

**Proposta de processo produtivo de embarcações produzidas em aço no estaleiro “A” localizado na cidade de Manaus-AM**

**Fabício Rodrigues Costa**  
**Instituto Nokia de Tecnologia – IndT / Universidade Federal do Amazonas - UFAM**

**RESUMO**

O setor da construção naval caracteriza-se pela inconstância no seu nível de atividade, uma vez que trabalha com obras sob encomenda. Dessa forma, os estaleiros enfrentam dificuldades em sequenciar sua produção, na tentativa de conciliar elevada taxa de utilização dos recursos produtivos com os prazos de entrega. Em Manaus-AM, os maiores estaleiros que constroem embarcações em aço, têm como seu principal produto as balsas e empurradores, impulsionados pela demanda das indústrias de grãos e minérios da região. Este artigo apresenta os resultados de um novo processo produtivo de balsas, proposto com o objetivo de reduzir o tempo de produção. Foi aplicado PERT-CPM para análise do processo produtivo atual e desenvolvimento da nova proposta. Utilizou-se simulação computacional para verificar e gerar cenários.

**PALAVRAS CHAVE: Construção naval, PERT-CPM, Simulação computacional.**  
**AD & GP - OR in Administration & Production Management; SIM Simulation.**

**ABSTRACT**

The shipbuilding industry is characterized by variability in their level of activity, since it works with custom work. Thus, yards are facing difficulties in their production sequence, in an attempt to reconcile the high rate of utilization of productive resources with the delivery. In Manaus-AM, the largest shipyards building vessels in steel, have as their main product ferries and tugboats, driven by demand from industries and mineral grains in the region. This article presents the results of a new production process rafts, proposed with the aim of reducing production time. PERT-CPM was applied to analyze the current production process and development of the new proposal. We used computer simulation to verify and generate scenarios.

**KEYWORDS: Shipbuilding, PERT-CPM, computer simulation.**  
**AD & GP - OR in Administration & Production Management; SIM – Simulation.**

## 1. Introdução

O setor da construção naval caracteriza-se pela inconstância no seu nível de atividade, uma vez que trabalha por contratação de obras sob encomenda. Esse setor destaca-se como fornecedor da base de transporte para a hegemonia econômica e militar dos países.

Os principais participantes do mercado internacional de construção naval seguem estratégias de especialização. A Coreia do Sul se especializou em navios de grande porte, Cingapura em plataformas e navios para a indústria de petróleo e *offshore*<sup>1</sup>, os Estados Unidos, na indústria militar. Na Europa, a maior parte dos países se especializou na construção de navios sofisticados e com características especiais. O Japão constrói toda a linha de navios e luta para aumentar a produtividade e reduzir custos (FERRAZ, 2002).

O Brasil busca melhorar suas competências para ser um competidor importante na indústria mundial de construção naval ou exportador de embarcações. Os fabricantes nacionais procuram expandir especializando-se na fabricação de navios de apoio *offshore*, petroleiros e porta-contêineres para a navegação de cabotagem.

Em Manaus, os maiores estaleiros que constroem embarcação em aço, têm como seu principal produto as balsas e empurradores, impulsionados pela demanda das indústrias de grãos e minérios da região. O estaleiro em estudo, aqui denominado estaleiro A, foi fundado em 1971, situado em Manaus, no bairro da Compensa, às margens do rio Negro. Fabrica embarcações em aço, alumínio, executa obras de caldearia e estruturas para setor industrial bem como possui demanda constante por balsas e empurradores destinados para transportar grãos e minério.

Em aproximadamente 60 dias de trabalho, esse estaleiro produz uma balsa com 16 m de largura e 74 m de comprimento e capacidade de 5.000 TPB<sup>2</sup>. Delimitando, este estudo concentra-se na produção de balsas. Para tanto, realizou-se análise e estudo de todo o processo produtivo de balsas. Consideraram-se as máquinas em uso com as ações dos colaboradores, compreendidos por soldadores, cortadores e pintores.

A problemática deste estudo partiu do questionamento do gerente operacional da carreira do estaleiro analisado<sup>3</sup>: “É possível reduzir este tempo de produção, sem grandes investimentos?”. Tomando por base esse relato, verificou-se a oportunidade de estudo do fenômeno e de propor soluções com a aplicação de ferramentas de engenharia.

O objetivo principal deste trabalho aplicado, consistiu em estudar o processo produtivo do estaleiro em questão para verificar a possibilidade de produzir balsas em menor tempo. Tomando por base isso, foi desenvolvido modelos computacionais para simulação e análise destas propostas. Para tanto, destaca-se os seguintes objetivos específicos:

- estudar e analisar o processo produtivo praticado no estaleiro em questão;
- identificar os gargalos deste processo;
- gerar e propor cenários para este processo;
- verificar por meio da simulação computacional a viabilidade e relevância dessas propostas.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1. Processo produtivo

A título de definição, um processo é um conjunto de atividades estruturadas e medidas destinadas a resultar em produto especificado para um determinado cliente ou mercado. Um processo está relacionado na maneira como o trabalho é feito na organização para se obter um produto ou serviço.

Na concepção mais comum, processo é qualquer atividade ou conjunto de atividades que toma um *input*, adiciona valor a ele e fornece um *output* a um cliente específico. Os processos utilizam os recursos da organização para oferecer resultados objetivos aos seus clientes (HARRINGTON, 1991).

<sup>1</sup> *Offshore*: atividade de exploração de petróleo em alto mar.

<sup>2</sup> Tonelagem de Porte Bruto (TPB): tonelagem total que pode ser embarcada em uma embarcação. Além da carga comercial, inclui combustível, tripulação, víveres etc.

<sup>3</sup> Esse relato foi coletado por meio de depoimento informal.

Para Davenport (1994), da área da administração, o processo é uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo e um fim. *Inputs* e *outputs* claramente identificados: uma estrutura para a ação; denominado pelo autor como **Reengenharia de processos**.

A Reengenharia de processos possibilita o entendimento de como o trabalho é realizado, particularmente no que se refere aos fluxos horizontais ou transversais de atividades e informações em um dado ambiente empresarial e/ou industrial.

Para Sherwood (1972), autor de bastante prestígio da área química, a **Engenharia de projeto de processos** é definida como:

o processo de aplicar várias técnicas e princípios científicos com a finalidade de definir um equipamento, um processo ou um sistema com particularidades suficientes para tornar possível sua realização material (SHERWOOD, 1972, p. 54).

Ambos os autores concluem que a **Reengenharia de processos** e a **Engenharia de projeto de processos** são fortemente suportadas por modelos de processos. As finalidades básicas da **modelagem de processos** são: representação, análise e melhoria, de forma que o trabalho orientado para produtos, clientes e mercados, nas organizações, resulte em ações dirigidas à obtenção de um resultado útil e melhor.

Com visão mais contemporânea, Martins (2006) denomina somente como **Processo** e define como o percurso realizado por um material desde a entrada na empresa até que dela saia com um grau determinado de transformação. Este autor, da área de Engenharia de produção, sintetiza a idéia de que é um processo, as definições são similares e em todas as áreas verificadas.

A gestão das organizações, segundo uma lógica de processos, possui uma estrutura, com quadros-conceituais, abordagens, aplicações, instrumentos e resultados bem definidos. A Engenharia de Processos, têm a finalidade de contribuir no sentido de melhor estruturar uma ação de engenharia e melhoria de processos. Permite também avaliar e orientar quem estiver na busca pela melhoria no desempenho (SLACK, 2007).

A Engenharia de processos possibilita o entendimento de como o trabalho é realizado. Essa compreensão vai além do entendimento do fluxo de etapas de um processo, pois busca representar como as unidades organizacionais se integram e quais instrumentos usam, com o objetivo de gerar resultados.

## 2.2. Simulação computacional

A simulação sempre foi usada pela humanidade como meio de representar os processos relativos aos sistemas em que as pessoas viviam. Nesse caso, incluem-se a escultura, a pintura e todas as formas de representação de idéias. Em ciência, a utilização de modelos é uma atividade corriqueira, desde os modelos em escala reduzida (barragens, topografia, edificações etc.) até modelos de aviões para estudo de aerodinâmica e modelos analíticos de processos físicos e mentais (SHAMBLIN, 1979).

A simulação de um sistema é a operação de um modelo que representa esse sistema, geralmente em computadores, respeitando-se todas as regras e condições reais ao que o sistema submete-se. O modelo permite manipulações que seriam inviáveis no sistema real que ele representa, por causa do custo ou da impossibilidade de realizá-las (ANDRADE, 2004).

A intervenção direta nas rotinas de qualquer sistema, consiste em implementar e/ou alterar as formas de operação do próprio sistema, com o objetivo de alcançar uma situação ideal. Esse tipo de procedimento é extremamente arriscado, pois a inadequada tomada de decisão impactará negativamente a *performance* do sistema. Na construção naval, implicaria custos bastante elevados, devido ao desperdício de matéria-prima, uso inadequado da mão-de-obra, descumprimento de prazos etc.

Para Andrade (2004), a simulação trata-se de uma ferramenta da Pesquisa Operacional que permite a geração de cenários. Baseado nisso, é possível: orientar o processo de tomada de decisão, analisar e avaliar os sistemas e propor soluções para melhorar desempenho.

Atualmente, é possível empregar a técnica de simulação computacional em diversas áreas do conhecimento, o que têm propiciado:

- projetar e analisar sistemas industriais;
- determinar frequência de pedidos de compra para recomposição de estoques;

- projetar e administrar sistemas de transportes como: portos e aeroportos;
- configurar sistemas de atendimento em hospitais, supermercados, bancos etc.

Para Law e Kelton (1991), os estudos de sistemas podem ser realizados sob as diferentes formas de abordagem, conforme representado na Figura 1.

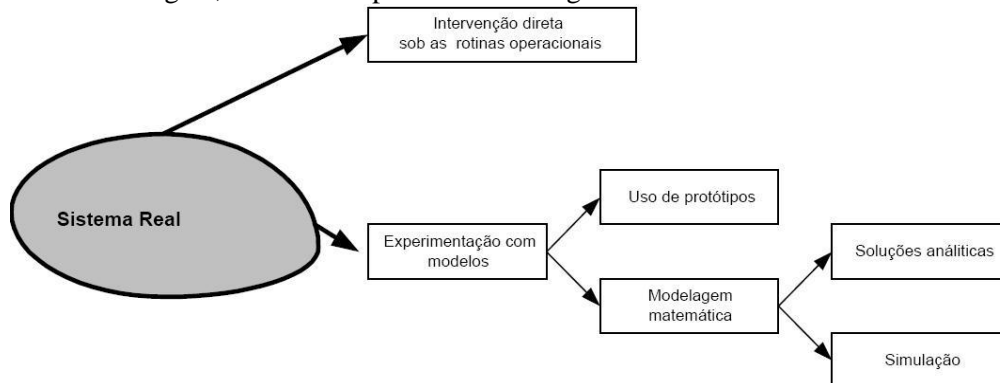


Figura 1: Formas de estudo de sistemas.

A experimentação com modelos implica na criação de um modelo que, deve representar e/ou demonstrar a forma de funcionamento do sistema real. Segundo Neelamkavil (1987); os modelos podem ser classificados em: mental, físico ou simbólico.

Os modelos mentais são intuitivos, existindo somente na mente do tomador de decisão. Geralmente, os modelos mentais são confusos, complexos e imprecisos e de difícil comunicação. Isso porque a estruturação do modelo está estritamente vinculada à carga de conhecimento do tomador de decisão sobre o sistema em questão.

O modelo físico é uma descrição do sistema real por meio de uma representação análoga ou pela construção de um protótipo. Nesses casos, os estudos de avaliação do sistema real ocorrem com realização de vários testes empregando o protótipo.

Quanto ao modelo simbólico, pode ser dividido em não-matemáticos e matemáticos. Os não-matemáticos podem ser: (i) a descrição lingüística, exemplo: memorial descritivo de um projeto elétrico; e (ii) a elaboração de um gráfico, exemplo: os fluxogramas. Os modelos matemáticos apresentam-se como: (i) soluções analíticas ou (ii) soluções numéricas. As soluções analíticas constituem na composição de equações matemáticas destinadas a solução de uma classe específica de problemas. Quanto às soluções numéricas, resultam no emprego de um conjunto de equações para descrever um determinado processo, o que pode originar um modelo matemático de simulação e que pode ser implementado em computadores (KELTON, 2007).

### 2.3. Sequenciamento da produção

As empresas que trabalham com produção sob encomenda, caso típico dos fabricantes de embarcações, têm grande dificuldade em sequenciar a produção, visando conciliar a ocupação e produtividade dos equipamentos e pessoas, com os prazos de entrega dos clientes. A programação global da produção é essencial neste ramo produtivo. São produtos distintos, com fluxos de produção variados, passando por um conjunto de máquinas móveis e fixas.

Na produção sob encomenda, o principal fator a ser resolvido pelo planejamento, programação e controle da produção, especialmente no sequenciamento das atividades, é o problema da alocação dos recursos múltiplos restritos disponíveis, a fim de assegurar a data de conclusão do projeto (TUBINO, 2007).

A **Estrutura de produção** é um parâmetro de forte influência na escolha da TGP na medida em que ela caracteriza a forma como as empresas manufatureiras organizam seus recursos a serem transformados (materiais, informações e consumidores), os seus recursos de transformação (instalações, recursos humanos e fornecedores) e o seu processo de transformação para atender ao mercado.

Costa (1996) estudou as variáveis de análise das estruturas de produção citadas na literatura, classificando-as segundo cinco critérios: (i) a composição dos produtos; (ii) o grau de certeza da

demanda futura; (iii) a frequência de produção de cada produto; (iv) a distribuição física dos recursos de produção; e (v) a natureza do fluxo de material. A figura 2 resume as estruturas de produção e é extremamente útil para caracterizar as regiões de maior adequação de cada uma das várias tecnologias de gestão examinadas.

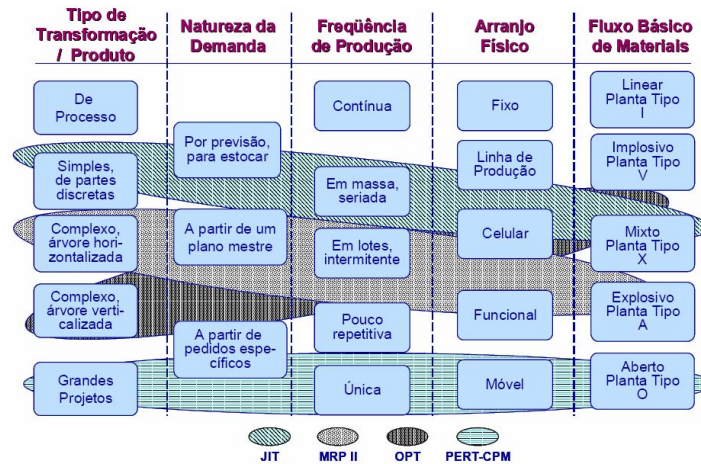


Figura 2: Tecnologias de gestão (contextos e aplicações). Fonte: Costa (1996)

O estaleiro analisado produz diversos tipos de embarcações em aço. Delimitando, este estudo concentra-se na produção de balsas. Para tanto, realizou-se análise e estudo de todo o processo produtivo de balsas. Consideraram-se as máquinas em uso com as ações dos colaboradores, compreendidos por soldadores, cortadores e pintores.

Como evidenciado por Costa (1996), as técnicas *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e *Critical Path Method* (CPM) aplicam-se a projeto produtivo sob encomenda, que é formado por uma combinação de atividades inter-relacionadas que devem ser executadas em determinada ordem antes que a tarefa inteira seja completada. Essas ferramentas são empregadas para planejar, sequenciar e acompanhar atividades, de forma que cada uma delas tenha seu início e fim. Encadeadas com as demais atividades, podem ocorrer em sequência e/ou paralelo.

O inter-relacionamento entre as atividades significa que algumas delas devem terminar para que outras possam iniciar, e em uma ordem que não pode se alterar. Por essa característica, pode-se afirmar que, de maneira geral, todo projeto é único, tendo em vista que a sequência das atividades, as respectivas durações e os recursos consumidos não se repetirão da mesma forma no futuro (ANDRADE, 2004).

Dois técnicas foram desenvolvidas, quase simultaneamente no final da década de 1950: *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) – Técnica de Avaliação e Revisão de Programas e *Critical Path Method* (CPM) – Método do Caminho Crítico. A técnica PERT foi desenvolvida para a Marinha americana visando à aplicação no projeto de mísseis Polaris. O CPM foi desenvolvido pela equipe da Dupont Nemours & Company para aplicação em projetos de construção. Apesar do desenvolvimento independente, as técnicas são tão similares que as pequenas diferenças são hoje consideradas apenas de interesse histórico. Por isso, usualmente a técnica é chamada PERT-CPM. Essas técnicas evidenciam o inter-relacionamento entre as atividades de um projeto (ANDRADE, 2004).

As vantagens dessas técnicas são inúmeras, tanto para os administradores do projeto como para o Planejamento e controle da produção. Dentre outras, podem-se destacar:

- fornece uma visão gráfica das atividades que compõem o projeto;
- proporciona estimativa de tempo que o projeto consumirá;
- permite visão de quais atividades são críticas em determinado do prazo; e
- fornece visão de quanto de folga se dispõe nas atividades não-críticas, a qual pode ser negociada, a fim de reduzir a utilização de recursos e, conseqüentemente, custos.

Na produção sob encomenda, como várias atividades concorrem pelos mesmos recursos produtivos simultaneamente, a espera em filas de processamento alteram ou podem alterar a criticidade das várias operações. Aquelas atividades que porventura tinham folgas podem perdê-las ou

simplesmente tornarem-se mais críticas, em função de sua baixa prioridade em relação a outras atividades.

### 3. Materiais e métodos

Em relação aos procedimentos metodológicos para a realização deste estudo, utilizou-se tanto dados quantitativos quanto dados qualitativos. Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, cujo objetivo estava em investigar obras e artigos já existentes sobre a temática, o que possibilitou uma maior aproximação com o tema. Em seguida, passou-se à pesquisa de campo, realizada no âmbito da carreira 6 do estaleiro A, onde foi possível coletar os dados analisados. Destaca-se que ambas as etapas foram necessárias e que se complementaram, de modo que a primeira pôde fundamentar a pesquisa empírica que foi desenvolvida a posteriori.

Para a pesquisa teórica acerca dos assuntos pertinentes ao trabalho, utilizou-se a rede mundial de computadores – internet. Assim foi possível ter acesso a bancos de teses e dissertações de diferentes universidades nacionais, além de inúmeros artigos científicos e *e-books* de autores estrangeiros; livros de bibliotecas e acervo pessoal. Essas informações, quando possível, foram armazenadas em formato digital.

Por meio da observação direta, identificou-se a situação do processo produtivo de balsas; em seguida, houve a possibilidade de registrar alguns relatos verbais de determinados colaboradores e registro fotográfico desse processo. Com as fotos que registraram todo o processo produtivo, foi possível organizar as ações por ordem cronológica de acontecimento no processo. Essa etapa foi fundamental para a análise e entendimento do modo como essas embarcações são produzidas. Ainda na pesquisa de campo, coletaram-se amostras dos tempos de cada ação. Essas variáveis foram necessárias para verificar os tempos de cada ação que compõe o processo produtivo como um todo.

Após a pesquisa de campo, passou-se à análise e interpretação de dados. Nessa etapa, tabularam-se os dados coletados em planilhas eletrônicas, relacionando-os com o referencial teórico pesquisado anteriormente.

### 4. Análise e discussão

A carreira 6 desse estaleiro é onde são fabricadas as embarcações de maior porte, como as balsas e empurradores. Essa carreira é composta por três galpões que possuem funções e infraestrutura distintas. No primeiro galpão, executa-se a atividade de tratamento da superfície das chapas de aço e corte. Esse último pode ser manual ou por meio de máquinas. No segundo galpão, é executada a montagem das peças e várias peças formam um painel, vários painéis são soldados, originando os blocos. No terceiro, é onde acontece a montagem final das embarcações; os vários blocos são unidos e assim a embarcação é montada. Lá também ocorre a fase de acabamento, onde os acessórios são montados na embarcação que recebe a pintura solicitada pelo cliente. Nesse galpão, encontra-se a carreira, rampa com 7° de inclinação, responsável por lançar as embarcações na água.

O processo produtivo macro, é composto pelas etapas que constam na Figura 3. Essa descreve o processo em forma de diagrama de blocos. Assim, é possível perceber a interação entre cada etapa e a sua ordem de acontecimento.

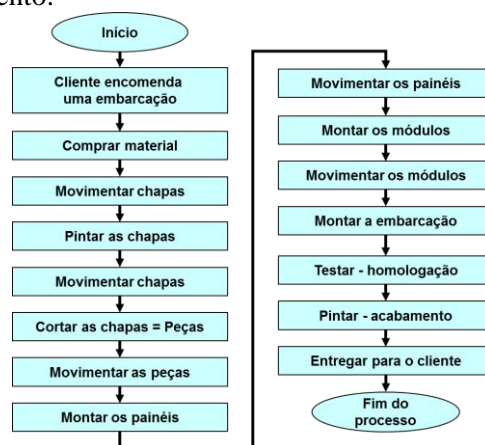


Figura 3: Processo produtivo praticado no Estaleiro A.

O início do processo da construção de uma embarcação dá-se quando o cliente faz a encomenda com base em sua necessidade. Há duas possibilidades: ou o cliente já fornece o projeto completo, cabendo ao estaleiro a responsabilidade de construir a embarcação; ou o cliente descreve sua necessidade ao estaleiro e este desenvolve todo o projeto.

A compra dos insumos é feita em função da particularidade de cada projeto. Em virtude da grande e constante demanda que o estaleiro A possui, as chapas de aço são adquiridas no sistema de cota<sup>4</sup>, e as tintas, consumíveis para solda e motores são adquiridos diretamente com o fornecedor, sem intermediários.

O próximo passo é movimentar as chapas de aço da área externa, armazenamento inicial, para a carreira 6. Essa atividade é executada com o auxílio de um trator. No estaleiro A, para que as chapas de aço sejam utilizadas na construção naval, há o tratamento da sua superfície. Esse tratamento consiste em jatear a superfícies das chapas com granalha de aço. Em seguida, a superfície da chapa é varrida. Na sequência, há o preparo da tinta. Somente após essas etapas, é que as duas superfícies da chapa são pintadas, uma de cada vez.

Após o tratamento das superfícies das chapas de aço, há o seu transporte para a área de desenho e corte. Essa atividade é executada com o uso das pontes rolantes. No Estaleiro A, a etapa de movimentação de chapas é uma atividade que além de mobilizar homens e máquinas, é extremamente arriscada, haja vista que uma chapa com as dimensões padrões de 0,008 x 12,00 x 2,44 m pesa cerca de 1.600 kg. Quando essa chapa é transportada, percorre o trajeto sobre os trabalhadores, elevando assim o risco potencial dessa atividade.

A atividade de desenho e corte manual estão intimamente relacionadas pois, para que o corte manual ocorra, é necessário que a peça esteja desenhada na superfície da chapa. O desenho consiste em desenhar as peças a serem cortadas na superfície da chapa. O corte manual é executado com o uso do maçarico. Outra possibilidade de corte é com o uso das máquinas automáticas de corte. Nesse estaleiro há duas máquinas automáticas para cortes de chapas de aço.

O resultado da etapa de desenho e corte são as **peças**. Muitas peças formam um **painel**, que é um painel maior e mais pesado. Muitos painéis unidos formam um **bloco**, e a união dos blocos formam a embarcação.

Uma embarcação é composta pela união de inúmeros blocos. Os blocos são transportados para a carreira a fim de serem unidos e soldados nas respectivas posições. Para a montagem final dos blocos e da embarcação, é necessário a execução de soldagens em espaços pequenos e escuros conhecidos como “cavernas”. Cada bloco é transportado até a rampa com 7° de inclinação onde é finalizada a etapa de montagem: apenas a proa e a parte do meio da embarcação.

Com embarcação totalmente montada e pronta para o acabamento, inicia-se a instalação dos motores e dos acessórios. Os motores são instalados por equipe técnica da fábrica durante a instalação, inspeção e entrega técnica. O acabamento envolve toda a montagem de equipamentos de navegação, geradores, a pintura solicitada pelo cliente, etc. E por fim, há os testes necessários antes da entrega da embarcação que são realizados por escritórios certificadores credenciados. Com o mapeamento e análise do processo produtivo realizados, identificou-se as ações com suas respectivas precedências e durações, descritos na

Tabela 1.

---

<sup>4</sup> Cota é um sistema de fornecimento de insumos cuja quantidade fornecida é fixada por período, independente se há ou não demanda. Dessa forma, os preços de aquisição são menores.

Tabela 1: Ações do processo com suas ordens de ocorrência

Ordem	Nome da Ação	Atividades Precedentes	Tipo da Ação	Duração (h)
1	Trator	-	Movimentar chapas	10,00
2	Jatear a superfície	1	Processo	22,83
3	Pintar as chapas	2	Processo	25,83
4	Ponte rolante	3	Movimentar chapas	24,33
5	Corte manual	4		28,00
6	Corte máquina	5	Cortar as chapas = peças	12,17
7	Manualmente	6		18,00
8	Ponte rolante	7	Movimentar as peças	16,00
9	Montar os painéis	8	Processo	47,83
10	Ponte rolante	9	Movimentar os painéis	12,00
11	Montar os blocos	10	Processo	80,17
12	Ponte rolante	11	Movimentar os blocos	16,00
13	Montar a embarcação	12	Processo	120,67
14	Pintar - acabamento	13	Processo	48,17
15	Testar - homologação	14	Teste	24,33

Com base nessas informações, desenvolveu-se a rede que descreve todo o processo produtivo conforme Figura 4. Para tanto, observou-se quais itens ocorrem em série e/ou em paralelo com outros. Para facilitar a visualização, utilizaram-se cores das atividades. As durações de cada atividade foram observadas in loco ou em relatos de funcionários responsáveis. Nesse último caso, foram obtidas informações da duração da atividade como um todo e não dos sub-itens que a compõem. Estima-se que isso se dá pela facilidade da observação da atividade completa.

A rede ilustrada na Figura 4 demonstra que o item 2 só poderá ocorrer quando o item 1 estiver completo e assim sucessivamente. Os itens que estão na mesma linha vertical, caso dos itens 7 e 8, ocorrem em paralelo. Porém, o fato dos itens estarem alinhados, não quer dizer que a duração desses sejam as mesmas. Itens com a mesma numeração, como o item 9, dizem respeito a uma mesma ação que ocorre em locais distintos simultaneamente. Por exemplo, a ação denominada “montar painéis”, representado pelo item 9, ocorre em seis locais distintos na carreira.

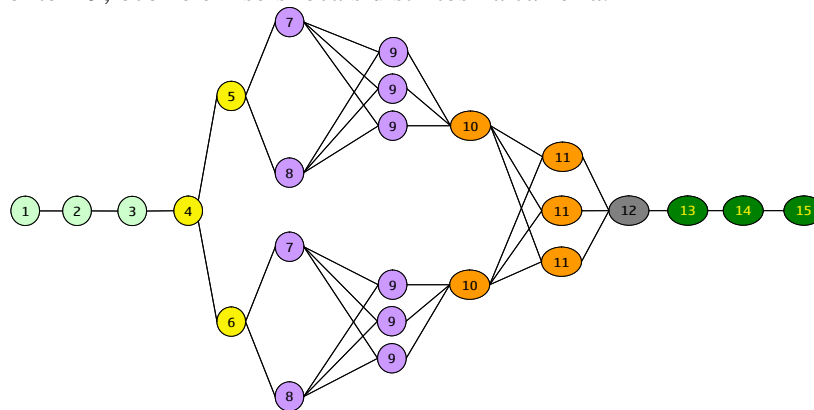


Figura 4: Rede do processo produtivo macro

Para desenvolver este estudo, utilizou-se a ferramenta computacional MS-Project 2002, da Microsoft. Em virtude da natureza do processo produtivo, foi estudado dois cenários distintos:

1. Produção por encomenda: a produção tem características de um projeto único, com início, meio e fim. O resultado de um item do processo produtivo alimenta outra etapa, ou seja, ao término de um item do processo há o início de outro.
2. Linha de produção: cada item do processo terá função dedicada, com característica de produção empurrada. Assim, as atenções estarão voltadas para a montagem final da embarcação. Todos os itens vão se encontrar na etapa final.

Para fins de ilustração, foi escolhido o dia 5 de janeiro de 2009 como data de início do projeto e sua conclusão no dia 27 de março desse mesmo ano. Assim, todas as durações das ações, com suas respectivas data e hora de início e fim foram descritas.

Na metodologia PERT, a duração de cada atividade é tratada como uma variável aleatória com alguma distribuição de probabilidade. O PERT utiliza três diferentes tipos de estimativas: otimista, mais provável e pessimista. Essas informações são consideradas para determinar os parâmetros da distribuição de probabilidade de cada operação. A duração esperada é a mais próxima da real; as demais durações são baseadas na experiência dos responsáveis. Para estas estimativas, foi considerada



restrições do tipo: ausência de operadores e falta de energia elétrica, basicamente, pois é mantido um estoque de segurança dos demais insumos.

Somente as ações “Corte máquina = Peças” e “Ponte rolante - Movimentar peças” ocorrem em paralelo. As demais ações ocorrem em série, ou seja, somente ao término de uma, tem início outra. Essa é a principal característica de projetos por encomenda.

O estaleiro em estudo tem demanda constante por balsa. Fato esse que serviu de alicerce para a proposta desenvolvida. Para tanto, considerou-se as restrições listadas abaixo:

- indisponibilidade de recursos monetários para investimento em máquinas;
- indisponibilidade de recursos monetários para investimento em mão-de-obra; e
- alterações mínimas ou que causem poucas mudanças no processo.

Dessa forma, cada item do processo tem função dedicada, com característica de produção empurrada. Assim, as atenções estarão voltadas para a montagem final da embarcação; todos os itens irão se encontrar na etapa final da montagem. Para essa etapa, é necessário que todos os insumos estejam disponíveis no momento certo e na quantidade adequada.

## 5. Resultados obtidos

Com base nas durações: otimista, esperada e pessimista, aplicou-se a metodologia PERT-CPM fazendo uso do software MS-Project. Com isso, foi possível obter as durações dos processos completos para as situações: otimista 443 horas (55,37 dias); esperado 477 horas (59,62 dias) ; e pessimista 519 horas (64,87 dias).

Com essas estimativas, é possível ter um horizonte dos prováveis acontecimentos para cada ação do projeto completo. Nas situações otimistas, também é prático planejar a realocação de mão-de-obra para os possíveis adiantamentos no cronograma, além de outras opções de decisão. Assim, a metodologia PERT apresenta-se como uma poderosa ferramenta para a gestão de projetos.

O método do caminho crítico (CPM) considera a sequência de maior tempo como o caminho crítico. Os tempos de atividade de todos os itens nesse caminho são críticos para a data de conclusão do projeto. A soma dos tempos dessa atividade é o tempo médio esperado do caminho crítico. Baseado na análise de todos os itens, só há apenas um caminho crítico, em destaque na cor vermelha da Figura 5. Uma das principais características deste processo é a execução das atividades em série.

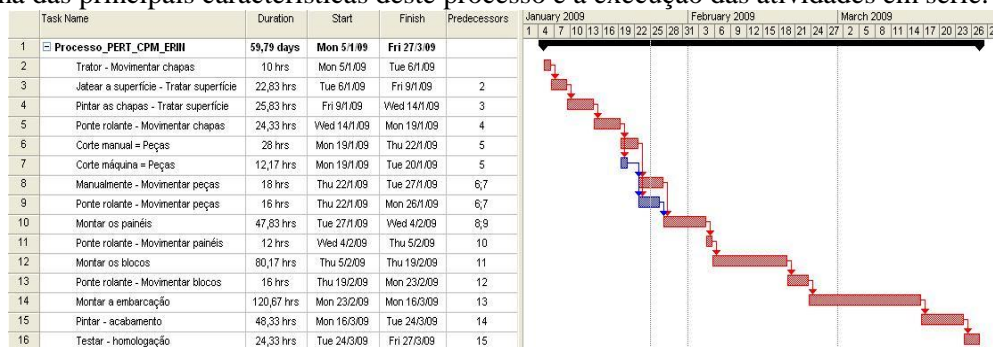


Figura 5: Caminho crítico do processo produtivo atual

Com essa forma de organização da produção, praticamente o projeto inteiro é crítico. Somente as etapas: “Corte máquina = Peças” e “Ponte rolante Movimentar peças” não fazem parte do caminho crítico. Isso se dá pelo fato de serem atividades que ocorrem em paralelo com outras etapas de maior duração.

Com as informações de duração, data de início de cada etapa do processo produtivo, com atividades precedentes e a possibilidade de algumas atividades ocorrerem em paralelo, desenvolveu-se um plano de produção considerando essas características. Com isso, obteve-se redução do tempo de conclusão do projeto.

Com base na metodologia PERT, verificou-se que a duração do projeto completo sofreu redução considerável. Com a estimativa otimista, o tempo total para execução do projeto completo foi de 197 horas de trabalho ou 24,62 dias. A estimativa esperada prevê que o tempo para a execução do projeto seria de 208 horas ou 26 dias. Já a estimativa pessimista demonstra que o tempo para a execução do projeto seria de 227 horas ou 28,37 dias.

As durações de cada uma das atividades permaneceram as mesmas, como pode ser verificado na Figura 6. A redução alcançada no tempo de produção dá-se por causa da reorganização das atividades. Tomando por base as análises de cada etapa, verificou-se que algumas delas poderiam ocorrer em paralelo a outras. Assim, desenvolveu-se a proposta, respeitando-se as datas de início, capacidade produtiva e atividades precedentes.

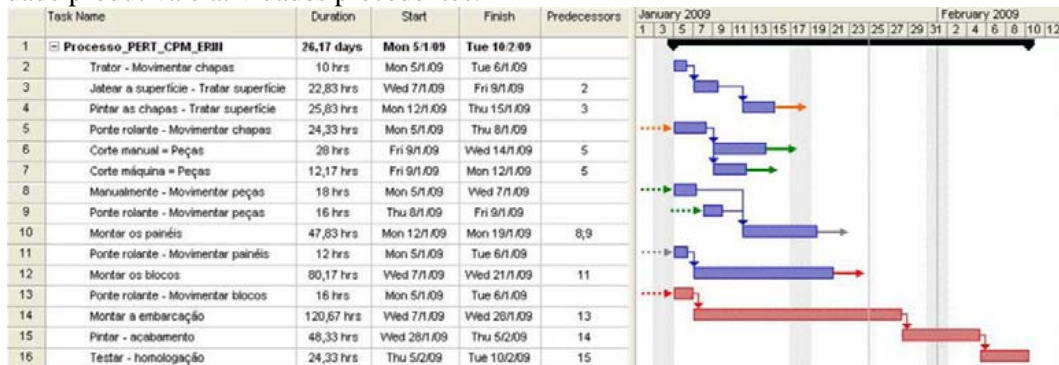


Figura 6: Durações das atividades e gráfico de Gantt

Os itens que passaram a determinar o tempo total de montagem da embarcação foram: “Ponte rolante – Movimentar blocos”, duração de 16 horas; “Montar a embarcação”, duração de 120 horas; “Pintar – acabamento”, com 48 horas de duração e “Testar – homologação”, duração de 24 horas. Essas quatro etapas constituem a montagem final da embarcação, tanto nesta proposta quanto na original.

A proposta é que as demais atividades ocorram em paralelo, sempre respeitando as atividades precedentes. Para que a proposta seja viabilizada, é necessário que todos os demais itens anteriores estejam prontos na data de início da montagem final. As atividades devem ser executadas de forma constante e cíclica, assim, haverá a formação de pequenos estoques ao longo do processo. Esses estoques são de extrema importância para a execução do projeto, haja vista que o produto de uma etapa será o insumo da seguinte, como ilustra a Figura 7. Com isso, a etapa final de montagem foi considerada um gargalo para o processo produtivo, ou seja, todos os insumos necessários para a montagem acontecer deverão estar disponíveis no momento certo e quantidade adequada.

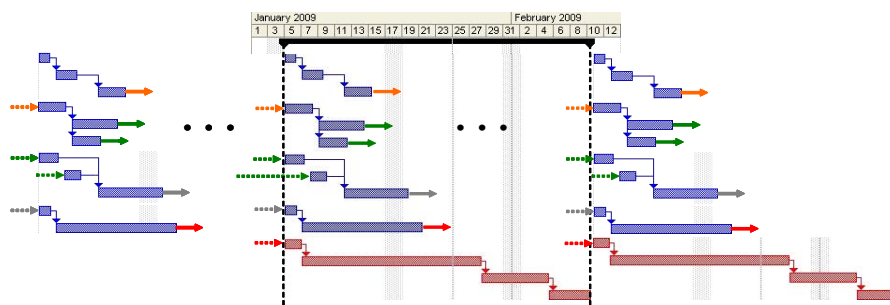


Figura 7: Sequência das atividades

Sendo assim, após o processo inteiro ser ocupado, o que levará cerca de 60 dias, a cada 26,17 ou cerca de 27 dias úteis, haverá balsas prontas. É provável que seja necessário contratar mais profissionais para atuar nos processos que passariam a ser cíclicos. Essa seria a necessidade de investimento, pois os demais insumos existem em quantidade suficiente para atender esse incremento no processo produtivo.

Com o objetivo de verificar a viabilidade das propostas apresentadas, foi desenvolvido modelos de simulação do sistema produtivo. Esses modelos foram implementados no Arena Professional, versão 12.0 de 2007.

Baseado na execução da simulação do processo produtivo atual foi possível verificar o tempo total de produção de uma balsa e identificar os gargalos. A simulação foi executada por um período de 500 horas ou 62,5 dias de trabalho.

Com o intuito de verificar os tempos referentes à produção de balsas, acrescentaram-se relógios contadores nesse modelo de simulação. A Figura 8 ilustra esses relógios com os tempos

necessários para produzir uma balsa, assim como a quantidade produzida. O turno de trabalho é de 8 horas e somente em dias úteis. Nesse período, uma balsa é concluída em 468,34 horas ou 58,54 dias.



Figura 8: Relógios contadores.

A simulação é uma ferramenta probabilística de estudo de sistemas. Dessa forma, executaram-se cinco interações da simulação do processo produtivo atual. A Tabela 2 demonstra as interações com seus respectivos tempos.

Tabela 2: Interações com seus respectivos tempos de produção de uma balsa

Interação	Tempo de produção (horas)	Tempo de produção (dias)
1ª	468,34	58,54
2ª	468,85	58,61
3ª	464,43	58,05
4ª	464,64	58,08
5ª	463,29	57,91

Com a simulação do processo produtivo proposto, verificou-se o tempo total de produção de uma balsa. A simulação foi executada por um período de 800 horas ou 100 dias de trabalho. Também se utilizaram relógios contadores para verificar os tempos referentes à produção de balsas. A Figura 9 ilustra esses relógios com os tempos necessários para produzir a segunda balsa tomando por base a proposta do processo produtivo proposto. O tempo para entregar essa balsa é de 82,60 dias ou 660,84 horas, ou seja, para produzir a segunda balsa são necessários 24,06 dias ou 192,50 horas, como ilustra a Figura 10.

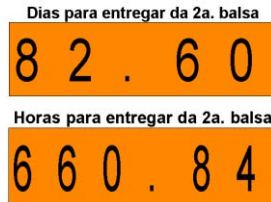


Figura 9: Tempo para entrega da 2ª balsa

Figura 10: Lead time para produção da 2ª balsa

Executaram-se cinco interações da simulação do processo produtivo proposto. A Tabela 3 demonstra as interações com respectivos tempos para produção da segunda balsa.

Tabela 3: Interações com tempo de entrega da segunda balsa.

Interação	Tempo para entregar (horas)	Tempo para entregar (dias)
1ª	660,84	82,60
2ª	661,35	82,67
3ª	656,93	82,12
4ª	657,14	82,14
5ª	655,79	81,97

A proposta é que, baseada na produção da primeira balsa, todas as etapas do processo produtivo continuem em atividade. Após o 58º dia, portanto após a entrega da primeira balsa, a última etapa seja abastecida com os insumos necessários e assim inicie a montagem final da balsa seguinte. A partir desse momento, a cada 24,06 dias, aproximadamente 25 dias, uma balsa seja concluída.

O tempo de 82,60 dias para entrega da segunda balsa é resultado do tempo de produção da primeira balsa acrescido do tempo de produção da última etapa;  $58,54 + 24,06 = 82,60$  dias.

## 6. Conclusões

O fator econômico é o principal agente impeditivo para o aumento de capacidade produtiva de um estaleiro. Para ampliar essa capacidade, há a necessidade de investimentos na aquisição de

máquinas, contratação de pessoas, ampliação da infra-estrutura. Só se justificam esses investimentos, se houver demanda com certa regularidade. Assim, os riscos de investimentos no setor de construção naval são ainda maiores, podendo causar capacidade ociosa.

A produção sob encomenda é desenvolvida para um cliente específico. É necessário que haja a manifestação do cliente para que então os produtos possam ser fabricados. Dessa forma, conciliar elevada taxa de utilização dos recursos produtivos com os prazos de entrega é um desafio arriscado. Verificou-se que as metodologias PERT-CPM são ferramentas poderosas para a gestão de projetos com característica de produção por encomenda.

É possível se ter um horizonte dos possíveis acontecimentos utilizando O PERT, com as estimativas e cálculo do tempo para conclusão de cada etapa que compõe o sistema. Dessa forma, é possível elaborar planos de contingência para os atrasos com datas possíveis de acontecimento. As redes da metodologia CPM são muito úteis, não só para projetos grandes, mas também na resolução de outros problemas fundamentais no planejamento, tais como: atividades que serão realizadas e as relações de precedência entre as atividades. Ficou nítido o quanto essas duas metodologias complementam-se.

A simulação computacional é uma poderosa ferramenta para auxiliar a tomada de decisão. A correta modelagem do sistema é extremamente necessária para que a simulação possa representar, o mais fiel possível, fenômenos na vida real. Outra vantagem diz respeito à manipulação e geração de cenários do sistema em estudo a custos relativamente baixos e sem riscos de prejuízo monetários ou a integridade física de pessoas.

Com a aplicação das metodologias PERT-CPM, verifica-se a possibilidade de redução do tempo de produção, para até 26 dias úteis, redução portanto de 56,6%. Para alcançar tal redução, seria necessário executar as atividades desse processo produtivo em paralelo e não mais em sequência, como na proposta original. No que diz respeito aos investimentos, seria necessário aumentar o número de mão-de-obra, tarefa nada fácil, pois segundo os próprios gestores desse estaleiro, a mão-de-obra necessária para a construção naval é escassa. Esse investimento só justifica-se para demandas constantes por balsas, caso contrário, certamente seria gerada ociosidade de mão-de-obra em excesso e assim os custos se elevariam.

## Referências

- ANDRADE, E. L. Introdução à Pesquisa Operacional: modelos e métodos para análise de decisões. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- COSTA, R. S. Pontualidade Total na Produção Sob-Encomenda: conceito, tecnologia e uso da simulação computacional na gestão do chão-de-fábrica. Tese de Doutorado. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro: 1996.
- DAVENPORT, T. Reengenharia de Processos. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- FERRAZ, J. C. et al. Estudo da Competitividade de Cadeias Integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio. Disponível em: <<http://www.sinaval.org.br>> Acesso em: 11 abr. 2008.
- HARRINGTON, H. J. Business Process Improvement. New York: McGraw Hill, 1991.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. Simulation with Arena. 4. ed. MacGraw Hill: New York, 2007.
- LAUGENI, F. P.; MARTINS, P. G. Administração da Produção. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- KELTON, W. D.; LAW, A. M. Simulation Modeling & Analysis. 2. ed. MacGraw Hill: New York, 1991.
- NEELAMKAVIL, F. Computer Simulation and Modeling. Great Britain: John Wiley e Sons, 1987.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Operations Management. 5 ed. Londres: Prentice Hall, 2007.
- SHAMBLIN, J. E. STEVENS Jr. G. T. Pesquisa Operacional: uma abordagem básica. São Paulo: Atlas, 1979.
- SHERWOOD, K. T. Projeto de Processos da Indústria Química. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1972.
- TUBINO, D. F. Manual de Planejamento e Controle da Produção. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.