

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ROBERTO LUIZ NICODEMOS CAMPINHO

A UTILIZAÇÃO DA ESPIRAL DE PROJETO E ENGENHARIA SIMULTÂNEA NA
ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE NAVIOS

São Paulo

2011

ROBERTO LUIZ NICODEMOS CAMPINHO

A UTILIZAÇÃO DA ESPIRAL DE PROJETO E ENGENHARIA SIMULTÂNEA NA
ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE NAVIOS

Monografia apresentada ao Departamento
de Engenharia Naval e Oceânica da
Universidade de São Paulo como requisito
parcial para obtenção do Grau de
Especialista em Gestão e Tecnologia em
Construção Naval

ORIENTADOR: Prof. Dr. MARDEL BONGIOVANNI DE CONTI

São Paulo

2011

RESUMO

Os objetivos desse trabalho são: (1) apresentar, em linhas gerais, os métodos “Espiral de Projeto” e “Engenharia Simultânea”, bem como uma visão conciliadora da aplicação desses métodos ao projeto de navios, tendo por base propostas como as de Mistree *et al* (1999) e de Pieroni e Naveiro (2006); (2) exemplificar a exeqüibilidade de aplicação dessa visão conciliadora a um caso de projeto de navio hidrográfico na Marinha do Brasil. Projetar em engenharia é essencialmente uma atividade humana, intelectual, que parte de reconhecer um problema para então desenvolver uma proposta de solução, definindo um produto ou processo de tal forma que sejam levados em conta todos os fatores que tenham influência na implementação da solução. É uma atividade complexa, exigindo do projetista certa capacidade inventiva para a concepção das características do objeto projetado, alguma experiência técnica para reconhecer todos os elementos envolvidos em um problema particular de projeto e um razoável conhecimento a respeito dos métodos e técnicas envolvidos nos processos de análise das alternativas de projeto. A Engenharia Simultânea (ES) pode ser definida como a forma sistemática de projeto de produtos e processos, com equipes multidisciplinares, que atuam de forma paralela no desenvolvimento do produto e preocupam-se com todos os elementos do ciclo de vida do mesmo, visando à satisfação do cliente e ao aumento da produtividade e que conta com o suporte de tecnologias computacionais. Basicamente, a ES significa uma alternativa aos métodos correntes de desenvolvimento de produtos e projetos. Consiste em uma ferramenta gerencial aplicável em substituição ao modelo mais difundido, baseado na alocação seqüencial das etapas de trabalho, onde o início de determinada etapa depende da finalização da anterior. O método tradicional de abordagem para a resolução do problema de projetos de navios é a espiral de projeto. A característica principal desta abordagem está no seu processo seqüencial e iterativo. Enfatiza o inter-relacionamento de seus diversos itens e que cada um deles deve ser considerado em seqüência, aumentando-se o nível de detalhamento à medida que se caminha ao centro da espiral. É apresentado um trabalho realizado por Pieroni e Naveiro (2006) que integra os conceitos de gerenciamento de projeto, espiral de projeto e engenharia simultânea aplicados no desenvolvimento de projetos de navios. São apresentados também aspectos relevantes de um projeto básico de navio realizado recentemente na Marinha do Brasil, com uma equipe de projeto reduzida, empregando conceitos de espiral de projeto e de engenharia simultânea e que foi analisado e certificado por Sociedade Classificadora.

Palavras-chave: Metodologia de projeto, espiral de projeto, engenharia simultânea.

ABSTRACT

The aim of this study is: (1) present, in general, the methods "Design Spiral" and "Concurrent Engineering" as well as their appliance to the ship design, based on proposals such as Mistree et al (1999) and Pieroni and Naveiro (2006). (2) Illustrate the possibility of applying this conciliatory view in the case of a hydrographic ship design in the Brazilian Navy. In engineering, design is basically an intellectual human activity that begins by acknowledging a problem and then to develop a proposed solution, defining a product or process in a way to be taken into consideration all factors that influence in the implementation of the solution. It's a complex activity, requiring from the designer certain inventiveness for the conception on the characteristics of the projected object, some technical experience to recognize all the elements involved in a specific design problem and a reasonable knowledge about the methods and techniques involved in the analysis of processes alternatives. The CE may be defined as a systematic way of products processes and projects, with a multidisciplinary team, working in parallel in development of the product and that is concerned with all aspects of the life cycle of the product, aiming the client satisfaction and productivity increased, and has the support of computer technology. Basically, CE means an alternative to current methods of product development, and particularly in the drafting and developing of the projects. It consists in a management tool applicable to replace the more widespread model, based on the sequential allocation of work steps, where the beginning of one stage depends on the completion of the previous. The traditional method of approach to solution of the problem of ship design is the design spiral. The main feature of this approach lies in its sequential and iterative process. Emphasizes the interrelation of its various items and that each must be considered in sequence, increasing the level of detail as we move to the center of the spiral. It's presented a work by Pieroni and Naveiro (2006) that integrates the concepts of project management, design spiral and concurrent engineering applied to the development of ship designs. Are also presented relevant aspects of a basic ship design in the Brazilian Navy recently conducted in Brazil, with a small project team, employing concepts of design spiral and concurrent engineering and has been reviewed and certified by the Classification Society.

Key-Words: Design methodology, design spiral, concurrent engineering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Tipos de relacionamento entre atividades.....	11
FIGURA 2 – Idealização de um projeto de um navio genérico, usado exclusivamente para propósitos acadêmicos.....	12
FIGURA 3 – Componentes do custo de vida para navios militares típicos.....	16
FIGURA 4 – Modelo da “roda de engenharia simultânea”.....	28
FIGURA 5 – Um exemplo de espiral de projeto de navio.....	33
FIGURA 6 – Iteração da espiral ao longo das fases do projeto.....	34
FIGURA 7 – Representação do projeto pelo tronco de cone.....	35
FIGURA 8 – Espiral de projeto ao longo das fases.....	35
FIGURA 9 – Exemplo de Diagrama de Interação.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	O PROJETO DE NAVIO.....	9
3	A ENGENHARIA SIMULTÂNEA.....	26
4	A ESPIRAL DE PROJETO.....	33
5	A INTEGRAÇÃO ENTRE O GERENCIAMENTO DE PROJETO, A ENGENHARIA SIMULTÂNEA E A ESPIRAL DE PROJETO NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE NAVIOS.....	38
6	O PROJETO DE NAVIOS NA MARINHA DO BRASIL.....	41
7	CONCLUSÕES.....	45
8	REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

A Marinha do Brasil (MB) na década de 1980 através de iniciativa da alta administração naval resolveu desenvolver um projeto de navio de guerra. O tipo de navio escolhido foi uma corveta. Para tanto foram empregados cerca de 150 profissionais entre engenheiros, projetistas e desenhistas durante cerca de quatro anos para execução do projeto básico da plataforma do navio. Todo o trabalho foi desenvolvido sem auxílio de recursos de informática, escassos àquela época, empregando-se apenas calculadoras científicas para cálculos de engenharia onde aplicável.

O projeto básico foi dividido em quatro fases de estudos: exeqüibilidade, concepção, preliminar e contrato. Em cada fase, dependendo do grau de atendimento aos requisitos estabelecidos pela MB, foram realizados até três ciclos de projeto, ocasionando um aumento significativo de HH despendido para conclusão do trabalho.

Foi utilizada a abordagem tradicional de projeto de navios com o emprego da espiral de projeto. Este modelo enfatiza que as atividades de projeto como cálculo de resistência ao avanço, estabilidade, resistência estrutural, etc. interagem, com um aprofundamento gradual de detalhamento a cada volta na espiral. A aplicação desse método demanda um grande número de horas trabalhadas, incompatíveis com a necessidade de redução de custos e duração do projeto dos dias atuais.

Os objetivos desse trabalho são: (1) apresentar, em linhas gerais, os métodos “Espirais de Projeto” e “Engenharia Simultânea”, bem como uma visão conciliadora da aplicação desses métodos ao projeto de navios, tendo por base propostas como as de Mistree *et al* (1999) e de Pieroni e Naveiro (2006); (2) exemplificar a exeqüibilidade de aplicação dessa visão conciliadora a um caso de projeto de navio hidrográfico na Marinha do Brasil.

No Capítulo 2 são apresentados os conceitos e proposições teóricas sobre o projeto de navio e sobre as principais ferramentas de seqüenciamento de atividades típicas de engenharia naval.

No Capítulo 3, é apresentado o conceito de engenharia simultânea bem como as principais condicionantes para a aplicação desse método no desenvolvimento de projetos.

No Capítulo 4, é apresentada a metodologia espiral de projeto e sua aplicação no desenvolvimento de projetos indicando os principais requisitos e limitações impostas.

No Capítulo 5 é apresentado um trabalho realizado por Pieroni e Naveiro (2006) que integra os conceitos de gerenciamento de projeto, espiral de projeto e engenharia simultânea aplicados no desenvolvimento de projetos de navios.

No Capítulo 6 são apresentados aspectos relevantes de um projeto básico de navio

realizado recentemente na Marinha do Brasil, com uma equipe de projeto reduzida, empregando conceitos de espiral de projeto e de engenharia simultânea e que foi analisado e certificado por Sociedade Classificadora.

Finalmente, a última parte do trabalho apresenta as principais conclusões obtidas durante a realização deste trabalho.

2. O PROJETO DE NAVIO

Os oceanos cobrem cerca de 70% da superfície da terra representando fonte inesgotável para produção de alimentos, energia, recursos minerais e propiciam o caminho para transporte de cargas e passageiros entre os continentes, além da sua utilização para atividades de lazer.

Para consecução desses objetivos faz-se necessário o emprego de meios (navios e sistemas flutuantes) de forma a possibilitar o aproveitamento racional dessas oportunidades.

A economia moderna está intrinsecamente ligada ao transporte no mar. Cerca de 70% do comércio mundial e 95% do transporte internacional faz uso de navios.

O navio representa parte crucial do sistema de transporte no mar, configurando cada vez mais como um veículo altamente especializado e de certa forma complexo, face às grandes dimensões que são exigidas (SOUZA JUNIOR, 2009).

Os navios são classificados de acordo com o tipo de emprego, sendo que os principais tipos são: de carga geral, porta-contêineres, tanques, gaseiros, de transporte de passageiros e rebocador. As plataformas para produção de óleo e gás no mar são grandes estruturas oceânicas flutuantes que também são associados à engenharia naval.

Projetar em engenharia é essencialmente uma atividade humana, intelectual, que parte de reconhecer um problema para então desenvolver uma proposta de solução, definindo um produto ou processo de tal forma que sejam levados em conta todos os fatores que tenham influência na implementação da solução (as tecnologias disponíveis, as limitações impostas, etc). Por mais simples que possam ser os objetos ou processos caracterizados pela ação de projetar a atividade em si é complexa, exigindo do projetista certa capacidade inventiva para a concepção das características do objeto projetado, alguma experiência técnica para reconhecer todos os elementos envolvidos em um problema particular de projeto e um razoável conhecimento a respeito dos métodos e técnicas envolvidos nos processos de análise das alternativas de projeto.

Tonchia (2008) define projeto como um conjunto de atividades complexas, coordenadas, com um objetivo definido que deverá ser atingido através de esforços coordenados dentro de um prazo definido e com predeterminado volume de recursos humanos e financeiros.

Navios, aeronaves e automóveis são definidos como sistemas complexos tanto em termos organizacionais para o seu desenvolvimento quanto em termos do próprio produto. Sistemas complexos possuem uma característica de forte interdependência e multidisciplinaridade de seus subsistemas. Tal fato faz com que as suas equipes de projetos

possuam várias pessoas envolvidas no desenvolvimento do produto por um longo tempo.

Amorim (2002) enfatiza que o projeto preliminar de navios e embarcações deve ser entendido como a etapa do processo onde é formulada a concepção básica da solução, de uma perspectiva global, sem divisão em subsoluções, onde fiquem definidos todos os aspectos essenciais relativos ao conceito de projeto que tenham repercussão significativa sobre o desempenho operacional do ponto de vista dos objetivos principais do problema: dimensões principais, geometria do casco, arranjo do espaço interno, estrutura e propulsão. Esta formulação não constitui um novo conceito de projeto preliminar, mas uma extensão do conceito original para assegurar que todos os elementos essenciais que definem o projeto sejam efetivamente considerados na etapa inicial.

Não há uma definição de projeto aceita universalmente, o PMBOK (2000) define projeto como um empreendimento temporário com o objetivo de criar um produto ou serviço único.

Existe um alto nível de incerteza no início do projeto pelo fato de os problemas a serem enfrentados pelos projetistas são mal estruturados ou incompletos. Uma consequência do nível de incerteza do projeto está relacionada ao seu processo de resolução. A resolução deste tipo de problema é feita com duas abordagens: decomposição do processo em fases e decomposição do projeto em partes menores.

A primeira abordagem, a divisão do projeto em várias fases, visa ao refinamento e ao detalhamento progressivo da idéia original. Com o tempo, essa idéia original é refinada e progressivamente detalhada até que contenha informação suficiente para ser transformada no produto. Cada fase é marcada pela conclusão de um ou mais subprodutos da fase (PMBOK, 2000). De acordo com o PMBOK (2000), a conclusão de uma fase é geralmente marcada pela revisão dos principais subprodutos e pela avaliação de desempenho do projeto tendo em vista: (a) determinar se o projeto deve continuar na sua próxima fase e (b) detectar e corrigir erros a um custo aceitável.

A segunda abordagem, a decomposição do projeto em partes menores, visa a diminuir o problema em subproblemas de forma a conseguir uma delimitação ou definição completa. Os escritórios de projeto dividem o produto em subsistemas e componentes que reúnem características específicas e que podem ser abordadas por equipes especializadas. Assim, o projeto de um sistema complexo transforma-se em uma coletânea de projetos de menor envergadura permitindo a utilização das especialidades de conhecimento e da indústria.

O PMBOK (2000) aponta algumas formas de decomposição do projeto. Uma delas é a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) (WBS - Work Breakdown Structure). A EAP é

um agrupamento de componentes de projeto (orientado para a elaboração de subprodutos) que organiza e define o escopo total do projeto. Cada nível descendente representa um incremento no detalhamento da descrição dos elementos do projeto. Este documento pode ser um documento novo (ex.: projetos originais), ou ser um documento reaproveitado de trabalhos anteriores (ex.: projetos adaptativos), podendo ser até bem definido, como no caso da indústria naval, para a qual o WBS foi modelado ao longo do tempo. No caso de projetos de navios é comumente utilizada a Ship Work Breakdown Structure (SWBS) e a Expanded Ship Work Breakdown Structure (ESWBS).

O projeto de um produto é um conjunto de projetos de seus sistemas, componentes e partes. Como qualquer projeto, cada sistema terá os requisitos e restrições para o seu dimensionamento. Grande parte destes requisitos e restrições é devida à interface com os outros sistemas. Portanto, o estabelecimento de uma interface clara nada mais é do que o estabelecimento de requisitos e restrições para o projeto do sistema. A existência de interfaces entre os diversos subsistemas é um dos motivos de haver a troca de informações entre as diversas equipes de projeto.

Quando se inicia um projeto, as equipes começam a projetar seus sistemas de acordo com os requisitos e restrições encontradas e em determinada seqüência. À medida que um sistema é delineado, ele fornece dados de saída para outros sistemas serem projetados. As equipes de projeto trocam informações sobre estes dados de entrada e saída para o projeto de seus sistemas.

Com relação a estas atividades realizadas no projeto, há dois tipos de relacionamentos: as atividades dependentes e as atividades interdependentes (Figura 1). Um par de atividades é dito dependente quando somente uma dessas atividades depende de informações da outra atividade. Um par de atividades é dito interdependente quando o dado de entrada de uma atividade é o dado de saída da outra e vice-versa. Por fim, há um conjunto de atividades que também podem ser definidas como interdependentes, pois indiretamente o resultado de uma influenciará no resultado das outras (Figura 1).

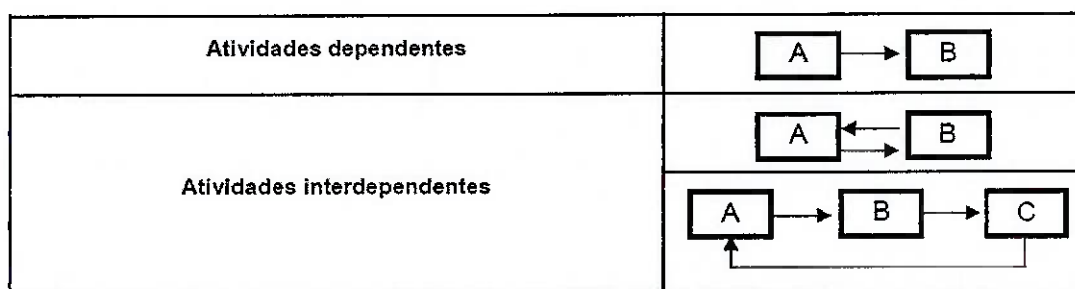
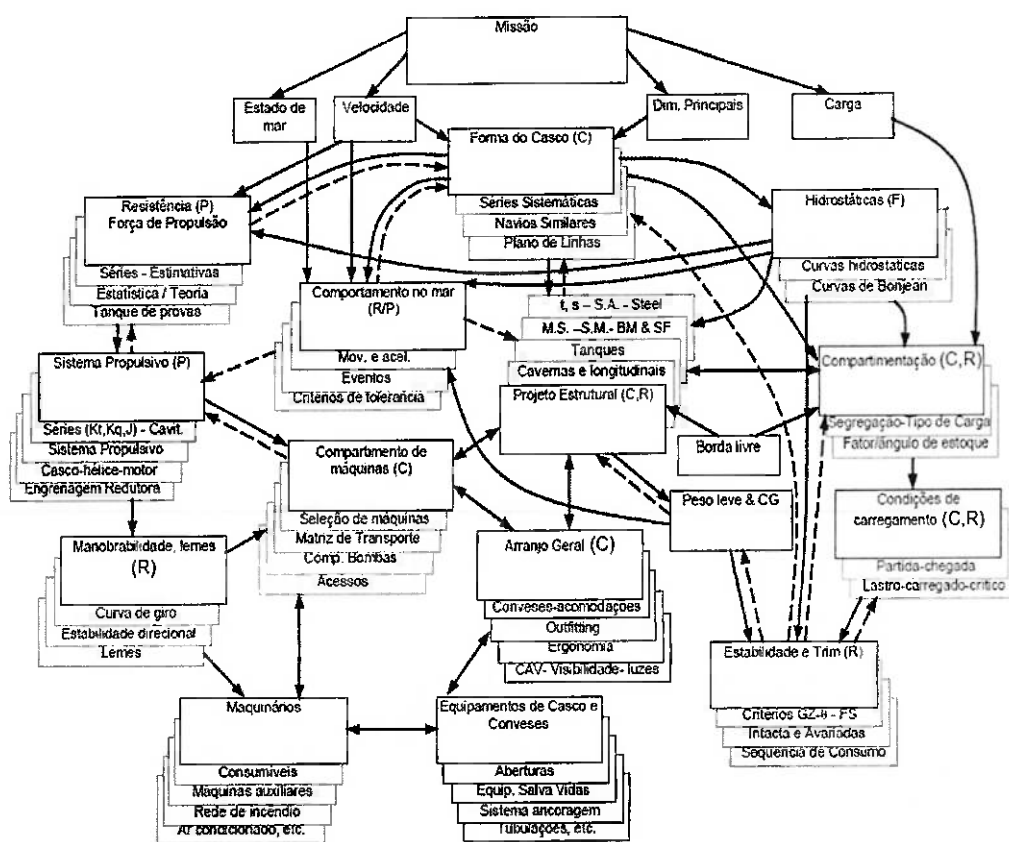


Figura 1 – Tipos de relacionamento entre atividades

Estes três relacionamentos entre as atividades fazem com que haja interações entre as equipes de projeto. Portanto, é necessário estabelecer as interações necessárias entre as equipes de projeto para a solução do problema. Conforme aponta o PMBOK (2000) as interações podem ser diretas e claras, ou podem ser incertas e sutis e uma ação, ou a falta de ação em uma área geralmente afeta outras áreas.

Durante um projeto há milhares de interações entre os membros das equipes. Por isso o projeto é dito como interativo. Projetos de sistemas complexos apresentam um número elevado de atividades que são conectadas entre si, podendo ser o relacionamento entre elas conforme apresentado na figura 1. Isto faz com que algumas mudanças de dados de saída de uma atividade possam se propagar pelo restante das atividades do projeto podendo até inviabilizá-lo. A figura 2 ilustra um processo de projeto de navios com suas interações.

As interações necessárias para a resolução de atividades dependentes geralmente são simples e diretas, bastando uma equipe passar as informações para a outra equipe. No entanto, as atividades interdependentes necessitam de uma abordagem mais complexa que será explicitada adiante.



Fonte: Adaptado de Schachter *et al* (2005).

Figura 2 – Idealização de um projeto de um navio genérico, usado exclusivamente para propósitos acadêmicos.

Um exemplo para a interdependência é um caso do projeto de navios. A definição da geometria do casco do navio depende, dentre outros dados, do peso da estrutura. A definição da estrutura, por sua vez, depende da definição da geometria do casco. É um processo de solução iterativo. Dados os condicionantes do projeto, define-se determinada geometria de casco e estima-se o peso estrutural (atividade ainda não realizada, pois depende da geometria do casco). De posse da geometria do casco, procede-se o cálculo estrutural. Uma das saídas do cálculo é o peso da estrutura. Compara-se o peso da estrutura com o peso estimado para a definição do casco. Caso haja divergência, ou se altera o casco ou se altera a estrutura, que deve ser decidido pelo arquiteto naval e há uma nova iteração.

O segundo caso de iteração planejada é o desenvolvimento do projeto por fases. Conforme visto, há uma grande interdependência entre os sistemas e um conhecimento incompleto no início do projeto. Por isto, nas fases iniciais do projeto faz-se o dimensionamento preliminar dos diversos sistemas. Uma série de estimativas são feitas ao longo da fase e, em fases posteriores, ajusta-se essas estimativas com os valores de saída da primeira fase. Há uma margem de erro esperada no dimensionamento dos sistemas. Lamb (2004) aponta que devido à falta de conhecimento completo nas diferentes fases quando as decisões são tomadas, é tradicional reexaminar tais decisões em fases posteriores quando há um conhecimento maior a respeito do produto. Este processo de reexaminação é a tradicional natureza iterativa do projeto e é reconhecida como uma parte integral do processo.

Um terceiro caso de iteração, que não é planejada, é o surgimento inesperado de novas informações. A diferença entre este caso e o anterior é que esta nova informação não estava esperada dentro da margem de erro estimada do projeto de acordo com as fases. A natureza incerta do projeto faz com que, em quase todas as fases, informações novas podem tornar-se disponíveis. Essas novas informações podem ser uma mudança de dados de entrada ou descoberta de erros, mudança de requisitos, ou falhas de projeto na satisfação de requisitos. Neste caso, o gerente de projetos deverá decidir se esta nova informação deve ser abordada ainda na fase de projeto que se encontra, fazendo com que a equipe tenha que voltar um passo atrás e repetir uma atividade já executada antes, ou deixá-la para uma fase posterior de projeto. Tudo dependerá do impacto da nova informação no projeto.

O primeiro ponto a ser observado no projeto de um navio é que ele tem como objetivo satisfazer as necessidades do armador. A missão do novo navio a ser projetado já foi delineada e passada para a equipe de projeto. Portanto, o primeiro passo para um projeto é definir quais são as necessidades específicas dos sistemas para que se encontre uma solução viável de um novo navio. A definição destas necessidades nem sempre é uma atividade

simples. É algo complicado traduzir as necessidades do homem em parâmetros de projeto. Por isto, a equipe de projeto deve interagir com quem formula as necessidades de forma a transformá-las em parâmetros de projeto que tenham uma métrica. Também, muitas das necessidades se contrapõem ou encontram restrições, ou seja, para melhorar determinado parâmetro há prejuízo de outro.

No entanto, o conjunto de necessidades não é o único dado de entrada do projeto. Junto com as necessidades existem as restrições que balizam os diversos constituintes do projeto. As restrições podem ser de vários tipos, podendo variar desde restrições tecnológicas e legais até restrições circunstanciais tais como custo, tempo, desempenho, etc. Este conjunto formado de necessidades e restrições é denominado de condicionantes do projeto. Outros sinônimos são utilizados para os condicionantes, tais como requisitos e especificações de projeto. A definição dos condicionantes servirá como base para as demais fases do projeto.

Por fim, há uma série de condicionantes que ainda não podem ser determinados nesta fase. Conforme visto anteriormente, há a incerteza do processo e o conhecimento destes condicionantes virá de acordo com a evolução do projeto. Entre as partes decompostas do produto há interfaces que fazem com que os resultados obtidos com o projeto de determinado subsistema sejam dados de entrada para o projeto de outros subsistemas. As interfaces entre os subsistemas são transformadas em requisitos e limitações para projetá-los. As diversas equipes de projeto identificam as interfaces e estipulam as especificações necessárias para os seus projetos mediante um processo de negociação. Para o projetista desenvolver um subsistema, além de ter que considerar as limitações e requisitos próprios necessita de dados de outros subsistemas. Por isso, os condicionantes do projeto deverão ser revistos em fases posteriores quando o conhecimento do produto for aprofundado.

Deve-se atentar que tais requisitos devem ter uma margem de variação. Requisitos com pouca margem de variação restringem o número de soluções para o projeto. O projeto é o ato de balancear os requisitos em um produto. Conforme visto, há uma série de interfaces entre os sistemas e geralmente, um requisito de alto desempenho em um sistema afetará negativamente outro sistema. Por exemplo, de acordo com Andrade (2001), o problema para se encontrar a solução ótima para um navio possui três características básicas: a determinação de um grande número de variáveis para definir uma solução; a presença de múltiplos requisitos e restrições e, por último, é que tais requisitos geram objetivos conflitantes. Andrade (2001) cita um exemplo que ilustra bem esta última característica: “estabelecer um requisito de baixo consumo de combustível leva a um objetivo de minimizar a resistência ao avanço que, por sua vez, induz uma solução com forma de casco fina e longa normalmente

associada a um maior peso estrutural (para a mesma capacidade de carga), indesejável do ponto de vista de um possível requisito de baixo custo inicial”. O entendimento dos requisitos e de suas sensibilidades é essencial à execução do projeto.

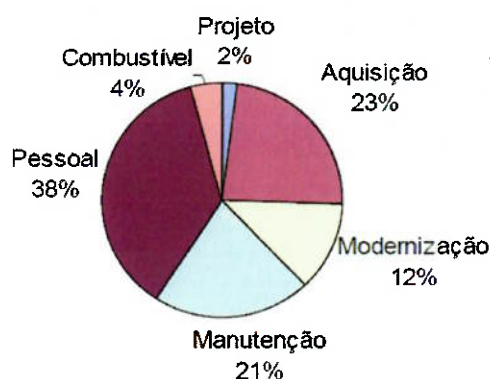
Avanços na capacidade tecnológica tais como programas com vários usuários, capacidade de trabalhar-se em rede, modelagem do produto em 3D entre outros estão levantando oportunidades para usuários trabalharem em conjunto no desenvolvimento do projeto, de uma forma colaborativa em uma base comum de dados. O projeto de navio evoluiu de ferramentas baseadas em desenhos 2D para as 3D com uma base de dados de informação orientada ao produto, integrando-se o CAD (*Computer-Aided Design*), CAE (*Computer-Aided Engineering*), CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) e ERP (*Enterprise Resource Planning*). Com o CAD puderam ser feitas simulações, a definição da estratégia construtiva do navio, a verificação das interferências, o controle mais preciso de peso e centro de gravidade, o cálculo da superfície de pintura. Com o CAE pode ser feita a análise estrutural do navio por meio do método de elementos finitos e cálculos de resistência ao avanço e comportamento no mar por meio de CFD (*Computer Fluid Dynamics*). O CAM permitiu a interface entre o projeto e a produção, levando-se em conta os recursos para a construção dos estaleiros durante a fase de projeto. Por fim, com o ERP, pode-se controlar o material necessário à construção e a logística relacionada com o ciclo de vida do produto. Estes são alguns dos exemplos que fez com que houvesse um sensível aprimoramento em projeto e construção de navios. Atualmente, uma série de simulações é feita antes de o navio ser construído e várias deficiências são encontradas e corrigidas na fase de projeto, de forma a aumentar-se a qualidade do produto.

A maioria dos projetos de navios são projetos adaptativos. O projeto adaptativo usa uma abordagem de solução já conhecida para projetar novos produtos. O projetista se apropria da concepção de um produto já existente e adapta a solução para o caso em tela. Isto pode ser notado pelo estudo de navios semelhantes, que é um dos primeiros estudos a ser realizado para o projeto de um navio. A diferença é que novos estudos particulares devem ser acrescentados para que diminua o nível de incerteza em relação ao produto. Há uma infinidade de programas de computadores que auxiliam a realização de uma ou mais atividades relacionadas ao projeto de navios. No entanto, o processo continua existindo no interior destas ferramentas. O que diferencia é a rapidez de execução destas atividades. Portanto, cada escritório de projeto deve verificar suas atividades, dados de entrada e saída da atividade, e interações necessárias para a consecução do projeto.

Vários estudos relacionados ao projeto de navios são executados em todas as fases

de projeto com o objetivo de dimensionar e caracterizar cada sistema e subsistema do navio bem como auxiliar na definição da estratégia de construção e obtenção do meio. Os principais estudos estão apresentados a seguir.

Segundo Laverghetta (1998), o Apoio Logístico Integrado e Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade são as disciplinas que mais influenciam a determinação do custo do ciclo de vida do navio e eficiência operacional de um navio militar (Figura 3). O Apoio Logístico Integrado é uma abordagem técnica e gerencial que integra considerações de apoio em projetos de sistemas e equipamentos. Os condicionantes de apoio são determinados por objetivos de prontidão, plano de logística atual e planejada, planos de manutenção, níveis de conhecimento de pessoal envolvido na operação e apoio do navio e treinamento. Novamente este estudo gera uma série de condicionantes para o projeto do navio. Os equipamentos devem ser selecionados visando não somente aos aspectos técnicos, mas aos aspectos de manutenção e obtenção de sobressalentes. Alguns equipamentos, para manutenção, podem necessitar da docagem do navio, ou a sua retirada, influenciando o arranjo dos compartimentos. Por isto, o Apoio Logístico Integrado deve ser considerado nas fases iniciais do projeto do navio com o intuito de reduzir custos do ciclo de vida do navio e melhorar a sua eficiência.



Fonte: Ryan e Jons (1991, apud Laverghetta, 1998, p. 77)

Figura 3 – Componentes do Custo de Vida para Navios Militares Típicos

A área em que o navio irá operar determinará algumas necessidades e limitações. Exemplo destas limitações são restrições de comprimento, calado, boca do navio. Um navio fluvial tem limitações de comprimento devido às curvas do rio, assim como calado e boca. Navios petroleiros têm restrições de calado e boca, dependendo dos locais a operar. Além disso, há limitações e necessidades relacionadas à temperatura do ar e água do mar, que interferem principalmente no sistema de condicionamento de ar. Por isso, o estudo da área de

operação torna-se essencial para complementação de condicionantes de projeto.

Outro estudo inicial é a análise de alternativas que consiste em determinarem-se as possibilidades para a solução do projeto. Exemplos de análise de alternativas podem ser relacionadas ao casco (monocasco, catamarã, trimarã), às máquinas (configurações do sistema), aos propulsores (hidrojato, hélice, duplo hélice, entre outros). Há uma série de soluções para o projeto de um determinado navio, cada uma com vantagens e desvantagens. Deve-se determinar qual é a solução que apresente os melhores desempenhos com relação ao atendimento dos condicionantes de projeto. São conduzidos projetos simplificados de investigação e a melhor alternativa é escolhida. Laverghetta (1998) aponta que um estudo de grande número de alternativas somente é possível com ferramentas de síntese e afirma que a Marinha Norte-americana utiliza para esta finalidade o programa ASSET (Advanced Surface Ship Evaluation Tool). O programa é baseado em uma extensa base de dados, muitos dos procedimentos ainda são manuais, como o arranjo da superestrutura, e serve para indicar o caminho que deve seguir o projeto.

A maioria dos projetos de navios é do tipo de projeto adaptativo. Por isso, o primeiro passo para o projeto é a seleção de navios semelhantes. De acordo com as necessidades do projeto, são escolhidos diversos navios que possuem características semelhantes ao navio a ser projetado. Há uma bibliografia especializada que serve para este tipo de estudo junto com a utilização de base de dados própria do escritório.

Com a seleção de navios semelhantes, analisam-se as características principais do navio que servirão para a determinação de dimensões principais do navio, deslocamento, tripulação, áreas e volumes necessários e pesos. Além disso, os principais equipamentos do navio devem ser avaliados.

Para a definição das principais dimensões emprega-se o método das retas de regressão provenientes da análise dos navios semelhantes. Com isto estimam-se as principais dimensões do navio, como comprimento, boca, calado, pontal, deslocamento.

Com a definição das dimensões principais do navio, é necessário estabelecer a forma do casco. Há várias maneiras de se determinar a forma do casco e uma delas é pela utilização de séries sistemáticas, que se constituem em linhas de casco predeterminadas e que apresentam os principais coeficientes relacionados à resistência ao avanço do navio. Como resultado deste estudo está a definição das linhas de casco e conveses do navio.

A análise das linhas de casco para a praça de máquinas visa posicionar a praça de máquinas de um navio. Este estudo depende de outros estudos, como o plano de linhas, posicionamento de anteparas estanques, alternativas de projeto, áreas e volumes necessários e

o estudo de navios semelhantes. A saída deste estudo é o posicionamento da praça de máquinas no navio.

O estudo para a estimativa de áreas e volumes necessários baseia-se em navios semelhantes. Faz-se um levantamento de compartimentos necessários ao navio e suas respectivas áreas e volumes. Soma-se a necessidade de transporte de passageiros. Com isto é possível verificar se o casco está suprimindo as necessidades de área e volume do navio.

A estimativa de tripulação também se baseia em navios semelhantes. O sentido de tripulação utilizado nesse estudo é o pessoal necessário à operação do navio mais os passageiros transportados. A tripulação de um navio terá um impacto maior ou menor, conforme o tipo de navio. A tripulação e número de passageiros de navios militares e de passageiros, que podem possuir milhares de pessoas, têm um impacto muito grande no projeto. Já um navio petroleiro, onde o número de tripulantes é reduzido, a tripulação tem um impacto pequeno no projeto. Em fases iniciais, a tripulação afeta estudos do condicionamento do ar, determinação de áreas e volumes necessários, sistemas de aguada, sistema de tratamento de águas servidas, sistema de esgoto e lastro e o sistema de controle de avarias.

A estimativa da curva de comprimento alagável visa posicionar anteparas transversais estanques ao longo do navio para que, ao sofrer algum tipo de avaria no costado e alagando determinado número de compartimentos, o navio consiga flutuar. Para isto são necessários o plano de linhas do navio e o posicionamento, estimativa de área e volume da praça de máquinas.

A estimativa de peso e controle de pesos é uma das atividades mais importantes no projeto de navios e deve ser um estudo controlado durante toda a fase de projeto (PNA, p.69). Há várias maneiras de estimar o peso do navio conforme aponta a SAWE (2001). Dentre os métodos apresentados, o manual indica o método *Baseline* como o mais comumente empregado. Neste método, um navio semelhante ao navio construído é escolhido, são coletados os dados da última análise de pesos e acrescentados/retirados pesos que diferenciam o navio em projeto do navio tomado como base. Conforme aponta o manual, margens de erro devem ser estipuladas durante todas as fases de projeto e o item peso deve ser tratado como risco para o projeto de navio.

O cálculo de curvas hidrostáticas tem por objetivo calcular e desenhar uma série de propriedades hidrostáticas do navio em diversos calados. Tal estudo tem importância para estudos de estabilidade e carregamento em fases de projeto. Para a realização deste estudo é necessário o plano de linhas do navio.

Um dos primeiros passos de estudos de ergonomia é estabelecer as situações

críticas pelas quais um navio pode passar. Em um navio militar, as situações críticas são o guarnecimento de postos de combate devido a ameaças, incêndio a bordo, abandono do navio, colisão, alagamento. Em um navio de passageiros, as situações críticas são semelhantes, excetuando-se logicamente a parte combativa. Além destas situações críticas devem ser analisadas outras situações que serão inerentes a cada tipo de navio, por exemplo, o trânsito a bordo em navio de passageiros, entre outros. O estabelecimento das situações críticas auxiliará o dimensionamento de zonas do navio, sob um ponto de vista de análise organizacional, e deverá interagir com tal estudo.

A definição de zonas do navio é o primeiro estudo do arranjo geral de compartimentos do navio. Para este estudo são necessários os desenhos dos conveses, estudo de áreas e volumes, posicionamento de anteparas estanques, posicionamento da praça de máquinas, estudos ergonômicos e a análise das situações críticas. Exemplos de elementos a serem considerados do ponto de vista ergonômico são o calor de dentro e fora do navio, ruídos, vibrações, odores desagradáveis, tráfego, proteção contra fogo, explosão, roubo e deterioração, diversidade de deveres, separação hierárquica entre outros. Como resultado, será a compartimentagem do navio em zonas.

O cálculo da resistência ao avanço consiste em determinar-se a força necessária para impulsionar o navio à determinada velocidade. É um estudo que está diretamente relacionado ao plano de linhas do navio. Há vários métodos de estimativas da resistência ao avanço. Em fases iniciais a resistência ao avanço é determinada empiricamente com a utilização de séries sistemáticas. O PNA (1988) na seção 8 apresenta a relação entre as formas do casco e a resistência ao avanço. Em fases avançadas do projeto são utilizados modelos de teste e métodos numéricos como o CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Com o cálculo da resistência ao avanço é possível determinar a planta propulsora que será necessária ao navio desenvolver determinada velocidade de projeto. Nesse ponto a análise de navios semelhantes facilita a escolha da planta propulsora, fornecendo dados de motores e potência utilizada para determinada velocidade. A definição da planta propulsora está ligada ao propulsor e a manobrabilidade do navio.

A definição do propulsor consiste em determinar qual o tipo de propulsor será utilizado (hélices ou hidrojato), a quantidade de propulsores e a geometria dos propulsores. A definição do propulsor está relacionada com o plano de linhas do casco, da planta propulsora escolhida, com a manobrabilidade do navio e lemes do navio.

O dimensionamento estrutural da seção mestra consiste em determinar o chapeamento e perfis necessários para que o navio resista aos esforços solicitantes. Em fases

iniciais do projeto o dimensionamento da seção mestra é feito utilizando-se distribuições paramétricas de peso e dados históricos de ondas, que junto com o plano de linhas do navio define os esforços solicitantes a que o navio está submetido. Este estudo pode ser feito por cálculo racional utilizando-se o conceito de viga navio, por formulações de sociedades classificadoras ou por análise por elementos finitos.

O estudo de dimensionamento da estrutura transversal consiste em se determinar a estrutura transversal do navio na região da seção mestra. Para isto são necessários o plano de linhas, a compartimentagem do navio e os pesos e centros de gravidade.

A definição de blocos de construção do casco consiste em dividir o casco em blocos visando suas construções. Há uma série de fatores que determinam o tamanho e peso dos blocos, grande parte destes fatores definidos na Política de Construção. Conforme aponta Machado (2010) os seguintes fatores devem ser levados em consideração para o dimensionamento dos blocos: tamanho e pesos máximos, limitações de giro do bloco, formas de chapas limites, acesso aos trabalhadores e máquinas para união dos blocos, extensão de uso de máquinas automáticas e semi-automáticas, detalhes de conexões internas, método de cavernamento, tamanhos de chapas máximos ou padronizados, requisitos de suporte dos blocos, a observação de espaços ou tanques adjacentes aos blocos, método de união dos blocos, pontos de sustentação dos blocos para levantamento, dimensionamento para reduzir pinos ou placas de sustentação, utilização de blocos em anéis ao invés de blocos abertos (tipo “U”), blocos compridos ao invés de altos. Este estudo estabelece condicionantes para o projeto de estruturas, definição de compartimentagem do navio. Depende de informações da linha de casco, pesos e centros, estrutura do casco.

A finalidade do condicionamento de ar é manter a temperatura nos limites toleráveis de funcionamento dos equipamentos eletrônicos, controlar a umidade do ar e prover conforto à tripulação. O sistema de ventilação tem por finalidade ventilar principalmente a praça de máquinas e é função do seu tamanho e da carga térmica de seus equipamentos. O sistema de condicionamento de ar é função do tamanho, do número de compartimentos condicionados, da carga térmica proveniente dos equipamentos e tripulantes e da região de operação do navio.

O sistema de controle de avarias tem por objetivo combater incêndios e alagamentos que ocorram a bordo do navio. O sistema consiste em extintores, sistema de água e mangueiras, armários de Controle de Avarias, conjunto de ampolas para combate a incêndio na praça de máquinas, bombas de esgotamento de água. O dimensionamento do sistema está relacionado ao número e tamanho dos compartimentos do navio.

O sistema de aguada tem a finalidade produzir e armazenar água destinada ao consumo humano, destinado a higiene e outras finalidades como tais como repor perdas nos circuitos de refrigeração. Tem como dados de entrada o número de tripulantes e a autonomia do navio. A saída do dimensionamento deste sistema são os principais equipamentos de dessalinização e purificação da água e volume necessário aos tanques de aguada.

O sistema de esgoto e águas servidas tem por finalidade coletar as águas servidas, tanto as águas cinzentas (água destinada a lavagens, provenientes de pias, ralos e da cozinha), quanto as águas negras (contendo excreções, provenientes de sanitários), e tratá-las para lançamento ao mar conforme normas ambientais e para evitar a ocorrência de gases nocivos ao ser humano. Os principais dados de entrada para o dimensionamento deste sistema são o número de tripulantes, a autonomia ou área de operação do navio. Os dados de saída deste sistema são o volume de tanques necessários à coleta de esgotos e os equipamentos necessários ao tratamento de esgoto.

Os principais tanques a serem dimensionados em um navio são: tanques de armazenagem de combustíveis e lubrificantes; tanques de aguada; tanques sanitários e sépticos e tanques de lastro. Os principais dados de entrada para o dimensionamento destes tanques são dados de consumo da planta propulsora, número de tripulantes, autonomia e velocidade. A saída será o volume necessário e localização de tanques junto com a localização de tanques vazios utilizados para a separação de tanques para diminuir o risco de contaminação.

A estimativa da carga elétrica é feita tomando-se por base os equipamentos de navios semelhantes. Como dado de saída será a carga elétrica estimada do navio a ser projetado. Posteriormente, uma segunda etapa estima a demanda dos utilizadores e os fatores de utilização dos equipamentos.

O sistema de eletricidade compõe-se basicamente de geradores principais, quadros elétricos e equipamentos de distribuição de energia, equipamentos de conversão e proteção do sistema. O dado de entrada para a definição do sistema de eletricidade é a carga elétrica do navio e a saída é a definição dos principais equipamentos de bordo do sistema.

Todos os dimensionamentos executados de sistemas devem apresentar o peso. Este peso será controlado e comparado com estimativas iniciais durante todo o projeto, considerando-se as margens de erro e os riscos de projeto. É uma atividade de importância fundamental para o projeto de navios.

O cálculo de comportamento no mar consiste em determinarem-se as acelerações e movimentos predominantes no navio na sua área de operação à determinada velocidade.

Para tal, são necessários o plano de linhas, a distribuição de pesos e centros de gravidade, a área de operação do navio e velocidades do navio. O PNA (1988, p.160) aponta alguns aspectos a ser considerados durante o projeto para a análise de comportamento no mar. A saída será um mapeamento de acelerações que as diversas áreas do navio irá sofrer e servirá principalmente para a compartimentalização do navio e o cálculo de cargas dinâmicas atuantes no navio para o dimensionamento estrutural.

Se um navio, inicialmente em equilíbrio, é perturbado por um momento externo, haverá uma mudança em seu ângulo de inclinação em relação à vertical. Estabilidade é a capacidade que o navio possui de retornar à sua posição inicial depois de cessada esta perturbação. O cálculo da estabilidade intacta visa verificar se o navio está atendendo requisitos de estabilidade sem avarias. Há vários critérios de acordo com o tipo de navio. Os principais dados de entrada para este cálculo é o plano de linhas e pesos e centros de gravidade do navio.

O cálculo de estabilidade em avaria verifica se o navio possui estabilidade suficiente mesmo após avarias sofridas no costado e no fundo do navio que promovam o alagamento de compartimentos. Os principais dados de entrada para este cálculo é o plano de linhas, pesos e centros de gravidade do navio e compartimentalização do navio.

O PNA (1988) aponta que o leme tem a função de estabilizar direcionalmente o navio assim como controlar o navio em manobras. A mesma publicação enfatiza que apesar de outros sistemas de controle auxiliarem o navio na sua manobrabilidade, o leme é o mais proeminente de todos. Para o dimensionamento do leme deve considerar-se o plano de linhas do navio e o tamanho do propulsor e dados de manobrabilidade do navio. Também se consideram lemes de navios semelhantes em estágios iniciais de projeto. Os principais pontos a serem observados, de acordo com PNA, são: tamanho do leme de acordo com as dimensões do casco na popa, resistência ao avanço fornecida pelo leme, operação em emergência do sistema de leme, vibrações que podem ser causadas pelo leme à estrutura do navio.

De acordo com o PNA (1988), a manobrabilidade é um importante item a ser considerado no projeto, requerendo a análise e revisões em cada estágio. A seção 16 do PNA apresenta uma série de procedimentos e ferramentas de análise para assegurar que o projeto está gerando um navio com adequada manobrabilidade. Os principais dados de entrada são plano de linhas do navio, distribuição de pesos e área do leme. A manobrabilidade do navio está relacionada também com os propulsores e com a planta propulsora. Conforme aponta o PNA (1988), há uma série de fatores relacionados a estes sistemas que afetam a manobrabilidade e que devem ser considerados durante o projeto.

Assim como qualquer produto, o cálculo de custos do navio tanto de construção quanto de ciclo de vida devem ser considerados durante toda a fase de projeto. Para isso recebe informações de todas as áreas de dimensionamento de sistemas. Custos de navios semelhantes servem com um bom parâmetro de avaliação de custos do navio a ser projetado.

O conceito de projeto preliminar desde sua emergência no campo do projeto de navio, no final da década de 1950, foi formulado como a determinação da concepção da embarcação para um problema particular de projeto de navio. No entanto, este conceito acabou sendo apropriado numa forma em que a concepção da embarcação acabou reduzida à definição de tipo, das dimensões principais, de alguns coeficientes adimensionais e, muito raramente, do tipo de propulsão e máquina propulsora. Todos os outros elementos de projeto relativos à geometria do casco, ao arranjo do espaço interno e à estrutura eram tratados apenas no projeto básico, apesar de muitos desses elementos serem essenciais à delimitação de um conceito de projeto.

Para resgatar a idéia inicial de um ciclo relativo a definição do conceito de projeto, em toda a sua plenitude, não bastará escrever uma nova definição para o projeto preliminar. Será preciso construir os instrumentos que assegurem que os projetistas se apropriem da nova formulação e utilizem plenamente todo seu potencial. Será preciso também formular uma metodologia de projeto capaz de representar a estrutura conceitual do projeto preliminar e organizar o trabalho de projeto de forma a garantir a realização de seus objetivos.

Mas o que significa concepção de embarcação? E conceito de projeto? Qual o sentido destes termos para os projetistas e arquitetos navais? Formulações elásticas e carregadas de ambigüidades e subjetividades indicam que se está muito longe de se formar um consenso em relação à formalização tanto do conceito de projeto preliminar, quanto dos relativos à concepção da embarcação. Talvez não tenha sido necessário, ainda, apresentar uma formulação teoricamente rigorosa de tais conceitos. Os projetistas fizeram seus projetos, atendendo às necessidades de seus clientes e os navios foram construídos. No entanto, não é difícil concluir que poderiam ser melhores. Por outro lado, o contexto cada vez mais complexo em que atuam os projetistas de embarcações, marcado, sobretudo, pela exigüidade de tempo para atender os desafios que são propostos, além dos equipamentos eletrônicos disponíveis, indica que parece estar chegando ao momento de concentrar um pouco mais de esforço na formulação do conceito de projeto preliminar em termos precisos e no desenvolvimento de uma metodologia de projeto coerente com tal conceito.

A maioria das discussões teóricas a respeito do projeto do navio procura distinguir conceitualmente todas as etapas do processo de projeto em função do detalhamento das

representações do projeto produzidas, como resultado final, em cada uma das etapas. No entanto, afirma-se, como um dos raros consensos, que as decisões mais importantes do projeto são tomadas na fase de projeto preliminar, o que indica que seria mais conveniente distinguir as etapas pelas decisões que a constituem. Porém, a maioria das formulações encontradas na literatura a respeito do conteúdo do projeto preliminar deixa de fora quase toda decisão relacionada com a definição da geometria do casco, do arranjo do espaço interno e do conceito da estrutura. Todas elas ficam para a etapa de projeto básico, restringindo o projeto preliminar à escolha das dimensões principais, da velocidade de serviço e de alguns outros poucos parâmetros quantitativos.

A questão principal é de que não se trata de definições secundárias relacionadas a detalhes, mas, de decisões essenciais como a distribuição de áreas e volumes e da forma das seções principais, espaçamentos, topologia e arranjo de elementos estruturais, tipo e posição da instalação propulsora, distribuição do espaço disponível pelos diversos compartimentos a serem definidos de acordo com a função de cada um deles, enfim, são decisões essenciais que terão uma repercussão determinante no desempenho da embarcação a ser projetada. Assim sendo, aceitando a tese de que o projeto preliminar é a etapa onde são tomadas as decisões mais importantes relativas ao conceito de projeto, formou-se uma contradição entre esta idéia e a prática corrente de projeto que limita o entendimento da formulação do conceito de projeto à escolha das dimensões principais do navio, da velocidade de serviço e de alguns coeficientes geométricos adimensionais (na maioria dos casos apenas o coeficiente de bloco). Já vai longe o tempo em que era preciso convencer os projetistas de que a definição da capacidade de carga e da velocidade de serviço estava entre as decisões mais importantes do processo de projeto de um navio mercante. Hoje a importância desta decisão é indiscutível e que deve ser o resultado de um cuidadoso processo de escolha. No entanto, a definição das dimensões principais é apenas o primeiro passo na definição do conceito de projeto.

O conceito da embarcação engloba todos os aspectos essenciais relacionados com a geometria do casco, com o arranjo do espaço interno e da estrutura, e não apenas o tipo do navio e as suas características principais. Por mais importantes que sejam estas últimas definições elas não são suficientes para conceituar um projeto. Não é difícil encontrar inúmeros exemplos na literatura sobre embarcações com as características principais idênticas, mas com concepções de projeto bastante diferentes que vão produzir resultados operacionais igualmente diferentes. O estudo do projeto preliminar e a proposição de formulações que facilitem o entendimento de seus objetivos e de metodologias que garantam condições para expor idéias e comunicar conceitos e concepções estão longe de se tornarem

questões fechadas. Não apenas são questões abertas, como têm merecido pouca atenção nos círculos acadêmicos.

O projeto tem cada vez mais importância no processo de desenvolvimento do produto. Pesquisas mostram que um grande percentual do custo do ciclo de vida de um produto é consequência de decisões tomadas ainda em fases iniciais de projeto. Contudo, há uma necessidade de pesquisas a respeito do projeto de navios. A característica peculiar do projeto de navios exige uma investigação mais cuidadosa dos processos envolvidos com o intuito de aprimorar-se a sua metodologia de execução.

3. A ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Engenharia Simultânea (ES) é uma expressão elaborada na década de 1990 e aplicada em diversas áreas profissionais, em especial na indústria de produção em massa como a automobilística e a aeronáutica. Ela abarca diversos conceitos, mas pode-se dizer que o foco é sugerir mudanças gerenciais que permitam o trabalho em paralelo para assim atingir um tempo menor de produção aproveitando todas as vantagens que isso possa representar.

A Engenharia Simultânea pode ser definida como a forma sistemática de projeto de produtos e processos, com equipes multidisciplinares, que atuam de forma paralela no desenvolvimento do produto e preocupam-se com todos os elementos do ciclo de vida do mesmo, visando à satisfação do cliente e ao aumento da produtividade e que conta com o suporte de tecnologias computacionais.

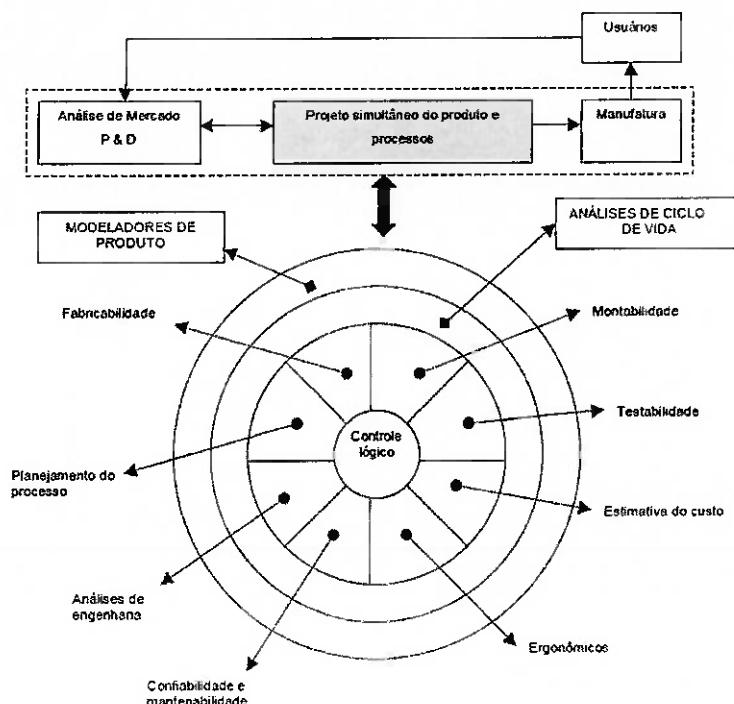
O surgimento da filosofia da ES é o resultado do acúmulo de experiências e conhecimentos, ao longo dos anos, em decorrência da necessidade de evolução dos conceitos e paradigmas da indústria, num processo contínuo no decorrer de sua história. Basicamente, a ES significa uma alternativa aos métodos correntes de desenvolvimento de produtos, e em especial, no processo de elaboração e desenvolvimento de projetos. Consiste em uma ferramenta gerencial aplicável em substituição ao modelo mais difundido, baseado na alocação seqüencial das etapas de trabalho, onde o início de determinada etapa depende da finalização da anterior. Diante da percepção de que este método resulta em um processo de baixa produtividade, custos de produção elevados, retrabalhos e baixa qualidade final dos produtos, a ES se apresenta na forma de um desenvolvimento de todas as especialidades de projeto em paralelo, através de times multidisciplinares de projeto interagindo, alocados precocemente na linha de tempo do empreendimento, de forma a proporcionar uma concepção participativa e que não necessite de ajustes e compatibilizações, obtendo prazos e custos reduzidos. Portanto, o conceito de Engenharia Simultânea, em sua forma mais pura, diz respeito ao desenvolvimento de todas as disciplinas de projeto de maneira simultânea e com a cooperação interativa de todos os agentes da produção.

Muitas companhias que hoje são competitivas no mercado internacional consideram que o desenvolvimento de um novo produto é um importante fator para se sustentar e se manter em vantagem frente aos concorrentes. Pesquisadores e gerentes estão constantemente buscando novos métodos e práticas para otimização do desenvolvimento de novos produtos. A média de sucesso no desenvolvimento de um novo produto é de aproximadamente 60%. O desafio é atingir excelência em três objetivos específicos: desenvolver um novo produto no menor prazo possível; obter maior eficiência no

desenvolvimento desse produto e que esse produto tenha uma qualidade superior. Considerando esses objetivos, as companhias têm reorganizado o processo de desenvolvimento de novos produtos, abandonando o método onde não há nenhuma interação entre os departamentos envolvidos no processo e convergindo para o desenvolvimento através de um caminho integrado denominado Engenharia Simultânea onde as atividades se sobrepõem e todos os departamentos participam do processo desde o início. (VALLE e VÁZQUEZ-BUSTELO 2009).

Entretanto, Valle e Vázquez-Bustelo (2009) afirmam que pesquisas recentes mostram que o uso da ES nem sempre conduzem a resultados positivos e que o sucesso na melhoria da capacidade de inovação depende do contexto em que a ES é aplicada, prevalecendo a competitividade e circunstâncias tecnológicas que o processo está inserido. Afirmam que o grau de incerteza e a singularidade presentes no processo de inovação podem moderar o impacto obtido com o desenvolvimento de novos produtos. A importância a ser considerada não é, entretanto, se a ES é um mecanismo de melhoria para o desenvolvimento de um novo produto, mas em que circunstância essa melhoria pode ser atingida. Parece que apesar de haver muitos esforços de pesquisa sobre esse tema não foi atingido um consenso e existem muitas contradições.

A engenharia simultânea tem sido recentemente reconhecida como uma abordagem viável na qual a simultaneidade entre o projeto do produto e seus processos relacionados, bem como os sistemas de manufatura são levados em consideração, assegurando o equilíbrio requerido da estrutura do produto com os requisitos funcionais e associado às implicações de manufatura (JO *et al.*, 1993, p.4). Isso significa que o fluxo de informações deveria ser multidirecional entre a função projeto e todos os processos relacionados na empresa como ilustra a Figura 4.



Fonte: JO *et al.* (1993) p.9.

Figura 4 - Modelo da “roda de engenharia simultânea”

Para a implementação prática da engenharia simultânea, existem, tipicamente duas abordagens básicas, de acordo com JO *et al.* (1993): a primeira baseada na equipe e, a segunda, baseada em recursos computacionais.

A engenharia simultânea baseada na equipe é aquela formada por projetistas e indivíduos de outras áreas funcionais relacionadas. Os membros da equipe são selecionados por suas habilidades, para produzir máxima contribuição para o projeto do produto e isso se dá pela identificação prévia de problemas potenciais e iniciação rápida de ações para evitar os altos custos de retrabalho. Deste modo, para a implementação efetiva da engenharia simultânea é fundamental a formação de uma equipe multidisciplinar.

Apesar da abordagem baseada na equipe poder ser rapidamente implementada e, também ser largamente utilizada, alguns problemas podem surgir conforme estudos de O’Grady e Young, citados por JO *et al.* (1993). Destacam-se:

- dificuldades de gerenciamento da equipe;
- membros da equipe com conhecimento limitado e,
- custo de manutenção da equipe.

Percebe-se que os problemas descritos dependem, além de outros aspectos, de recursos financeiros para serem resolvidos. Investimentos em treinamento de recursos humanos, mais especificamente da equipe de projeto, são fundamentais e altamente benéficos

para o sucesso da implementação da engenharia simultânea.

A abordagem baseada na equipe tende a ser acentuada à medida que as ferramentas computacionais vão sendo lançadas e melhoradas, já que a filosofia da engenharia simultânea é, segundo JO *et al.* (1993), imaginada dentro de operações lógicas internas, possibilitando a justificação do projeto ou otimização relacionadas a todos os aspectos do ciclo de vida do produto.

A engenharia simultânea baseada em recursos computacionais, como o próprio nome indica, é dependente da disponibilidade de ferramentas de informática. Essas ferramentas, porém, exigem a aquisição, representação, integração e coordenação dos requisitos de conhecimento da engenharia simultânea com os quais o computador possa realizar as análises solicitadas.

A Figura 4 apresentada anteriormente ilustra um modelo conceitual dessa abordagem. Segundo seus autores, a camada externa da “roda de engenharia simultânea” é denominada de modeladores de produto e podem oferecer aos projetistas a capacidade de utilizar quaisquer ferramentas da camada interna para avaliar ou otimizar seus projetos. O centro da roda é o controle lógico o qual envolve a direção das várias ferramentas de CAD para oferecer uma variedade de serviços, auxiliando a encontrar um projeto totalmente satisfeito. Entre a camada externa e o centro está a camada funcional que inclui várias ferramentas de análise do ciclo de vida. Pode-se incluir nessa camada análise de mercado, disponibilidade, acondicionamento/embarque, impacto social, entre outros aspectos.

Muitos desenvolvimentos vêm sendo realizados no campo de ferramentas computacionais. Entre as várias ferramentas disponíveis para o desenvolvimento integrado de produto (DIP), podemos citar:

- CAPP – *Computer Aided Process Planning*: ferramenta de suporte ao planejamento do processo produtivo.
- CAE – *Computer Aided Engineering*: conjunto de ferramentas utilizadas para análises estruturais, de fadiga, aeroelasticidade, aerodinâmica, mecanismos.
- CAD – *Computer Aided Design*: ferramenta utilizada para a criação de documentação geométrica (modelamento) das partes, elementos e sistemas do produto.
- EDMS – *Electronic Document Management System*: sistema utilizado para o gerenciamento dos manuais e catálogos.
- PDM – *Product Data Management*: software de grande porte que centraliza as informações relacionadas ao produto.
- FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*: ferramenta de suporte a análises de

confiabilidade e robustez.

- ECM – *Engineering Change Management*: gerenciamento das modificações de engenharia.

- DFX – *Design for X*, onde o X pode ser Manufatura, Montagem, Custo, Qualidade, Tempo, Suporte Técnico, e vários outros. O DFX permite que aspectos importantes do produto sejam analisados e decididos de forma sistemática, no início do processo de desenvolvimento.

Com a quebra de barreiras tecnológicas e o acirramento da competitividade do mercado, a busca de novos conhecimentos tornou-se primordial de forma a atingir o objetivo de se projetar e construir um navio em menor prazo e com maior qualidade. Com isto, desponta o conceito de Engenharia Simultânea em várias áreas tecnológicas, principalmente na aeronáutica e automotiva, e a engenharia naval não fugiu à regra (LAMB, 1997).

A implementação da engenharia simultânea na indústria naval é algo complexo e oneroso e houve tanto falhas como sucessos (LAMB, 1997). Mas os sucessos apresentados principalmente na indústria automotiva (Chrysler Viper, Ford Mustang) e na aeronáutica (Boeing 777) fez com que o uso de equipes integradas de projeto fosse defendido para futuros projetos de navios nos Estados Unidos (PARSONS, 1999).

A utilização da Engenharia Simultânea em sistemas complexos é relativamente nova. Na Engenharia Naval há poucos dados apontando os principais problemas ocorridos. Lamb (1997) aponta algumas dificuldades na adoção da engenharia simultânea na indústria naval. O autor afirma que se deve ter habilidade para provocar mudanças drásticas no funcionamento da empresa, incluindo a cultura da empresa, o gerenciamento, o envolvimento do trabalhador, as equipes multidisciplinares, e outros aspectos de gerenciamento de interfaces sem prejudicar a empresa como um todo.

Lamb (1997) aponta que a indústria naval tem características específicas devido ao produto a ser construído. Um dos pontos é que o comprador de um novo navio está envolvido desde as fases iniciais de projeto, é bem conhecido. Outro ponto, é que a construção de um navio está geralmente associada a um estaleiro, sabem-se os processos construtivos deste estaleiro. Por fim, outro ponto importante, é que os projetos de navios comerciais são praticamente adaptativos, com poucas margens de mudanças e bem documentados, com considerável paralelismo de atividades de projeto, planejamento, compra e construção. Um navio militar possui características bem diferentes de navios comerciais, possui muito mais requisitos e limitações, sendo o projeto de concepção de um navio militar semelhante ao projeto preliminar de um navio comercial (LAMB, 2004). Por isso, atualmente,

o projeto de navios militares utiliza os conceitos de Engenharia Simultânea, e ajudou a Marinha Norte-Americana a diminuir o tempo de projeto.

Para navios comerciais, no entanto, Lamb (1997) mostra que estaleiros japoneses e europeus competitivos nos mercado não utilizam alguns dos conceitos de engenharia simultânea. Eles não usam equipes multidisciplinares e não há participação de membros da produção, manufatura, entre outros, em fases iniciais de projeto. Tal fato acontece porque os projetistas conhecem os processos e práticas de construção desejadas pelo estaleiro. Isto faz com que as necessidades da construção sejam automaticamente consideradas pelo projetista sem a intervenção de outras equipes especializadas nas fases iniciais. Conforme aponta o autor, o sucesso de um produto novo depende mais em fazer os projetistas tomarem conhecimento dos processos de construção do que juntar projetistas e construtores no mesmo lugar.

Pelos fatores expostos acima, Lamb (1997) afirma que um estaleiro primeiro deve ter um entendimento completo do que eles estão tentando fazer e estabelecer metas antes da implementação de todos os conceitos da Engenharia Simultânea e verificar porque uma mudança é necessária. A Engenharia Simultânea tem sido julgada um sucesso em muitas situações não porque tornou o processo melhor, mas sim, porque aprimorou um processo mal projetado, o que poderia ter sido feito por outras abordagens.

No entanto, Lamb (1997) afirma que a Engenharia Simultânea deve ser utilizada onde abordagens iterativas são necessárias, como o desenvolvimento de uma política de construção ou estratégias de montagem do navio. A política de construção está relacionada com a capacidade do estaleiro no qual o navio projetado será construído. Deve-se ter noção da capacidade de corte e soldagem de chapeamento, dobração de tubulações entre outras. A estratégia de montagem e a definição da sequência de montagem do navio, a definição dos blocos, costuras de chapeamento entre outras.

Outro fato importante a ser observado é que os preceitos da Engenharia Simultânea estão contidos dentro do detalhamento de escopo, definição de atividades e definição do sequenciamento e cronograma de atividades. Conseqüentemente, mudanças no detalhamento de escopo e no sequenciamento de atividades afetam praticamente todas as demais atividades, incluindo planejamento das comunicações, planejamento de recursos, planejamento organizacional entre outras. Pode ser por este fato que alguns autores apontam dificuldades na implementação da Engenharia Simultânea como falhas de comunicação, mudanças organizacionais, etc. Com a implementação dos conceitos da Engenharia Simultânea se faz necessário mapear as interações entre as atividades e o sequenciamento de

realização destas atividades, repercutindo nas demais atividades de planejamento.

As atividades relacionadas à Engenharia Simultânea constituem-se em um estabelecimento de condicionantes a serem abordados durante a realização do projeto. Alguns destes condicionantes devem ser analisados antes do início do projeto pelo fato de não estarem diretamente relacionados ao navio a ser projetado. Eles visam preparar o escritório de projeto com os conhecimentos necessários às atividades de construção, manutenção e operação do navio durante o seu ciclo de vida. As principais atividades são a realização de estudos a respeito da Política de Construção, da Ergonomia e de Apoio Logístico conforme explicitados anteriormente. Outras atividades relacionadas à Engenharia Simultânea devem ser realizadas ao longo do projeto, pois depende do tipo de navio. Um exemplo destas atividades é a análise das linhas de casco para a construção, tentando minimizar a curvatura de chapas com o intuito de reduzir o custo de produção.

As atividades relacionadas à Gerência de Projetos constituem-se no projeto do processo e determinação dos principais documentos a serem confeccionados durante a realização do projeto. Durante o projeto, há as atividades de controle da execução do projeto, como o controle de escopo e de cronograma.

4. A ESPIRAL DE PROJETO

O método tradicional de abordagem para a resolução do problema de projetos de navios é a espiral de projeto proposta por Evans (1959). A Figura 5 exemplifica a espiral de projeto e nota-se que a característica principal desta abordagem está no seu processo sequencial e iterativo. Tal modelo enfatiza o inter-relacionamento de seus diversos itens e que cada um deles deve ser considerado em seqüência, aumentando-se o nível de detalhamento à medida que se caminha ao centro da espiral.

A espiral é caracterizada por uma seqüência de atividades específicas que incorpora os requisitos iniciais de projeto e os parâmetros geométricos do navio (geometria do casco, por exemplo) e itens para análise destes parâmetros, como estabilidade e comportamento no mar, repetindo o processo o quanto for necessário para atingir a convergência dos valores.

Alguns autores afirmam que a utilização da espiral faz com que o tempo do processo de realização do projeto fique longo e a qualidade do projeto decresça tendo em vista que converge para uma única solução que pode não ser a ótima (PARSONS *et al*, 1999; ANDRADE, 2001). Mistree *et al* (1990) colocam que as duas principais limitações da espiral de projeto são que o processo é colocado como sequencial e a oportunidade de se incluir considerações a respeito do ciclo de vida do navio é limitada. Caprace (2010) afirma que o método tradicional de projeto não inclui adequadamente e na época correta considerações sobre produção e ciclo de vida de forma a contribuir de forma positiva para o desenvolvimento do projeto.

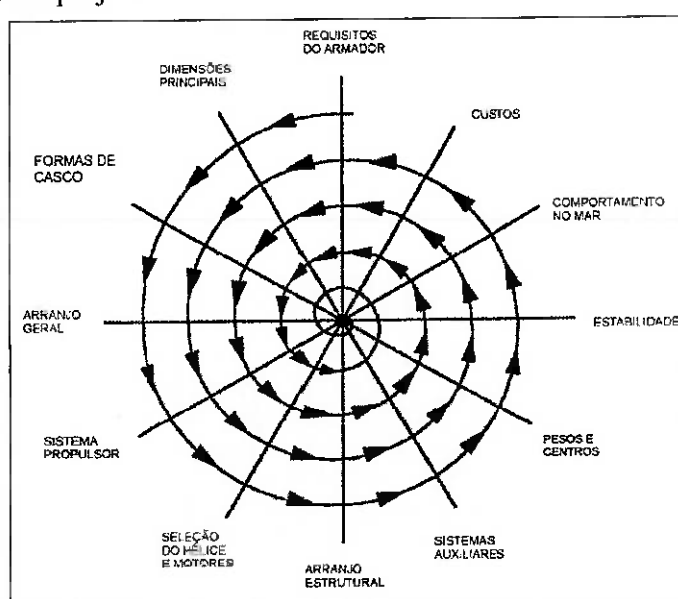
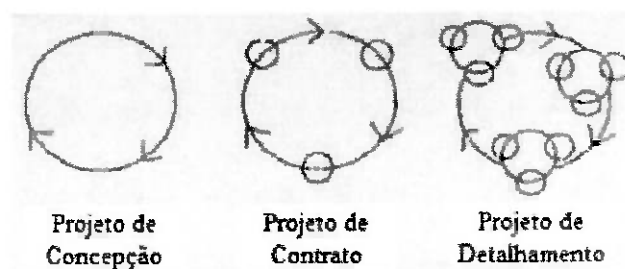


Figura 5 - Um exemplo de espiral de projeto de navio

Cada item mencionado tem uma forte dependência com os demais. A estimativa inicial desta iteração é feita, normalmente, com base em navios semelhantes. São feitas várias iterações e aprofunda-se no grau de detalhamento do projeto até obter-se o navio por completo.

Laverghetta (1998) descreve que a espiral de projeto apresenta o processo de projeto como linear. O processo é mais bem descrito como quase-linear. A progressão de atividades normalmente procede-se de uma forma controlada, seqüencial. Contudo, todas as disciplinas de projeto envolvidas na espiral dependem de dados de entrada de outras disciplinas e fornecem dados para quase todas outras disciplinas do projeto. Devido a isso, engenheiros e projetistas devem ter acesso às informações (atualizadas ou estimadas) de cada disciplina e devem estar atentos a potenciais retroalimentações devido a mudanças causadas por dados de saída de suas disciplinas. Como resultado dessas interações, a espiral de projeto é na verdade uma malha interativa unindo as diversas disciplinas por relacionamentos físicos e fluxos de informação.

Conforme aponta Laverghetta (1998), para cada item da espiral, sub-espirais podem ser necessárias para analisar características específicas do projeto. Por exemplo, é necessário balancear a capacidade do sistema auxiliar com a geração de energia elétrica para suportar os requisitos de carga. Como consequência, há iterações para projeto e análise dentro de alguns itens conforme ilustra a Figura 6.

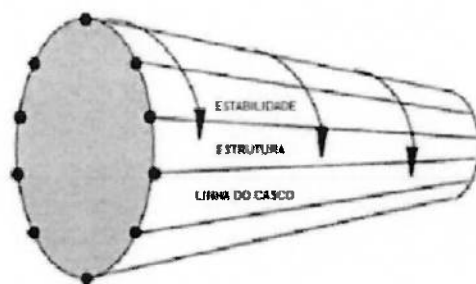


Fonte: Adaptado de Laverghetta (1998)

Figura 6 – Iteração da espiral ao longo das fases do projeto

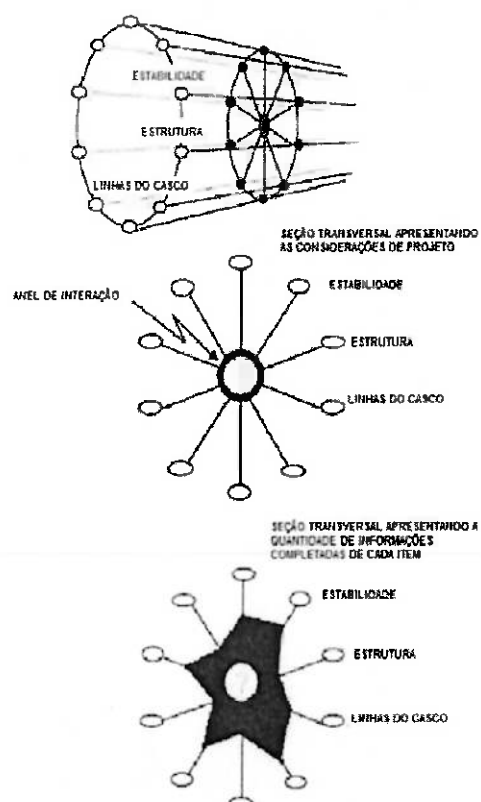
Uma visão diferente da espiral de projeto é dada por Mistree *et al* (1990). Conforme aponta os autores, a espiral é válida, mas sua representação não acomoda a engenharia simultânea. Para isso, uma nova perspectiva é dada utilizando-se um tronco de cone (Figuras 7 e 8). Em cada ponto de uma seção são colocados os parâmetros de projeto

(ex. estabilidade, estrutura e linha de casco) e há uma liberdade para definir as interações entre tais elementos, não sendo um processo seqüencial. O anel de interação mostrado na Figura 8, que representa as interações do processo, faz o papel do integrador do processo. À medida que todos os elementos são considerados, como se tivesse dado uma volta na espiral, o projeto avança em direção à base menor do cone, aprofundando-se no nível de detalhamento dos sistemas.



Fonte: Adaptado de Mistree *et al* (1990)

Figura 7 – Representação do projeto pelo Tronco de Cone.

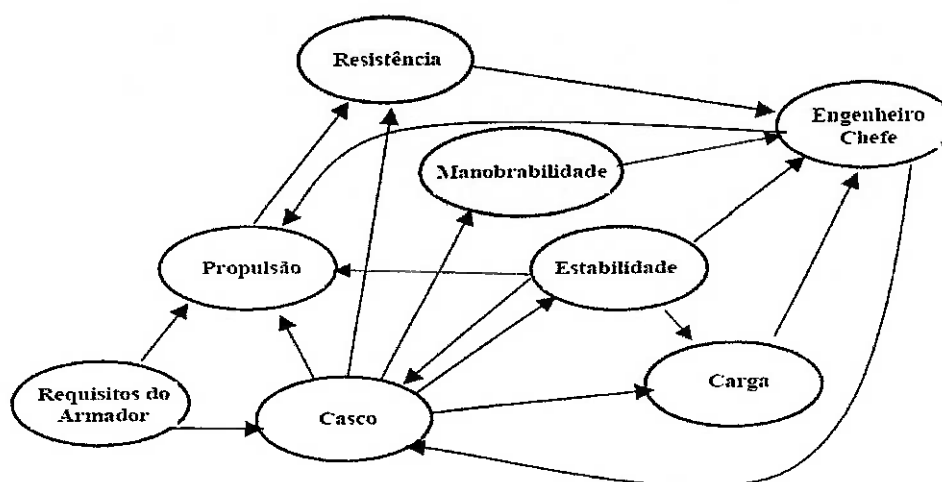


Fonte: Adaptado de Mistree *et al* (1990)

Figura 8 - Espiral de projeto ao longo das fases

A Figura 8 ilustra que cada seção do cone representa uma fase do projeto, e tem uma forma irregular que depende dos requisitos de projeto. À medida que se caminha para a base menor do tronco de cone, a seção tende a ter uma forma circular, com todos os estudos definidos. Por exemplo, no item estrutura, em fases iniciais de projeto é feito apenas o dimensionamento da seção mestra do navio. Há uma série de estudos a serem feitos posteriormente, mas para fases iniciais é o suficiente para que se tenham dados para calcular os demais itens da seção. Por isso, a quantidade de informação no item da estrutura na representação de uma seção é pouca (Figura 8) e se completa com a evolução do projeto.

No entanto, a característica interativa do processo é mais bem visualizada com diagrama de interação ilustrado pela Figura 9. Nesta figura, uma parte do projeto é colocada em termos de interações entre os seus elementos.



Fonte: Adaptado de Parsons *et al* (1999)

Figura 9 - Exemplo de Diagrama de Interação

O modelo representado pela Figura 9 é a Abordagem Híbrida de Agentes para Projetos de Concepção Baseados em Conjuntos proposta por Parsons *et al* (1999). Conforme apontam os autores, nesta abordagem, a proposta de projetos de concepção baseados em conjunto desenvolvida pela Toyota é complementada por uma abordagem híbrida de homens-computadores para facilitá-la por meio de equipes interdisciplinares. Os agentes computacionais são introduzidos entre cada par de agentes humanos para facilitar a comunicação e negociação. Estes agentes são programas de computador com elementos de percepção, inteligência e adaptação com capacidade de tomar ações independentemente. Visualizando a Figura 9 cada elipse é um agente que, junto com programas computacionais,

provê e recebe informações para a consecução de suas atividades. O agente engenheiro-chefe é o líder da equipe e serve como a voz do consumidor.

Tanto a iteratividade quanto a interatividade ilustrada pela espiral de projeto, tronco de cone e pelo diagrama de interação dão apenas uma visualização macroscópica do processo de desenvolvimento do projeto. O projeto do navio tradicionalmente abordado por estas metodologias está em uma forma bem simplificada com relação à sua real dimensão. Há outras metodologias, tanto genéricas quanto específicas para o projeto de navios, conforme apresentam Lamb (2004) e Mistree *et al* (1990), com características semelhantes das apresentadas anteriormente.

5. A INTEGRAÇÃO ENTRE O GERENCIAMENTO DE PROJETO, A ENGENHARIA SIMULTÂNEA E A ESPIRAL DE PROJETO NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE NAVIOS

De acordo com Pieroni e Naveiro (2006) não há uma teoria única para o processo de desenvolvimento de um produto. Cada produto requer uma particular metodologia de desenvolvimento de acordo com as suas características individuais. Entretanto, algumas características tais como gerenciamento de projeto, engenharia simultânea e projeto de engenharia são aplicáveis a todos os processos independentemente do tipo de produto que está sendo desenvolvido. Essas disciplinas normalmente são tratadas de forma isolada, mas segundo os autores elas são complementares.

De acordo com o PMBOK (2000) projetos são compostos por processos e um processo é uma sucessão de ações que conduz a um resultado. O tipo de processo designado “processo orientado ao produto” é aplicável no desenvolvimento do projeto de navios embora o gerenciamento de projeto interage no processo durante todo o desenvolvimento do projeto. Por exemplo, o gerenciamento de tempo não pode ser definido sem o conhecimento das atividades do projeto do navio.

Segundo Pieroni e Naveiro (2006) a representação do projeto de navio é feita em um nível macroscópico, geralmente associado aos sistemas do navio. Essa representação mascara algumas particularidades do processo sendo então necessário analisar o conteúdo ao nível de atividades para se obter um melhor entendimento do projeto. Cabe ressaltar que a espiral de projeto descreve o processo em um nível macroscópico, apesar de apresentar importantes características como iteratividade e progressividade durante a elaboração do projeto representa o processo como linear, mascarando as interações entre as atividades.

Laverguetta (1998) considera que o projeto de navio é melhor descrito como quase linear, as atividades dentro da espiral dependem da entrada e fornecem uma saída para todos os nós do processo. Engenheiros e projetistas devem ter acesso a informações atuais e estimadas de cada sistema e devem ficar atentos as possíveis alterações a serem implementadas em função do desenvolvimento do projeto. Nesse caso a gerência de projeto tem papel fundamental no processo contribuindo para mapear as interações entre as atividades.

Para analisar as interações entre as atividades desenvolvidas para o projeto de navio, Pieroni e Naveiro (2006) apresentaram um estudo sobre desenvolvimento de projeto de navio usando os conceitos de *Design Structure Matrix* (DSM).

Basicamente DSM é representada por uma matriz quadrada na qual as mesmas

atividades de projeto são representadas nas colunas e nas linhas da matriz. A DSM, devido sua forma matricial, provê uma visualização simplificada e aprofundada das interações entre as diversas atividades e iterações existentes no projeto.

A forma matricial permite que haja manipulações por meio de algoritmos permitindo o reordenamento da seqüência de atividades com o intuito de eliminar ou reduzir o número de iterações e agrupar atividades que possuem forte interdependência. Por tais motivos, Lamb (2004) recomenda a sua utilização para a organização das atividades a serem realizadas no projeto de navios.

O processo inicial consiste em marcar as colunas para identificar quando a atividade que está na linha recebe informação da atividade que está na coluna. Pieroni e Naveiro (2006) mostram brevemente que a utilização do DSM no projeto de navios apresenta resultados satisfatórios quando comparados com metodologias tradicionais, limitando-se, porém, ao mapeamento das interações e ao reordenamento da seqüência de realização das atividades com o intuito de diminuir o número de iterações

Foram mapeadas as interações entre as principais atividades relacionadas a Gerenciamento de Projetos, Engenharia Simultânea e Projeto de Navio (nesse caso foram considerados os conceitos de espiral de projeto) e utilizando a DSM foi estabelecida a melhor seqüência de realização daquelas atividades, mostrando em linhas gerais as principais atividades desenvolvidas no projeto de navios.

A primeira conclusão obtida é que a análise das interações é de fundamental importância para o projeto.

O segundo ponto observado é que as atividades de gestão deverão acompanhar todas as etapas de desenvolvimento do projeto, tendo em vista que com a evolução do projeto novas atividades serão demandadas e neste caso o planejamento deverá ser reavaliado.

O terceiro ponto observado é que os princípios de engenharia simultânea estão inseridos no escopo, detalhamento e definição do seqüenciamento das atividades, e qualquer alteração terá impacto em todas as atividades, incluindo planejamento, comunicação e desenvolvimento do projeto. Os autores observaram que a DSM depois de processada reordenou a seqüência de realização das atividades e diminui o número de iterações do projeto. Foi observado também que a DSM auxilia na verificação das atividades que poderão ser executadas em paralelo, favorecendo desta forma o emprego dos conceitos de engenharia simultânea. De acordo com os princípios de engenharia simultânea atividades seqüenciais podem ser executadas com um certo paralelismo ou sobreposição, mas essa possibilidade deverá ser sempre analisada.

Finalmente, as atividades listadas na DSM desmascaram a simplicidade da espiral de projeto. Para aplicar os conceitos da espiral de projeto é necessário o desmembramento do projeto em varias atividades e a realização de interações entre elas. Portanto é necessário converter o processo contido na espiral em atividades para que o gerenciamento do projeto possa ser realizado. Os autores concluem que a análise das interações baseadas nas atividades necessárias para realizar o projeto desempenha um papel fundamental na execução do projeto.

6. O PROJETO DE NAVIO NA MARINHA DO BRASIL

A sistematização dos processos de obtenção de meios na Marinha do Brasil é efetuada pela publicação EMA-420 (BRASIL, 2002), que estabelece os procedimentos para obtenção de meios e embarcações de apoio e apresenta o fluxo de atividades para um processo de obtenção de meios flutuantes a ser executado por projeto e construção.

Segundo o EMA-420 (BRASIL, 2002), o processo de obtenção inicia-se, na fase de concepção, com a decisão do Comandante da Marinha (CM) em dar curso ao mesmo, já estando o meio incluído no Programa de Reaparelhamento da Marinha.

Em função dessa decisão, conforme indica o Anexo D do EMA-420, são elaborados dois documentos norteadores do processo de obtenção, associados à capacidade do meio em preencher a necessidade a que originalmente se destina.

O primeiro desses documentos, elaborado pelo Estado-Maior da Armada, é designado Requisitos de Estado-Maior (REM) e espelha o desempenho pretendido para o meio, em termos de satisfação da necessidade original.

Os REM são, então, remetidos ao Comando de Operações Navais (CON) para que sejam elaborados os Requisitos de Alto Nível de Sistemas (RANS), o outro documento norteador do processo.

Esses requisitos são aprofundamentos daqueles dos REM, com foco não apenas no desempenho global do meio, mas também, no desempenho individual dos sistemas que compõem esse meio (propulsão, geração e distribuição de energia elétrica, comando, comunicação, controle, auxiliares, habitabilidade, sensores e outros).

Os RANS são remetidos à Diretoria-Geral de Material da Marinha (DGMM) que o encaminhará ao Centro de Projetos de Navios (CPN) para elaboração dos Estudos de Exeqüibilidade (EE).

Os objetivos básicos dos EE são a demonstração da existência de configurações alternativas de meio que atendam aos RANS e possam ser objeto de continuação do processo de obtenção e a apresentação das características físicas e de desempenho dessas configurações alternativas, como forma de subsídio à seleção por parte de autoridades competentes para tal.

O REE assim elaborado é encaminhado ao Estado-Maior da Armada, por via das autoridades do Setor de Material e Setor Operativo, que, em caso de discordância quanto às conclusões do mesmo, poderão devolvê-lo para novo ciclo de EE.

O EMA, após analisar o REE, o encaminhará ao CM, para decisão quanto à continuidade ou não do processo de obtenção e, se decido pelo prosseguimento, para decisão de qual configuração estudada deverá ser considerada no desenrolar do processo.

Este é o momento no qual se efetua uma avaliação se o processo está em rumo ou não de propiciar a obtenção de um meio que satisfaça de forma efetiva e eficaz a necessidade inicialmente vislumbrada. Ao mesmo tempo, essa decisão é a oportunidade em que se deve avaliar se persiste a aquela necessidade inicial, a luz de eventuais mudanças no ambiente. Em existindo alterações no ambiente, tal decisão poderá representar tanto uma correção de rumo quanto uma opção pela repetição do trabalho anteriormente efetuado, dessa vez, seguindo-se preceitos diferentes ou ainda pela interrupção do processo.

Cabe ressaltar que embora o EMA-420 (BRASIL,2002) não estabeleça explicitamente que o navio deve ser projetado segundo o método tradicional de abordagem baseada na espiral de projeto proposta por Evans (1959), a divisão do projeto em fases embute esse conceito e espera-se o seu desenvolvimento de forma seqüencial e iterativo aumentando-se o nível de detalhamento à medida que se o projeto evolui.

Em 2008 foi decidido que o Centro de Projetos de Navios da Marinha do Brasil deveria desenvolver o projeto básico de um navio hidrográfico capaz de realizar tarefas previstas no projeto Cartografia Náutica, cujo objetivo principal consiste na atualização contínua da cartografia náutica das principais hidrovias da região amazônica. Esse projeto justifica-se pelo volume de exportações escoado pelas hidrovias da região (mais de 95%). Considerando a dinâmica dos rios amazônicos, é de fundamental importância o conhecimento preciso e atualizado do canal de navegação dos mesmos, possibilitando, desta forma, melhoria na segurança da navegação.

Para consecução desse objetivo foram estabelecidos os Requisitos de Alto Nível de Sistemas para o navio em questão e definido também que os Estudos de Exeqüibilidade e o Projeto Básico do navio seriam elaborados exclusivamente por pessoal técnico lotado no Centro de Projetos de Navios. Adicionalmente, foi decidido que o Projeto Básico seria elaborado com base nas regras de uma Sociedade Classificadora e que todos os documentos técnicos elaborados seriam submetidos à aprovação por aquela organização.

Para a elaboração dos Estudos de Exeqüibilidade foram realizadas as seguintes atividades: Definição das dimensões principais, Estudo de áreas e volumes, Definição das linhas de casco, Arranjo geral preliminar, Compartimentação, Estimativa de pesos e centros, Cálculo da resistência ao avanço, Estimativa preliminar de estabilidade e Definição do sistema de propulsão.

Após a aprovação do relatório dos estudos de exeqüibilidade foi acertada com a Sociedade Classificadora uma relação com 83 documentos que deveriam ser submetidos para a atividade de análise de projeto básico a ser realizada por aquela Sociedade Classificadora no

que se refere ao processo de Certificação do Projeto de um Navio Hidrográfico Fluvial, projetado pelo Centro de Projetos de Navios da Marinha do Brasil. Esses documentos após a aprovação formal da Sociedade Classificadora servirão de base para a elaboração de uma Especificação de Contrato (EC), documento descritivo do projeto básico do meio, e hábil para obtenção, junto a estaleiros-construtores, de uma proposta de construção, com custos e prazos definidos.

A partir da definição do escopo, formalizado pelo contrato celebrado com a Sociedade Classificadora, foi possível definir as competências necessárias para compor a equipe multidisciplinar de projeto, para atuar de forma paralela, e estimar o tempo necessário para a equipe executar cada uma das tarefas do projeto, sem considerar as interdependências entre elas. Cabe ressaltar que equipes multidisciplinares atuando de forma paralela são características principais da engenharia simultânea.

Nessa etapa do projeto, tendo em vista a reduzida equipe de projeto e a necessidade de redução do tempo de desenvolvimento do projeto, foi abandonada, em parte, a característica principal da espiral de projeto que preconiza o processo seqüencial e iterativo, enfatizando o inter-relacionamento dos subsistemas do navio e o aumento do nível de detalhamento à medida que se caminha ao centro da espiral, repetindo o processo o quanto for necessário para atingir uma solução balanceada que atenda aos requisitos do Armador. De acordo com o EMA-420 (2002) o projeto básico do navio deveria ser desenvolvido em fases, iniciando na fase de concepção passando pela fase preliminar e terminando na fase de contrato.

Na realidade o que ocorreu foi o desenvolvimento do projeto de forma mista, isto é, para as atividades de cálculo de peso, estabilidade, resistência ao avanço, entre outras, o projeto seguiu a sistemática da espiral de projeto, tendo os seus estudos e cálculos realizados e revisados até a obtenção da solução balanceada. Por outro lado, cálculos como os de sistemas de ventilação, ar condicionado, geração de energia, foram iniciados após a conclusão dos estudos de exeqüibilidade e foram realizados em atividades paralelas, e praticamente uma única vez, considerando parâmetros de navios semelhantes e do próprio navio quando disponíveis, reduzindo a duração do projeto assemelhando-se a filosofia da engenharia simultânea.

O projeto foi concluído após cerca de oito meses de trabalho, com o emprego de recursos computacional e com uma equipe reduzida utilizando conceitos de espiral de projeto e engenharia simultânea. A aplicação da ferramenta DSM nesse projeto de navio conforme apontam Pieroni e Naveiro (2006) poderia ter auxiliado no ordenamento da seqüência de

realização de atividades e ter contribuído para a diminuição do número de iterações e permitido uma visualização da dependência entre as diversas tarefas.

O projeto básico do navio foi analisado e certificado pela Sociedade Classificadora. Cabe ressaltar que no caso do desenvolvimento desse projeto empregando a metodologia tradicional da espiral de projeto era de se esperar uma duração muito maior (cerca de 18 meses) considerando a mesma equipe de projeto e os mesmos recursos computacionais.

7. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou as principais características referentes ao projeto de navios. Conforme mencionado anteriormente, navios são definidos como sistemas complexos tanto em termos organizacionais para o seu desenvolvimento quanto em termos do próprio produto. Tal fato faz com que as equipes de projetos de navios possuam várias pessoas envolvidas no desenvolvimento da plataforma por um longo tempo.

O projeto é realizado com duas abordagens: decomposição do processo em fases e decomposição do projeto em partes menores.

O projeto do navio é desenvolvido através do conjunto de projetos de seus sistemas, subsistemas, componentes e partes considerando-se os requisitos estabelecidos, as interfaces entre os sistemas e subsistemas bem como as restrições para o seu dimensionamento. A existência de interfaces entre os diversos sistemas e subsistemas torna mandatória a troca de informações entre as diversas equipes de projeto.

O projeto do navio é um processo iterativo sendo necessário estabelecer as interações entre as equipes de projeto para a solução do problema.

A maioria dos projetos de navios são projetos adaptativos que utiliza uma abordagem de solução já conhecida para projetar novos produtos. Há uma infinidade de programas de computadores que auxiliam a realização de uma ou mais atividades relacionadas ao projeto de navios. O que diferencia é a rapidez de execução destas atividades.

Vários estudos relacionados ao projeto de navios são executados em todas as fases de projeto com o objetivo de dimensionar e caracterizar cada sistema e subsistema do navio bem como auxiliar na definição da estratégia de construção e obtenção do meio.

Foi apresentada a espiral de projeto que é o método tradicional de abordagem para a resolução do problema de projetos de navios. A característica principal desta abordagem está no seu processo sequencial e iterativo. Tal modelo enfatiza o inter-relacionamento de seus diversos itens e que cada um deles deve ser considerado em sequência, aumentando-se o nível de detalhamento à medida que se caminha ao centro da espiral.

Quando se desmembram todos os elementos colocados na espiral em atividades para que sejam executados os dimensionamentos e cálculos necessários, nota-se um grande volume de trabalho e a dificuldade na realização do processo além de um grande número de interações entre tais atividades.

Alguns autores afirmam que a utilização da espiral faz com que o tempo do processo de realização do projeto fique longo e a qualidade do projeto decresça tendo em vista que converge para uma única solução que pode não ser a ótima (PARSONS *et al*, 1999;

ANDRADE, 2001). Mistree *et al* (1990) colocam que as duas principais limitações da espiral de projeto são que o processo é colocado como seqüencial e a oportunidade de se incluir considerações a respeito do ciclo de vida do navio é limitada.

Foi visto ainda as principais características da filosofia de projeto denominada engenharia simultânea. Engenharia simultânea é uma expressão elaborada na década de 1990 e aplicada em diversas áreas profissionais, em especial na indústria de produção em massa como a automobilística e a aeronáutica. Ela abarca diversos conceitos, mas pode-se dizer que o foco é sugerir mudanças gerenciais que permitam o trabalho em paralelo para assim atingir um tempo menor de produção aproveitando todas as vantagens que isso possa representar.

A implementação da engenharia simultânea na indústria naval é algo complexo e oneroso e houve tanto falhas como sucessos (LAMB, 1997). Lamb (1997) aponta que a indústria naval tem características específicas devido ao produto a ser construído. Outro ponto importante, é que os projetos de navios comerciais são praticamente adaptativos, com poucas margens de mudanças e bem documentados, com considerável paralelismo de atividades de projeto, planejamento, compra e construção.

Lamb (1997) afirma que um estaleiro primeiro deve ter um entendimento completo do que eles estão tentando fazer e estabelecer metas antes da implementação de todos os conceitos da Engenharia Simultânea e verificar porque uma mudança é necessária. A Engenharia Simultânea tem sido julgada um sucesso em muitas situações não porque tornou o processo melhor, mas sim, porque aprimorou um processo mal projetado, o que poderia ter sido feito por outras abordagens.

A engenharia simultânea deve ser utilizada onde abordagens iterativas são necessárias, como o desenvolvimento de uma política de construção associada à capacidade do estaleiro onde o navio será construído ou estratégias de montagem definida como o seqüenciamento de montagem do navio, a definição dos blocos, costuras de chapeamento.

Outro fato importante a ser observado é que os preceitos da engenharia simultânea estão contidos dentro do detalhamento de escopo, definição de atividades e definição do seqüenciamento e cronograma de atividades. Conseqüentemente, mudanças no detalhamento de escopo e no seqüenciamento de atividades afetam praticamente todas as demais atividades, incluindo planejamento das comunicações, planejamento de recursos, planejamento organizacional entre outras. Pode ser por este fato que alguns autores apontam dificuldades na implementação da engenharia simultânea como falhas de comunicação, mudanças organizacionais, etc. Com a implementação dos conceitos da engenharia simultânea se faz necessário mapear as interações entre as atividades e o seqüenciamento de realização destas

atividades, repercutindo nas demais atividades de planejamento.

Seja qual for a metodologia utilizada para elaborar o projeto de navios, espiral de projeto ou engenharia simultânea, sempre será necessário desmembrar em atividades para a execução do projeto, haverá certa sequência na execução dessas atividades, serão feitas iterações e haverá uma série de atividades que poderão ser executadas em paralelo.

A primeira volta na espiral é composta de uma série de atividades com uma série de interações. A utilização dos conceitos de engenharia simultânea faz com que o desenvolvimento das atividades seja mais rápido. Devem-se analisar as atividades que podem ser realizadas em paralelo e investigar aquelas atividades sequenciais que permitem um certo grau de sobreposição. Isto resultará em uma volta mais rápida na espiral.

A utilização de banco de dados e programa computacionais auxilia na elaboração das estimativas iniciais e podem contribuir para a diminuição do número de iterações e do tempo de execução do projeto.

Quando o projeto do navio é elaborado com uso da espiral, pode ser considerada a inclusão de atividades relacionadas com a política de construção, com a ergonomia e com o apoio logístico integrado, que representam atividades relacionadas ao ciclo de vida de um navio, não configurando limitações para a utilização da espiral de projeto.

A espiral de projeto é a metodologia tradicional empregada na elaboração de projetos de navios. A sua utilização conduz o processo de forma ordenada resultando na maioria dos casos em projetos bem elaborados e de sucesso. A sobreposição de atividades em alguns casos é normalmente executada não descaracterizando o conceito da espiral.

Foi apresentado um estudo sobre a integração entre o gerenciamento de projeto, a engenharia simultânea e a espiral de projeto no desenvolvimento de projeto de navios. De acordo com Pieroni e Naveiro (2006) não há uma teoria única para o processo de desenvolvimento de um produto. Cada produto requer uma particular metodologia de desenvolvimento de acordo com as suas características individuais. Entretanto, algumas características tais como gerenciamento de projeto, engenharia simultânea e projeto de engenharia são aplicáveis a todos os processos independentemente do tipo de produto que está sendo desenvolvido. Essas disciplinas normalmente são tratadas de forma isolada, mas segundo os autores elas são complementares.

Para analisar as interações entre as atividades desenvolvidas para o projeto de navio, Pieroni e Naveiro (2006) apresentaram um estudo sobre desenvolvimento de projeto de navio usando os conceitos de *Design Structure Matrix* (DSM).

Foram mapeadas as interações entre as principais atividades relacionadas a

Gerenciamento de Projetos, Engenharia Simultânea e Projeto de Navio (nesse caso foram considerados os conceitos de espiral de projeto) e utilizando a DSM foi estabelecida a melhor seqüência de realização daquelas atividades, mostrando em linhas gerais as principais atividades desenvolvidas no projeto de navios.

As atividades listadas na DSM desmascaram a simplicidade da espiral de projeto. Para aplicar os conceitos da espiral de projeto é necessário o desmembramento do projeto em varias atividades e a realização de interações entre elas. Portanto é necessário converter o processo contido na espiral em atividades para que o gerenciamento do projeto possa ser realizado. Os autores concluem que a análise das interações baseadas nas atividades necessárias para realizar o projeto desempenha um papel fundamental na execução do projeto.

Foi apresentado um caso concreto de desenvolvimento de projeto de navio empregando os conceitos de espiral de projeto e algumas características da engenharia simultânea.

O emprego da engenharia simultânea no projeto de navio pode ser considerado como uma ferramenta auxiliar no processo de forma a ajudar na diminuição dos prazos de elaboração do projeto.

8. REFERÊNCIAS

- AMORIM, F. A. S. (2002). Projeto Preliminar: Uma Revisão Crítica. *XIX Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore*. SOBENA, Rio de Janeiro.
- ANDRADE, L. R. A. (2001). Modelo de Síntese e Otimização por Múltiplos Critérios para o Projeto Preliminar de Embarcações. 221 p. Tese (Doutorado em Engenharia Naval). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BRASIL, Ministério da Defesa, Marinha do Brasil, Estado-Maior da Armada – Normas para a Logística de Material. EMA-420. 2. ver. Brasília, 2002. 122 p.
- CAPRACE, J. D. (2010) *Cost Effectiveness and Complexity Assessment in Ship Design within a Concurrent Engineering and 'Design for X' Framework*. Thèse de Doctorat présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences de l'Ingénieur. Université de Liège, January 2010. <http://hdl.handle.net/2268/41062>
- EVANS, J. H. (1959) - Basic Design Concepts. *Naval Engineers Journal*, p.671-678.
- JO, H. H.; PARSAEI, H. R.; SULLIVAN, W. G. (1993) *Principles of Concurrent Engineering*. In: *Concurrent Engineering: contemporary issues and modern design tools*. Edited by Hamid R. Parsaei and William G. Sullivan. London : Chapman & Hall, 1993. p. 3-23.
- LAMB, T. (1997) - CE or Not CE – *That is The Question*. *Proceedings of Ship Production Symposium*, New Orleans, Louisiana.
- LAMB, T. (2004) - *Ship Design Methods*. Apresentação Australian Branches of RINA and IMAREST em Sydney.
- LAVERGHETTA, T. A. (1998) - *Dynamics of Naval Ship Design: A Systems Approach*. 187 p. Dissertação (Grau de Naval Engineer e M.Sc. in Ocean Systems Management). Massachusetts Institute of Technology.
- MACHADO, G. (2010) - Apostila Tecnologia de Fabricação Naval – Material de Apoio ao Curso de Pós-Graduação Lato Sensu Gestão e Tecnologia em Construção Naval oferecido pelo Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP à Marinha do Brasil.
- MISTREE, F., SMITH, W., BRAS, B., ALLEN, J. MUSTER, D. (1990). *Decision-Based Design: A Contemporary Paradigm for Ship Design*. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers* (apresentado no encontro anual). San Francisco.
- PARSONS, M. G., SINGER, D. J., SAUTER, J. A. (1999) - *A Hybrid Agent Approach for Set-Based Conceptual Ship Design*. *Proceedings 10th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding*, Cambridge, MA.

PIERONI, E., NAVEIRO, R. M. (2006) – *Integrating Project Management, Concurrent Engineering, and Engineering Design to Improve Ship Design. Third International Conference on Production Research – Americas' Region 2006 (ICPR-AM06) IFPR – ABEPRO - PUCPR – PPGEPS Curitiba.*

PMBOK (2000) – *A Guide To The Project Management Body of Knowledge – PMI Standards Committee - Project Management Institute.*

PNA (1988). *Principles of Naval Architecture. Vol. I, II e III. Segunda Edição. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey.*

SAWE – SOCIETY OF ALLIED WEIGHT ENGINEERS (2001). *Weight Estimating and Margin Manual for Marine Vehicles. Recommended Practice n.14.*

SCHACHER, R. D., BOGOSIAN NETO, S., CASTRO, G.A., FERNANDES, A. C., JORDANI, C. G. (2005). *The Solution-Focused Design Process Organization Approach Applied to Offshore Platforms Design. Proceedings of OMAE2005-67171. Grécia.*

SOUZA JUNIOR, J. R. (2009) – Apostila Princípios de Engenharia Naval – Material de Apoio ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* Gestão e Tecnologia em Construção Naval oferecido pelo Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP à Marinha do Brasil.

VALLE, S., VÁZQUEZ-BUSTELO, D. (2009) - *Concurrent engineering performance: Incremental versus radical innovation – International Journal of Production Economics 119 (2009) p.136–148*