



## Definição da estrutura analítica de produto de um navio SUEZMAX em função dos ativos disponíveis no estaleiro

Bruno Stupello

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Valdir Lopes Anderson

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Marcos Mendes de Oliveira Pinto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

### 1. Resumo

Este trabalho foi motivado pela falta de conhecimento de uma metodologia para definição da estrutura de produto de um navio que fosse suficientemente aprofundada ou suficientemente genérica para permitir sua reprodução.

Para o seu desenvolvimento, foram revistos os principais processos produtivos que compõem a construção de um navio, os equipamentos e recursos necessários aos estaleiros e as características do projeto de um navio petroleiro e da matéria prima disponível.

Como resultado, obteve-se uma estrutura de produto que, se não é ótima, buscou minimizar a quantidade de trabalho envolvida na produção das diversas partes do casco. Espera-se que a metodologia aqui apresentada possa trazer contribuições para a atividade na prática dos estaleiros brasileiros.

### 2. Abstract

This paper was developed because it was not found a methodology for the definition of the product structure for a ship that was deep or generic enough to be employed in an academic use.

To develop this, a review of the main processes of ship building was necessary. The resources needed for this were studied, as well as the ship and material characteristics.

The result is a product structure that is not the best one possible, but that was constructed

with the care of minimizing the work necessary in block assembly. We hope that this methodology will be useful for Brazilian shipyards.

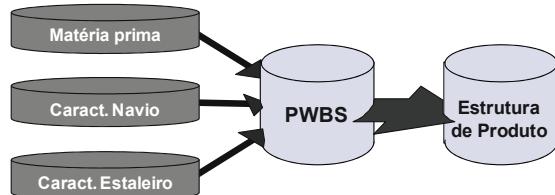
### 3. Introdução

O escopo deste trabalho contempla o desenvolvimento do *Product Work Breakdown Structure* (Estrutura Analítica de Produto) de um navio, que constitui o primeiro esforço do departamento de planejamento de um estaleiro para programar a produção do navio.

Pesquisou-se sobre este assunto na literatura e junto a especialistas, mas não se encontrou nenhum trabalho que formalizasse uma metodologia suficientemente detalhada de como realizar essa atividade, nem uma suficientemente generalista que pudesse ser aplicada a todos os navios. Em entrevistas nos principais estaleiros brasileiros, observou-se que esse processo depende exclusivamente da longa experiência dos engenheiros responsáveis e de metodologias importadas em alguns casos, o que oferece pouca flexibilidade ao usuário. Por isso optou-se por desenvolver a sistemática detalhada neste trabalho.

Era essencial definir premissas que permitissem obter uma divisão do navio em partes, num nível de detalhamento que fosse adequado para mostrar a dificuldade da programação da produção e não se tornasse inviável de se realizar em tempo hábil.

A Figura 1 ilustra os três principais parâmetros que impõem as restrições na definição da estrutura de produto.



**Figura 1: Definição da estrutura de produto**

Foram definidas premissas simplificadoras nesses três parâmetros, tomando-se o cuidado de não afastar a solução encontrada da realidade da construção naval brasileira.

Para simplificar a diversidade da matéria-prima, considerou-se que todas as chapas eram de aço naval<sup>1</sup> e suas dimensões máximas eram 12 metros de comprimento por 3 metros de largura. Esses valores são observados no Brasil porque o transporte entre a siderúrgica e o estaleiro é feito essencialmente por via rodoviária.

Quanto às características do navio, o trabalho baseou-se na cópia obtida do projeto estrutural da seção mestra de um navio petroleiro Suezmax, que será mais bem descrita em tópico específico.

As premissas mais trabalhosas concentraram-se nas considerações sobre o estaleiro. Buscou-se considerar os principais ativos disponíveis num estaleiro típico brasileiro. Era indispensável, entretanto, estudar o estado da arte dos processos mais relevantes e os equipamentos disponíveis atualmente em nível mundial a fim de evitar limitar esta análise a ativos obsoletos. Este problema foi abordado através de nova pesquisa bibliográfica, entrevistas com fabricantes de equipamentos e profissionais de estaleiros visitados.

#### 4. Estrutura de produto

Os grandes navios são construídos obrigatoriamente em blocos, seções ou anéis, pois o espaço disponível para a montagem da embarcação próximo ao mar é limitado e caro.

Essas partes são construídas em terra, nas oficinas do estaleiros, e depois são unidas no local da edificação do casco. Quanto maiores forem essas partes, menor será a quantidade de trabalho a ser feita na área de montagem, menor o tempo de entrega de um navio e

maior a produtividade do estaleiro, pois as vantagens das instalações de uma oficina em comparação ao dique ou carreira imprimem maior velocidade na manufatura.

Segundo Pinto (2007), apenas a construção da estrutura de um navio petroleiro de 250 metros de comprimento gera mais de 18.000 itens a serem controlados. Incluindo-se os equipamentos que vão a bordo, sistemas auxiliares e itens de acabamento este número é facilmente multiplicado. A gestão desse projeto de construção é um grande problema que começa pela definição do que, onde, quando e com quais recursos produzir.

Storch (2005) afirma que essa abordagem na indústria naval segue dois caminhos: a divisão do navio segundo seus sistemas (*System Work Breakdown Structure - SWBS*) ou segundo a construção do produto (*Product Oriented Work Breakdown Structure - PWBS*). A diferença básica entre os dois é que o primeiro baseia-se nos sistemas do navio – propulsão, habitação, sistema elétrico – enquanto o segundo foca os processos construtivos, sendo feita a divisão num bloco que já contenha a parte estrutural do casco, os dutos, fiação e tubulação que passarão por aquele local.

Na produção dessas partes é usado o conceito de Grupos de Tecnologia, no qual seqüências de trabalhos num lote de peças são realizadas em oficinas, com máquinas e pessoal específico, ao invés de se utilizar uma linha de produção. Como o processo é intermitente, a linha de produção acabaria tendo uma velocidade muito reduzida.

No caso de navios militares, costuma ser empregado o SWBS dada a grande complexidade dos sistemas envolvidos (SNAME, 2003), como os sistemas de armamentos, comunicação, sensores e outros, geralmente em redundância. Portanto, é necessário que cada sistema seja instalado por uma equipe especializada. Já no caso de navios mercantes, o PWBS traz maiores ganhos de produtividade e é o mais utilizado.

Feita a divisão em blocos, a produção deve ser encaminhada para as oficinas de modo que os processos sejam feitos em tempo hábil para a edificação otimizada (que não permita ociosidade no dique) e que os recursos sejam adequadamente nivelados, com as oficinas trabalhando do modo mais contínuo possível e evitando alternar entre picos de utilização e períodos de ociosidade.

<sup>1</sup> Características de aço de alta resistência e densidade de 7.800 Kg/m<sup>3</sup>

## 5. Construção do navio

Entre os trabalhos que compõem a construção do navio, a montagem da estrutura do navio (casco) e a pintura representam grande parte do trabalho total do estaleiro. A Tabela 1 mostra a quantidade de trabalho necessário por cada item da construção de um navio, medida em Homem-hora (Hh).

**Tabela 1: Quantidade de trabalho para construir um navio petroleiro de 350m**

Atividade	Quantidade Hh	% do total
Estrutura	1.215.000	49%
Tubulação	500.000	20%
Pintura	240.000	10%
Acessórios	170.000	7%
Máquinas	125.000	5%
Apoio	115.000	5%
Elétrica e instrumentação	105.000	4%
Acabamento	31.000	1%
Total	2.500.000	100%

A confecção de tubos e dutos que serão instalados no navio é objeto de trabalho de oficinas especializadas no estaleiro, quando a atividade não é terceirizada, e deve ser tratada em separado. O processo de instalação de tubulação, dutos, fiação e equipamentos diversos é chamado “*outfitting*” e é realizado, em geral, no cais após o lançamento da embarcação. Uma ressalva é feita no texto no caso de acabamento avançado (*advanced outfitting*), pois segundo Ferraz (2006b) é desejável um adiantamento dessas atividades que, feita nas oficinas, ocorre com produtividade muito superior.

Apresentam-se a seguir os principais processos realizados nas oficinas de um estaleiro, analisando os equipamentos necessários a cada etapa e tecnologias disponíveis, acompanhados de uma estimativa de custos quando possível.

### 5.1. A montagem do casco

O local da montagem do casco, seja dique, carreira ou dique flutuante, é um dos ativos mais importantes do estaleiro. O dique traz vantagens incontestáveis, como a posição de construção plana horizontal, ao invés de inclinada como ocorre na carreira, além de permitir a realização de serviços de reparos no casco, que exigem a retirada do navio da água (docagem). Este fato abre um grande nicho a ser explorado pelo estaleiro e deve ser visto com atenção.

Como a construção de um dique é muito cara, muitos estaleiros optam pela carreira, pagando por essa escolha com a dificuldade adicional de se construir o navio com certa inclinação. Nos casos em que há também restrição de espaço, emprega-se carreira para lançamento lateral, que dificulta a construção ao permitir livre acesso apenas a um bordo do navio durante a edificação.

A outra opção é utilizar o dique flutuante. Neste caso, pode-se construir o navio sobre o dique, com a desvantagem de ocupá-lo durante todo o período de edificação, ou construir o navio em terra, sobre trilhos, e depois que o casco estiver pronto transportá-lo para o dique flutuante (operação conhecida como “*load out*”).

As mesmas questões de custo e produtividade são transferidas para as oficinas e influenciam no seu dimensionamento. Ferraz (2006a) aponta que é vantajoso do ponto de vista da produtividade e do prazo fazer a maior quantidade de trabalho possível fora do dique ou carreira. Ou seja, blocos maiores, que requeiram menor tempo de edificação e que contenham o maior nível de acabamento avançado trazem vantagens como otimização do uso do dique e diminuição do retrabalho. Para construir blocos maiores, porém, os equipamentos das oficinas têm que ser todos adaptados.

### 5.2. Processos e equipamentos envolvidos na construção de blocos

Os processos realizados sobre o material estrutural no estaleiro, basicamente o aço, são os seguintes:

- Desempeno e estreitamento;
- Marcação e corte;
- Conformação;
- Soldagem;
- Proteção.

Há processos auxiliares como transporte, usinagem, vedação e outros. O transporte de material e peças de sub-montagem permeia todos os processos do estaleiro e tem um grande impacto sobre o tamanho dos blocos que o estaleiro é capaz de produzir.

#### 5.2.1. Desempeno e estreitamento

Antes de inserir chapas e perfis no processo produtivo é preciso corrigir as distorções em sua geometria causados pelo transporte e armazenagem, usando para isso equipamentos como prensas, calandras e

acessórios como grampos, clipe e macacos hidráulicos.

### 5.2.2. Marcação e corte

O material que chega ao estaleiro costuma vir em tamanho padrão de acordo com as capacidades do produtor e do meio de transporte utilizado, mas a regra geral é que as chapas cheguem com dimensões alguns milímetros superiores às especificações.

Quando chegam ao estaleiro estas chapas são cortadas por processos mecânicos ou térmicos. Cortam-se peças menores, de acordo com as necessidades de produção, ou apenas as extremidades para garantir sua precisão dimensional, e marcam-se as peças por processos mecânicos, pintura ou, mais recentemente, com a colocação de etiquetas inteligentes que facilitem a automatização dos estoques.

O corte mecânico, que consiste na utilização de serras e guilhotinas, é mais empregado no corte de chapas finas, nas quais o calor do corte térmico provocaria deformações muito significativas. No casco de um navio petroleiro essas partes são bastante raras, ocorrendo principalmente na superestrutura.

Na maioria dos casos é utilizado o processo térmico, cujas tecnologias disponíveis são o oxicorte, o corte a plasma, o corte a laser e o corte a arco-carbono.

O corte a laser tem o investimento inicial mais alto entre as quatro opções, e sua velocidade de corte cai bastante com o aumento da espessura das chapas. Já o corte a arco-carbono, que utiliza corrente elétrica para cortar, tem custo operacional muito alto e também é muito barulhento. Por esses motivos, os dois primeiros são os mais comuns nos estaleiros.

O oxicorte usa acetileno ou propano como combustíveis e a energia cinética desses gases para carregar o metal liquefeito pelo calor. Costuma ser empregado para chapas com pelo menos 300 milímetros de largura, pois para larguras menores que essa o efeito térmico é muito relevante. Existem desde máquinas de corte manuais que custam US\$ 500 até máquinas automáticas com controle óptico de mais de US\$ 20.000.

O corte a plasma usa um arco elétrico para fundir uma região restrita do metal, que por sua vez é carregado por um jato de ar ionizado. É mais preciso e é comum que o próprio equipamento prepare o chanfro para a solda. É mais rápido para cortar chapas de até 19 milímetros de espessura, e pode ser feito debaixo d'água, auxiliando no resfriamento e

provocando menor distorção na chapa. Suas desvantagens são o barulho e a fumaça que causa.

A Tabela 2 foi extraída de SNAME (2003) e faz uma comparação entre as tecnologias de corte utilizadas em estaleiros.

**Tabela 2: Comparação entre as tecnologias de corte**

Processo	Oxicorte	Plasma	Laser
Velocidade de corte (m/mim)	0,9 - 0,6	3,9 - 1,9	2,7 - 2,0
Rusticidade (10 pontos regulares)	38 - 62	50 - 82	45 - 80
Tolerância de perpendicularismo (mm)	0,9 - 1,1	1,2 - 1,4	0,6 - 0,7
Largura de corte (mm)	1,4 - 1,6	3,5 - 7,0	0,5 - 0,7
Investimento (USD)	38.000	76.000	114.000
Custos dos insumos (USD)	460	880	1.270
Custos operacionais (USD)	21.300	21.400	21.600

### 5.2.3. Conformação

A curvatura de chapas é amplamente utilizada na indústria naval. Tem duas importantes variantes: mecânica ou térmica. Muitas vezes esses dois processos são combinados resultando em processos mais rápidos e precisos.

A conformação mecânica consiste no emprego de prensas, rolos e calandras acionados hidraulicamente que pressionam o material no sentido da curvatura desejada. O processo geralmente tem muitos ciclos e tem a capacidade de alcançar a circunferência completa numa chapa de aço.

A conformação térmica baseia-se no princípio da distorção de materiais aquecidos de maneira não-uniforme. Quando se aplica calor a um ponto, o módulo de Young do material naquele ponto é alterado e acontece uma distorção. Com o resfriamento, as tensões aplicadas pelo restante do material fazem com que a curvatura permaneça.

Os parâmetros de controle sobre a conformação térmica são a espessura do material, o calor aplicado e o processo de resfriamento utilizado. Nos estaleiros, dada a

grande variedade de espessuras das chapas e a inexistência de um processo de resfriamento mais elaborado, o parâmetro de controle acaba sendo a velocidade com que a chama percorre a chapa.

#### 5.2.4 Soldagem

A soldagem talvez seja o principal processo de um estaleiro, pois essa indústria trabalha basicamente na montagem de equipamentos e sistemas que recebe, integrando-os no complexo produto que é um navio. A escolha do processo de soldagem deve considerar os requisitos do projeto, as características físicas e geométricas do material e o grau de mecanização desejado.

Um processo de soldagem é definido pela fonte de calor, quantidade de calor trocado e

tipo de proteção à solda. As diversas tecnologias existentes mudam um ou outro ponto e aplicam-se a determinados processos, posições entre as peças unidas, geometria do material, etc.

A Tabela 3 mostra uma relação das principais tecnologias de solda utilizadas num estaleiro e suas principais características e faz uma comparação de custos. Nela pode-se perceber que quanto maior a faixa de corrente, maior a taxa de deposição e, em consequência, a velocidade de solda. A faixa de corrente está associada ao calor transferido à peça soldada, portanto dependendo da característica do material e mais especificamente da espessura da chapa pode haver limitação da faixa de corrente e da velocidade de solda.

**Tabela 3: Comparativo entre as tecnologias de solda**

Índice	SMAW (Eletrodo revestido)	TIG (Tungsten Inert Gas)	MIG/MAG (Gas Metal Arc)	PAW (Plasma)	SAW (Arco Submerso)	MIG (Eletrodo Tubular)
Tipo de operação	Manual	Manual e Auto	Auto ou Semi	Manual e Auto	Auto e semi	Auto e semi
Custo (adimensional)	1	1,5	3	5 a 10	10	3
Posição de solda	Todas	Todas	Todas	Todas	Plana ou horizontal	Todas
Faixa de corrente (A)	50 a 300	10 a 300	60 a 400	1 a 500	Até 400	150 a 1000
Taxa de deposição (Kg/h)	0,5 a 5	0,2 a 1,5	1 a 5	0,5 a 2,5	5 a 6	2 a 6
Rendimento do processo	0,6 a 0,65	0,93 a 0,95	0,93 a 0,98	ND	0,95	ND
Aplicação na Indústria Naval	Vários	Tubulações	Painéis	Não usado	Blocos e chapas	Vários

Quanto ao equipamento usado em cada um desses processos, para cada estação de solda é necessário ter uma fonte de calor (fonte com transformadores de tensão ou cilindros de gases combustível e comburente), uma fonte de material de proteção (gás inerte ou fluxo, quando se aplicar), uma fonte de material de adição consumível (contínua ou não), pistolas de aplicação e acessórios como itens de automação e equipamentos de proteção individual (EPI).

#### 5.2.5 Proteção

Outro processo importante na indústria naval é a proteção das superfícies metálicas, especialmente a pintura. A consultoria McKinsey constatou, em estudo divulgado pela Transpetro, que o custo de tintas é 3,8% do total do navio e representa 10% do trabalho (em horas-homem) num navio de 350 metros.

A pintura ainda é crítica no que diz respeito à qualidade do produto final e também sob o ponto de vista do impacto ambiental causado por esse processo no estaleiro.

A pintura é diferenciada por setor do navio, sendo que em cada setor ela deve ter características específicas: resistência ao atrito, proteção anti-fouling, resistência extra à corrosão, resistência ao ataque químico e outros. Por esse motivo, os setores de pintura são diferenciados em:

- Parte submersa e fundo;
- Linha d'água e pontal emerso;
- Casco superior;
- Superestrutura e áreas internas;
- Deque principal;

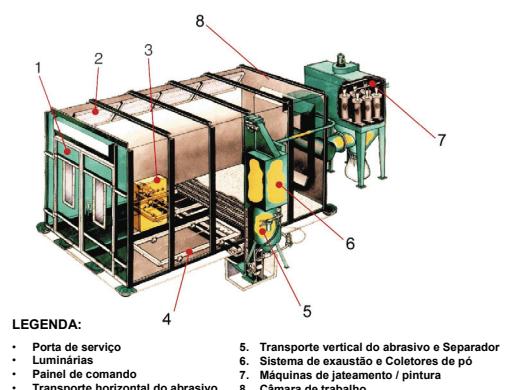
- Tanques e dutos;
- Equipamentos.

Na pintura, a camada de tinta mais externa é precedida por uma camada protetora intermediária e uma camada de *shop primer*, um protetor anti-corrosivo que é aplicado diretamente no aço. E para garantir boa aderência e impedir que um processo de corrosão já iniciado fique sob a camada de pintura, deve-se preparar adequadamente a superfície a ser protegida.

A preparação da superfície para pintura nos estaleiros é feita por jateamento de partículas abrasivas ou por ferramentas de contato. As partículas podem ser grãos minerais, areia, polímeros, cristais diversos ou grãos metálicos também chamados de granalha. Inicialmente o jateamento de areia predominava, porém teve de ser substituído por ser prejudicial à saúde – muitos casos de silicose foram constatados em operários nas últimas décadas. O jateamento de granalha de aço predomina, pois apesar do seu maior investimento inicial, tem custo operacional baixo por permitir a recirculação do abrasivo (entre 50 e 5.000 vezes) e por permitir maior produtividade.

O *primer* aplicado à superfície limpa é a camada mais importante da proteção do metal, pois da sua qualidade depende também a adesão e proteção da tinta. Suas principais características devem ser: fácil aplicação, secagem rápida (entre 1 e 4 minutos), proteção anti-corrosiva prolongada (80 meses), resistência a ataques químicos, baixa interferência aos processos de corte e solda, baixa toxicidade e não ser inflamável depois de aplicado.

Ter uma área fechada e com ambiente controlado (luz, temperatura, ventilação e umidade) pode aumentar significativamente a produtividade da pintura. Segundo dados de um estaleiro brasileiro, em dias de vento perdem-se entre 30% e 50% da tinta aplicada em ambiente aberto.



**Figura 2: Componentes de uma câmara de pintura e jateamento**

A Figura 2 apresenta os componentes típicos de uma câmara de jateamento e pintura, pois estes processos podem ocorrer em um mesmo espaço ou locais adjacentes, de forma a diminuir o intervalo entre esses dois processos, que deve ser de no máximo algumas horas.

As máquinas de pintura utilizam o sistema *airless*, que não requer ar comprimido para carregar a tinta até a superfície. Elas comprimem a tinta chegando até a relação de compressão de 71:1.

As tintas utilizadas na indústria naval são geralmente à base de epóxi, o *primer* à base de silicato de zinco e acabamentos em poliuretano acrílico. Em todos esses casos, o catalisador é misturado à tinta pouco tempo antes da aplicação, e o tempo de secagem vai de algumas horas a alguns segundos, quando o sistema de pintura permite. As máquinas mais modernas trabalham de forma bicomponente e permitem a mistura do catalisador praticamente no instante da aplicação, já na pistola, e com isso o tempo de secagem é de segundos e rapidamente a superfície já está pronta para uma nova aplicação ou para prosseguir no processo de produção.

Uma cabine com dimensões 27 x 15 x 12 metros pode jatear entre 50 e 60 toneladas de chapas por dia num turno de 8 horas. Uma máquina de pintura manual aplica de 17 a 23 l/min, resultando em 15m<sup>2</sup>/h ou 500m<sup>2</sup> em dois turnos de 8 h, com 2 pistolas por máquina.

### 5.2.6 Transporte

O transporte de peças e materiais no estaleiro utiliza os mais variados guindastes, esteiras, veículos industriais e containeres.

Esteiras são características de processos contínuos, em linhas de produção. Nos estaleiros, onde os trabalhos são intermitentes, elas podem ser empregadas em alguns processos quase-contínuos, como as linhas de painéis, áreas de pré-tratamento de chapas e outros. Containeres e *pallets* são empregados no manuseio de peças pequenas, tubulações, sistemas a serem instalados no casco e outros.

Veículos industriais, também chamados de *trolleys*, podem ser apoiados sobre pneus ou sobre trilhos. Normalmente têm capacidade para suportar grandes cargas e são preferidos para transportar peças a longas distâncias ou através de percursos variados, pois em curtas

distâncias a flexibilidade dos carros é superada pela eficiência dos guindastes.

Os guindastes dividem-se em pórticos, pontes rolantes, guindastes de lança e guindastes móveis. São os meios mais utilizados nos estaleiros nas oficinas e na área de edificação.



**Figura 3: Exemplos de pórtico (esq), ponte rolante e guindaste do tipo lança (dir)**

Pontes rolantes são estruturas suportadas pelas paredes do prédio, ou eventualmente presas ao teto, enquanto pórticos são estruturas semelhantes auto-sustentadas e apoiadas sobre trilhos no chão. Ambos podem usar acessórios para prender as peças, tais como cintas, cabeçotes magnéticos, ganchos e correntes. Esses equipamentos podem ser radio-controlados, terem uma boteira presa ao guindaste ou ainda terem uma cabine para o operador. Suas capacidades de carga chegam geralmente até 300 toneladas, mas há casos em que superam as 800 toneladas.

Guindastes de lança também são bastante utilizados, principalmente nas áreas de edificação e acabamento.

Guindastes móveis são geralmente equipamentos leves sobre pneus, capazes de levantar algumas toneladas, mas perdem eficiência conforme se aumenta a altura de içamento. Há também embarcações especiais dotadas de guindastes, conhecidas como cábreas, e nestes casos há grandes equipamentos que suportam até 500 toneladas.

Convém lembrar que blocos maiores e com maior nível de acabamento avançado aumentam a produtividade do dique, mas implicam numa adaptação de todo o estaleiro, desde as primeiras oficinas, para suportarem esse aumento nas sub-montagens. Somente o acabamento avançado pode adicionar de 30% de peso se comparado ao bloco nu.

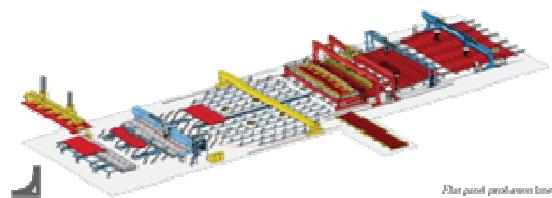
A Tabela 4 apresenta um comparativo entre as características de pórticos de diferentes capacidades, um pequeno característico de uma oficina de estaleiro e um grande, adequado para instalação num dique de um grande estaleiro.

**Tabela 4: Comparativo entre pórticos de diferentes capacidades**

Índice	50t 20 x 20m	600t 60 x 90m	Comentários
Velocidade de içamento (m/min)	2,4	2	
Velocidade de translação (m/min)	40	10	Velocidade máxima com carga
Caminho de rolamento	10 a 500m	Até 500m	
Vida útil	20 anos	20 anos	
Número de operários	1	1	1 controlador + auxiliares no chão
Comando	Boteira	Cabine	Controle remoto + R\$10mil Cabine + R\$ 60mil
Fator de serviço	Até 97%	<<100%	
Custo	R\$ 400mil	US\$ 18mi a US\$25mi	Montagem acrescenta 10% a 20% do custo

### 5.3 Linhas de painéis

As linhas de painéis combinam todos os processos vistos no item anterior, aproximando-se de uma linha de montagem, como pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4: Linha de painéis automatizada**

O investimento numa linha automática é baixo, relativamente ao ganho em qualidade e produtividade. Os custos operacionais são menores por exigirem menor quantidade de mão-de-obra.

Um problema que surge com a automatização desses processos é o alto tempo de *set-up*, por isso ele justifica-se para a construção de painéis em escala – para embarcações cujo porte justifique uma grande repetição de

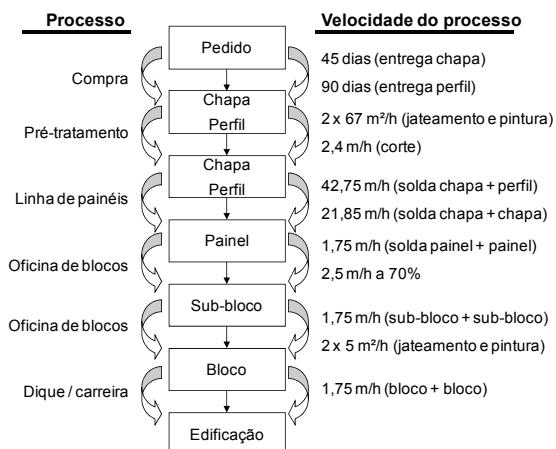
atividades. Há também linhas automatizadas para painéis curvos, mas a escala necessária é ainda mais difícil de ser obtida, pois a mecanização de toda a estrutura de apoio e conformação dos blocos curvos é bastante cara.

**Tabela 5: Características de uma linha de painéis automática**

Descrição	Valor
Investimento necessário	R\$ 4,7 mi a R\$ 6 mi
Produção anual	55.000 t/ano
Área requerida	16 x 105 m (área projetada dos equipamentos)

#### 5.4 Cálculo dos *lead-times* dos processos

Com base nas informações sobre os processos descritos anteriormente, é possível analisar a velocidade com que cada um ocorre nas diferentes etapas da construção do casco. A Figura 5 resume os resultados obtidos.



**Figura 5: Principais processos e suas produtividades em cada oficina**

Fica clara a maior produtividade obtida nas oficinas, nos processos de corte e solda, perante o rendimento obtido no dique ou carreira. Por isso é fundamental maximizar o tamanho dos blocos e a quantidade de trabalho (*outfitting*) realizado nessa etapa.

#### 6. O estaleiro adotado

Como premissa para a divisão do navio em blocos foi adotado um estaleiro de porte semelhante aos maiores estaleiros brasileiros, o que dá segurança de que são valores

razoáveis para a realidade nacional. Ele teria as seguintes características:

- Capacidade de produzir 55.000 toneladas de estrutura (equivalentes a 2 navios SUEZMAX) por ano;
- Oficinas de processamento de aço, linhas de painéis planos e curvos, linha de micro-painéis, oficinas de tubos e de montagem de blocos;
- Dois diques e um conjunto de equipamentos para transporte conforme a Tabela 6.

**Tabela 6: Diques e equipamentos de transporte do estaleiro**

Dados do Estaleiro		
Dimensões	L	350
Dique 1 (m)	B	65
	H	8
Dimensões	L	155
Dique 2 (m)	B	25
	H	7
	300	
	200	
Guindastes	100	
	2 x 40	
	2 x 20	
Capacidade de içamento	2 x 50	
	30	
Ponte Rolante	3 x 10	
	2 x 7,5	
	50	
	25	
Pórtico	2 x 5	
	2	

Para esse estudo, a capacidade de içamento das oficinas foi considerada como a única restrição de tamanho máximo dos blocos. Fica claro que está embutida a premissa de que todos os equipamentos daquela oficina estão preparados para trabalhar com peças de peso semelhante à capacidade, e não se pode assumir que a troca dos equipamentos de transporte aumentará a capacidade das oficinas na mesma proporção.

A Figura 6 mostra o layout esquemático do estaleiro e o arranjo ideal entre as oficinas:

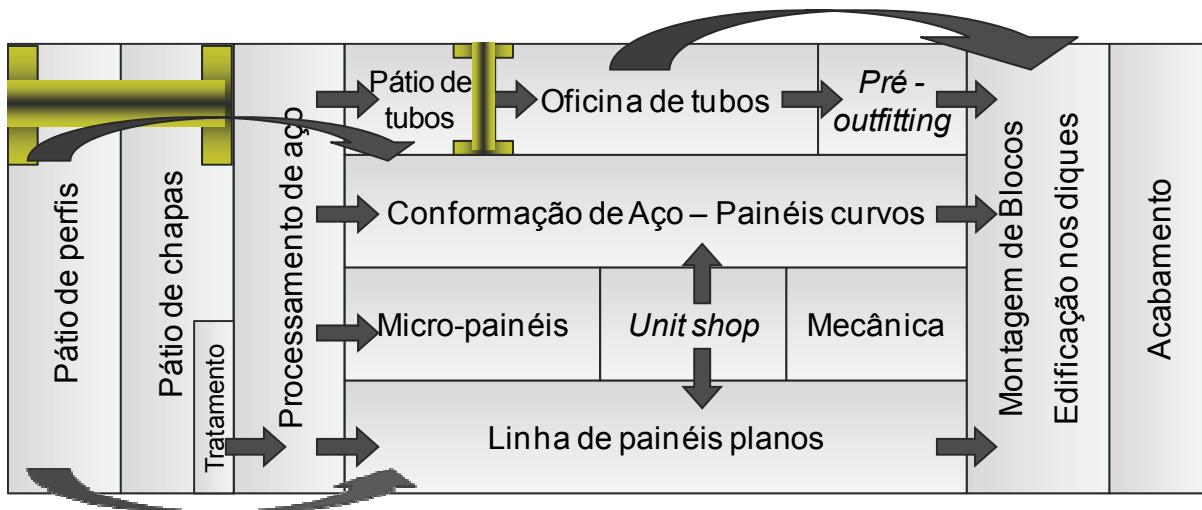


Figura 6: Layout do estaleiro modelo adotado como premissa para definição do WBS

## 7. O navio a ser construído

Para a realização desse exercício de definição da estrutura analítica de produto, foi considerado um navio-tanque com duplo casco e oito tanques em cada bordo. Suas principais dimensões eram:

Tabela 7: Dimensões principais do navio

Dimensão	Valor
Comprimento na linha d'água	250,7 m
Boca	48,3 m
Pontal	25,2 m
Calado	16,8 m
Deslocamento (DWT)	132.000 t

Tais características permitem classificar o navio na classe SUEZMAX. A Figura 7 ilustra o arranjo geral do navio, o número de tanques e sua seção mestra:

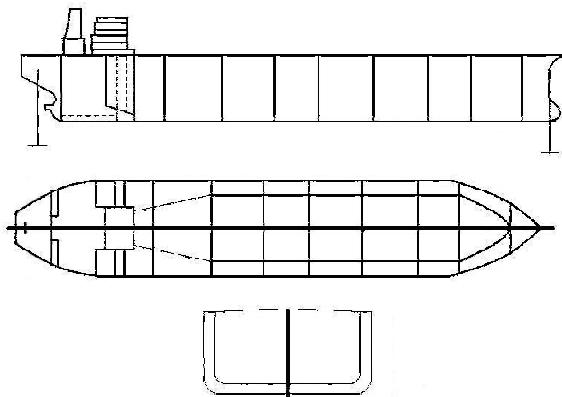


Figura 7: Arranjo geral do navio

Não estavam disponíveis detalhes de popa e proa, praça de máquinas e superestrutura.

Para efeito do estudo, considerou-se que o desenho da seção mestra era significativa do corpo paralelo médio do navio, e que este representava 75% do seu comprimento. Para os 25% restantes, quando necessário, considerou-se que eram semelhantes e todos os tempos e quantidade de trabalho foram corrigidos por um fator de compensação da maior dificuldade de construção.

## 8. Quebra do navio

O procedimento seguido para a quebra do navio consiste em definir as seções de forma inteligente, minimizando a quantidade de trabalho na construção e união das mesmas, e em seguida dividi-las em blocos que possam ser construídos nas oficinas do estaleiro, de acordo com os equipamentos disponíveis.

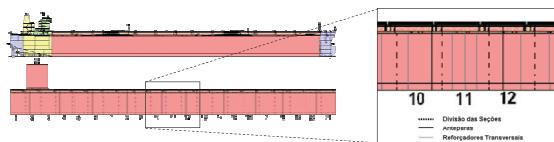
### 8.1 Otimização da divisão em seções

Para a divisão do casco em seções definiu-se que por simplicidade todas elas teriam o mesmo comprimento, de forma a permitir extrapolações de uma seção para as demais. O comprimento deveria aproximar-se do comprimento da chapa fornecida (no máximo 11,98 m e no mínimo 11,90 m), de forma a minimizar o número de soldagens e cortes.

Além disso, para evitar que cordões de solda se sobrepuxessem, as divisões deveriam estar a pelo menos 0,3 metro dos reforçadores transversais e 0,5 metros da antepara transversal;

Na determinação da posição das seções foi utilizada a ferramenta “solver”, do software Microsoft Excel, visando maximizar a distância entre as seções, anteparas e reforçadores, obtendo assim a menor quantidade de cortes e soldas no navio como um todo.

Foram obtidas 21 seções conforme apresentadas de forma ilustrativa na Figura 8. Note que havia seções com um reforçador transversal, seções com dois reforçadores e seções com um reforçador e uma antepara transversal.



**Figura 8: Divisão do navio em seções**

As seções obtidas tinham no máximo 1.030 toneladas, no caso de conterem um reforçador e uma antepara transversal.

## 8.2 Divisão das seções em blocos

As seções deveriam ser divididas em blocos observando as restrições dos equipamentos de movimentação da carga. Os guindastes-lançã, os maiores do estaleiro, limitavam o tamanho dos blocos em 300 toneladas.

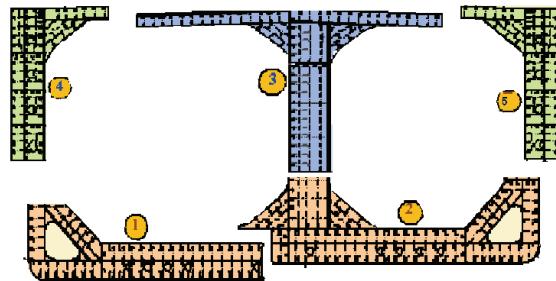
Existem inúmeras configurações de blocos possíveis. O desenho construtivo mostrava a seção transversal de chapas e reforçadores. Determinou-se que cada chapa e os reforçadores ligados a ela (definindo um micro-painel) estariam num mesmo painel, de forma a nunca cortar uma chapa em dois painéis para depois soldá-la novamente.

Seriam necessários pelo menos cinco blocos numa seção para atender ao limite de peso. Variações de blocos eram obtidas associando cada micro-painel a um bloco, analisando seu peso e implicações no formato e facilidade construtiva.

Além do bom senso de quem faz a divisão de blocos, Bell (2005) cita três atributos que devem ser buscados na divisão de blocos:

- Evitar locais de difícil conexão e alinhamento ou conteúdo de trabalho elevado;
- Procurar blocos que formem um plano na estrutura;
- Assegurar que os blocos sejam auto-sustentáveis e alinháveis após a construção.

Dessa forma adotou-se uma configuração final dos blocos semelhante à apresentada na Figura 9.



**Figura 9: Divisão de blocos na seção**

Em seguida definiram-se os painéis que comporiam cada bloco. Cada painel deveria pesar no máximo 50 toneladas, limite dos equipamentos da linha de painéis, e deveria ser composto por micro-painéis inteiros.

Diversas outras considerações foram necessárias para fazer a divisão de blocos. Alguns exemplos são citados abaixo:

- A área do bojo (curvatura entre o fundo e o costado) tinha chapas curvas e seus painéis viriam da oficina de painéis curvos. Era conveniente evitar que estes painéis tivessem chapas planas associadas, pois estas são obtidas na oficina de painéis planos com muito maior produtividade;
- A área da quilha central tem painéis pesados e de difícil acesso para soldagem. Para evitar soldá-la no dique, deveria estar toda contida num bloco;
- O bloco que contivesse a antepara longitudinal não seria “self-standing”, ou seja, dificilmente poderia ser deixado no pátio sem apoios ou suportes, em qualquer posição. Com isso, traria certa dificuldade no manuseio do bloco até sua edificação.

Com as chapas e reforçadores que compunham cada painel, foram somados os comprimentos de solda e estimados os tempos de caldeiraria necessários para cada atividade, obtendo assim a quantidade de trabalho de cada painel e, consequentemente, de cada bloco e do navio como um todo.

Para avaliar a qualidade da solução, foi usado o critério de quantidade de solda realizada na oficina de painéis, oficina de blocos e no dique. Como as produtividades nessas oficinas são diferentes, seriam privilegiadas as soluções que maximizassem a primeira opção e minimizassem a última. Tal avaliação era fácil de ser feita, pois toda a divisão constava de planilha eletrônica.

**Tabela 8: Cálculo da quantidade de solda do bloco (por tipo de solda)**

Chapa + reforçador (m)	União Painel (m)	União sub Bloco (m)
48	12	394,872
72		
48	12	
72		
0	0	
48	12	
24		
0	48	
0	0	
0,000	0	

A Tabela 8 mostra a quantidade de solda de um sub-bloco (sub-bloco 2 do bloco 1 da seção 1). Cada tipo de solda tem uma produtividade associada, sendo que a união chapa+reforçador é feita na linha de painéis automática, a união de painéis é feita na oficina de blocos ou de painéis planos, que têm produtividade menor que a linha automática, assim como a união dos painéis para formar o sub-bloco tem produtividade ainda menor.

Era possível avaliar a qualidade da divisão realizada comparando as alternativas obtidas, conforme apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9: Avaliação de duas opções de divisões de blocos**

Opção analisada	Tempo Solda [h]	Tempo Caldeiraria [h]	Tempo Transporte [h]
Divisão A	144,99	8,59	0,67
Divisão B	172,42	9,87	0,67

Como se observa na Tabela 9, mudando a divisão de blocos alteram-se bastante os números de horas de solda e caldeiraria.

Foi feita também uma estimativa do trabalho envolvido na união dos blocos no dique. A Tabela 10 mostra o comprimento de solda envolvido na união de cada par de blocos, sejam de seções adjacentes ou da mesma seção.

**Tabela 10: Comprimento de solda envolvido na união de blocos**

Uniões entre Blocos	Comprimento de Solda (m)				
	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5
B 1	101,39	49,90	0,00	51,70	-
B 2	-	132,66	12,00	-	51,70
B 3	-	-	50,94	39,30	39,30
B 4	-	-	-	83,20	-
B 5	-	-	-	-	83,20

O nível de detalhamento do trabalho a ser realizado foi bastante grande, não cabendo aqui listar os resultados obtidos. A Tabela 11 mostra o número de elementos obtidos da quebra.

**Tabela 11: Número de itens da estrutura de um navio suezmax**

Item	Número de peças
Reforçadores	10.340
Chapas	5.936
Painéis	1.632
Sub-blocos	297
Blocos	110
Total	18.315

## 9. Conclusão

Conforme se esperava desde as conversas com especialistas do setor, não há uma ferramenta que forneça a estrutura de produto de um navio qualquer. Por isso essa atividade é baseada na experiência dos profissionais de campo, enriquecida ao longo dos anos com sucessos e fracassos do empirismo inerente à tarefa.

Sendo um trabalho de forte viés prático, feito de maneira bastante empírica também – enriquecida na medida do possível por conceitos acadêmicos e uma constante preocupação em garantir ganhos de produtividade no produto obtido – este estudo trouxe compreensão das dificuldades práticas e proporcionou oportunidade para soluções criativas.

Tentativas e erros sucederam-se até que se chegasse a um produto que se julgasse próximo daquilo que é realizado e que trouxesse algum conforto quanto à racionalidade aplicada à divisão do casco do navio.

A contribuição desse trabalho no momento atual de retomada das atividades na indústria naval caminha em dois sentidos: é uma ferramenta de capacitação da mão-de-obra

que eventualmente tenha se perdido ou seja insuficiente para atender à demanda presente e, deseja-se, pode incentivar que haja maior preocupação de trazer inovações incrementais ao processo nos estaleiros, buscando sempre uma estrutura de produto mais adequada às necessidades das empresas, embora não seja possível, a priori, encontrar a melhor solução global para o problema.

A extensa revisão bibliográfica sobre processos construtivos foi necessária para identificar os pontos que representavam oportunidade de melhoria e quais imporia姆 novas restrições. A preocupação de conhecer uma gama de opções de equipamentos e processos, ao invés daquilo que está disponível num estaleiro real, é fundamental para fugir da busca por um ótimo local na quebra do navio. Ainda que não haja uma solução ótima, é preciso expandir os horizontes de quem faz a quebra do navio.

Neste ponto percebe-se que a escolha dos equipamentos de uma oficina de um estaleiro tem forte impacto sobre a produtividade total da empresa.

Usualmente, este procedimento é realizado copiando-se a estrutura de um estaleiro conhecido e em funcionamento. A segurança de escolher um formato já consagrado tem muito peso na decisão.

Também é possível encomendar um projeto de estaleiro junto a empresas especializadas, mas o método utilizado não seria diferente. Posteriormente alguns ajustes são feitos baseados na experiência e na disponibilidade de equipamentos na ocasião.

A desvantagem de se optar por uma solução pronta importada é não considerar aspectos intrínsecos da realidade brasileira na composição dos equipamentos, nem é definido um critério universal.

A metodologia aqui apresentada foi desenvolvida pelo grupo e pode ser útil a estaleiros novos ou em atividade.

## 10. Referências

**Anderson, Valdir L.**(2006). **Caminhos para a melhoria da produtividade**, in [www.gestaonaval.org.br](http://www.gestaonaval.org.br).

**Braghiroli, Oddone F. M.** (2006). **Processos construtivos – Outfitting**, in [www.gestaonaval.org.br](http://www.gestaonaval.org.br).

**Bell, Malcom** (2005). Design for production: Development methodology and application of an interim product structure. First Marine International.

**Ferraz, Murilo S.** (2006a). **Daewoo Shipbuilding and Heavy Machinery: processos de melhoria da produtividade**, in [www.gestaonaval.org.br](http://www.gestaonaval.org.br).

**Ferraz, Murilo S.** (2006b). **Previsão de produtividade de um estaleiro**, in [www.gestaonaval.org.br](http://www.gestaonaval.org.br).

**Gallardo, Alfonso** (2006). **Integração dos processos de design e produção**, in [www.gestaonaval.org.br](http://www.gestaonaval.org.br).

**Eyres, D. J.** (1988), **Ship Construction** (3a. edição), BH Newnes, Oxford.

**Losito, Marcos** (2006). **Processos construtivos – Tratamento de chapas**, in [www.gestaonaval.org.br](http://www.gestaonaval.org.br).

**Pinto, Marcos M.; Stupello, Bruno; Cardoso, João S. L.; Anderson, Valdir L.** (2007). **Desenvolvimento e aplicação de método para definição da estrutura de produto de um navio tanque com aplicação de PPCP num estaleiro**. Projeto de Formatura pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

**SNAME, Society of Naval Architects and Marine Engineers** (2003), **Ship Design and Construction**, New Jersey.

**Storch, Richard L.; Hammon, Colin P.; Bunch, Howard M. & Moore, Richard C.** (1995) **Ship Production**, Cornell Maritme Press, Centerville, Maryland.

**Stupello, Bruno** (2006). **Processos construtivos – Soldagem** in [www.gestaonaval.org.br](http://www.gestaonaval.org.br).