de modelos já existentes.

Segundo o Office of the Under Secretary of Defense (1998) a Boeing, buscando redução de custos e prazo no desenvolvimento de novos jatos comerciais, empregou a filosofia da Engenharia Simultânea no projeto do seu mais novo produto, o Boeing 777, que foi o primeiro avião comercial a ser totalmente projetado em computador, utilizando-se das tecnologias de modelagem e simulação.

A Lockheed Martin, famosa indústria do ramo aerospacial, fazendo uso intensivo e extensivo da tecnologia de simulação, projetou os dois mais modernos aviões de combate do mundo, que são o F-22 "Raptor", um caça de superioridade aérea e o F-35 "Joint Strike Fighter", um caça de múltiplas funções ("multitrole") (OFFICE OF THE UNDER SECRETARY OF DEFENSE, 1998).

A simulação no caso da Lockheed não foi usada apenas na etapa de projeto, através da integração CAD/CAE. A mesma foi empregada de forma intensa na avaliação operacional das aeronaves antes mesmo que qualquer peça tivesse sido fabricada.

Em cooperação com a Força Aérea Americana foram desenvolvidos e empregados modelos operacionais de mísseis, tanto dos EUA quanto de possíveis inimigos, de aviões, e de radares. Foram simulados assinaturas, inclusive terrenos sobre os quais as aeronaves podem um dia vir a sobrevoar. Os aviões então são colocados à prova em "missões", enfrentando todo tipo de inimigos e dificuldades, porém em um "ambiente virtual". E somente depois que possíveis alterações no projeto foram efetuadas e novamente "testadas", após suas necessidades terem sido detectadas nas "avaliações operacionais", em ambiente virtual, e de serem totalmente aprovados nesses "testes de voo", é que se passa à fabricação das peças, aquisição de equipamentos e montagem dos aviões, sendo que inclusive este última etapa tem sido simulada.

Desta forma a indústria aeronáutica tem executado, no desenvolvimento de novos aviões, o ciclo de desenvolvimento virtual proposto nas figuras 3.10 e 3.11, com acentuada melhoria da qualidade dos produtos finais e com larga economia de recursos no desenvolvimento dos mesmos.

Embora o emprego maciço de simulação na indústria aeronáutica, seja hoje uma realidade, com as vantagens citadas acima, protótipos de aviões são construídos e cumprem uma série de testes e avaliações, antes de entrarem em produção seriada. No caso da indústria naval o uso de simulação, o mais "real possível", torna-se ainda mais crítica, uma vez que diferentemente da indústria aeronáutica, na indústria naval, conforme já citado, não se constroem protótipos, sendo os resultados advindos da simulação, de uma importância ainda maior.

Há exemplos, relativamente recentes, do emprego da simulação em projetos navais, principalmente na área militar, uma das mais críticas quanto a necessidade do uso de simulação, em virtude dos altos custos envolvidos no desenvolvimento e operação de um meio militar naval, e de onde geralmente novas técnicas se espalham para emprego em área diferente da militar, sendo a simulação uma técnica claramente de emprego dual (militar e civil).

Como exemplos de aplicação de simulação em projetos de sistemas navais podem ser citados os apresentados por Tibbitts; Keane (1995): o projeto do convôo do porta-aviões americano CVN 76 "Ronald Reagan", que se encontra em fase final de construção, o hangar do helicóptero do DDG 51 Flight IIA, um projeto adaptativo do Destroyer Classe "Arleigh Burke", a utilização no projeto da nova classe de navio Desembarque/Doca, Classe "San Antonio" (LPD 17).

Segundo Tibbitts; Keane (1995) no caso do projeto do convôo do porta-aviões "Ronald Reagan" houve avanços excepcionais, uma vez que foram usados simuladores de aviões que operam com o navio, sob o comando de pilotos navais que "pousaram" no convés existente apenas no computador. Através dessas simulações o pessoal que futuramente será responsável pelas operações aéreas à bordo pôde detectar problemas, efetuar comentários e sugestões acerca do projeto, resultando na incorporação de mudanças, de modo a corrigir as falhas detectadas pelos operadores, anos antes de que qualquer chapa tivesse sido cortada.

O projeto do convôo do "Ronald Reagan" é um exemplo típico de Engenharia Simultânea, já que empregou a simulação, uma poderosa ferramenta, no início do projeto, permitindo a detecção antecipada de falhas e a correção das mesmas. Integrou à equipe de projeto, desde o início, o pessoal que efetivamente operará o sistema (cliente), fazendo com que o projeto atenda efetivamente os requisitos do "cliente".

Maiores avanços na aplicação da simulação e modelagem 3D foram alcançados no projeto do novo navio de desembarque/doca da marinha dos EUA, o LPD 17 "San Antonio", que se encontra em construção (TIBBITTS; KEANE, 1995). Nesse projeto recente (década de 90) foi aplicada a tecnologia *3D Product Model* para todo o navio, tendo sido projetado totalmente em computador.

Foram projetados seis diferentes cascos, para os quais foram efetuadas as análises de resistência ao avanço, comportamento no mar, e produtividade (que pode ser entendida como uma medida de facilidade de construção). Até algum tempo atrás a análise de seis cascos diferentes, para um navio do porte do "San Antonio" era impensável, hoje porém com a tecnologia *3D Product Model*, com a aplicação maciça de simulação e graças ao avanço da capacidade de processamento dos computadores, pode-se analisar várias alternativas, efetuando-se várias iterações, permitindo a avaliação, por meio de simulação, de vários parâmetros, possibilitando que se faça uma escolha com uma grau de confiabilidade bem mais elevado, levando a um ganho enorme em qualidade e economia de recursos (TIBBITTS; KEANE, 1995).

Como exemplo de redução de custo no projeto do "San Antonio", resultante da simulação, pode-se citar o caso dos botes salva-vidas do mesmo. O requisito estabelecido foi que o navio deveria operar apenas três botes e que se procurasse otimizar o projeto de modo a empregar equipamentos de uso comercial, ou seja, sem requisitos militares que sem dúvida alguma encarecem sobremaneira os custos.

Houve emprego de modelos estáticos para condução de análise dos requisitos dimensionais e de arranjo, checagem de interferências e interface com os operadores, e de modelos dinâmicos, em ambiente de realidade virtual, onde pôde ser simulada a operação do sistema de arrastamento e içamento dos botes, efetuada por tripulantes (clientes). A simulação foi conduzida, levando-se em consideração os resultados de

comportamento do navio para uma condição de mar 3, resultante da análise de comportamento do mar anteriormente efetuada (TIBBITS; KEANE, 1995). Após todas as simulações concluiu-se que não havia impedimento para o uso de equipamento projetados originalmente para uso civil, evitando-se deste modo a aplicação das especificações militares que encareceriam as aquisições.

A figura 3.14 apresenta um dos modelos 3D utilizados na simulação.

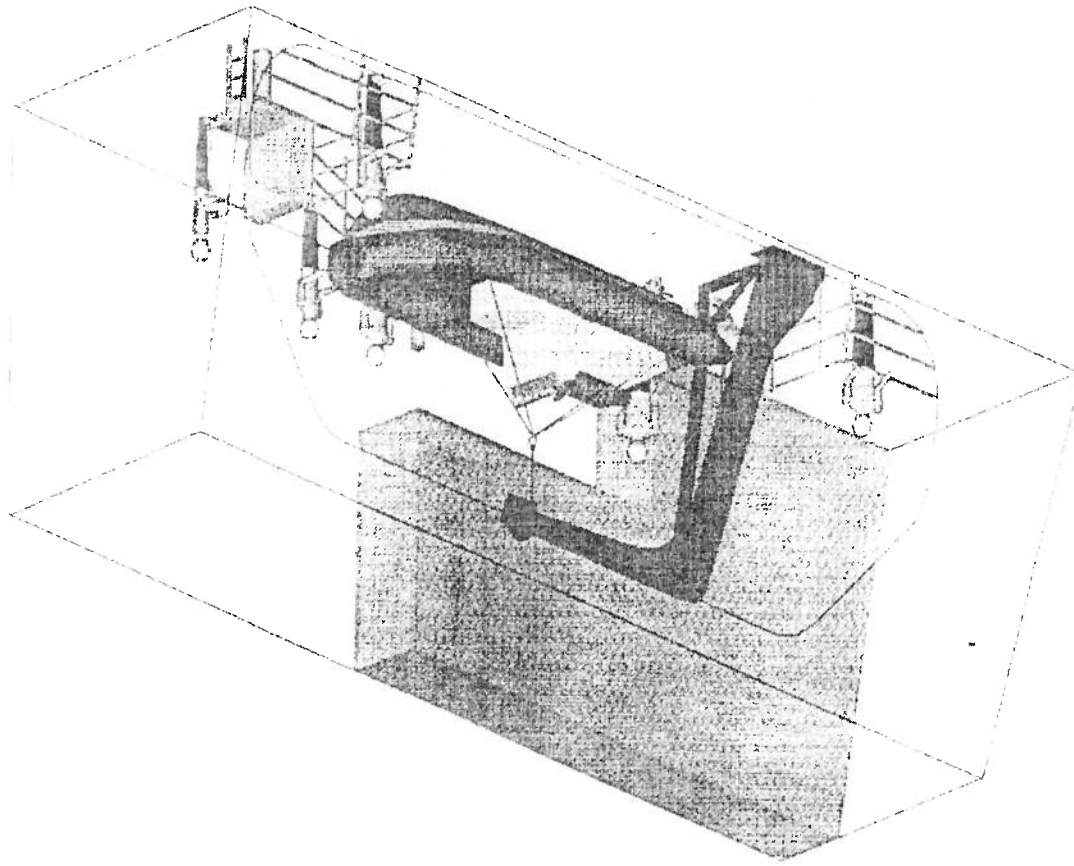


Figura 3.14 - Modelo 3D de um dos botes do LPD 17 "San Antonio"
(TIBBITS; KEANE, 1995)

Os estaleiros na busca do aumento da competitividade, encontram na simulação um meio de avaliar os atuais processos de fabricação e instalações, bem como futuras melhorias, introduções de novos equipamentos e lay-out das oficinas.

Medeiros et al (2000) apresentam um projeto para aplicação em estaleiros, que utilizando a técnica de simulação de evento discreto, técnicas modernas de visualização, e interface com a World Wide Web (WWW), provê um ambiente de simulação para o projeto do processo de fabricação bem como modernização dos já existentes. Neste caso, a área de aplicação foi a simulação do processamento de chapas.

A utilização da WEB como interface facilita, haja vista que permite o processamento distribuído, o acesso remoto, ocorrendo a introdução de dados e recebimento dos resultados via internet. Permite que vários possam utilizar o mesmo software que estaria instalado em um provedor.

O software apresentado por Medeiros et al. (2000) produz gráficos realistas, incluindo componentes modelados em 3D com características cinemáticas, representando uma preocupação com a visualização e com uma simulação o mais próxima possível da realidade, buscando qualidade de apresentação semelhante aos softwares de CAD modernos.

Utilizando-se softwares como esse, no estágio de concepção do projeto do processo de fabricação, consegue-se rápida avaliação da capacidade de produção das várias alternativas de configurações, escolhas de equipamentos e condições de operação do estaleiro. Com isso pode-se analisar muito mais alternativas e com maior confiabilidade, sempre com o envolvimento do pessoal de produção, de um modo que permita a inserção de suas opiniões, resultando geralmente em economia de grande vulto.

3.2.2 3D Product Modeling

Segundo Baun; Ramakrishnan (1997) a indústria naval tem usado as tecnologias CAD/CAM desde os anos 70. Desde então, a tecnologia CAD tem evoluído, passando da modelagem 2D para a ferramenta de modelagem sólida 3D. com o advento desta última tecnologia, houve um substancial progresso no sentido de prover a tecnologia CAD/CAM à indústria naval.

“O 3D *Product Model* é uma extensão da tecnologia de modelagem 3D que contém não só a geometria 3D, mas também relações associativas e paramétricas,

assim como uma série de informações não relacionadas à geometria” (BAUM; RAMAKRISHNAN, 1997).

O 3D Product Model provê os dados técnicos e logísticos necessários para descrever e suportar todo o projeto/construção do sistema naval. O 3D Product Model funciona como principal veículo de informação para o projeto do sistema bem como para a produção, assim como funciona como integrador para os dados logísticos e aqueles relacionados ao ciclo de vida do sistema.

O cerne do conceito da Engenharia Simultânea é o acesso, em tempo real, à informação, que deve ser compartilhada, por todos os agentes envolvidos no projeto. O 3D Product Model funcionando como repositório de todas as informações relacionadas ao projeto do sistema, bem como à produção do mesmo, é a tecnologia que permite a efetiva implantação e operacionalização da filosofia da Engenharia Simultânea.

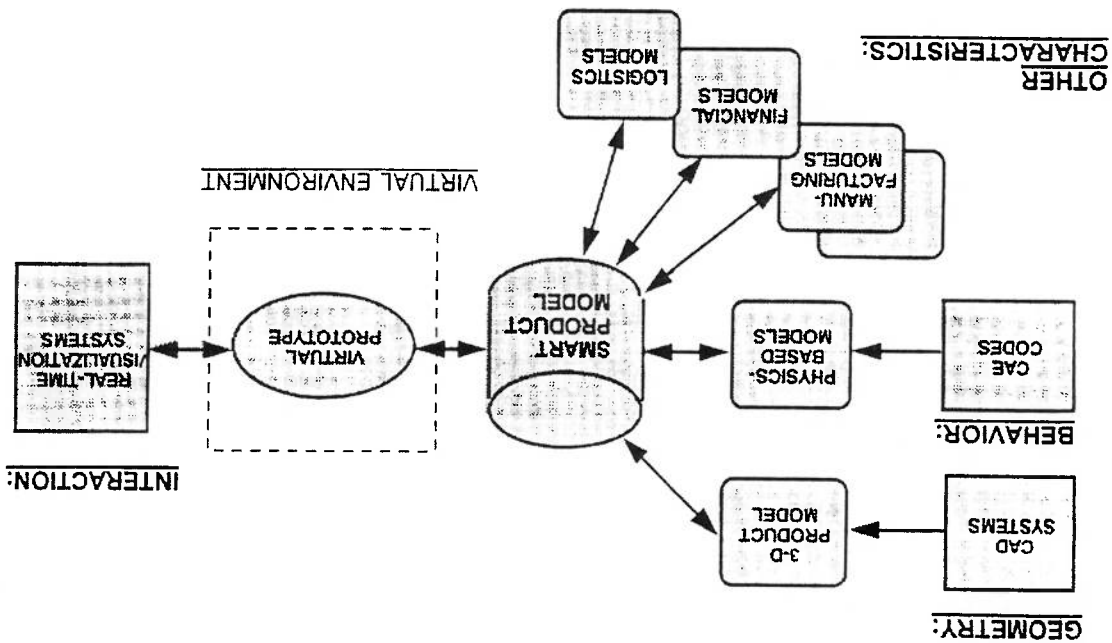
O 3D Product Model contém informações geométricas e não-geométricas. As informações não-geométricas incluem características dos objetos modelados tais como pesos, material, análises de dados, relações associativas entre vários objetivos, informações relacionadas à produção, e informações relacionadas à operação e manutenção. Este tipo de informação (não-geométrica) é mais facilmente armazenada e mantida em um “*relational database system*”, ou seja um banco de dados que mantém estreita relação (link) com o banco de dados (*database*) dos objetos aos quais se referem (BAUM; RAMAKRISHNAN, 1997).

As informações geométricas do modelo incluem a definição dos objetos em termos de sólidos 3D bem como de superfícies, e são gerados através de entradas diretas dos usuários ou por meio de parametrização. A capacidade de associação de objetos é uma característica dos 3D Product Model bastante útil para o projeto. A característica de associação mantém links entre vários objetos, de modo que alterações efetuadas em um objeto se refletem automaticamente em todos os outros objetos associados, reduzindo deste modo o tempo necessário de *update* do sistema que está sendo projetado e assegurando consistência ao longo de todo o projeto (BAUM; RAMAKRISHNAN, 1997).

O *Product Model* é a integração de informações geométricas do modelo 3D e de informações não-geométricas conforme mostrado na figura 3.15.

Conforme o projeto do sistema avança, informações são acrescentadas ao *Product Model* tais como planejamento da construção, desenvolvimento das formas do casco, compartimentagem, dados estruturais, *outfitting*, projeto detalhado e diversas análises que são conduzidas. O modelo permite que as equipes multifuncionais de projeto "vejam" o projeto de diferentes perspectivas, dependendo do contexto. Por exemplo, os eletricitistas estão interessados nas características elétricas do sistema, enquanto que os engenheiros de estruturas se detêm nas propriedades estruturais do meio, os responsáveis pela estabilidade, que tem especial interesse na análise de pesos e centros se detêm nas propriedades de massa de todo o sistema. (BAUM; RAMAKRISHNAN, 1997).

Figura 3.15 - O 3D Product Model e suas interfaces (TIBBITS; KEANE, 1995)



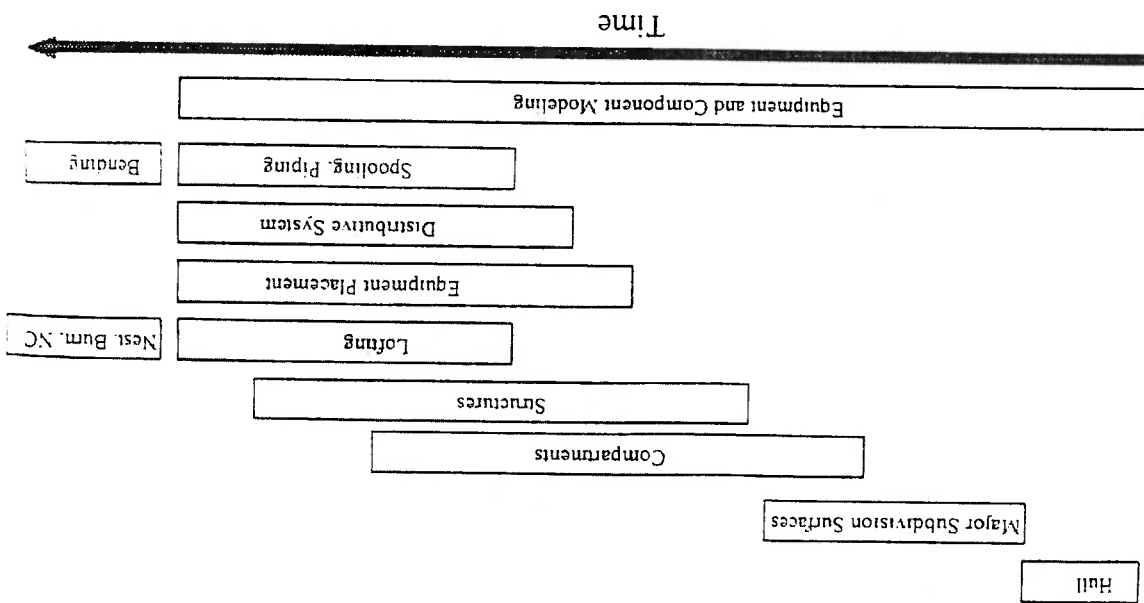
As características de permitir parametrização e associação (relacionamento) de objetos provê facilidade de se efetuar simulações de projeto (tipo *what-if*), tornando viável a análise de uma grande quantidade de alternativas, em curto espaço de tempo. Estas alternativas, incluem alterações de arranjo, mudando-se o posicionamento de equipamento, ou substituição dos mesmos, alterações do arranjo estrutural, de compartimentação ou ainda alterações de projetos de sistemas existentes, que são então aplicados no projeto de novos sistemas. Qualquer alteração ou introdução de novos objetos que é efetuada, desencadeia uma série de verificações que são executadas automaticamente pelo modelo, como verificação de interferência, de pesos e centros etc. (BAUM; RAMAKRISHNAN, 1997).

Como citado anteriormente, o *Product Model* permite a aplicação da filosofia da Engenharia Simultânea. A figura 3.16 ilustra o desenvolvimento do projeto usando a tecnologia *3D Product Modeling*. Uma vez que o projeto preliminar das formas do casco e a compartimentação estejam completos, os projetistas podem iniciar simultaneamente o projeto estrutural e o arranjo de equipamentos já existentes na biblioteca de componentes. A modelagem de equipamentos e componentes pode ser iniciada no “*start up*” do projeto, coincidindo com o início dos estudos da forma do casco e continua ao longo do projeto. Sistemas distribuídos, como sistema de ventilação e ar condicionado, sistemas elétricos, sistema de água doce e salgada, sistema de esgoto, sistema de tratamento de águas servidas, sistema de óleo combustível e lubrificante, sistema de água de resfriamento, sistemas hidráulicos, sistema de comunicações interna, sistema de armas, etc., podem ter os seus projetos iniciados tão logo se conclua a construção dos diagramas de processo e instrumentação, iniciando um pouco depois do cálculo estrutural e arranjo geral (BAUM; RAMAKRISHNAN, 1997).

Além de prover inestimável facilidade e flexibilidade no projeto de engenharia, no que concerne ao desenvolvimento do sistema, o *Product Model* é também fundamental no projeto do processo de fabricação e na produção de informações para fabricação dos componentes.

Sem o uso do *Product Model*, os desenhos em 2D são a fonte normal para a extração das informações necessárias à produção, que antes de sua utilização final, no processo de fabricação, ainda são, em geral, reformataadas. Consideráveis oportunidades para erros surgem nas transferências de dados de uma fonte para outra, bem como no tratamento das informações para utilização na produção. Necessidades de retrabalho em peças já fabricadas, ou perdas das mesmas, bem como a necessidade de constantes verificações de conformidade encarecerem o processo produtivo além de torná-lo lento. Com o *Product Model*, a informação introduzida no modelo pelos projetistas é eletronicamente enviada ao chão de fábrica sob a forma de um pacote que pode conter o planejamento do processo, elaborado através da

Figura 3.16 – Fluxo de Projeto usando 3D Product Model (BAUM RAMAKRISHNAN, 1997)



ferramenta CAP, o modelo da parte a ser produzida, o *setup* das máquinas, informação sobre o material e instruções para as máquinas CNC (BAUM et al, 1998) (BAUM; RAMAKRSHINAN, 1997).

As interfaces do *Product Model* com sistemas automatizados no chão de fábrica, através do CAP, permitem automação no corte de chapas, na dobragem de tubulação, na soldagem de chapas e tubos, além de usinagem de peças complexas.

O programa das Corvetas da Classe Sa'ar 5 (Classe "Eilat"), construídas para a Marinha de Israel, representou um marco no emprego da Engenharia Simultânea e na utilização de *Product Models* em projetos de alta complexidade. Os três navios encomendados pela Marinha Israelense ao Estaleiro Litton Ingalls Shipbuilding, dos EUA, no início da década de 80, teve o primeiro navio lançado em 1993. Pela primeira vez um navio de guerra, de alta complexidade, foi inteiramente projetado em 3D, utilizando-se já algumas das características dos 3D *Product Models* (LINDGREN et al, 1992). Embora Lindgren et al (1992) relate grandes avanços conseguidos no projeto e na construção dos navios devido ao uso da tecnologia *Product Model*, que neste projeto já suportou interface com o chão de fábrica para fabricação de componentes, o programa não contou ainda à época com a integração do modelo em 3D com softwares de CAE, notadamente para cálculo estrutural, cálculo de escoamento e tensão em tubulações. Além de não ter havido também a utilização do modelo 3D para controle de peso, e principalmente o programa não proveu interface para simulação operacional e nem para "*walkthrough*".

O primeiro projeto de um navio de superfície, de grande porte e complexidade, a usar em sua plenitude todos os recursos de um *Product Model*, inclusive simulação, foi o projeto do navio de Desembarque/Doca "San Antônio" da Marinha dos EUA. A figura 3.17 apresenta o perfil do navio e suas características principais.

O projeto do "San Antonio" (LPD 17) empregou os princípios da Engenharia Simultânea (PPD) desde o início. Com isso, a participação no projeto, de membros da Marinha Americana, ocorreu em larga escala e desde o início, sendo mantido ao longo do desenvolvimento do mesmo (KING, 2000).

Essa participação do "cliente" desde o início e durante o desenvolvimento de todo o projeto trouxe como benefícios (KING, 2000) :

- Redução de custos devido a possíveis mudanças à posteriori;
- Certeza de que o navio/sistemas será entregue pronto para operar; e
- Inexistência de surpresas quando do comissionamento do navio.

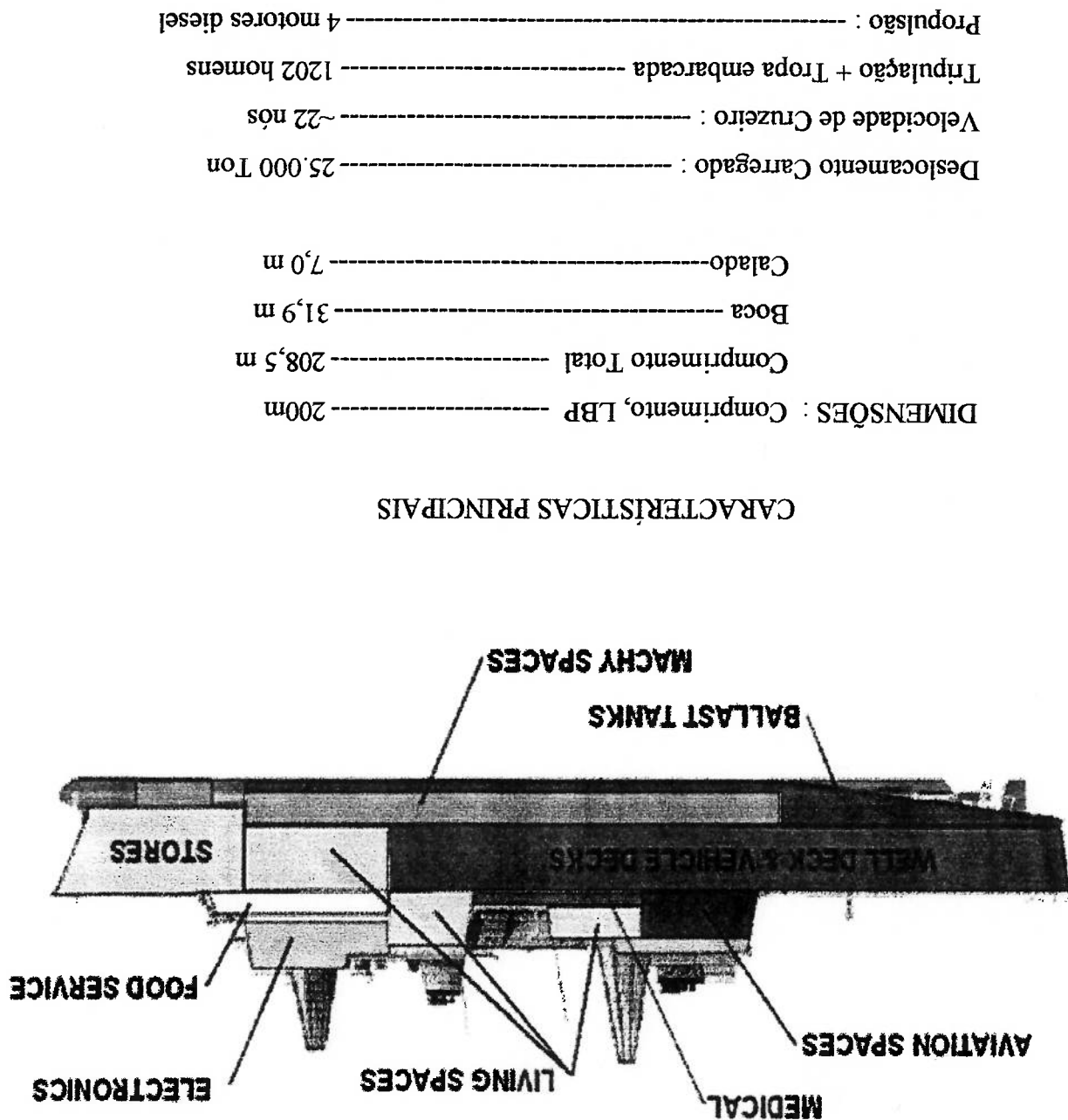
Essa participação efetiva e permanente do “cliente” foi possível graças à aplicação da tecnologia 3D Product Model. Formou-se uma tripulação virtual (“*virtual crew*”) que “embarcava virtualmente” no navio através de sessões de “*walkthrough*” e efetuava verificações no arranjo (KING, 2000).

As sessões de “*walkthrough*” não exigiam que todos os participantes das mesmas estivessem fisicamente na University of New Orleans/Avondale Maritime Technical Center of Excellence, onde os membros da equipe de projeto estavam sediados (“colocated”). As mesmas ocorriam através de vídeo-conferência, permitindo que pessoas localizadas em vários pontos dos E.U.A participassem ativamente, analisando, discutindo e sugerindo alterações.

O 3D *Product Model* é o repositório único de todas as informações acerca do projeto, porém no pano de fundo de todo esse processo de centralizar informações atualizadas sobre o projeto e detalhamento da construção e provê-las aos agentes empenhados no projeto, está um software do tipo PDM (Product Data Management). Controlando todo o fluxo de informações, mantendo controle de acesso ao modelo, mantendo o controle das versões, permitindo que vários aplicativos “conversem” entre si, notificando por e-mail aos agentes interessados alterações de projeto, mantendo-os “municiados” com informações.

A ferramenta PDM (Product Data Management), abordada em detalhe no capítulo 2 deste trabalho, é segundo Gascoigne (2000) essencial para o sucesso da implantação da Engenharia Simultânea.

Figura 3.17 – Arranjo Geral e Características Principais do LPD 17 “San Antonio” (LPD-17 SAN ANTONIO-class-Navy SHIPS, 2002)



Conversão de Dados

O product model, conforme foi citado anteriormente, reúne informações geométricas e não-geométricas, que podem ter origens nos vários parceiros de projeto.

É comum no caso de grandes projetos, principalmente quando se emprega a tecnologia de construção modular, que mais de um estaleiro participe do projeto e até mesmo da construção, sendo um deles o responsável pela integração do projeto e pela união dos blocos, quando empregada a construção modular.

Assim sendo, é comum que os projetistas não utilizem os mesmos aplicativos, que por sua vez podem vir a gerar arquivos de formatos diferentes. Estes arquivos quando são transportados de um aplicativo para outro, sendo de formatos diferentes, devem sofrer conversão de formatos.

Para que esse problema fosse resolvido a Organization for International Standards (ISO) criou o STEP (Standard for the Exchange of Product model data). O STEP (ISO 10303) é um padrão internacional neutro de representação e troca de dados do produto, cujo objetivo é fornecer um mecanismo neutro, capaz de descrever os dados do produto durante o desenvolvimento, bem como ao longo do seu ciclo de vida, independente do tipo de sistemas (BENTHALL, L. et al., 2002).

A utilização do STEP permitirá aos sistemas PDM (*Product Data Management*) gerenciarem melhor todas as informações relativas ao ciclo de vida do produto, além de permitir a esses sistemas funcionarem como elementos de troca e distribuição de dados (DICKERSON, 1996 apud OMOKAWA, 1999).

A indústria naval internacional está participando no desenvolvimento do STEP, através de representantes dos E.U.A, Europa, Japão e China, a fim de assegurar que dados dos *product models* ou partes dos mesmos possam ser trocados e distribuídos entre sistemas de CAD, de modo a suportar o desenvolvimento de projetos de sistemas navais em ambientes colaborativos, utilizando-se das mais modernas tecnologias da informática.

A figura 3.18 exemplifica como ocorre, em um ambiente colaborativo, a troca eletrônica de dados e de desenhos em um projeto naval.

O princípio de intercâmbio de dados STEP é descrito na figura 3.19. A troca de dados entre sistemas diferentes é feita por um arquivo neutro especificado de acordo com o padrão STEP. A conversão dos dados de produto do formato proprietário de um sistema para o arquivo neutro, e vice-versa, é feita por tradutores “*translators*” (pré e pós-processadores) (ZANCU, 2000).

A norma STEP, quando totalmente concluída, trabalhará em conjunto com a norma ISO 13584, Parts Library (PLIB). Esta norma, já existente, estabeleceu um padrão neutro para a troca de catálogos digitais de equipamentos e de bibliotecas de componentes entre fornecedores e usuários, entre usuários diferentes e entre bibliotecas de componentes de um usuário e um sistema de CAD.

(USASHIPBUILDING, 2003).

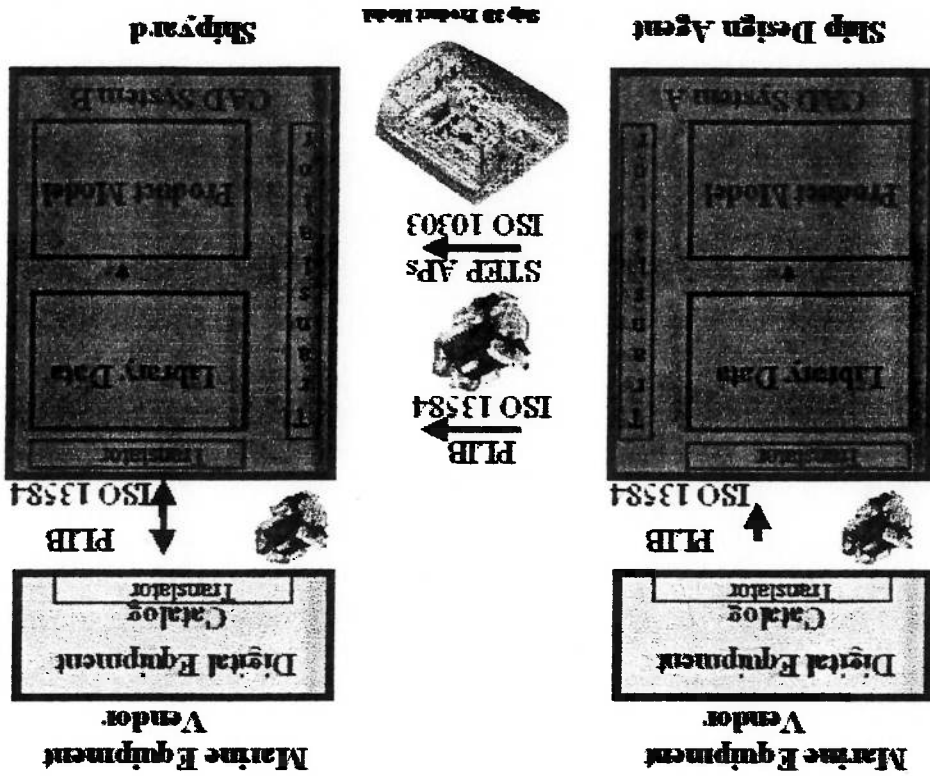


Figura 3.18 – Troca de dados do 3D Product Model (USASHIPBUILDING, 2003)

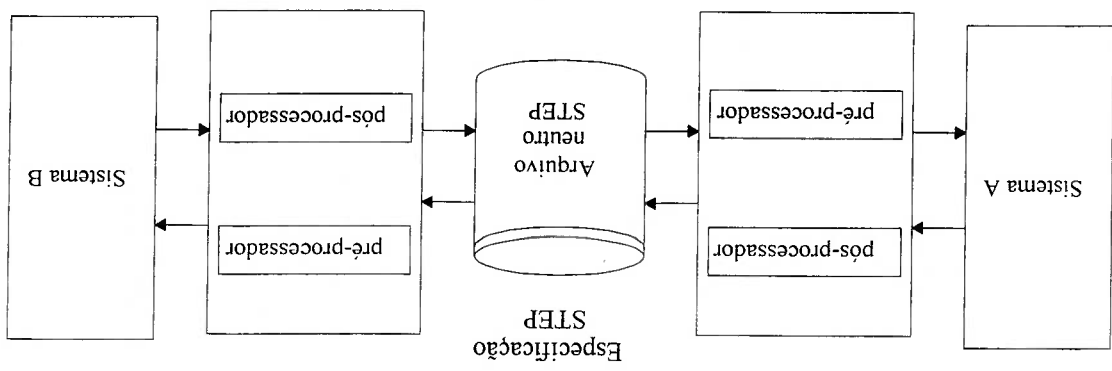


Figura 3.19 – Princípio de troca de dados STEP (ZANCUL, 2000)

4 O EMPREGO DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA NO PROGRAMA DA NOVA CLASSE DE SUBMARINOS NUCLEARES DE ATAQUE DOS E.U.A (CLASSE "VIRGÍNIA") : UM ESTUDO DE CASO

4.1 Introdução

No início dos anos 90, com o pós guerra-fria, a Marinha dos E.U.A iniciou um processo de redução da sua força de submarinos, com a retirada de serviço ("baixa") de antigas classes, principalmente de submarinos da Classe 688, que formavam a espinha dorsal da força de submarinos de ataque. O custo de manutenção e modernização desses submarinos tornou-os proibitivos. Para tal, foi iniciada a construção de uma nova classe de submarinos, Classe "Seawolf", da qual planejava-se construir um total de 29 unidades. Porém, devido a cortes orçamentários, o Departamento de Defesa decidiu que seria concluído apenas o "Seawolf", considerado de custo muito elevado, e que já estava em construção pelo Electric Boat. Mais tarde foi decidido que seriam construídos três submarinos da classe "Seawolf", de modo a servir como uma ponte para o programa de uma nova classe (WINNER, 2002); (WINNER, 2000).

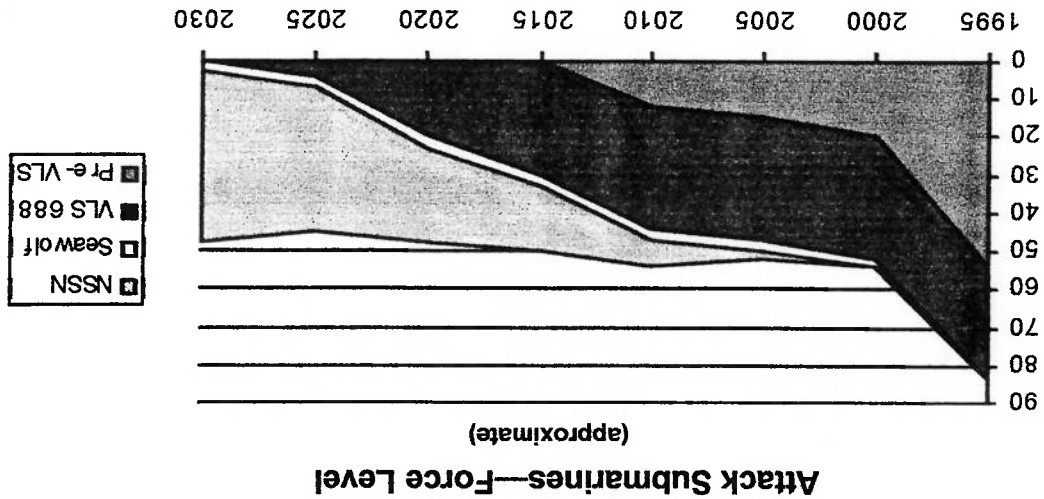
De modo a suprir a lacuna que se formaria com a retirada de operação dos antigos submarinos, e sem a construção do número previsto de submarinos da classe "Seawolf" a marinha necessitava de uma nova classe que se enquadrasse no novo orçamento (WINNER, 2000).

Segundo Winner (2002) o programa da nova classe de submarinos nucleares de ataque, Classe "Virgínia", objetiva prover um sistema que seja efetivo no cumprimento de uma série de missões, através da preservação dos principais requisitos operacionais do "Seawolf", especialmente o requisito relativo a dificuldade do mesmo em ser detectado, por meio do emprego do "estado da arte" da tecnologia "stealth" (que significa ser de difícil detecção, furtivo), mas principalmente que tenha seus custos reduzidos, tornando-o viável economicamente ("affordable"). Segundo Poitras (1997), a meta de custo para a classe "Virgínia" é de que os navios tenham custo igual ou menor do que a classe 688I, anterior ao

Como resultado dessa necessidade a Marinha pesquisou e buscou, junto aos estaleiros, novos conceitos que possibilitassem redução de custos, inclusive na construção e ao longo do ciclo de vida do meio. Decidiu-se então que a aplicação dos conceitos da Engenharia Simultânea, ou *Integrated Product and Process Development* (IPPD), seria crucial para o sucesso do programa.

A Electric Boat Corporation foi selecionada pela Marinha para liderar um esforço da indústria americana no sentido do cumprimento da tarefa. A empresa, devido a redução de encomendas de submarinos por parte da Marinha, já estava buscando meios de reduzir os custos de *overhead* e infraestrutura, buscando assim se adaptar aos novos tempos, tornando-se mais eficiente. No período 1992-1997 a força de trabalho, que era de 10.600 homens sofreu uma redução de 65%.

Figura 4.1 - Projeção da Força de Submarinos 1995-2030 (WINNER, 2000)



"Seawolf". A Fig. 4.1 mostra a projeção para a composição e número de submarinos de ataque, onde a sigla NSSN simboliza a Classe "Virginia" ("Nova Classe").

4.2 As Dimensões da tarefa

Para se entender o tamanho da empreitada e o escopo que envolve o programa do “Virginia”, deve-se ter um mínimo de conhecimento da escala de dificuldade atinente a um projeto como este e alguns dos avanços que foram incorporados no programa.

O projeto e construção de um submarino nuclear está dentro os mais complexos programas de desenvolvimento, sejam militares ou não, já levados à cabo pelo homem. O esforço do “Virginia” incluiu mais de 18 milhões de homens-hora (HH) e custo de mais de \$1.4 bilhões de dólares para o projeto da plataforma, aos quais devem ser somados ainda custos relativos aos esforços de pesquisa e desenvolvimento, propulsão, armamento, C³I (Comando, Controle, Comunicações, Inteligência) e outros equipamentos. A construção consome mais de 10 milhões de homens-hora (WINNER, 2002).

O programa tem feito uso de mais de 2.640 fornecedores localizados em 46 estados americanos. A Tabela II mostra uma comparação da magnitude de vários programas.

O número de horas, custos de HH, peso, sub-contratados, dentre outros, expressam apenas uma parte da dificuldade de se construir submarinos nucleares de alta performance, seguros, de custo aceitável (“affordable”). Por exemplo, um dos requisitos que mais influencia o custo para submarinos é o “*stealth*”, e a Classe “Virginia” possui requisitos de assinatura de ruído extremamente baixos, comparáveis ao “Seawolf”. O “Virginia” à velocidade máxima será, em geral, mais silencioso do que o ruído de fundo do oceano. Desta maneira, o requisito “*stealth*” não estava aberto à análise de custo/benefício no programa do “Virginia”, enquanto outros requisitos estavam. É importante que se entenda que para alcançar valores de custo aceitáveis alguns requisitos de performance devem estar abertos à análise de custo/benefício, como ocorreu com o “Virginia”. Se alta performance em todos os requisitos resultar em sistemas de custos proibitivos, haverá o risco de cancelamento prematuro do programa. A preocupação com o custo deve estar enraizada na cultura da organização. Toda decisão afetando qualquer fase do ciclo de vida de um submarino deve levar em consideração os custos resultantes. Todos os participantes

do projeto devem continuamente monitorar, reportar e controlar custos (WINNER, 2002).

Tabela II – Comparação entre Projetos (WINNER, 2002)

M-1 Battle Tank	Boeing 777 Airliner	"VIRGINIA" Class Nuclear Attack Submarine	
Weight (T)	65	250	7800
Length (Ft)	25	200	377
Number Systems	25	40	200
Crew Size	4	10 (2 pilots)	113
Patrol Duration (Hr)	24	8-14	2.000
Number of Parts to Assemble	14,000	100,000	1.000.000
Assembly Man-hours/Unit	5,500	50,000	>10,000,000
Production Time (Mo)	7.5	14	55
Production Rate (Units/Yr.)	600	72	0.5-3

Segundo Winner (2002), o projeto do "Virgínia" prevê que o mesmo seja reconfigurado para suportar uma variedade de mísseis e de armamento. O submarino poderá carregar torpedos, mísseis, veículos submarinos tripulados e não-tripulados e Forças de Operações Especiais.

O sistema C³I do "Virgínia" proverá um fluxo e integração de informações, sem precedentes, para o centro de comando e controle. Através de uma rede de dados, táticos e não-táticos, que trabalhará em Modo Assíncrono de Transferência de dados, serão conectados 23 diferentes subsistemas (WINNER, 2002).

O sistema de controle do navio integra tecnologias avançadas, como a tecnologia "fly-by-wire";

Futuros "upgrades" já foram levados em consideração no projeto, o que os tornará menos custosos.

Os avanços conseguidos no projeto, permitiram uma redução de 15% da tripulação (20 homens) sem perda na eficiência em combate.

O cumprimento dos requisitos e os avanços alcançados no projeto contribuíram sobremaneira para tornar a tarefa de projetar e construir um sistema tão complexo, ainda mais dentro de rígido requisito de custo (ser bem menos custoso que o "Seawolf"), ainda mais difícil.

4.3 Porque o estaleiro propôs a Engenharia Simultânea (IPPD)

Segundo Winner (2000) e Winner (2002) a idéia de aplicar a Engenharia Simultânea (IPPD) ao projeto do "Virgínia" partiu do Electric Boat, que foi selecionado como principal responsável pelo programa. Porém o estaleiro trabalhou em conjunto com a Marinha Americana na implantação da filosofia.

Segundo Winner (2002) um fator crítico de sucesso para a implantação do IPPD é a motivação e apoio dos líderes das organizações envolvidas na implementação das mudanças requeridas. No caso do programa do "Virgínia", as realidades do pós-guerra fria, que levaram à reduções de orçamentos, proveram substancial motivação para o estaleiro e para a Marinha Americana. O programa de submarinos, e portanto a capacidade americana de projetar e construir submarinos nucleares, assim como a própria existência do estaleiro estavam em perigo, à menos

que uma radical redução de custos e por conseguinte uma radical mudança de filosofia ocorresse.

O Electric Boat decidiu que deveria se reestruturar para baixos níveis de encomenda, buscando um reposicionamento que possibilitasse um crescimento futuro. Como parte da reestruturação, os processos de produção e de projeto sofreram mudanças. Houve redução e incremento na flexibilidade da força de trabalho e um reposicionamento do foco na redução de custos, de modo a tornar os seus produtos viáveis economicamente “*affordable*”. A Engenharia Simultânea foi de importância central neste reposicionamento de foco do estaleiro, bem como da própria Marinha (WINNER, 2000).

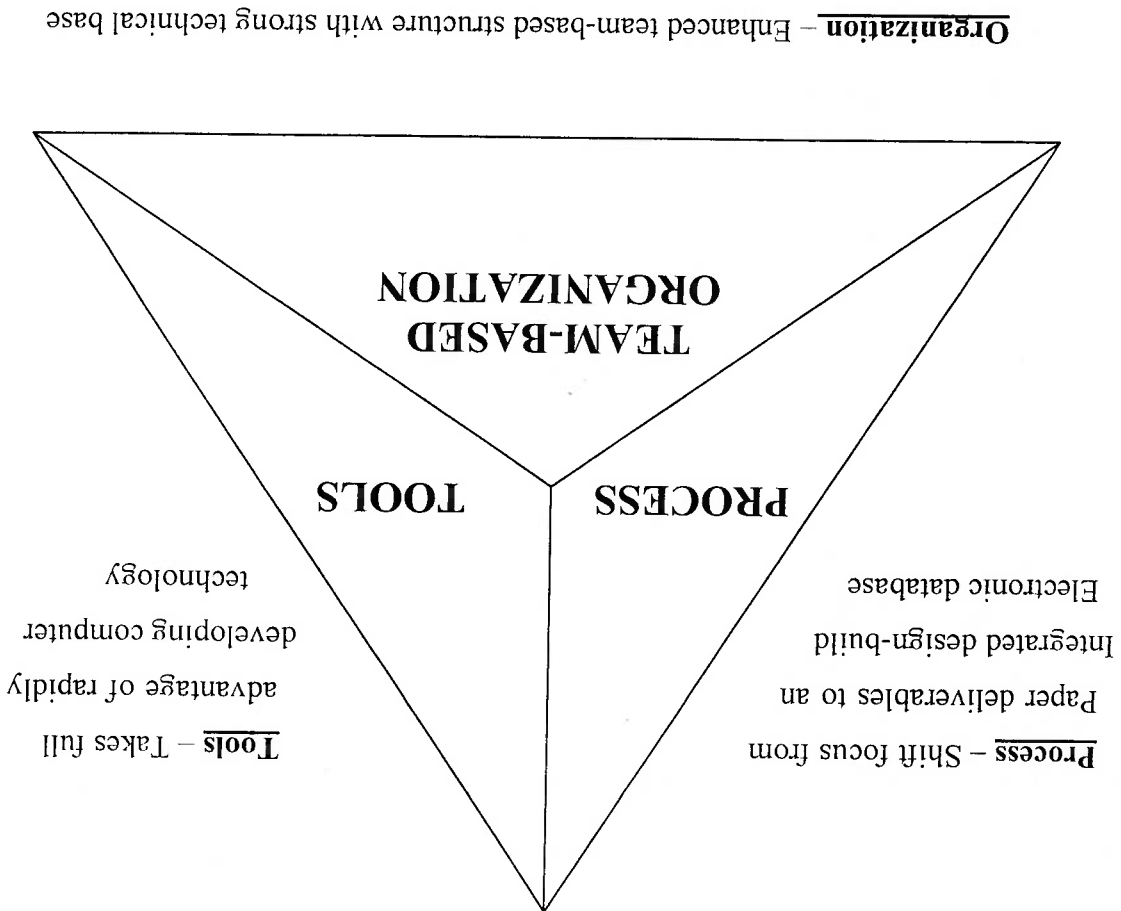
Segundo Winner (2002), muitas companhias buscam primeiramente atacar o fator custo em seus processos de fabricação, porque lhes é vendido que a maior parcela do custo ocorre durante a construção ou manufatura. Outras companhias ouvem os benefícios das novas tecnologias da informação e partem para automatizar os seus processos. Algumas, ainda combinam as duas linhas, mas com sucesso limitado.

O Electric Boat reconheceu que os custos de construção e de operação são quase totalmente determinados durante o desenvolvimento (WINNER, 2002). O estaleiro decidiu-se por uma abordagem que consistiu em desenvolver os processos mais eficientes e escolher as melhores ferramentas para suportá-los. Esta abordagem requer que a alta direção, os gerentes da área técnica, e os gerentes de “*business*” estejam todos de acordo que, apesar do aparente risco na implementação das mudanças, esta é a melhor e única saída. O estaleiro chegou então a um modelo para Engenharia Simultânea baseado nos processos, ferramentas, e em uma organização baseada em times (equipes), conforme mostrado na figura 4.2 (WINNER, 2002).

Um fator crítico de sucesso para o programa do “Virginia” foi o apoio que a Marinha Americana deu ao estaleiro em seu esforço de mudança de cultura e processos. No período 1989-1990 o Departamento de Defesa americano já havia tido contato com a Engenharia Simultânea/PPD e concordado fundamentalmente com os seus conceitos, quando de estudos no sentido de tornar os reatores nucleares de propulsão mais baratos (WINNER et al. , 1988). Deste modo, quando a Electric Boat propôs uma abordagem para implantar o IPPD, a Marinha estava preparada, como parceira na implantação, a cumprir as etapas necessárias ao sucesso. A Marinha reconheceu a iniciativa do Electric Boat como crítica ao sucesso do programa.

4.4 Apoio da Marinha às mudanças

Figura 4.2 - Três Elementos Chaves para a mudança (WINNER, 2002)



Segundo Winner (2002), fica claro que implementar a Engenharia Simultânea, em projetos como esse, requer intensa participação e comprometimento do governo. O Electric Boat concordou que se o governo não tivesse questionado as suas próprias práticas, não teria ocorrido sucesso no programa do “Virgínia”.

Segundo Winner (2002), o governo (cliente) e o estaleiro devem decidir juntos se a Engenharia Simultânea (IPPD) é realmente o meio para desenvolver o novo sistema e devem claramente compreender o escopo do trabalho de cada parte. Então ambos os lados devem tomar ações visíveis no sentido de implementar as mudanças necessárias nas áreas organizacional, organizacional e no ambiente. Mudanças ambientais, segundo Winner (2002), incluem a quebra de barreiras culturais, a disposição de transferir pessoas que não quiserem se adaptar às mesmas e ainda líderes experientes e pessoal chave dentro de cada organização, governo (cliente) e estaleiro, devem adotar a nova abordagem.

4.5 Engenharia Simultânea: etapas da implementação

Para atingir as metas de custo, performance, qualidade, e cronograma, a Marinha e o estaleiro tiveram que cumprir etapas fundamentais.

4.5.1 Etapa 1: Aprender com outras implementações de IPPD (Benchmarking)

Segundo Winner (2002) equipes da Marinha e do estaleiro visitaram vários projetos: o projeto do bombardeiro B-2 da Northrop-Grumman, o projeto do Boeing 777, o projeto do caça de superioridade aérea F-22 “Raptor” da Lockheed Martin e repartições da USAF (“U.S Air Force”). Foram coletadas lições de todos esses programas.

Por exemplo, a Marinha aprendeu junto à Boeing sobre experiências na estrutura dos times, responsabilidade, perfil de investimentos necessários no início do projeto, integração de cronogramas, uso em larga escala da tecnologia CAD-3D em projetos, barreiras organizacionais à implantação do IPPD, e benefícios da implantação. Do projeto do F-22, as pessoas entenderam que o governo (cliente) deve espelhar a empresa selecionada para executar o projeto, ou seja, deve

principalmente adotar a mesma estrutura organizacional do contratado, as relações governo/contratada quanto à *collocation* e comunicação puderam ser observadas, exemplos de especificações de alta-performance, autonomia das equipes (*“team empowerment”*), métricas usadas para acompanhar o projeto, a importância do envolvimento do usuário final, o uso da modelagem e simulação, e análises de performance/custo (WINNER, 2000); (WINNER, 2002).

A observação do programa do F-22 levou à conclusão, por parte da Marinha, que a implementação do IPPD conduz a benefícios não só de redução do ciclo de desenvolvimento mas também à redução dos problemas durante a construção e ao longo do ciclo de vida do produto.

4.5.2 Etapa 2: O Comprometimento da alta direção

Segundo Winner, 2002, a alta administração do Electric Boat comprometeu-se com a implantação do IPPD no início dos anos 90. A concepção das operações, no ambiente do IPPD, foram baseadas nos seguintes pontos:

- Uma *“build strategy”* deveria ser considerada no projeto;
- Desenvolvimento em paralelo, o máximo possível, do produto e processo;
- Forte apoio à utilização de equipes multi-disciplinares (*“cross-functional teams”*) no desenvolvimento dos produtos e processos, envolvendo todas as áreas do estaleiro relacionadas ao projeto, os clientes e fornecedores;
- Integração das ferramentas eletrônicas ao processo;
- O programa deveria se basear em um cronograma *“master”* integrado e deveria ser criado um banco de dados único reunindo informações do produto e do processo;
- Definição de métricas e de um plano de gerenciamento de risco.

O Electric Boat buscava garantir que o projeto estaria completo, e o material disponível antes da construção ter início. Isto envolveria os seguintes objetivos:

(1) Os desenhos deveriam estar concluídos 58 semanas antes de serem usados na construção;

(2) Aumentar o escopo do projeto de modo a incluir questões que antes só eram levadas em consideração durante a construção;

(3) Todas as informações relacionadas a cada desenho deveriam ser emitidas junto com o mesmo, como por exemplo, as informações relacionadas à dobragem de tubos, bem como os detalhes de suporte eram emitidas junto com os desenhos originais; e

(4) O material para a construção deveria estar disponível 12 semanas antes do início.

Estes objetivos estavam em contraste com as práticas anteriores do estaleiro e da indústria de submarinos em geral.

Adicionalmente, para o programa do "Virgínia" foram estabelecidas as seguintes metas: (1) Incrementar a percentagem de modularidade na construção de 75 para 95%; (2) Alcançar já no primeiro navio resultados anteriormente alcançados no terceiro navio da classe, e reduzir o custo de construção em pelo menos 40% comparado com classes anteriores, (3) reduzir o número e o custo de alterações identificadas pelo estaleiro durante a construção, e (4) Efetuar os testes necessários, tanto quanto, possível fora do casco.

O envolvimento do usuário final também foi fortemente incentivado. A Marinha efetuava revisões específicas no arranjo semanalmente, com revisões gerais trimestrais. O pessoal da esquadra e o pessoal das bases de apoio, encarregados da execução das futuras manutenções, também efetuavam frequentemente revisões no projeto. A Marinha e o Electric Boat reportaram que a participação do pessoal operativo da força de submarinos durante o desenvolvimento do projeto e a maior integração e participação dos gerentes da Marinha durante todo o projeto trouxeram grandes benefícios para o sucesso do programa.

4.5.3 Etapa 3 : Cumprimento à nova sequência de projeto/construção

Levando os fatores anteriores em consideração, o Electric Boat e a Marinha mudaram a sequência de aquisição do "Virgínia". Esta mudança é mostrada comparando-se as figuras 4.3 e 4.4 (WINNER, 2002); (WINNER, 2000).

Segundo Winner (2002) o processo tradicional, sequencial, revela-se uma fonte de riscos para o projeto. Fonte de elevação de custos e de atrasos na construção, uma vez que é grande a probabilidade de haver detecção de erros em estágios avançados do projeto, e até mesmo na construção, levando-se a retornar a etapas anteriores para execução de reprojotos.

Figura 4.4 - Sequência de Aquisição com Engenharia Simultânea (WINNER, 2000)

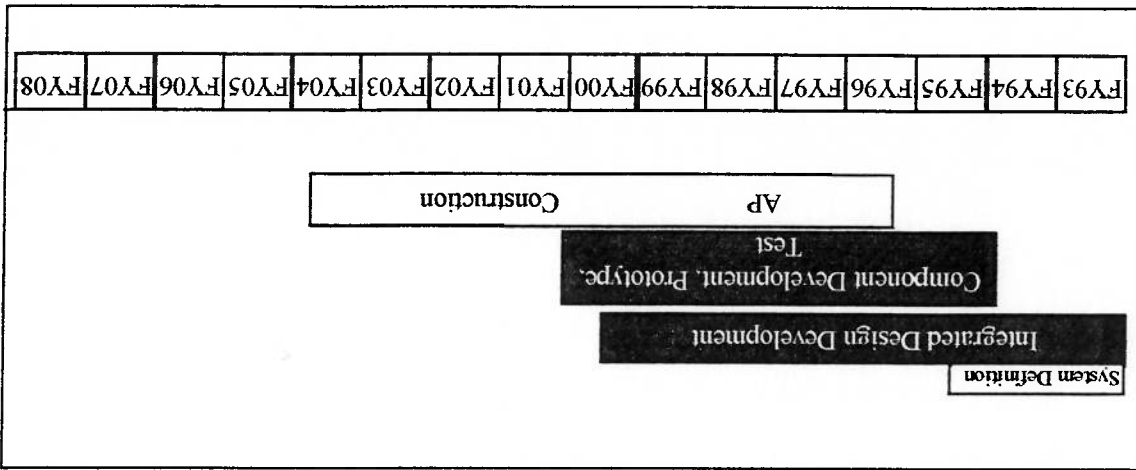
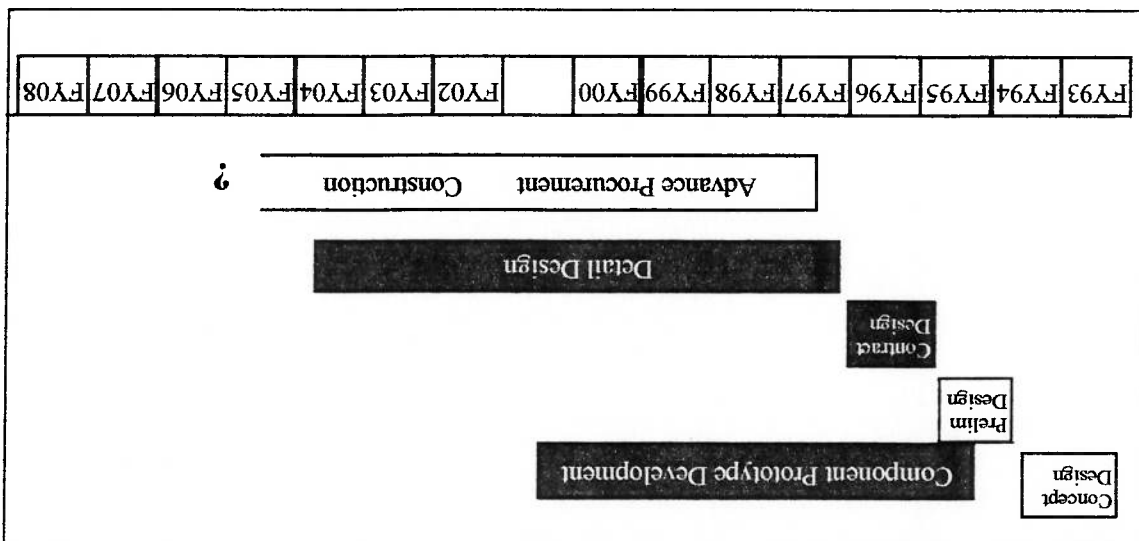


Figura 4.3 - Sequência Tradicional de Aquisição (WINNER, 2000)



Com a aplicação do IPPD, processo representado na figura 4.4, o projeto do produto e do processo foram conduzidos de maneira integrada, utilizando-se das ferramentas da Engenharia Simultânea, dentre elas a técnica *3D Product Modelling*. Mas para que esse processo produza os resultados esperados, é necessário uma nova estrutura organizacional e uma mudança radical no comportamento da organização.

4.5.4 Etapa 4: Organização para Engenharia Simultânea

Um grande problema no desenvolvimento de grandes projetos, cuja solução é um objetivo do IPPD, é o de promover o inter-relacionamento das disciplinas nas decisões e garantir que o pessoal encarregado do desenvolvimento tenha acesso à experiência dos especialistas, principalmente daqueles envolvidos na construção, que podem assessorar sobremaneira nos fatores que afetam o processo. E também existe a dificuldade de permear as decisões de projeto através das várias disciplinas (áreas) envolvidas no mesmo.

Segundo Winner (2002) e Winner (2000), para superar as dificuldades supracitadas, o Electric Boat e a Marinha dividiram a tarefa de desenvolver o submarino e seus processos associados, que ficaram sob a responsabilidade de 15 "Equipes de Grandes Áreas" ou "Major Area Teams" (MATs), cada uma delas cobrindo uma área contígua do navio, conforme mostrado na figura 4.5.

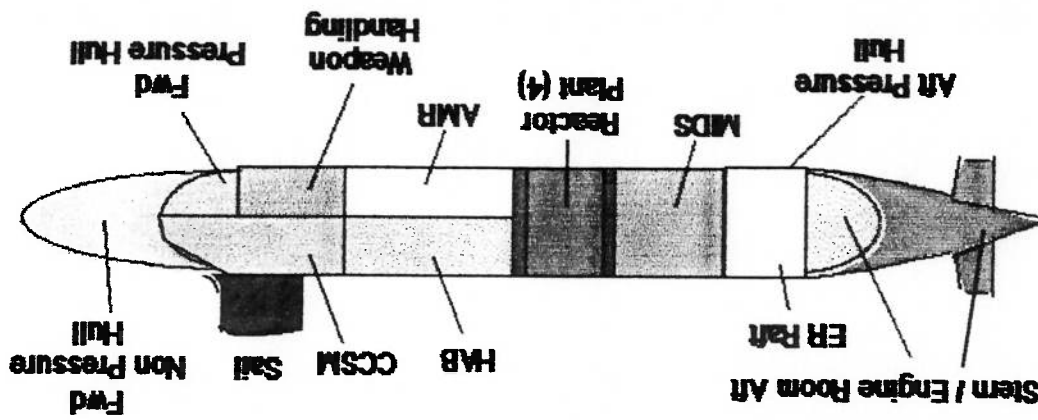


Figura 4.5 - Quinze "Equipes de Grandes Áreas" (WINNER, 2002)

Há MAT's para a popa, área de alojamento, compartilhamento de torpedos, vela, módulo de sistema e controle, quatro equipes para o reator, etc. Esta abordagem difere fundamentalmente do modo tradicional, onde o projeto era dividido por disciplina ou fase de projeto. Os MAT's preocupam-se com suas áreas e também com as interfaces existentes com outras áreas (MAT's).

Um exemplo de MAT é o compartilhamento dos torpedos, que tem representantes da Marinha e do estaleiro. Possui engenheiros, projetistas, fornecedores, representantes da área de logística, responsáveis pelo controle de custo. Dentre os projetistas encontram-se operadores de CAD para arranjo, redes, estruturas, eletricidade, e mecânica. Os engenheiros incluem disciplinas de arranjo, estrutura, eletricidade, ar condicionado, água, hidráulica, lançamento de torpedo, comando e controle, produção, etc.

Poucas companhias têm pessoal suficiente para ser alocado a todos os times, de modo que cada especialista fique escalado para apenas um MAT. No caso do "Virgínia", tanto a Electric Boat quanto a Marinha escalaram seus especialistas para mais de um MAT. Isto, por outro lado, tem o efeito de beneficiar a comunicação entre os times. Convm ressaltar, no entanto, que cada MAT tem um núcleo central de integrantes, que são alocados permanentemente ao mesmo, não pertencendo a outro MAT, ao contrário do que ocorre com alguns especialistas.

Segundo Winner (2002); Winner (2000) tanto para a Electric Boat quanto para a Marinha é fundamental que as decisões sejam tomadas no âmbito das equipes multi-disciplinares, no caso os MAT's, e não pelos departamentos funcionais específicos.

A organização implementada pela Electric Boat e espelhada (repetida) pela Marinha inclui os "System Integration Teams" (SITs) e os "Process Integration Teams" (PIT's), que formam em conjunto com os MAT's, uma estrutura matricial. Os SIT's e os PIT's, que são os departamentos funcionais, fornecem pessoal para a composição dos MAT's. As figuras 4.6 e 4.7 mostram a estrutura.

A construção dos quatro primeiros navios da classe será compartilhada entre o Electric Boat e o Newport News Shipbuilding. O Electric Boat será responsável pela construção do primeiro e terceiro navios, cabendo ao Newport News Shipbuilding o segundo e quarto navios.

A construção das várias seções dos cascos também foi compartilhada entre os estaleiros. Cada estaleiro produz as mesmas seções para cada navio e as envia para o estaleiro responsável pela unidade, integração, testes e entrega. Desde que a Engenharia Simultânea/PPD requer que representantes das diversas áreas responsáveis pelas atividades estejam envolvidos nas decisões, tornou-se essencial que houvesse pessoal do Newport News Shipbuilding participando ativamente juntamente com pessoas do Electric Boat, estaleiro líder do projeto, nas equipes/times multi-disciplinares. Aproximadamente 50 pessoas do Newport News ficaram *colocated* no Electric Boat trabalhando no projeto.

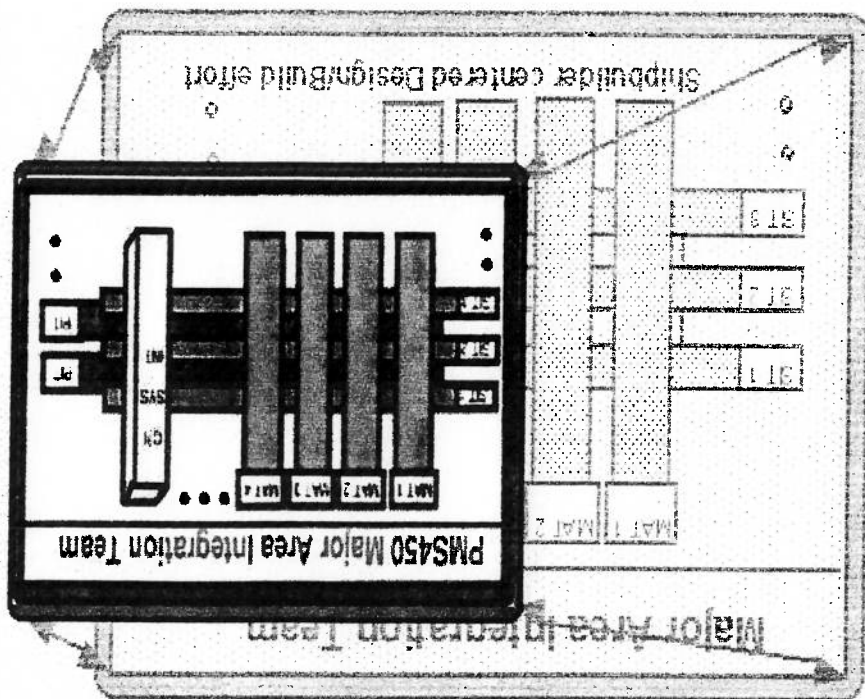
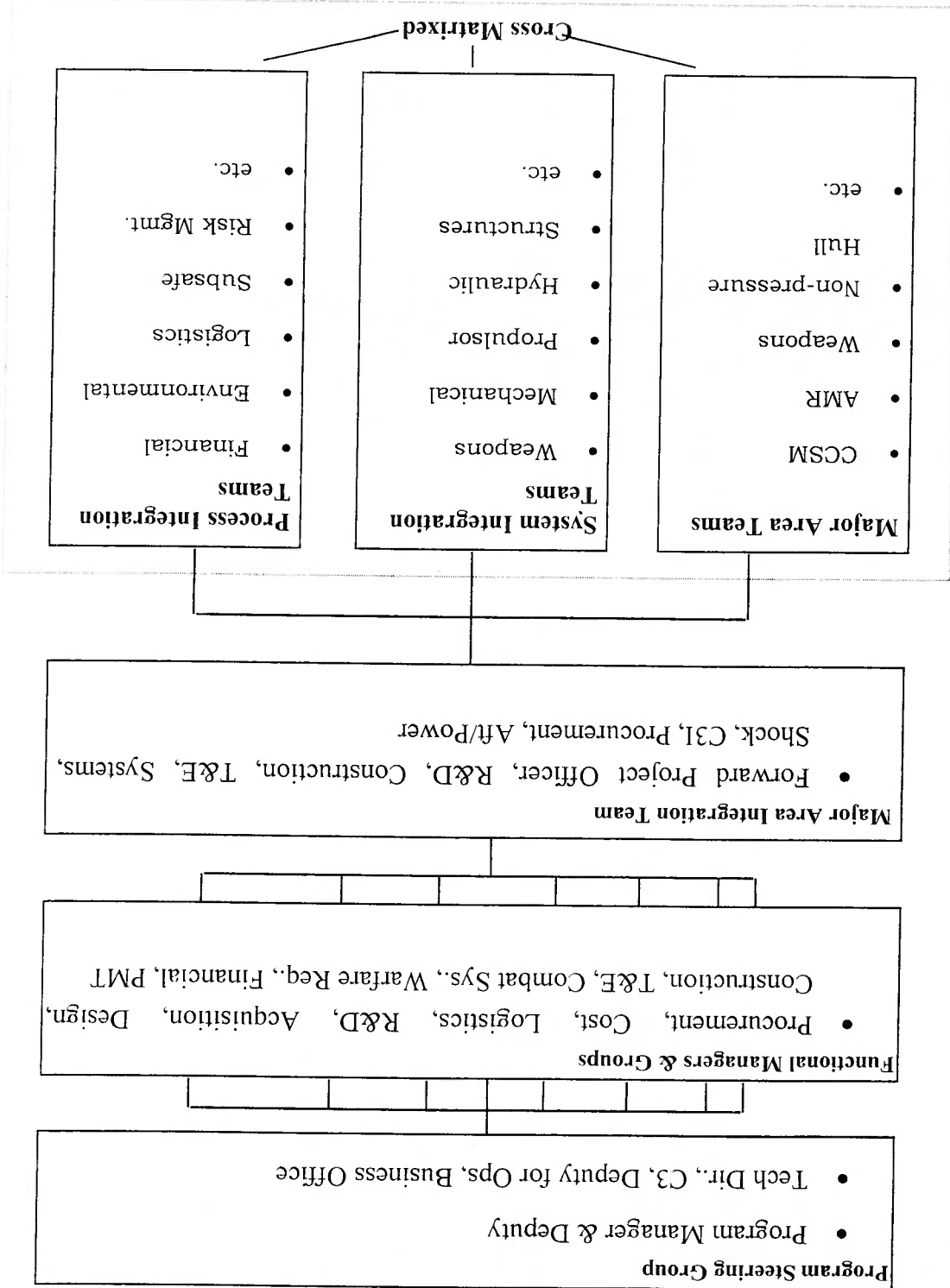


Figura 4.6 - Estrutura dos Times (WINNER, 2000)

Figura 4.7 - Organização para aplicação do IPPD (WINNER, 2002)



4.5.5 Etapa 5: Demonstração do processo

Segundo Winner (2002), a Marinha e o Electric Boat decidiram que devido a extensão das mudanças que a implementação da nova filosofia traria, seria importante que uma demonstração do processo fosse implementada antes que um grande volume de construção fosse iniciado, de modo a permitir ajustes na implementação.

O Electric Boat gastou milhares de dólares na construção de um mini-protótipo a fim de provar o processo. A Marinha participou dessa demonstração.

Além disso, a Marinha sugeriu que o estaleiro iniciasse a construção de uma seção do navio antecipadamente, de modo a permitir também uma adaptação melhor do estaleiro ao novo processo, antes do início da construção paralela das seções do navio.

4.6 Resultados

Segundo Winner (2002) o projeto do "Virgínia" está sendo completado, e a construção está avançando com poucos problemas. A figura 4.8 mostra a situação atual do projeto, com dados de 2002, em relação ao que foi planejado. A Marinha afirma que a curva apresentada na figura, mostrando tão pequena distorção em relação ao planejado em 1993, nunca havia sido vista em um programa de um submarino antes do "Virgínia" (WINNER, 2002).

É importante que seja salientado, segundo Winner (2002), que os desenhos prontos, representados pela curva da figura 4.8 são muito mais completos, possuindo mais dados, e necessitaram de muito menos revisões do que aqueles produzidos para o "Seawolf".

A figura 4.9, mostra que no projeto do "Virgínia", apesar de serem produzidos mais desenhos que no projeto do "Seawolf", a prontosificação dos mesmos, em relação ao início da construção (marco 0), ocorreu em média, 2,5 anos antes do que no projeto do "Seawolf". Sendo que em Fevereiro de 2002 já havia sido concluído 99,1% do total, aproximadamente 3,5 anos antes do "Seawolf" atingir a mesma marca.

Figura 4.9 - Desenhos prontificados: Virginia X Seawolf (WINNER, 2002)

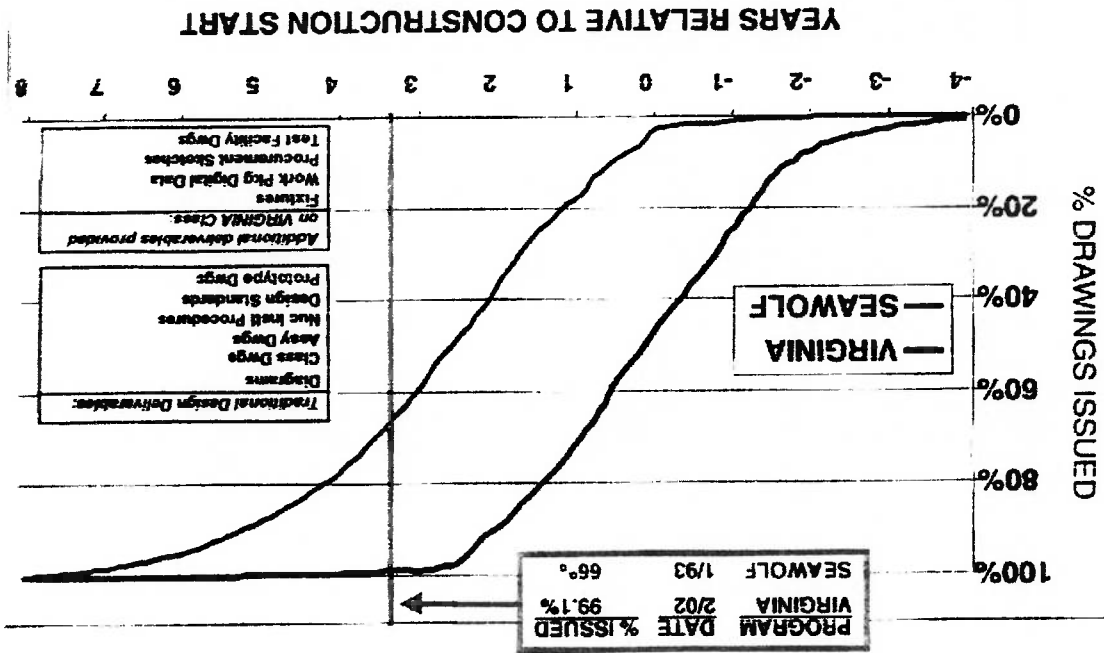
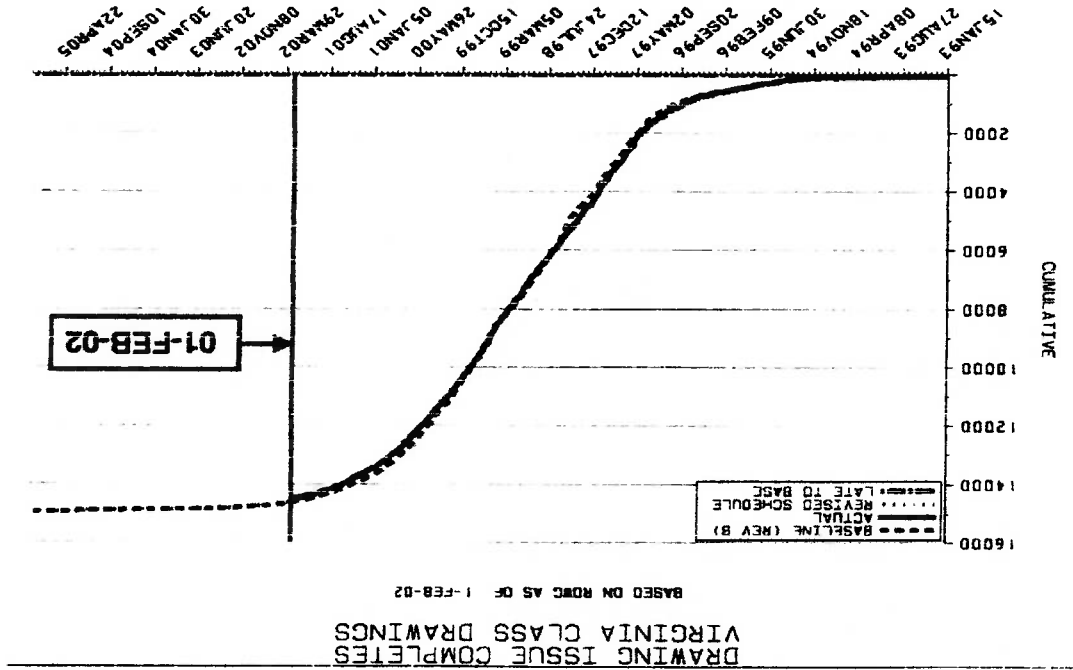
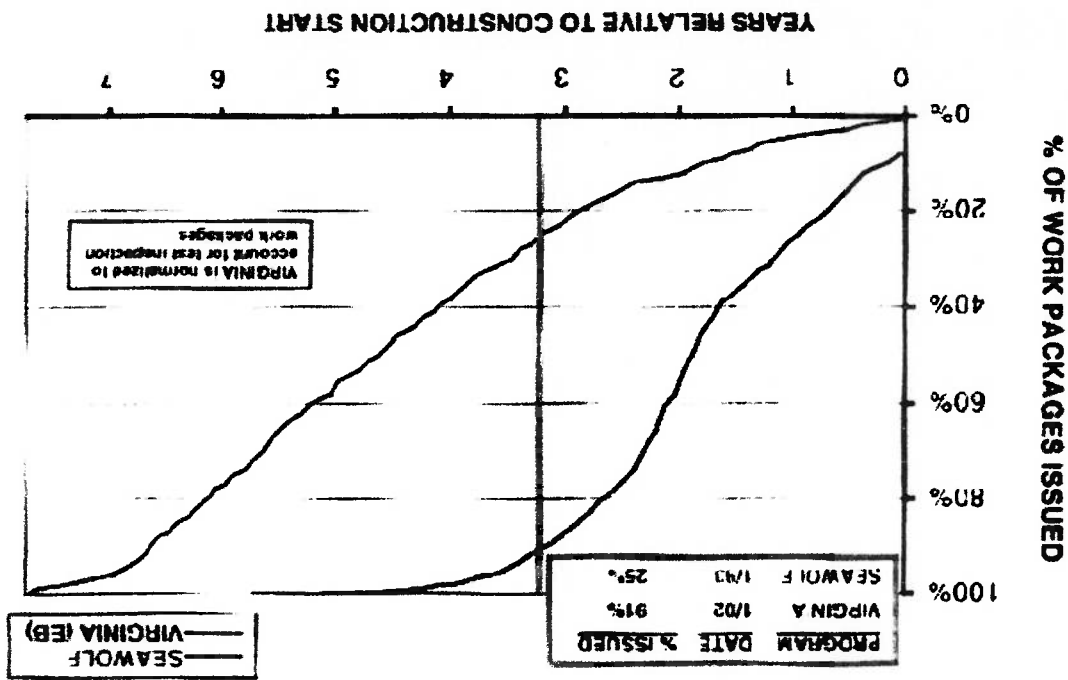


Figura 4.8 - Situação Atual do Projeto X Planejado (WINNER, 2002)



Os problemas identificados durante a construção têm sido em bem menor número e muito menos sérios do que no caso do "Seawolf". A figura 4.11 mostra que em janeiro de 2002, 3,2 anos após o início da construção, haviam sido identificados 5.300 problemas. Com uma fração da quantidade de HH requerida para a construção, o navio já havia alcançado quase 70% do total. O "Seawolf" não alcançou o mesmo nível antes de quase seis anos. Nesse estágio da obra, os construtores do "Seawolf" já

Figura 4.10 - Pronúncia de "Work Packages": Virginia X Seawolf (WINNER, 2002)



Segundo Winner (2002), o escopo de projeto do "Virginia" inclui muito mais tipos de desenhos, incluindo aqueles que tradicionalmente eram prontos, mais tarde, durante a construção. O número de homens-hora (HH) necessário para construir o "Virginia", primeiro navio da classe, foi reduzido em 40%, em relação ao "Seawolf". Os pacotes de desenhos e informações necessários para a construção das várias partes do navio ("work packages") foram prontos três anos antes quando comparado com o programa do "Seawolf", conforme mostrado na figura 4.10 (Winner, 2002).

havam identificado aproximadamente 53.700 problemas. Deste modo, a redução de erros, em estágio equivalente da construção, é de aproximadamente 90%.

A implantação do IPPD possibilitou um projeto muito mais maduro, que proveu suporte à construção. A figura 4.12 mostra que 50% do projeto do "Virgínia" já havia sido completado quando do início da construção, comparado com 5,6% do "Seawolf" e 1,6% do "Ohio" (submarino balístico). A pior projeção para o número de mudanças de projeto durante a construção para o "Virgínia" é de apenas 36% do total do "Seawolf" e 30% do "Ohio".

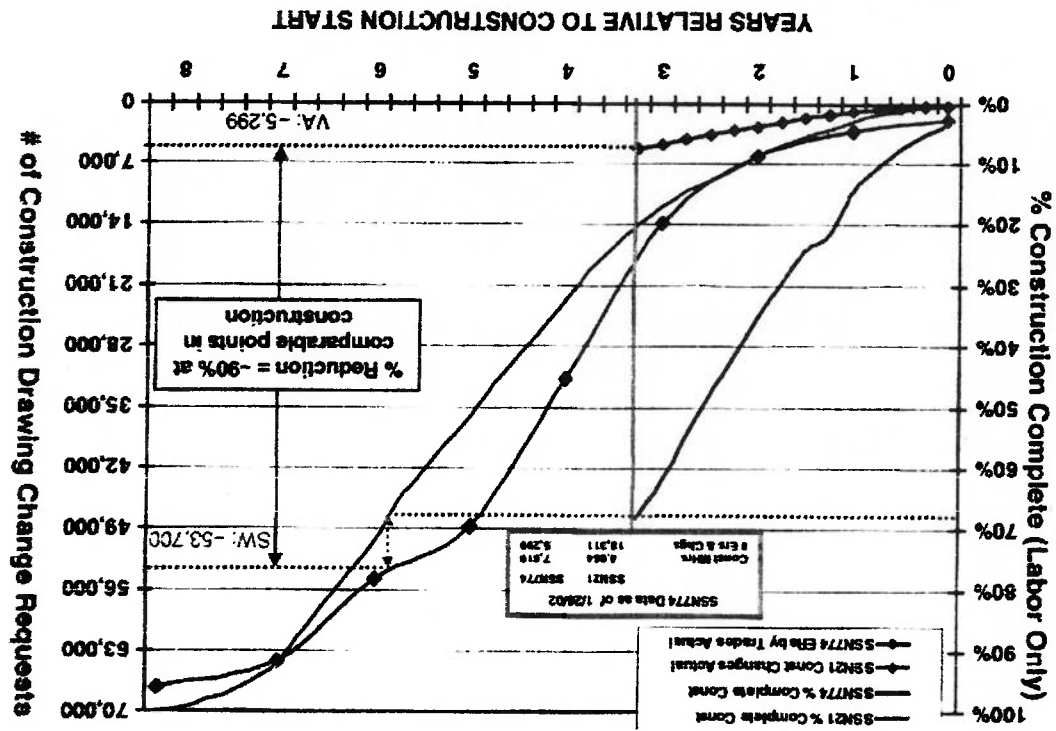
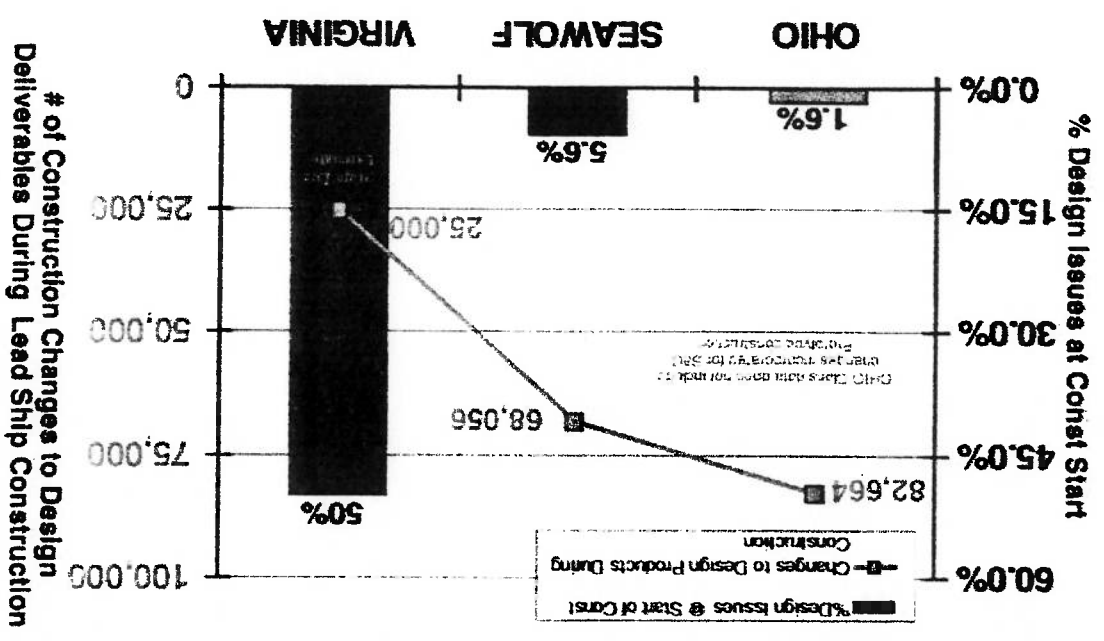


Figura 4.11 - Estabilidade do Projeto: Virgínia x Seawolf (WINNER, 2002)

Uma das consequências fundamentais do IPPD é que, com o desenvolvimento integrado do produto e processo (construção), através do emprego das equipes multi-disciplinares (MATs), o projeto é concebido e conduzido de tal maneira que poucas alterações ocorram nas etapas finais do mesmo (maturidade), permitindo que os requisitos de projeto, bem como o contrato para construção, sofram um número extremamente pequeno de alterações ao longo do ciclo de desenvolvimento e construção, o que certamente conduz à redução de custos. A figura 4.13 mostra que projeções pessimistas em relação ao número de alterações contratuais para o "Virgínia" são da ordem de 12% das alterações contratuais do "Seawolf" e apenas 0.46% das do "Ohio".

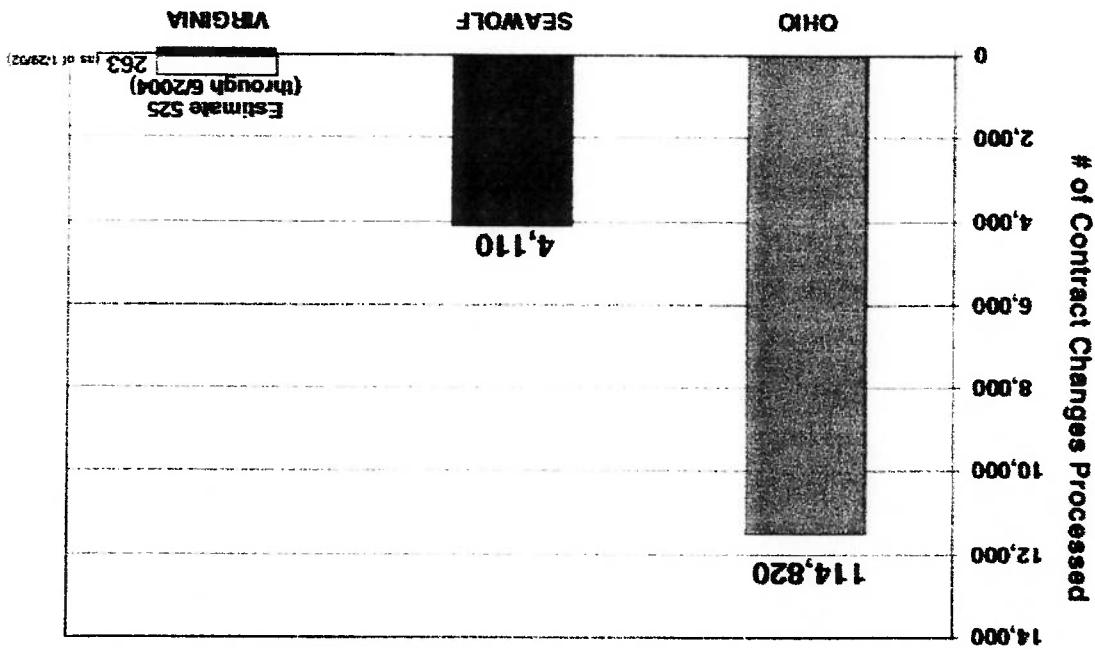
Figura 4.12 - Maturidade do Projeto (WINNER, 2002)



Um dos benefícios orundos da aplicação do IPPD ocorre no campo da logística, através da participação de fornecedores e pessoal de logística nas equipes multi-disciplinares de projeto. Informações com relação às especificações de equipamentos e todo material necessário são introduzidas no *Product Model*, na medida que o desenvolvimento do projeto avança, permitindo que se tenha acesso às necessidades de material em um prazo muito menor. Do *Product Model* são extraídas as listas de material ("*Bill of Materials*" – BOM), permitindo que o material necessário seja adquirido de maneira correta e dentro de um prazo suficiente.

Segundo Winner (2002), no programa do "Virgínia", pela primeira vez, um estaleiro teve sucesso na meta de estar com todo material disponível à produção quando necessário. No "Virgínia" foi estabelecida a meta de estar com todo material disponível 12 semanas antes do uso na construção e isto foi alcançado. A figura 4.14, onde o marco 0 significa início da construção, mostra que o índice de 90% de material adquirido foi atingido, mais de três anos antes, do que no projeto do "Seawolf".

Figura 4.13 - Alterações Contratuais do "Virgínia" (29/01/2002) e projeções para 06/2004 (WINNER, 2002)



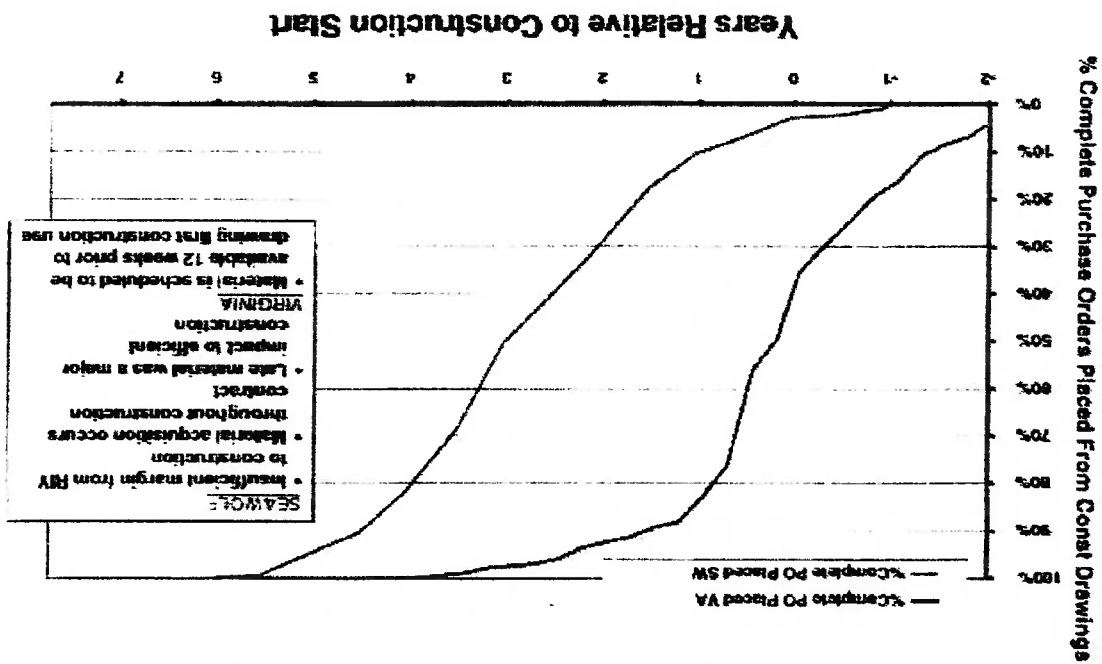


Figura 4.14 - Disponibilidade de Material: Virginia x Seawolf (WINNER, 2002)

5 CONCLUSÃO

A globalização que trouxe em seu bojo uma maior competição entre as empresas acelerou o processo de busca por meios de desenvolver rapidamente novos produtos, com alta qualidade e com menor custo.

A indústria naval, intensiva em mão-de-obra, e que sempre apresentou um certo atraso na implantação de novas tecnologias, sejam elas na produção ou na fase de projeto, vem apresentando nos últimos anos, avanços significativos. A aplicação da técnica de construção modular, o uso da automação na fabricação de componentes, e o uso mais intensivo de computadores na fase de projeto e de produção são exemplos desta nova fase. Há porém a necessidade de uma abordagem de projeto que leve em consideração, desde o início, as potencialidades de cada uma dessas ferramentas, fazendo com que convivam para o produto, potencializando desse modo seus benefícios.

A retomada das encomendas, devido ao incremento do comércio internacional e à expansão da área de offshore tem mostrado a necessidade de aumento da competitividade da indústria naval do ocidente, já que a liderança do mercado da construção naval, cada vez maior, por parte de Japão, Coreia e China ameaça a existência da indústria naval ocidental.

A indústria naval americana, por exemplo, sofreu com a diminuição das encomendas da área militar após o fim da Guerra Fria, quando então viu-se na necessidade de competir no mercado internacional e percebeu que não estava capacitada. Não produzia com baixo custo, requisito fundamental para competir, no mundo globalizado, principalmente com os países asiáticos.

Surgiu, então, a necessidade de mudanças radicais, buscando aumentar a eficiência, a produtividade e a competitividade.

A Engenharia Simultânea, ou Desenvolvimento Integrado de Produto e Processo, fazendo uso das modernas ferramentas disponíveis, apresenta-se, pelo que foi exposto no presente trabalho, como uma alternativa à indústria naval.

A implementação não é trivial, dificuldades têm que ser vencidas, principalmente aquelas que dizem respeito à mudança radical da cultura organizacional.

O apoio e engajamento da alta direção, bem como a implementação de um ambiente integrado de desenvolvimento do produto são fundamentais para o sucesso da filosofia da Engenharia Simultânea. A integração é responsável pelo provimento de todo tipo de informações, que devem estar atualizadas, à todos os agentes do processo de desenvolvimento. A fonte de todas essas informações é chamada de *Product Model*. A responsabilidade pela geração e controle desse ambiente integrado é de um software do tipo *Product Data Management*. O apoio e engajamento da alta direção na implementação da filosofia é fundamental, na medida em que permite que mudanças culturais possam ser implementadas.

Os sucessos dos projetos do LPD 17 “San Antonio” e do submarino “Virgínia”, da marinha americana, projetos novos, que encontram-se ainda em construção, devem-se fundamentalmente ao emprego da Engenharia Simultânea.

A quantidade de informações e os números, bastante recentes, apresentados no capítulo quatro, à respeito da aplicação da Engenharia Simultânea no programa do “Virgínia”, mostram claramente que a mesma tem sido fundamental no sucesso do projeto, implementada como um meio de sobrevivência, tanto para o estaleiro quanto para o programa de submarinos da Marinha americana.

A diminuição do tempo de desenvolvimento do navio, e a drástica redução da necessidade de alterações de projeto, dentre outros fatores, levaram à grande redução de custo, tornando o projeto viável economicamente. Isto foi obtido por meio da participação de representantes da produção e do cliente nas equipes multi-disciplinares, desde o início do projeto.

Estes resultados certamente fortificarão a aplicação da Engenharia Simultânea em futuros projetos, como um meio de sobrevivência da indústria naval ocidental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Y. **Introdução ao desdobramento da qualidade**. Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, 1996.
- BAUM, S. J. et al. An important technology blueprint for the twenty-first century amphibious warship. set. 1999. Disponível em: http://www.intergraph.com/solutions/software/isdp/documents/V_PDF.pdf. Acesso em: 20 out. 2002.
- BAUM, S. J.; RAMAKRISHNAN, R. Applying 3D product modeling technology to shipbuilding. *Marine Technology*, v.34, n.1, p.56-65, jan. 1997.
- BENNETT, J. G.; LAMB, T. Concurrent engineering : application and implementation for U.S. shipbuilding. In: SHIP PRODUCTION SYMPOSIUM, Seattle, 1995. **Proceedings**. Jersey City, NJ. : SNAME, 1995. p.23.1-23.4.
- BENTHALL, L. et al. Evolution of step (step) : na interim report on the exchange of shipbuilding product model data using step. *Journal of Ship Production*, v. 18, n.2, p. 92-98, 2002.
- CARTER, D. E.; BAKER, B. S. **Concurrent engineering: the product development environment for the 1990s**. s.l. : Addison Wesley, 1991.
- CHENG, L. C et al. **QFD: planejamento da qualidade**. Belo Horizonte, MG. : Fundação Cristiano Ottoni, 1995.
- CLARK, J.; LAMB, T. Build strategy development. In: SHIP PRODUCTION SYMPOSIUM, Seattle, 1995. **Proceedings**. Jersey City, NJ. : SNAME, 1995. p. 6-1-6-15.

- CLAUSING, D. **Total quality development: a step by step guide to world class concurrent engineering**. New York: ASME Press, 1994.
- GASCOIGNE, B. **PDM: the essential technology for concurrent engineering**. fev. 2000. Disponível em: <www.pdmnic.com/articles/articlec.html>. Acesso em: 27 de jun 2001.
- HARTLEY, J. R. **Concurrent engineering** : shortening lead times, raising quality, and lowering costs. Cambridge, Mass. : Productivity Press, 1992.
- JUNQUEIRA, G. B. Da engenharia tradicional à engenharia simultânea no setor industrial nacional. In: SEMINÁRIO "DA ENGENHARIA TRADICIONAL À ENGENHARIA SIMULTÂNEA NO SETOR INDUSTRIAL NACIONAL. São Paulo : Núcleo de Política e Gestão de Ciência e Tecnologia da USP, 1995. (Texto de apoio, não publicado)
- JONS, O. P.; RYAN, J. C.; JONES, G. W. Using virtual environments in the design of ships. **Naval Engineers Journal**, v.106, n.3, p. 91-106, maio, 1994
- KEANE, R. G.; TIBBITS, B. A revolution in warship design: navy-industry integrated product teams. **Journal of Ship Production**, v. 12, n.4, p. 254-268, nov. 1996.
- KING, K. **Bringing the customer to the ship designer**. jul. 2000. Disponível em: <<http://www.jpdl7.navysea.navy.mil>>. Acesso em: 20 de jul. 2002.
- LAMB, T. CE or not ce : that is the question. In: SHIP PRODUCTION SYMPOSIUM, New Orleans, 1997. **Proceedings**. s.l.: s.ed., 1997.
- LEIBFRIED, K. H. J.; McNair, C.J. **Benchmarking** : uma ferramenta para a melhoria contínua. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 312p.

LINDGREN et al. CAD/CAM goes to sea: the SA²AR 5 design and construction. *Naval Engineers Journal*, v.104, n.3, p. 148-155, maio, 1992.

LPD-17 SAN ANTONIO-class-Navy SHIPS. Apresenta conteúdo voltado ao desenvolvimento do navio desembarque/doca "San Antonio" (LPD 17). Disponível em: <www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/lpd-17.htm>. Acesso em : 10 jan. 2002.

MEDEROS, D. J. et al. Simulation based design for a shipyard manufacturing process. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Orlando, FL, 2000. **Proceedings**. s.l.: IEEE, 2000. Disponível em: <http://www.informs-cs.org/wsc00papers>. Acesso em: 20 out. 2002.

NISHIMOTO, K.; PARSONS, M. G.; LAMB, T. Concurrent engineering design for marine systems. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES MARÍTIMOS, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 17., Rio de Janeiro, 1998. **Os novos desafios do setor naval**. Rio de Janeiro : SOBENA, 1998. (Em CD-ROM)

NUMA¹ (NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA). Apresenta informações sobre engenharia simultânea. Disponível em: <www.numa.org.br/conhecimentos_port/pag_conhec/engsimul_v2.html>. Acesso em : 20 fev. 2002.

NUMA² (NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA). Apresenta informações sobre CAD (computer aided design). Disponível em: <www.numa.org.br/conhecimento_port/pag_conhec/cadv2.html>. Acesso em : 20 fev. 2002.

NUMA³ (NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA). Apresenta informações sobre CAM (computer aided manufacturing). Disponível em: <www.numa.org.br/conhecimento_port/pag_conhec/cam.htm>. Acesso em: 20 fev. 2002.

NUMA⁴ (NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA). Apresenta informações sobre CAPP (computer aided process planing). Disponível em: <www.numa.org.br/conhecimento/port/pag_conhec_cappv2.htm>. acesso em: 20 fev. 2002.

NUMA⁵ (NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA). Apresenta informações sobre QFD (quality function deployment). Disponível em: <www.numa.org.br/conhecimento/port/pag_conhec_qfdv4.htm>. Acesso em: 20 fev. 2002.

NUMA⁶ (NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA). Apresenta informações sobre PDM (product data management). Disponível em: <www.numa.org.br/conhecimento/port/pag_conhec_pdmv4.htm> Acesso em: 20 fev. 2002.

OFFICE OF THE UNDER SECRETARY OF DEFENSE. **Integrated product and process development handbook**. Washington, DC : Department of Defense, 1998.

OHFUI, T et al. **Manual de aplicação do desdobramento da função qualidade (QFD)**. Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, 1997. v.2.

OMOKAWA, R. **Utilização de sistemas PDM em ambientes de engenharia simultânea : o caso de uma montadora de veículos pesados**. São Carlos, 1999. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

POITRAS, K. The new attack submarine : a 21st century design. In: SHIP PRODUCTION SYMPOSIUM, New Orlean, 1997. **Proceedings**. s.l. : s.ed. 1997.

PRODUCT DATA MANAGEMENT CENTER. Apresenta conteúdo voltado ao estudo da tecnologia de product data management (PDM). Disponível em: <<http://www.pdmic.com>>. Acessado em: 20 nov. 2001.

SILVA, M. M. **Proposta de um sistema para integração e desenvolvimento de projetos através de engenharia simultânea**. São Paulo, 1996. 171p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SYAN, C. S. Introduction to concurrent engineering. In: SYAN, C. S.; MENON, U. **Concurrent engineering: concepts, implementation and practice**. London, England: Chapman & Hall, 1994. Cap.1, p.3-23.

TIBBITS, B.; KEANE, R. G. Making design everybody's job. **Naval Engineers Journal**, v. 107, p. 283-301, maio, 1995.

TIBBITS, B.; KEANE, R. G. Acquisition reform: it all starts with design. **Naval Engineers Journal**, v.11, p. 39-53, jan., 1999.

USA SHIPBUILDING. Apresenta conteúdo sobre indústria naval. Disponível em: <www.usashipbuilding.com/niddesc/123html#Parts_Library_Exchange>. Acesso em: 20 dez. 2002.

WEST VIRGINIA UNIVERSITY. CONCURRENT ENGINEERING RESEARCH CENTER, Morgantown, W.V. Apresenta artigos e relatórios de atividades voltadas a engenharia simultânea. Disponível em: <<http://www.cerc.wvu.edu>>. Acesso em: 15 jan. 2002.

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

WINNER, R. I. et al. **The role of concurrent engineering in weapons system acquisition**. E.U.A: Institute for Defense Analyses, 1998. IDA Report R-338.

WINNER, R. Integrated product/process development in the new attack submarine program: a case study. 2.ed. s.l. : Undersecretary of Defense, 2000.

WINNER, R. The VIRGINIA class submarine program: a case study. Groton, CT : General Dynamics Electric Boat, 2002.

ZANCU, E. S. Análise de aplicabilidade de um sistema ERP no processo de desenvolvimento de produtos. São Carlos, 2000. 192 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.