

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO

MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO  
PROCESSO PRODUTIVO DE EMBARCAÇÕES  
PRODUZIDAS EM AÇO EM UM ESTALEIRO DE MANAUS-AM

FABRÍCIO RODRIGUES COSTA

MANAUS

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO

FABRÍCIO RODRIGUES COSTA

MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO  
PROCESSO PRODUTIVO DE EMBARCAÇÕES  
PRODUZIDAS EM AÇO EM UM ESTALEIRO DE MANAUS-AM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Pesquisa Operacional.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Márcia Helena Veleda Moita

MANAUS

2009

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Costa, Fabrício Rodrigues

C837m Modelagem e simulação computacional do processo produtivo de embarcações produzidas em aço em um estaleiro de Manaus-AM / Fabrício Rodrigues Costa. - Manaus: UFAM, 2009.

122 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal do Amazonas, 2009.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Márcia Helena Veleda Moita

1. Simulação computacional 2. Construção naval 3. Modelagem matemática I. Moita, Márcia Helena Veleda II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 004.383.4:629.55(811.3)(043.3)

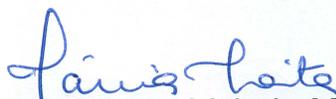
FABRÍCIO RODRIGUES COSTA

MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO PROCESSO  
PRODUTIVO DE EMBARCAÇÕES PRODUZIDAS EM AÇO EM UM  
ESTALEIRO DE MANAUS-AM

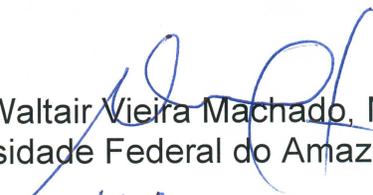
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

Aprovada em 23 de março de 2009.

BANCA EXAMINADORA



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Helena Veleda Moita, Presidente.  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Waltair Vieira Machado, Membro  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Nelson Kuwahara, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

**À Dona Flávia, minha mãe.**

**Ao Sr. Fabiano Tadeu, meu pai (*in memoriam*).**

**À minha avó Dona Guiomar Freire (*in memoriam*).**

## **AGRADECIMENTOS**

Após longo período de trabalho, pesquisa e dedicação, chegamos ao fim de mais uma etapa. Sou profundamente agradecido à minha mãe Flávia, sempre presente em todos os momentos de minha vida; às minhas irmãs Fabianne e Fabíola, pela força e incentivo; ao meu filho Fabricinho que soube esperar com paciência e compreendeu minhas ausências; à Luciane pelo apoio, compreensão e força e ao meu irmão Fabiano, sempre companheiro.

Agradeço ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Também agradeço à equipe do projeto de pesquisa Transporte Hidroviário e Construção Naval na Amazônia: diagnóstico e proposição para o desenvolvimento sustentável (THECNA).

A todos que direta ou indiretamente colaboraram no desenvolvimento deste trabalho, muito obrigado.

Acima de tudo sou eternamente grato a Deus Nosso Senhor, o Engenheiro do Universo e da Fé.

## RESUMO

O setor da construção naval caracteriza-se pela inconstância no seu nível de atividade, uma vez que trabalha por contratação de obras sob encomenda. Dessa forma, as empresas que trabalham com produção sob encomenda enfrentam dificuldades em sequenciar sua produção, na tentativa de conciliar elevada taxa de utilização dos recursos produtivos com os prazos de entrega. Os principais participantes do mercado internacional de construção naval seguem estratégias de especialização. Os fabricantes brasileiros procuram expandir, especializando-se na fabricação de navios de apoio *offshore*, petroleiros e porta-contêineres para a navegação de cabotagem. 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. Em relação aos procedimentos metodológicos para a realização deste trabalho, utilizaram-se dados quantitativos e qualitativos. Inicialmente, realizaram-se pesquisas bibliográficas. Em seguida, passou-se à pesquisa de campo, realizada no Estaleiro A, onde se coletou os dados. 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*. Com o estudo do processo produtivo de balsas do Estaleiro A, foi possível entender a relação entre as etapas que o compõe. Dessa forma, foram desenvolvidos modelos lógicos e matemáticos que representam esse sistema produtivo. Com a aplicação dos métodos *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e *Critical Path Method* (CPM), foi desenvolvido uma proposta de sistema produtivo com possibilidade de redução do tempo de produção de uma balsa de 60 para 26 dias úteis, redução de 56,6%. Para obter esse resultado, seria necessário aumentar o número de mão-de-obra; esse investimento só justifica-se para demandas por balsas constantes. Em seguida, foram desenvolvidos modelos de simulação computacional no *software* ARENA, possibilitando assim a geração e manipulação de cenários do sistema em estudo sem prejuízos monetários e mantendo a integridade física dos envolvidos.

Palavras-chave: simulação computacional; construção naval; e modelagem matemática.

## **ABSTRACT**

The shipbuilding industry is characterized by variability in their level of activity, as work by hiring custom work. Thus, the production companies that work with custom face difficulties in their production sequence in an attempt to reconcile high rate of utilization of productive resources with the time of delivery. The main participants in the international market of shipbuilding following strategies of specialization. Manufacturers seek Brazilian expand, specializing in the manufacture of offshore support vessels, tankers and containers door-to coasting. In Manaus (AM), the largest shipyards to build vessels in steel, has as its main product the rafts and pushers, driven by demand for grain and minerals industries of the region. For methodological procedures for this work were used quantitative and qualitative data. Initially, a literature search. Then went to the field research, conducted at the Shipyard A, where he collected the data. It appears that both steps were necessary and are complementary, so that could explain the first empirical research that was developed after the event. In the study of the production process of the Shipyard A, it was possible to understand the relationship between of each steps. Thus, we developed mathematical models and software that represent the production system. By applying methods of Program Evaluation and Review Technique (PERT) and Critical Path Method (CPM), has developed a proposal for a production system with the possibility of reduction of the production of a raft of 60 to 26 days, reduction of 56.6%. To obtain this result, it would be necessary to increase the number of labor, this investment is justified only to constant demands for ferries. Then, have developed computer simulation models in the software arena, thus enabling the generation and manipulation of scenarios of the system under study without monetary damages and maintaining the physical integrity of those involved.

Keywords: computer simulation, shipbuilding, and mathematical modeling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formas de estudo de sistemas .....	32
Figura 2: Tecnologias de gestão (contextos e aplicações).....	37
Figura 3: Representação gráfica de uma atividade .....	40
Figura 4: Simbologia de diagrama de redes comumente utilizado .....	41
Figura 5: Representação incorreta .....	43
Figura 6: Representação correta.....	43
Figura 7: Distribuição de tempo final .....	44
Figura 8: Carreira 6 do Estaleiro A.....	49
Figura 9: Onde é feito o tratamento da superfície das chapas de aço .....	50
Figura 10: Pontes rolantes para movimentação das chapas de aço .....	51
Figura 11: Onde os painéis e os blocos são montados .....	52
Figura 12: Pontes rolantes usadas para movimentar os painéis e os blocos.....	52
Figura 13: Máquinas de solda mig/mag .....	52
Figura 14: Máquina de solda mig/mag e soldagem.....	52
Figura 15: Máquina de solda por arco submerso .....	53
Figura 16: Terceiro galpão, onde a embarcação é montada.....	53
Figura 17: Rampa com 7º de inclinação.....	54
Figura 18: Processo produtivo praticado no Estaleiro A.....	54
Figura 19: Local de armazenamento das chapas de aço .....	55
Figura 20: Locais de armazenamento de tintas e consumíveis.....	56
Figura 21: Local de armazenamento dos motores .....	56
Figura 22: Trator para o transporte das chapas de aço .....	56
Figura 23: Jateamento da superfície das chapas de aço .....	57
Figura 24 A e B: Limpeza da superfície da chapa.....	57
Figura 25: Preparo da tinta.....	58
Figura 26 A e B: Pintura da chapa de aço.....	58
Figura 27 A: Movimentação de chapas de aço .....	59
Figura 28: Desenho e corte manual .....	60
Figura 29: Máquina de corte ESAB, cortes retos e curvilíneos .....	61
Figura 30: Máquina de corte SMF, apenas cortes retos.....	61
Figura 31: Processo de montagem praticado no Estaleiro A .....	62

Figura 32: Peça sendo finalizada .....	62
Figura 33: Painel sendo montado.....	63
Figura 34: Painel sendo montado.....	63
Figura 35: Montagem de um bloco.....	63
Figura 36: Bloco em fase de finalização.....	64
Figura 37: Bloco em fase de finalização.....	64
Figura 38: União dos blocos.....	65
Figura 39: Bloco que será montado na embarcação.....	65
Figura 40: Blocos montados na embarcação .....	66
Figura 41: Rede do processo produtivo macro.....	70
Figura 42: Gráfico de Gantt do projeto .....	73
Figura 43: Estimativa otimista com seu respectivo gráfico de Gantt .....	77
Figura 44: Estimativa esperada com seu respectivo gráfico de Gantt.....	77
Figura 45: Estimativa pessimista com seu respectivo gráfico de Gantt.....	78
Figura 46: Caminho crítico do processo produtivo atual .....	81
Figura 47: Estimativa otimista de duração das atividades.....	83
Figura 48: Estimativa esperada de duração das atividades .....	84
Figura 49: Estimativa pessimista de duração das atividades .....	84
Figura 50: Durações das atividades e gráfico de Gantt.....	86
Figura 51: Sequência das atividades .....	87
Figura 52: Posição e componentes da carreira .....	88
Figura 53: Fluxograma de movimentação das chapas, jateamento e pintura .....	90
Figura 54: Fluxograma de movimentação das chapas e corte.....	91
Figura 55: Fluxograma de movimentação das chapas para construção de convés ..	92
Figura 56: Fluxograma da montagem dos painéis .....	93
Figura 57: Fluxograma de movimentação dos painéis .....	94
Figura 58: Fluxograma da montagem dos blocos .....	94
Figura 59: Fluxograma de movimentação dos blocos .....	95
Figura 60: Fluxograma de montagem das balsas .....	96
Figura 61: Fluxograma da pintura final da balsa .....	97
Figura 62: Chapa de aço suja e com ferrugem .....	98
Figura 63: Chapa de aço após tratamento antiferrugem .....	98
Figura 64: Peça gerada pelo corte manual .....	99
Figura 65: Peça gerada pelo corte automático.....	99

Figura 66: Imagem que ilustra um painel .....	99
Figura 67: Imagem que ilustra um bloco .....	99
Figura 68: Balsa sem pintura final .....	99
Figura 69: Balsa com pintura final .....	99
Figura 70: Modelo de simulação completo .....	101
Figura 71: Início da simulação, criação das chapas, transporte e tratamento antiferrugem .....	102
Figura 72: Movimentação e corte das chapas.....	102
Figura 73: Montagem dos painéis .....	103
Figura 74: Montagem dos blocos e balsa.....	103
Figura 75: Acabamento da balsa, etapa final .....	104
Figura 76: Modelo de simulação para a situação futura, em destaque os módulos acrescentados .....	105
Figura 77: Relógios contadores.....	106
Figura 78: Gargalos do processo produtivo .....	106
Figura 79: Tempo para entrega da 2ª balsa .....	107
Figura 80: Lead time para produção da 2ª balsa.....	107
Figura 81: Última etapa do processo produtivo .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ações do processo com suas ordens de ocorrência .....	69
Tabela 2: Duração das ações.....	71
Tabela 3: Durações estimadas de cada ação do processo produtivo .....	74
Tabela 4: Módulos e a quantidade utilizada para o desenvolvimento da simulação completa.....	100
Tabela 5: Interações com seus respectivos tempos de produção de uma balsa ....	106
Tabela 6: Interações com tempo de entrega da segunda balsa.....	107
Tabela 7: Variáveis do sistema .....	116

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Caracterização do problema e Justificativa .....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.3 Materiais e métodos .....	17
1.4 Estrutura da dissertação.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Caracterização da construção naval dos principais mercados mundiais.....	20
2.2 Caracterização da construção naval no Brasil.....	23
2.3 Processo produtivo .....	28
2.4 Simulação computacional.....	30
2.4.1 Escolha da ferramenta de simulação .....	34
2.5 Sequenciamento da produção.....	35
2.6 Generalidades sobre redes .....	40
2.7 Técnica de avaliação e revisão de programas .....	41
2.8 Método de caminho crítico.....	45
2.9 Conclusões sobre o referencial teórico.....	46
3. MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO NO ESTALEIRO A.....	49
4. ANÁLISE PERT – CPM .....	68
4.1 Técnica de avaliação e revisão de programas do processo produtivo atual – Análise PERT .....	71
4.2 Método do caminho crítico do processo produtivo atual – Análise CPM.....	79
4.3 Método do caminho crítico do processo produtivo sugerido –Proposta CPM82	
5. MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O PROCESSO PRODUTIVO DA CARREIRA	
6 DO ESTALEIRO A .....	88
5.1 Estrutura de desenvolvimento do modelo de simulação.....	88
5.2 Modelos lógicos e matemáticos que descrevem o sistema .....	89
5.3 Modelos de simulação desenvolvidos no ARENA .....	98
5.4 Modelo de simulação do processo proposto desenvolvido no ARENA .....	104
5.5 Resultados obtidos .....	105
6. CONCLUSÃO .....	109

Recomendações para trabalhos futuros .....	112
REFERÊNCIAS.....	113
APÊNDICE A.....	116

## 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.

A construção naval envolve instrumentos de incentivo e regulação, como: subsídios, benefícios fiscais, reserva de mercado e proteção à cabotagem, entre outros. Tais incentivos, em todos os países, são ofertados pelos Estados que têm presença significativa. Os motivos estão associados à segurança nacional, falhas de mercado e aos efeitos gerados pela indústria naval nos demais segmentos econômicos.

Os principais participantes do mercado internacional de construção naval seguem estratégias de especialização. A Coreia se especializou em navios de grande porte, Cingapura em plataformas e navios para a indústria de petróleo *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, fabrica embarcações em aço, alumínio, executa obras de caldearia e estruturas para setor industrial bem como possui demanda constante por balsas e

---

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

empurradores destinados para transportar grãos e minério. Em 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>.

## 1.1 Caracterização do problema e Justificativa

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 preço, qualidade e o prazo de entrega são fatores decisivos para o sucesso nacional e internacional no setor da construção naval. Os principais componentes de custo dos navios são o aço, as navipeças<sup>4</sup> e os custos da mão-de-obra. O aço, os motores e as navipeças podem ser adquiridos ao preço internacional.

O fator econômico é o principal agente impeditivo para o aumento de capacidade produtiva de um estaleiro. Sempre que se busca ampliar essa capacidade, há a necessidade de altos investimentos na aquisição de mais máquinas e na contratação de pessoas. Ainda na mesma análise, aumentar a capacidade produtiva implica a ampliação da infra-estrutura, ou seja, construção de mais carreiras, aquisição de mais pontes rolantes e até a aquisição de outro terreno para viabilizar esse aumento da infra-estrutura. Outro fator relevante é a inconstância da demanda. Assim, os riscos de investimentos no setor de construção naval são ainda maiores, podendo causar até capacidade ociosa.

Uma forma de evitar ou reduzir todos esses riscos é fazer uso da otimização e aplicar no processo produtivo praticado no estaleiro em estudo. Em seguida, gerar cenários e verificar a viabilidade dessas por meio da simulação computacional.

---

<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.

<sup>4</sup> Itens necessários para a construção naval (peças, motores, transmissões, acessórios).

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho aplicado consiste no desenvolvimento de propostas otimizadas para o processo produtivo de balsas. Tomando por base isso, será desenvolvido modelos computacionais para simulação e análise destas propostas. Assim, pretende-se estudar o processo produtivo do estaleiro em questão para verificar a possibilidade de produzir balsas em menor tempo.

Para tanto, destaca-se os 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.

## 1.3 Materiais e métodos

Em relação aos procedimentos metodológicos para a realização desta pesquisa, utilizou-se uma abordagem metodológica articulando 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 estudo. Em seguida, passou-se à pesquisa de campo, realizada no âmbito da carreira 6 do estaleiro A, situado em Manaus, no bairro da Compensa, às margens do rio Negro, 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*.

Neste trabalho, empregaram-se instrumentos científicos adequados que permitissem investigar e chegar ao ponto principal do problema em questão,

possibilitando a compreensão dos fatores condicionadores do mesmo e a identificação de soluções aplicáveis.

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 do 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.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

O trabalho divide-se em três capítulos. O capítulo 1 traz um apanhado geral do que foi pesquisado, características e a terminologia empregada na sua descrição. Assim como o levantamento dos trabalhos de diversos autores em relação aos problemas associados ao tema e fundamenta-se a propriedade do uso de técnicas de simulação.

O capítulo 2 trata da análise e discussão do que foi verificado *in loco*, assim como das propostas desenvolvidas, análises PERT, CPM e as simulações. O

mapeamento do processo produtivo do estaleiro em estudo, as características e ilustrações desse processo são aqui expostos.

O capítulo 3 traz as conclusões e recomendações. E finalmente é apresentado as referências consultadas para elaboração deste trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Caracterização da construção naval dos principais mercados mundiais**

A frota de navios mercantes internacional soma 791 milhões de Toneladas de Porte Bruto (TPB), concentrada em 20 países. Até o final da década de 1990, 38% dessa frota foi renovada. Há necessidade de renovar os 62% restantes. Para isso, no mercado internacional, prevalece intensa competição e redução de preços, em virtude da capacidade de produção excessiva dos estaleiros nos países produtores. Nesta indústria, prevalecem grandes barreiras à entrada de novos concorrentes, na forma de: elevadas exigências de capital inicial; necessidade de uma rede de agentes para captação de cargas e clientes; a atuação global é quase um imperativo.

As trocas internacionais do comércio exterior representam um valor anual de aproximadamente US\$ 6 trilhões. As trocas através dos oceanos são 80% desse total, representando US\$ 4,8 trilhões em mercadorias. Os fretes representam cerca de 10% do valor das mercadorias transportadas, significando que a geração anual de fretes mundiais pode ser estimada em US\$ 480 bilhões.

As grandes potências mundiais consideram a capacidade de produzir navios e ter frota própria de transporte como uma necessidade estratégica para garantir hegemonia econômica sobre outros mercados e ter reservas navais em caso de guerra. Cerca de 65% do valor das trocas internacionais estão concentradas na América do Norte (24%), Europa (26%), Ásia (Japão, Coreia do Sul e Cingapura com 10%) e América Latina (México, Brasil, Argentina, Chile e Venezuela com 5%) (FERRAZ, 2002).

Não é coincidência que os países que detêm maior parcela do comércio internacional sejam os que possuem uma indústria de construção naval operando em segmentos específicos de mercado, frota própria ou associada a bandeiras de conveniência.

Os principais participantes do mercado internacional de construção naval seguem estratégias de especialização.

A Coreia, especializada em navios de grande porte, conta com 11 indústrias reunidas na Associação de Construção Naval da Coreia (*Korea Shipbuilders Association*). Esse país entrou na disputa do mercado internacional, na metade de 1970, com a fabricação de um petroleiro pela Samsung. Na metade dos anos 1980, a Coreia concentrava cerca de 30% do total das entregas de navios ao mercado internacional. Estaleiros do mundo inteiro entraram com representações internacionais alegando práticas injustas de comércio e excesso de subsídios (LEITE, 2002).

Cingapura é um país emblemático, apresenta o fenômeno de ser um país pequeno onde a geração de poupança interna desafia a compreensão. Na pesquisa sobre a competitividade internacional do *World Economic Forum*, Cingapura ficou em 4º lugar; está entre as melhores economias do mundo, com as melhores práticas governamentais e relevante aplicação de tecnologias. Estaleiros de Cingapura estão presentes no Brasil (SembCorp/Keppel Fels e o Jurong), atraídos pela demanda da indústria de petróleo *offshore*, uma especialidade da construção naval daquele país. São cinco estaleiros principais em operação em Cingapura.

Em 1981, existiam 22 grandes estaleiros, nos Estados Unidos da América, construindo navios de grande porte para o governo norte-americano e para a marinha mercante. Atualmente existem apenas seis que focalizam a indústria militar. As razões para tal redução foram: o fim dos subsídios do *Maritime Administration (MARAD)*, em 1981 (na década de 1970, representaram uma injeção de mais de US\$ 200 milhões de dólares anuais, em média, na indústria); o fim da guerra fria, com a redução dos orçamentos militares e a competição com os preços do Japão e Coreia do Sul, fazendo a indústria descer a patamares de produção abaixo das exigências de segurança nacional (FERRAZ, 2002).

Os países da Europa são o segundo centro de construção naval do mundo, após a Ásia. A Alemanha, o Reino Unido, a Espanha e a França são os maiores construtores navais no *ranking*. Na década de 1950, a Europa dominava a construção naval mundial. Em 1965, o Japão, sozinho, disputava a liderança, com uma produção que ultrapassava individualmente a de qualquer país europeu. Foi o começo da mudança do eixo da construção naval da Europa para a Ásia. Essa posição foi perdida devido à ineficiência, falta de coordenação e falta de visão sobre o futuro. Havia também o conforto dos subsídios, que amparavam as indústrias e

asseguravam condições de competição, mesmo com baixa produtividade. Os estaleiros da Europa encontraram um nicho de mercado na construção de navios sofisticados para transporte de passageiros, cargas que exigem cuidados especiais, conversão e reforma de navios e estruturas para a indústria de petróleo *offshore*, desenvolvida tomando por base a demanda criada pelas descobertas no Mar do Norte. Esse nicho representa a construção de navios de maior valor agregado e com maior conteúdo tecnológico, fato que distorce as estatísticas, geralmente baseadas no volume de cubagem produzida ou na tonelagem de porte bruto (FERRAZ, 2002).

Desde 1999, os japoneses estão envolvidos no esforço de intensificar sua competitividade, reconhecendo a existência de uma capacidade mundial de construção naval superior à demanda. Dentre as recomendações aos maiores estaleiros japoneses, têm-se a integração dos recursos gerenciais e a criação de sólidos fundamentos operacionais para a nova fase da competição internacional. Os japoneses estão se dedicando a essa tarefa com a criação de um novo conceito e um novo produto para o transporte marítimo de contêineres, considerado um dos nichos com maior demanda e rentabilidade. Esse produto é o *Techno Superliner (TSL)*, porta contêineres de alta velocidade e grande capacidade de carga, direcionado para o mercado de transporte que utiliza o conceito de *Hub Ports* – portos concentradores e distribuidores de carga. O núcleo central da construção naval japonesa consiste em 19 empresas, que formam o *SAJ (Shipbuilding Association of Japan)*. São 7 empresas de grande porte e 12 estaleiros de médio e pequeno porte, respondendo por 95% do total da construção naval no país (LEITE, 2002).

Historicamente em todos os países, o Estado tem forte presença na construção naval, em virtude de incentivos e regulação abrangentes (subsídios para operação e investimento para a armação; subsídios à construção naval; definição de reservas de mercado, por meio de cargas preferenciais e benefícios fiscais - renda e depreciação - e proteção à cabotagem). As razões dessa presença do Estado estão associadas à segurança nacional, às várias falhas de mercado e externalidades geradas pela atividade e, obviamente, às práticas dos demais países.

## 2.2 Caracterização da construção naval no Brasil

As referências bibliográficas sobre o tema no Brasil são inexpressivas, pois desde o início dos anos 1980 a indústria da construção naval no país foi praticamente desativada. Fato esse que dificultou o estudo e análise deste subitem. Somente a partir do ano 2000, houve intenso movimento de retomada da produção de embarcações no Brasil, impulsionada principalmente pelas encomendas da Petrobrás Transporte S.A. (TRANSPETRO), subsidiária da Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), cuja missão é o transporte e a armazenagem de petróleo e seus derivados, álcool e gás, para o aumento da produção de petróleo em alto mar.

A indústria de construção naval brasileira, compreendida pelos estaleiros que constroem embarcações acima de 1.000 TPB, praticamente desativada desde o final da década de 70, iniciou em 2000 um movimento de retomada da produção, impulsionada pelas encomendas da Petrobrás para o aumento da produção de petróleo em alto mar. Na indústria de navieças, também houve desativação da produção e sobrevivência de poucas empresas especializadas. Assim o recurso à importação de partes e componentes é extensivamente utilizado por todos aqueles que promovem a construção de navios ou plataformas de *offshore* (COUTINHO, 2006).

No Brasil, a partir de meados dos anos 1980, observa-se um processo gradual de mudanças institucionais relevantes, incluindo desregulamentação e fim de reservas de mercado e dos subsídios aos estaleiros. Assim como em outros países, permanece ativo um fundo para investimentos, gerenciado pelo BNDES. Em contrapartida, inexistem mecanismos de crédito e seguros disponíveis no mercado financeiro internacional. Por isso o Fundo de Marinha Mercante é ponto focal das discussões sobre o desenvolvimento da indústria de construção naval.

O Brasil possui as condições básicas necessárias para desenvolver sua indústria de construção naval. Pelo lado da oferta, já atuam no país construtores navais internacionais; existem empreendedores nacionais desenvolvendo estaleiros; a indústria siderúrgica é competitiva; os custos de mão-de-obra não são altos; a tecnologia de equipamentos está disponível e em *offshore* o centro de pesquisas da Petrobrás e a infra-estrutura científica e tecnológica tem reputação internacional. Em

relação ao regime de incentivos e regulação, está preservado o sistema de financiamento, por meio do Fundo de Marinha Mercante. Surgiram novas agências como a Agência Nacional do Petróleo, e existem incentivos fiscais estaduais e federais (Programa Navega Brasil) em uso. No que tange à demanda, além da promoção de investimentos expressivos na exploração e produção de petróleo *offshore*, o país deve expandir fortemente seu comércio exterior nos próximos cinco anos (COUTINHO, 2006).

A análise das construções em curso demonstra que existe capacidade no Brasil para realizar construção naval tecnologicamente atualizada. Dificilmente o país terá condições de se tornar um grande exportador de navios e/ou estruturas de *offshore* de todos os portes. Em outros países, principalmente na Ásia, prevalecem articulações estabelecidas e consolidadas entre demandantes internacionais, conglomerados industriais e apoio governamental que são difíceis de serem rompidas, no curto e médio prazos. Entretanto, a indústria de construção naval brasileira poderá ampliar sua participação econômica na estrutura industrial brasileira, tornando-se especializada e construindo navios de apoio *offshore*, petroleiros e porta contêineres para a navegação de cabotagem (FERRAZ, 2002).

Atualmente o setor de petróleo *offshore* representa a maior parcela da demanda, licitando a encomenda de plataformas, embarcações de apoio marítimo, seus equipamentos e componentes. Os investimentos em *offshore* vieram reativar a indústria naval. A demanda expandiu quando a Petrobrás lançou o programa de substituição da frota de navios de apoio *offshore* definindo, no edital de concorrência internacional, preferência por navios de bandeira brasileira, induzindo as empresas operadoras, nacionais e estrangeiras, a contratar em construção local dessas embarcações.

O resultado é que a indústria chegou ao final do primeiro semestre de 2002 em face de uma nova realidade, em que o principal desafio não é mais as encomendas, e sim como reativar instalações no curto prazo e montar uma competente capacidade produtiva para atendê-las. Os estaleiros estão pedindo financiamentos para expansão e modernização ao BNDES/FMM, e já surgem dificuldades de contratação de mão de obra especializada, principalmente soldadores (COUTINHO, 2006).

Na navegação, ainda são poucas ou muito recentes as encomendas de cabotagem ou longo curso, segmentos, que representam um desafio essencial para manter sustentável a atividade da construção naval brasileira ao longo prazo.

Armadores estrangeiros começam a contratar na indústria naval local, respondendo às exigências dos contratos conquistados com a Petrobras ou pelas regras da cabotagem. A Petrobras também procura substituir seus petroleiros e os contratos para construção. Para a Transpetro estão por ser viabilizados graças a uma engenharia financeira complexa, associando-se crédito e seguros, por dificuldades de natureza patrimonial por parte dos estaleiros (FERRAZ, 2002).

Hoje, no Brasil, há 13 estaleiros em operação que apresentam o seguinte perfil:

1. Eisa: Estaleiro Ilha S.A. Estabeleceu-se em 1995 nas instalações do antigo Estaleiro EMAQ, tradicional construtor naval brasileiro desde 1949. Participaram de todos os Programas de Construção Naval instituídos pelo Governo Brasileiro e que na década de 70 levou o Brasil a ocupar o 2º lugar no *ranking* mundial das construções de navios, suplantados apenas pelo Japão. Nessa ocasião, construíram-se muitos navios destinados ao mercado externo para armadores de países tradicionalmente engajados na construção naval;
2. Mauá: operado pelo Mauá Jurong S.A. que tem 99,93 % do seu capital sob controle do Jurong Shipyard Inc, uma *venture company* com sede nas Bahamas. Essa empresa nas Bahamas, por sua vez, é controlada em 65% pelo Synergy Group e em 35% pelo Jurong Pte. Ltd., subsidiária integral do SembCorp Marine, com sede em Cingapura;
3. Verolme / IVI Angra: arrendado ao Fels Settal, uma sociedade entre a Settal, com sede em São Paulo, e o grupo Keppel Fels, de Cingapura. O estaleiro foi adquirido pela Sequip, uma empresa controlada pelo empresário Nelson Tanure (depois adquiriu a Cia. Docas, criando a DocasNet, passando a ter direito de uso da marca JB e seu conteúdo). Comprou o Emaq, a Ishikawajima do Brasil e o Verolme. Vendeu o Emaq aos diretores. Consolidou o Verolme e o Ishi como Indústria Verolme-Ishikawajima, com estaleiros em Angra dos Reis e no Caju, no Rio de Janeiro, respectivamente.

Esse último está desativado; suas máquinas foram vendidas e o canteiro de obras é utilizado como depósito de contêineres. Apenas seu dique continua em operação, para fins de construção e reparo naval;

4. Mac Laren: estaleiro da Ilha de Conceição, em Niterói. Está arrendado ao Promar, recentemente vendido ao Aker, em contrato com vigência pelos próximos anos. O Estaleiro de Ponta da Areia, Niterói, foi, em parte, arrendado ao SNO. Mac Laren e SNO anunciaram recentemente a formação de um consórcio para atuar conjuntamente em reparo e construção naval, manifestando a intenção de retomar as instalações arrendadas à Promar;
5. Itajaí: Estaleiro Itajaí S/A, localizado em Santa Catarina, pertence à Metalnave S/A Comércio e Indústria (controlada pelo empresário Frank Wlasek). O Estaleiro Itajaí constrói os navios gaseiros usados pela Metalnave. Foi selecionado por armadores para construir barcos de apoio *offshore*;
6. Enavi-Renavi: O Estaleiro Enavi-Renavi é o resultado da fusão de duas empresas de reparos navais, ocorrida em 1995. O estaleiro é controlado pelo Grupo Reicon, do Norte do país, cujas principais empresas são transportadoras de gás (Reicon), transportadoras de combustíveis (PetroAmazon), turismo (Funtur) e vale-refeição (AmazonCard). A conquista das encomendas da empresa De Lima, para a construção de navios de apoio tipo LH e PSV, lança o estaleiro no mercado de novas construções, além do reparo naval que é sua atividade tradicional. Esse estaleiro integra os ativos de um grupo empresarial com interesses diversificados;
7. Ebin-Teclabor: estaleiro localizado em Niterói, que está sendo reativado para atender às demandas dessa nova fase da construção naval. A massa falida foi adquirida pela Teclabor que vai se especializar na construção de apoio marítimo;
8. Caneco: Indústrias Reunidas Caneco S/A. Estava paralisado devido a dificuldades financeiras; foi arrendado para operar como pátio de armazenagem. A Superpesa arrendou instalações industriais para construir dois navios de apoio do tipo LH, cujos contratos com a Petrobras foram conquistados em recente licitação internacional;

9. Inace: Indústria Naval do Ceará S/A. Produz navios de até 4.000 TPB. Fabricava barcos de pesca; atualmente produz embarcações de lazer e de aplicação militar;
10. Ebrasa: Empresa Brasileira de Construção Naval S/A, localizada em Itajaí. Constrói e faz reparos de embarcações de menor porte, barcos de pesca, rebocadores e empurradores. Pode construir barcos para apoio marítimo ao *offshore*;
11. Sermetal: Sermetal Rio Serviços Metalúrgicos Ltda., localizado em Niterói. Tem capacidade de construir navios de até 10.000 TPB. Está produzindo módulos para plataformas de petróleo *offshore*;
12. Transnave: Transnave Estaleiro de Reparos e Construção Naval S/A, localizado na Ilha do Governador, Rio de Janeiro. Possui capacidade de construir embarcações de apoio de pequeno porte para o setor *offshore*;
13. CEC: CEC Equipamentos Marítimos e Industriais S/A, localizado em Niterói. Pode fabricar módulos para plataformas e diversos tipos de navios.

A possibilidade de o Brasil vir a ser competidor internacional importante na construção naval depende de uma reativação competente de estaleiros e seus fornecedores, de forma a explorar vantagens circunstanciais, como o baixo custo da mão-de-obra. No entanto, a competitividade sustentada está associada à eficácia e eficiência produtiva, em primeira instância, e no longo prazo, à competência tecnológica (COUTINHO, 2006).

A navegação de cabotagem tem seu potencial pouco explorado no Brasil, considerando os mais de 12.000 km navegáveis (costa brasileira e rios amazônicos) e o grande volume de cargas movimentadas por distâncias superiores a 1.000 km. Isso sem considerar as importantes implicações da consolidação do MERCOSUL para esse segmento. Essa atividade está restrita ao transporte de petróleo e derivados, de produtos químicos e de minérios entre terminais privativos. No Brasil o transporte de carga geral por cabotagem, está sendo ocupado por empresas estrangeiras, o que seria impensável em outros países (FERRAZ, 2002).

Segundo THECNA (2007)<sup>5</sup>, os principais estaleiros que produzem embarcações em aço em Manaus são:

- Estaleiro Rio Negro (ERIN);
- Estaleiro Rio Amazonas (ERAM);
- Estaleiro São João;
- Estaleiro F. Barbosa; e
- Estaleiro LIAA.

### 2.3 Processo produtivo

Uma orientação baseada em processos nos negócios envolve elementos de estrutura, enfoque, medição, propriedade e os clientes. 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. Ele exige uma acentuada ênfase na maneira como o trabalho é feito na organização, em contraste com a ênfase relacionada com o produto em si, que se foca no que é o produto.

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).

O que se observou na literatura, o conceito que traduz o assunto é o mesmo, independente a área de estudo. Porém, a denominação varia de acordo com a área de aplicação.

Para Davenport (1994), autor renomado na 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**.

---

<sup>5</sup> Trata-se do VI Relatório do Projeto Transporte Hidroviário e Construção Naval na Amazônia (THECNA) Ano: 2007.

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. Esse conceito complementa ou no limite, substitui a visão funcional habitualmente compartilhada nas organizações. Essa compreensão vai além do entendimento do fluxo de etapas de um processo, pois busca representar como as unidades organizacionais integram-se, por meio de suas interfaces, com o objetivo de gerar resultados compartilhados por toda organização. Desdobrados dessa orientação, seus objetivos são o planejamento, projeto/estruturação e avaliação de processos.

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).

De forma mais abrangente, um projeto de processo completo inclui uma revisão crítica da idéia de que há necessidade de um processo, a invenção ou seleção de um processo apropriado, otimização do processo, projeto do equipamento, descrição da operação ótima e uma previsão econômica de sua rentabilidade.

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.

O conceito de **modelagem de processos** está baseado na visão por processos ou visão horizontal da organização. O conceito de **visão horizontal** é apresentado na literatura de administração por Rummler e Brache (2000).

A gestão das organizações, segundo uma lógica de processos, pode ser perseguida por meio da percepção de que há uma estrutura, uma arquitetura, com quadros-conceituais, abordagens, aplicações, instrumentos e resultados bem como falhas. Esses, entendidos como elementos da Engenharia de processos, têm a finalidade para as organizações, para 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 (SANTOS, 2003).

Segundo Vernadat (1996), as finalidades da Modelagem de processos são desdobradas da seguinte forma: uniformização do entendimento da forma de trabalho, gerando integração; análise e melhoria do fluxo de informações; explicitação do conhecimento sobre os processos, armazenando, assim, o *know how* organizacional; realização de análises organizacionais e de indicadores (processos, financeiros e outros); realização de simulações, apoiando a tomada de decisões; e gestão da organização.

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 compartilhados por toda organização. Tais resultados são norteados pela intenção de agregar valor para seus clientes.

## **2.4 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.

Inúmeras são as razões que justificam o uso da simulação. Em situações que coloquem em risco à integridade física de pessoas ou muito onerosas de observar diretamente no mundo real. Um exemplo clássico é o estudo da sincronização de semáforos de trânsito de uma via. Esse estudo poderia ser realizado de maneira experimental, ajustando sucessivamente os semáforos e verificando as conseqüências com relação a congestionamento, acidentes etc. Esse processo, na prática, não pode ser implementado, e a alternativa é criar modelos das situações reais (número e características das vias, intensidade e tipo do trânsito etc.) para serem testados em computadores.

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 a melhoria de *performance*. Sendo que todos esses procedimentos podem ter por conotação parâmetros técnicos e/ou econômicos.

Os avanços na área de informática permitem empregar a técnica de simulação em diversas áreas do conhecimento humano, o que têm propiciado:

- projetar e analisar sistemas industriais;
- avaliar *performance de hardware e software* em sistemas de computação;

- analisar desempenho de armas e estratégias militares;
- determinar frequência de pedidos de compra para recomposição de estoques;
- projetar e administrar sistemas de transportes como: portos e aeroportos; e
- 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.

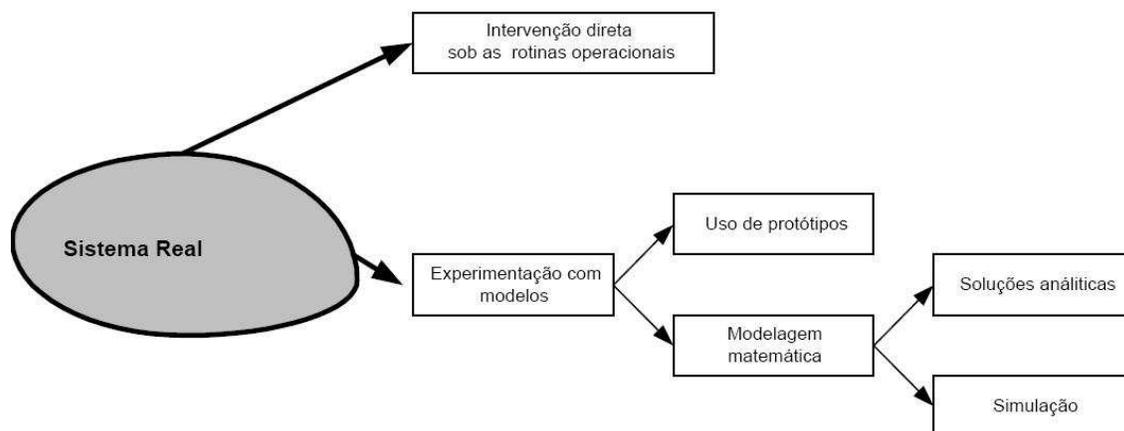


Figura 1: Formas de estudo de sistemas

A experimentação com modelos implica a criação de um modelo que, dependendo da aplicação, 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 heurísticos (baseado em questionamentos mentais) e 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. A representação

análoga pode ser feita, por exemplo, com o uso de circuitos de Resistência-Capacitância-Indutância (RCI). Por exemplo, a massa, mola e o atrito, mecanismos da suspensão de automóveis, são analogamente representados com o uso de resistências, capacitores e indutores. No que se refere aos protótipos, esses são réplicas do sistema real, que podem ser construídas em escala real ou reduzidas. Nesses casos, os estudos de avaliação do sistema real ocorrem com realização de vários testes empregando o protótipo.

Quanto ao modelo simbólico, pode ser divididos em não-matemáticos e matemáticos. Os não-matemáticos podem ser: (i) a descrição lingüística, exemplo: memorial descritivo de um projeto elétrico; (ii) a elaboração de um gráfico, exemplo: os fluxogramas; e (iii) a representação esquemática do uso de recursos, exemplo: uma planilha representando a execução de um cronograma ou a representação do fluxo de caixa de uma empresa (KELTON, 2007).

Os modelos simbólicos, também denominados modelos conceituais, tratam de uma primeira abordagem para o entendimento de um sistema real. Portanto, esses modelos, normalmente, devem ser elaborados quando da estruturação dos modelos matemáticos. Os modelos matemáticos apresentam-se como: (i) soluções analíticas ou (ii) soluções numéricas. Os de 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, que pode ser implementado em computadores utilizando: (i) linguagens de programação, exemplos: FORTRAN, C e PASCAL; (ii) linguagens de simulação, exemplos: SLAM, GPSS, GASP IV, ARENA, POWERSIM ou (iii) pacotes específicos, exemplo: @RISK (WINSTON, 1994).

Para Ribeiro (2003), o uso da simulação e do *software* ARENA mostrou-se satisfatório quando aplicado para a simulação e análise operacional do pátio do aeroporto de Congonhas em São Paulo. Igualmente serviu para verificar os impactos associados ao atendimento de diversos níveis de demanda de vôos e verificação da expansão e alternativas para atendimento dessa demanda. Ele ainda ressalta a facilidade de entradas de dados no modelo, tendo em vista a necessidade de verificar cada tipo de estudo e de gerar cenários.

Wanke (2005), na sua obra *Um estudo sobre os impactos no varejo das principais decisões estratégicas de produção e distribuição da indústria*, avalia por meio da simulação em ARENA, os impactos das principais decisões de produção e de distribuição, tomadas no âmbito da indústria, sobre os principais indicadores de desempenho no varejo. Seus resultados confirmam a existência de aparentes contradições entre o posicionamento estratégico de operações na indústria e o desempenho no varejo.

Iannoni (2002) aplicou a simulação para estudar o sistema logístico da recepção de cana de açúcar da Usina São Martinho, compreendido da balança até as moendas. Por se tratar de um sistema complexo, com muitas variáveis aleatórias, regras operacionais e recursos envolvidos, optou-se pela utilização da técnica de simulação em vez de um modelo analítico de teoria de filas. Um modelo de simulação foi construído no *software* Arena e aplicado; os resultados obtidos mostraram que o modelo é capaz de representar satisfatoriamente o sistema. Além da configuração atual do sistema, outros cenários foram investigados e seus desempenhos comparados com o praticado naquela circunstância.

Outra aplicação eficaz da simulação foi realizada por Santoro (2000). Este desenvolveu uma simulação de uma linha de montagem de motores Ford Motor do Brasil. Segundo o autor, a simulação apresentou, além dos recursos de análise, um benefício genérico: permite que se amplie o conhecimento e a compreensão sobre um sistema de produção existente ou ainda em fase de projeto. Dessa forma, é possível que diversas pessoas envolvidas no projeto da linha de montagem possam discutir aspectos relevantes do sistema.

Em razão disso, a simulação possibilita o estudo e a experimentação de sistemas complexos, seja de uma indústria ou serviços. Por meio da simulação podem ser estudadas algumas variações no meio ambiente e verificados seus efeitos em todo o sistema. A experiência adquirida em construir os modelos e realizar a simulação pode levar a uma melhor compreensão do sistema.

#### **2.4.1 Escolha da ferramenta de simulação**

Uma vez demonstrada as vantagens do uso da simulação, surge a pergunta: Qual ferramenta de modelagem ou linguagem mais adequada, uma vez que há muitas opções? Nota-se que existem diversas ferramentas elaboradas para simulação de processos produtivos.

Em virtude da variedade de ferramentas consideradas, estudaram-se as principais características de cada uma a fim de embasar a escolha de uma que se mostrasse mais adequada, considerando-se os objetivos visados. Essa escolha recaiu sobre ARENA. Apresentam-se as razões da escolha deste *software* para elaboração do modelo de simulação:

- possui ambiente gráfico de programação, proporcionando assim uma lógica mais clara e intuitiva de programação, não demandando programação excessiva, pois possui elementos funcionais de aplicação mais imediata;
- permite, caso se deseje, o desenvolvimento de modelos dentro do paradigma de orientação a objetos, garantindo flexibilidade e possibilitando a reutilização de partes independentes do modelo em modelos futuros (RIBEIRO, 2003);
- possui capacidade de animação que permite a identificação de gargalos e de problemas na modelagem;
- apresenta capacidade de interface com outros programas para entrada de dados (desenhos, dados estatísticos etc.);
- é baseado em uma linguagem de simulação bastante reconhecida (SIMAN), que foi criada pelos mesmos grupos que desenvolveram linguagens consagradas de simulação como GPSS e GASP. Portanto, incorpora as qualidades dessas ferramentas além de diversas melhorias (PRADO, 2004); e
- por se tratar de uma ferramenta que já tenho familiaridade, bem como sua disponibilidade – por ser esse o *software* adotado como ferramenta de apoio do Laboratório de pesquisa operacional localizado na Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas.

## 2.5 Sequenciamento da produção

As empresas que trabalham com produção sob encomenda, caso típico dos fabricantes de embarcações, têm grande dificuldade em seqüenciar 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).

Moraes (2001) observa que a Tecnologia de Gestão da Produção (TGP) propõe modelos de planejamento, programação e controle da produção relacionada a ambientes específicos de aplicabilidade. A escolha da TGP pressupõe uma análise desses ambientes segundo parâmetros que a viabilizem.

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.

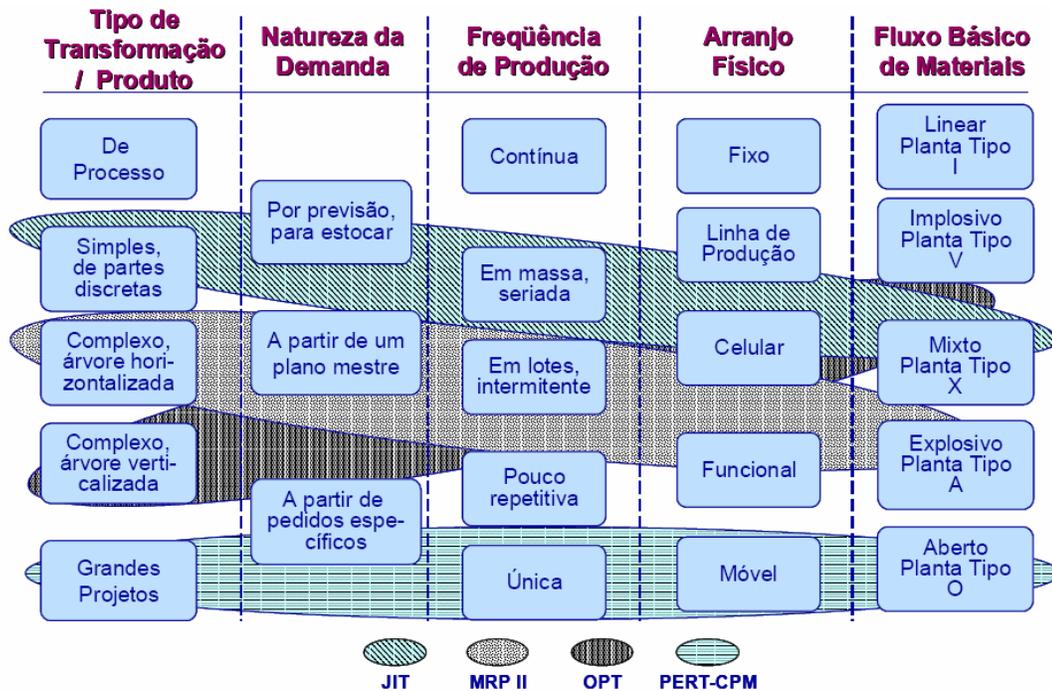


Figura 2: Tecnologias de gestão (contextos e aplicações)

Fonte: Costa (1996)

Já na produção em massa, profissionais especializados projetam os produtos que são fabricados por trabalhadores não qualificados ou semi qualificados que produzem produtos padronizados em grandes quantidades. Na produção em massa, a maquinaria é tão cara que o tempo ocioso precisa ser evitado a todo custo. Como resultado, a gerência acrescenta uma "reserva", na forma de estoque extra, de trabalhadores para garantir a disponibilidade de insumos ou para que o fluxo de produção não seja desacelerado. O consumidor beneficia-se de preços baixos em prejuízo da variedade (LAUGENI & MARTINS, 2006).

O estaleiro em estudo 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 PERT-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.

Para Cukierman (1993), as técnicas PERT-CPM podem ser classificadas como uma das sete ferramentas para o planejamento e administração visando ao aprimoramento contínuo da qualidade e produtividade, competências essenciais à competitividade exigida pelo mundo atual. A partir da década de 90, essa técnica passou a ser considerada uma das sete novas ferramentas da qualidade e produtividade. É uma poderosa ferramenta empregada 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.

Essas técnicas são consideradas por muitos como um poderoso instrumento de administração e é aplicada com sucesso em projetos de qualquer natureza, tais como: lançamento de novos produtos, projetos educacionais e produções teatrais. Está ligada ao planejamento de grandes projetos não estritamente fabril, os quais podem se destacar exemplos clássicos na construção civil, naval, aeroespacial, projetos agrícola etc.

Este detalhe, digamos “cultural”, faz com que o PERT-CPM, até hoje, encontre dificuldades para a sua efetiva implementação na indústria, pois tendo sido concebido para o planejamento de grandes projetos (Projeto Polaris, Projeto Apollo, Projeto Airbus etc.), os sistemas computacionais PERT-CPM incorporam a visão, a modelagem e linguagens próprias inerentes a gestão de projetos, mas não assimilam bem a cultura fabril, propriamente dita.

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).

A técnica mais antiga e simples de programação temporal dos projetos é o diagrama de barras ou gráfico de Gantt. À medida que os projetos ficaram mais complexos, envolvendo mais pessoas, entidades e recursos, tornou-se necessário o desenvolvimento de técnicas que permitissem o planejamento, a programação e o

controle das atividades de maneira mais eficiente, além de uma boa comunicação visual.

Duas técnicas foram desenvolvidas, quase simultaneamente no final da década de 1950: *Critical Path Method* (CPM) – Método do Caminho Crítico e *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) – Técnica de Avaliação e Revisão de Programas. O primeiro foi desenvolvido pela equipe da Dupont de Nemours & Company para aplicação em projetos de construção. A técnica PERT foi desenvolvida para a Marinha americana visando à aplicação no projeto de mísseis Polaris. 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 dessa técnica 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;
- dá uma estimativa de quanto tempo o projeto consumirá;
- permite uma visão de quais atividades são críticas para o atendimento do prazo de conclusão do projeto; e
- fornece uma visão de quanto de folga dispomos nas atividades não-críticas, a qual pode ser negociada, a fim de reduzir a aplicação de recursos e, conseqüentemente, custos.

Em termos filosóficos, o PERT/CPM privilegia com objetivos estratégicos os aspectos relativos ao tempo, como pontualidade e rapidez; muito embora, tradicionalmente, trabalhe-se com apenas um único grande projeto. Na produção sob encomenda, por sua vez, verifica-se a ocorrência de vários processos simultaneamente, concorrendo pelos mesmos recursos, o que torna difícil a aplicação desse método nesse tipo de ambiente.

Nessas situações, como várias atividades concorrem pelos mesmos recursos produtivos, simultaneamente, as retenções em filas a espera 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 que originalmente, em função de sua baixa prioridade em relação a outras atividades.

## 2.6 Generalidades sobre redes

Os métodos PERT-CPM são técnicas que utilizam redes para avaliar um sistema em termos de atividades e eventos que devem ser completados numa sequência especificada, a fim de realizar uma meta. Algumas atividades podem ser realizadas simultaneamente, ao passo que outras têm exigências de precedência. Embora algumas formulações de CPM discordem dessa nomenclatura, considera-se as atividades como tarefas componentes que levam tempo e são representadas por setas (MONKS, 1987).

Um diagrama de rede é um método que usa círculos; pequenos (nós) ligados por elos ou ramos para representar conexões de precedência. As redes são frequentemente usadas para descrever o fluxo de estoque ou de caixa, itinerários de navegação ou elos de comunicação. Os problemas de redes são também, às vezes, formulados como problemas de programação linear. Os eventos são pontos no tempo e indicam que algumas atividades finalizaram e outras iniciarão. O diagrama de rede consiste nas atividades e eventos em sua relação adequada.

O diagrama de barras tem uma grande deficiência que é o fato de não mostrar claramente as interdependências entre as atividades. Para resolver isso, desenvolveram-se os gráficos de setas. A Figura 3 representa uma atividade.

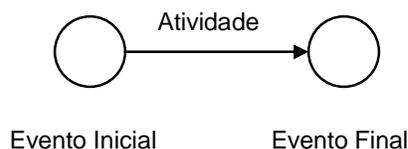
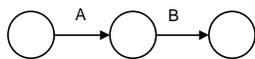
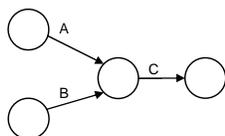


Figura 3: Representação gráfica de uma atividade

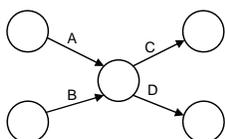
Um resumo das seqüências de diagrama de rede mostra-se na Figura 4. Há relação de precedência de atividades em um diagrama de redes. As relações de precedência das ações são indicadas pelas setas e círculos.



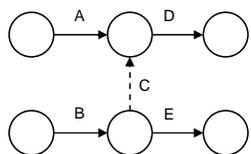
Atividade A deve estar finalizada antes da atividade B iniciar.



As atividades A e B podem ocorrer ao mesmo tempo, mas ambas precisam estar finalizadas antes de C iniciar.



As atividades A e B precisam estar finalizadas antes de C e D iniciarem, mas C pode iniciar independente de D ou vice-versa.



As atividades A e B podem ocorrer ao mesmo tempo, mas ambas precisam estar finalizadas antes que D possa iniciar. A atividade C com linha tracejada é uma atividade que tem precedência, porém seu tempo de duração é zero.

Figura 4: Simbologia de diagrama de redes comumente utilizado

Fonte: Monks (1987)

## 2.7 Técnica de avaliação e revisão de programas

O *Program Evaluation and Review Technique* ou Avaliação de Programa e Técnica de Revisão (PERT) teve sua origem em planejamento e controle de grandes programas de defesa da Marinha norte-americana e construção civil em meados dos anos 50. O primeiro grande sucesso relatado foi o término do programa do míssil Polaris dois anos antes da data programada, em 1958. Nesse programa, onde cerca de 10 mil empresas, entre contratantes e subcontratantes que fabricariam em torno de 70 mil peças diferentes, tinham de ser coordenadas e necessitavam se

comunicar numa mesma linguagem. O método reduziu de cinco para três anos a duração total do projeto (QUEZADO, 1999).

Tanto o PERT, como o CPM são recursos de controle e planejamento orientado no tempo. Contudo, a análise PERT fornece tanto uma medida central de tempo conclusivo para um projeto como uma medida de dispersão (um desvio-padrão). Dada a média e o desvio-padrão da distribuição de tempo conclusivo para um projeto, as probabilidades de acabar o projeto em menos tempo ou mais tempo que o tempo médio podem ser prontamente determinadas. Há outras diferenças sutis entre o CPM e o PERT, mas a diferença básica é a incorporação de probabilidades estatísticas na rede.

O diagrama de seta sem escala é o diagrama mais utilizado, e para a sua construção são necessários os seguintes elementos:

- relação das atividades;
- ordem de relacionamento e dependência; e
- duração de cada atividade.

Usualmente, o diagrama resultante é conhecido com o nome rede PERT. De posse desses elementos, devem-se seguir algumas regras:

1. Cada atividade é representada por uma e somente uma seta na rede. Caso uma atividade seja decomposta em duas, cada uma das partes toma-se uma atividade distinta, com representação própria;
2. Duas atividades não podem ser desenhadas de maneira a compartilharem o mesmo evento inicial e o mesmo evento final, como mostra a Figura 5. A saída para a representação de atividades paralelas é a criação de uma atividade fantasma, representada por uma seta tracejada, que serve apenas para indicar a inter-relação, conforme mostra a Figura 6. A atividade fantasma não tem duração nem consome recurso;
3. A atividade fantasma deve ser utilizada em situações em que haja atividades independentes que compartilhem das mesmas atividades antecedentes (ANDRADE, 2004).

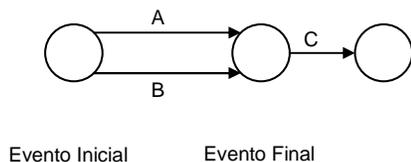


Figura 5: Representação incorreta

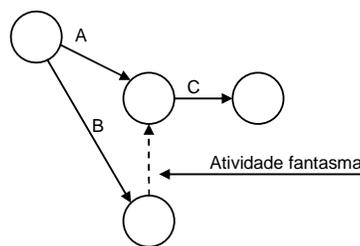


Figura 6: Representação correta

O PERT incorpora dúvida (probabilidade) incluindo três cálculos de durações para cada atividade, em vez de um somente. Esses cálculos são designados como:

- a) Duração otimista: essa é a menor duração que pode esperar-se. Se tudo correr excepcionalmente bem, será obtida em cerca de 1% do tempo;
- b) Duração mais provável: esse é o melhor cálculo ou expectativa de método;
- c) Duração pessimista: essa é a pior duração que pode razoavelmente espera-se. Se tudo correr mal, ocorrerá somente em cerca de 1% do tempo.

A duração média esperada ( $t_e$ ) e a variância ( $\sigma^2$ ) de cada atividade são determinadas como:

Onde:

$a$ : duração otimista

$m$ : duração mais provável

$b$ : duração pessimista

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

As durações das atividades individuais são, então, somadas sobre os respectivos caminhos, e o caminho com o tempo mais longo é o caminho crítico. As variâncias dos tempos das atividades ao longo do caminho crítico devem também ser somadas. A distribuição do tempo final é aproximadamente normal com o tempo conclusivo  $T_E$  e desvio-padrão  $\sigma$ :

Onde:

$\sigma_{cp}^2$  = é a variação de uma atividade individual no caminho crítico.

$$T_E = \sum t_e$$

$$\sigma = \sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}$$

De acordo com a média e o desvio-padrão da distribuição final, as probabilidades de vários tempos conclusivos serão calculadas usando-se a distribuição normal. Por exemplo, ver Figura 7, para determinar a probabilidade de um projeto exceder o tempo T na, iremos verificar:

$$Z = \frac{T_x - \mu_E}{\sigma}$$

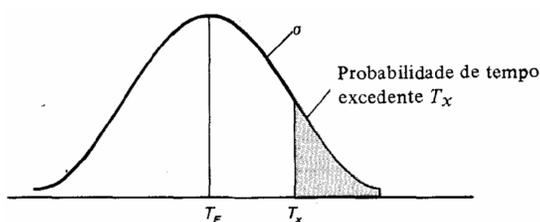


Figura 7: Distribuição de tempo final

Encontrar a probabilidade associada com o valor Z dos valores de distribuição normal de uma tabela de distribuição normal e subtraí-los de 0,5000. O resultado representará a área sombreada sob a curva na Figura 7.

## 2.8 Método de caminho crítico

O *Critical Path Method* ou Método do Caminho Crítico (CPM) foi desenvolvido de forma independente, pela DUPONT e UNIVAC mais ou menos na mesma época do PERT (1957/1958) como uma técnica de programação para a construção, manutenção e desativação de fábricas de processos químicos. Desde suas concepções, as diferenças entre os dois métodos eram irrelevantes: no PERT predominam os chamados tempos probabilísticos, ou seja, as estimativas de tempos não podem ser feitas com certeza e no CPM, os chamados tempos determinísticos, ou ainda, onde os tempos das operações podem ser conhecidos com certeza, não havendo maiores vantagens práticas em considerá-los como dois sistemas diferentes (CUKIERMAN, 1993).

Com o tempo, as diferenças entre os dois métodos atenuaram-se a partir de 1962 esses sistemas, considerados complementares, integraram-se sob a denominação PERT/CPM, sendo definido como um conjunto de processos e técnicas para planejamento, programação e controle de um empreendimento ou operação ou projeto, tendo como característica fundamental a indicação, dentre as várias seqüências operacionais, daquela que possui duração máxima, além de permitir a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando distribuição de recursos e interdependência entre as várias ações necessárias ao desenvolvimento do projeto (ABNT, 1972).

As etapas envolvidas na execução CPM são:

1. Definir o projeto em termos de atividades e eventos;
2. Construir um diagrama de rede mostrando as relações de precedência;
3. Desenvolver a estimativa de duração de cada atividade; e
4. Considerar a exigência de tempo para cada caminho na rede.

O caminho com a seqüência de maior tempo é considerado 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 (TE). Outros caminhos terão excesso de tempo (ou

folga), e a folga associada com qualquer caminho é simplesmente a diferença entre TE e o tempo para o caminho dado.

A administração das atividades de um projeto é, às vezes, útil para saber quanto antes ou quanto depois uma atividade individual pode ser iniciada ou terminada sem afetar a data de conclusão programada do projeto total. As primeiras e últimas datas das atividades são representadas comumente pelas siglas abaixo listadas:

- PDI: Primeira Data de Início de uma atividade. A hipótese é a de que todas as atividades precedentes iniciam na PDI;
- PDT: Primeira Data de Término de uma atividade. A hipótese é a de que a atividade começa na sua PDI e leva o tempo esperado,  $t$ . Assim,  $PDT = PDI + t$ ;
- UDT: Última Data de Término de uma atividade. A hipótese é a de que as atividades sucessivas levam seu tempo esperado; e
- UDI: Última Data de Início de uma atividade.  $UDI = UDT - t$ .

PDI e PDT são calculadas numa sequência da esquerda para a direita (às vezes chamada “um passo à frente”). A PDI de uma atividade é a soma dos tempos de todas as atividades precedentes naquele caminho onde dois caminhos convergem a um nó; o caminho de tempo mais longo prevalece.

## 2.9 Conclusões sobre o referencial teórico

As características estruturais da indústria de construção naval são:

- é uma indústria intensiva em capital e intensiva em mão de obra;
- é uma indústria intensiva em processo – o projeto e a gestão da produção;
- é uma indústria que fornece bens de capital sob encomenda, com elevado tempo de produção, por isso, está sempre sujeita ao comportamento cíclico de preços de insumos e dos fretes; e

- o nível de custos fixos é muito elevado, e a demanda é variável, o que acaba por promover uma alternância entre momentos de capacidade ociosa e fases de utilização plena da capacidade. Há sempre saltos descontínuos de oferta, o que resulta na imposição de igualmente elevadas barreiras à saída, assim como reforça o caráter cíclico dos preços de navios novos. Além disso, os elevados custos fixos com altas barreiras à saída contribuem para acirrar a rivalidade entre estaleiros instalados;

A simulação possibilita o estudo e a experimentação de sistemas complexos, seja de uma indústria ou serviços. Por meio da simulação, podem ser estudadas algumas variações no meio ambiente e verificados seus efeitos em todo o sistema. A experiência adquirida em construir os modelos e realizar a simulação pode levar a uma melhor compreensão do sistema, o que possibilita melhorá-lo.

A simulação de sistemas pode fornecer valiosa visão tendo em vista de descobrir as variáveis mais importantes do sistema e a maneira como elas interagem. A simulação pode ser usada para experiências com novas situações, sobre as quais se têm pouca ou mesmo nenhuma informação, no intuito de preparar a administração para o que possa acontecer. A simulação pode servir como um primeiro teste a fim de se delinear novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de experimentá-las no sistema real.

Os métodos PERT/CPM, fazem uso da lógica do nivelamento dos recursos produtivos, ou seja, planeja-se com capacidade infinita e ajusta-se esta capacidade num momento posterior. Para tratar situações onde um conjunto variado de produtos ou projetos concorre pelos mesmos recursos de produção, os quais são restritos e escassos. Nestes casos, o seqüenciamento das atividades e a gestão da capacidade produtiva, no curto prazo, são de fundamental importância não devendo ser solucionada através de um procedimento de ajuste final da solução global estabelecida. Esta lógica faz com que o PERT/CPM enfrente as mesmas dificuldades experimentadas pelo *Material Requirements Planning* ou Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP), técnica utilizada no **Planejamento e controle da produção**. As empresas que trabalham com produção-sob-encomenda, têm grande dificuldade em sequenciar a produção, visando conciliar a ocupação e produtividade dos equipamentos, com os prazos de entrega dos clientes. Assim

sendo, estes métodos apresentam-se como ferramentas eficientes para planejamento e gestão da produção-sob-encomenda.

### 3. MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO NO ESTALEIRO A

No período de 20 de agosto de 2007 a 5 de março de 2008, aplicou-se a técnica da observação, na carreira 6, no Estaleiro A, localizado na cidade de Manaus. 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, organizaram-se as ações, por ordem cronológica de acontecimento. Isso foi fundamental para a análise e entendimento do processo. No dia 7 de abril deste ano, fez-se a validação desse processo produtivo; um especialista do estaleiro avaliou minuciosamente todas as etapas descritas.

O estaleiro em estudo, sediado em Manaus (AM), fabrica embarcações em aço e alumínio. A carreira 6 desse estaleiro é onde são fabricadas as embarcações de maior porte, como as balsas e empurradores. A Figura 8 ilustra essa carreira.



Figura 8: Carreira 6 do Estaleiro A

Essa carreira é composta por três galpões que possuem funções e infraestrutura distintas.

No primeiro galpão, ilustrado na Figura 9, executa-se a atividade de tratamento da superfície das chapas de aço, desenha-se as peças nas chapas já tratadas e corta-se. Esse último pode ser manual ou por meio de máquinas. Sua infra-estrutura é composta por:

- duas pontes rolantes com capacidades de carga de 8 e 10 t, como ilustra a Figura 10;

- duas máquinas automáticas para corte de chapas de aço. Uma da marca ESAB, modelo SHADOW 2, capaz de fazer cortes retos e curvilíneos que pode usar plasma ou mesmo maçarico para a execução dos cortes. A outra máquina, é da marca SMF, modelo não identificado, que executa apenas cortes retos com o uso de maçaricos; e
- uma máquina de jateamento que usa granalha de aço para a limpeza da superfície das chapas, cuja marca é METAL CYM.



Figura 9: Onde é feito o tratamento da superfície das chapas de aço



Figura 10: Pontes rolantes para movimentação das chapas de aço

A Figura 11 ilustra o segundo galpão, onde é executada a montagem das peças e várias peças formam um painel. Nesse mesmo galpão, vários painéis são soldados, originando os blocos – essa atividade será exposta com maiores detalhes mais a frente. Sua infra-estrutura é composta por:

- Uma ponte rolante capaz de erguer 60 t. Ver Figura 12;
- Uma ponte rolante capaz de erguer 100 t. Ver Figura 12;
- Máquinas de solda por eletrodo revestido – há 40 máquinas desse tipo;
- Máquinas de solda mig/mag – há 30 máquinas. Ver Figura 13 e Figura 14; e
- Máquinas de solda por arco submerso – são 10 máquinas desse tipo. Ver Figura 15.



Figura 11: Onde os painéis e os blocos são montados



Figura 12: Pontes rolantes usadas para movimentar os painéis e os blocos

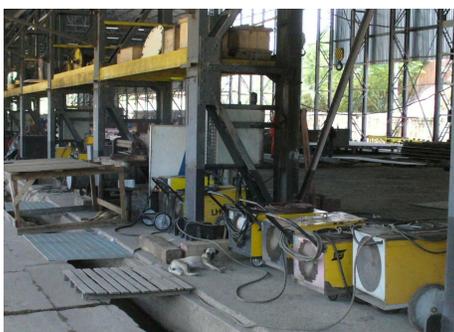


Figura 13: Máquinas de solda mig/mag



Figura 14: Máquina de solda mig/mag e soldagem



Figura 15: Máquina de solda por arco submerso

No terceiro e último galpão, ilustrado pela Figura 16, 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 armador. Nesse galpão, encontra-se a carreira, rampa com 7° de inclinação, responsável por lançar as embarcações na água conforme a Figura 17.

- Uma ponte rolante capaz de erguer 100 t, em destaque na Figura 16;
- Máquinas de solda por eletrodo revestido – há 35 máquinas; e
- Máquinas de solda mig/mag – são 30 máquinas.



Figura 16: Terceiro galpão, onde a embarcação é montada



Figura 17: Rampa com 7º de inclinação

O processo produtivo macro, ou seja, com as principais atividades praticadas no Estaleiro A, é composto pelas etapas que constam na Figura 18. 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.

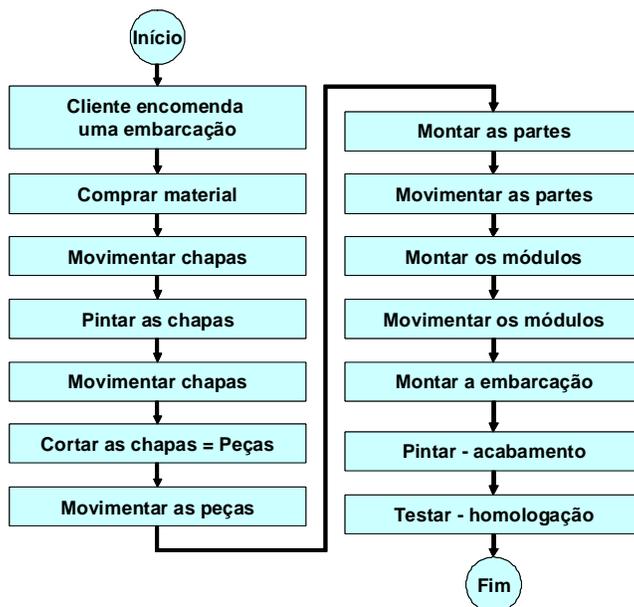


Figura 18: Processo produtivo praticado no Estaleiro A

Para haver o entendimento do processo produtivo de embarcações de grande porte praticado no Estaleiro A, é necessário descrever cada item separadamente. Para tanto, segue o detalhamento de cada etapa deste processo.

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 armador já fornece o projeto completo, com os desenhos e o dimensionamento do motor, cabendo ao Estaleiro A a responsabilidade de construir a embarcação; ou o armador descreve sua necessidade ao Estaleiro A que desenvolve todo o projeto. Além de construir a embarcação, esse projeta os desenhos, executa os cálculos estruturais e verifica o motor adequado para aquela utilização específica.

A compra dos insumos é feita em função da particularidade de cada projeto. As chapas de aço são adquiridas no sistema de cota<sup>6</sup>, e as tintas, consumíveis para solda e motores são adquiridos diretamente com o fornecedor, sem intermediários. Assim que estes insumos chegam ao Estaleiro A, são armazenados individualmente em locais específicos.

O aço ao chegar do fornecedor, ainda sem o tratamento da superfície, é armazenado a céu aberto, como ilustra a Figura 19. As tintas e os consumíveis para solda são armazenados em contêineres dispostos ao lado da carreira. Ver Figura 20. Já os motores, são armazenados na própria carreira, haja vista suas grandes dimensões, peso e alto custo. A Figura 21 ilustra o local de armazenamento de três motores que irão equipar um empurrador que está em construção.



Figura 19: Local de armazenamento das chapas de aço

---

<sup>6</sup> Cota é um sistema de fornecimento de insumos cuja quantidade fornecida é fixada por período, independente se há ou não demanda.



Figura 20: Locais de armazenamento de tintas e consumíveis



Figura 21: Local de armazenamento dos motores

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, em destaque na Figura 22.



Figura 22: Trator para o transporte das chapas de aço

No Estaleiro A, para que as chapas de aço sejam utilizadas na construção naval, há o tratamento da sua superfície. Essa etapa inicia quando as chapas de aço são transportadas da área externa para a carreira 6. Esse tratamento consiste em jatear a superfícies das chapas com granalha de aço com o uso da máquina Metal Cym, como ilustra a Figura 23. Em seguida, com o intuito de retirar poeira e qualquer partícula, a superfície da chapa é varrida, conforme Figura 24 A e B. Na sequência, a tinta é diluída até que a consistência seja ideal. Esse processo é feito com base na experiência do colaborador, de acordo com a Figura 25. Somente após essas etapas, é que as duas superfícies da chapa são pintadas, uma de cada vez. Ver Figura 26 A e B.



Figura 23: Jateamento da superfície das chapas de aço



Figura 24 A e B: Limpeza da superfície da chapa



Figura 25: Preparo da tinta



Figura 26 A e B: Pintura da chapa de aço

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 0,008x12,00x2,44 m pesa cerca de 1.600 kg. As Figura 27 A e B ilustram essa ação. Quando essa chapa é transportada, com o auxílio da ponte rolante, percorre o trajeto sobre os trabalhadores, elevando assim o risco potencial dessa atividade.

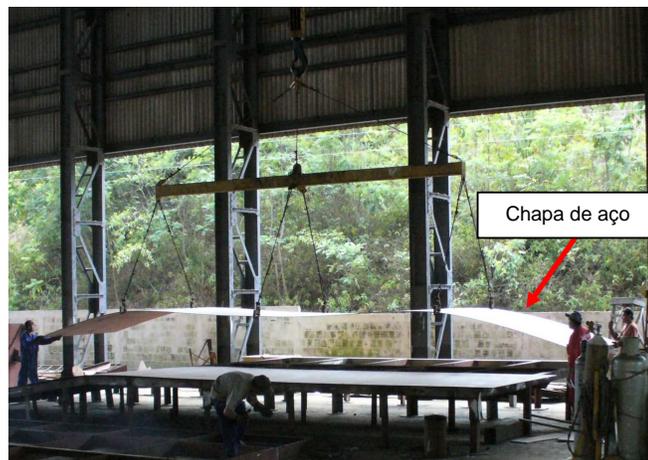


Figura 27 A: Movimentação de chapas de aço



Figura 27 B: Uso da ponte rolante para movimentar as chapas

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. Ver Figura 28.



Figura 28: Desenho e corte manual

Outra possibilidade de corte é com o uso das máquinas de corte automáticas. No Estaleiro A há duas máquinas automáticas para cortes de chapas de aço. Uma é a máquina da marca ESAB, modelo SHADOW 2, que é de corte tipo pórtico avançada de uso pesado, controlado numericamente com dupla motorização, com trilhos sobre pedestais que permitem maiores velocidades de deslocamento com maior estabilidade do processo. Totalmente controlado pelo CNC *Vision LE*, especialmente desenvolvido para atividades de corte de chapas planas, capaz de fazer cortes retos e curvilíneos que pode usar plasma ou mesmo maçarico para a execução dos cortes. Atualmente está funcionando somente com o corte a maçarico, como pode ilustrar a Figura 29. A outra máquina é da marca SMF, modelo não identificado, que executa apenas cortes retos com o uso de maçaricos. Ver Figura 30.



Figura 29: Máquina de corte ESAB, cortes retos e curvilíneos



Figura 30: Máquina de corte SMF, apenas cortes retos

É frequente observar os operários movimentando as peças, quando as peças cortadas não são grandes. Essas peças são agrupadas e soldadas e com isso se formam os painéis.

A Figura 31 descreve, por meio de diagrama de blocos, o processo de montagem da embarcação praticado no Estaleiro A. O resultado da etapa de desenho e corte são as **peças**, conforme Figura 32. Muitas peças formam um **painel**, que é um painel maior e mais pesado, de acordo com a Figura 33 e Figura 34. Muitos painéis unidos formam um **bloco**, e a união dos blocos formam a embarcação.

A Figura 35 demonstra a montagem de um bloco. Trata-se também de uma operação arriscada, pois há a movimentação de vários painéis, e ainda é necessário haver o alinhamento de cada painel para então haver a soldagem das mesmas.

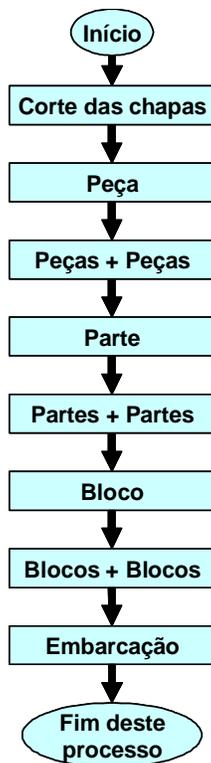


Figura 31: Processo de montagem praticado no Estaleiro A



Figura 32: Peça sendo finalizada



Figura 33: Painel sendo montado



Figura 34: Painel sendo montado



Figura 35: Montagem de um bloco

Os blocos são estruturas grandes e pesadas; e por uma restrição de infraestrutura da carreira 6, não podem ultrapassar 100 t de peso. O motivo baseia-se na capacidade máxima das pontes rolantes: 100 t e 12 m da dimensão que se quer mover, pois esse é o espaço útil de movimentação das pontes rolantes. A Figura 36 e a Figura 37 ilustram o tamanho de um bloco em fase de finalização.



Figura 36: Bloco em fase de finalização



Figura 37: Bloco em fase de finalização

Uma embarcação é composta pela união de inúmeros blocos. Os blocos são então levados 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”.

A Figura 32 ilustra a progressão da montagem. 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.

Para minimizar o calor e os efeitos causados pela fumaça, exaustores e lâmpadas são instalados nestes lugares, em destaque na Figura 38.



Figura 38: União dos blocos

O bloco A, exposto na Figura 39, foi montado na embarcação, ilustrada na Figura 40, já com a proa, parte do meio, popa e conveses.



Figura 39: Bloco que será montado na embarcação

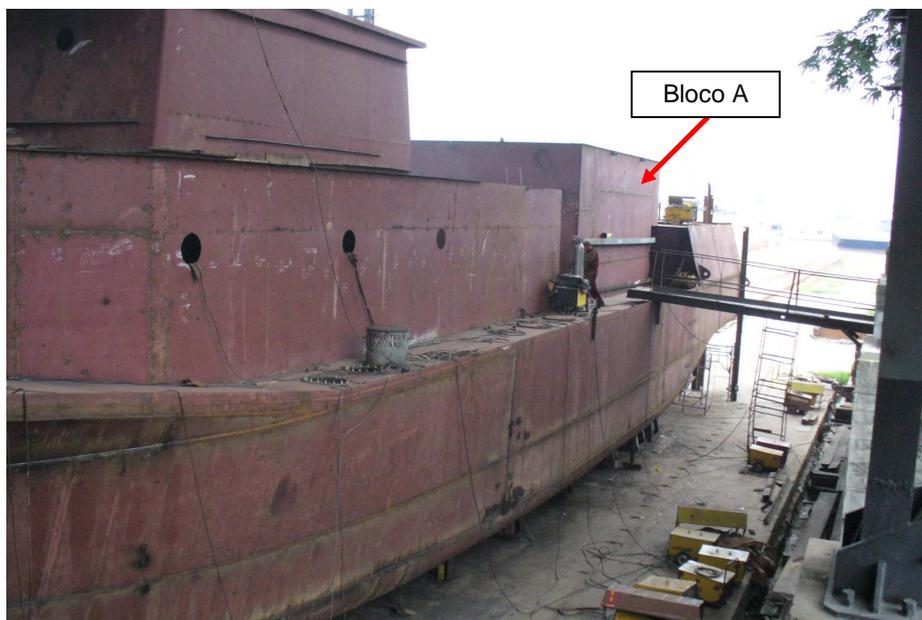


Figura 40: Blocos montados na embarcação

A união de todos esses itens é feita usando solda por eletrodo revestido e/ou mig-mag e/ou arco submerso. O último é utilizado em soldagens retas, pois é feito com o uso de uma máquina que opera em locais planos.

Com o final dessa etapa, a embarcação encontra-se totalmente edificada e pronta para o acabamento. Após, inicia-se a instalação dos motores e dos acessórios. Os motores são instalados pelo sistema de comissionamento<sup>7</sup>, com uma equipe técnica da fábrica durante a instalação, inspeção e entrega técnica. Depois desse processo, há uma equipe que faz a manutenção. A garantia vai até a entrega técnica, salvo se após isso houver defeito de fabricação. Esse acabamento envolve toda a montagem de equipamentos de navegação, geradores etc. assim como a pintura solicitada pelo cliente.

Os testes necessários antes da entrega da embarcação são realizados por escritórios certificadores credenciados, por exemplo: a Sociedade Classificadora de Navios – Bureau Colombo Brasil; Sociedade Classificadora Navios Ltda – Det

---

<sup>7</sup> Comissionamento é um sistema de fornecimento de motores cuja instalação e funcionamento inicial é realizado por equipe técnica da própria fábrica ou assistência técnica. Só assim é realizada a entrega das máquinas.

Norske Veritas; Lloyd's Register Quality Assurance – LRQA, entre outras. Testam-se a qualidade das soldas, velocidade da embarcação, testes de inclinação e estabilidade e demais exigências legais. Somente após isso é que a embarcação está pronta para ser entregue ao cliente.

Em virtude da grande e constante demanda que possui, o Estaleiro A adquire parte de seus insumos pelo sistema de cota, o que faz com os preços de aquisição desses sejam mais reduzidos.

Com base na intuição e conhecimento dos especialistas do próprio estaleiro, sabe-se que são necessários cerca de 65 dias úteis para produzir uma balsa com as dimensões descritas anteriormente.

#### 4. ANÁLISE PERT – CPM

As organizações inserem-se em um ambiente extremamente competitivo, em que as ações da globalização são inevitáveis. As empresas necessitam racionalizar ao máximo seus recursos e verificar se as decisões tomadas nas mais diversas áreas da organização realmente trazem os melhores resultados para a empresa. Dessa forma, torna-se indispensável a gestão da produção com base nas restrições de tempo, recursos materiais e de pessoas.

Na produção sob encomenda, o sequenciamento das atividades, é um problema da alocação dos recursos múltiplos disponíveis, a fim de assegurar a data de conclusão do projeto.

No entanto, a produção sob encomenda de bens e/ou serviços é desenvolvida para um cliente específico, ou seja, por meio da manifestação dos clientes, definindo em seguida os produtos a serem fabricados. Isso faz com que as empresas que trabalham com produção sob encomenda tenham grandes dificuldades em sequenciar a produção, na tentativa de conciliar uma elevada taxa de utilização e produtividade dos recursos produtivos com os prazos de entrega.

O conceito de **modelagem de processos** está baseado na visão por processos ou visão horizontal da organização.

A visão horizontal propõe a análise de um sistema produtivo como uma sequência de atividades e responsabilidades, encadeadas no tempo, que começa com a solicitação de um produto ou serviço pelo cliente, e termina quando a necessidade desse cliente é satisfeita. Essa visão cruza as diversas áreas ou departamentos de uma organização).

Tomando por base essas idéias, surgiu a prática da modelagem de processos, que consiste em modelar ou representar as atividades de uma organização por meio de modelos horizontais e temporais. Esses modelos permitem o entendimento do fluxo de trabalho, informação e o fluxo do produto dentro de uma empresa.

Com base nesses conceitos, desenvolveu-se inicialmente o mapeamento e análise deste processo produtivo macro. As ações desse processo com suas

precedências e suas respectivas durações, estão descritos na Tabela 1. Relacionaram-se todos os itens desse processo com suas respectivas relações de precedência, no entanto, sem a necessidade de detalhar cada item. Assim, foi possível entender esse processo produtivo como um tudo.

Dessa forma, responderam-se algumas perguntas do tipo: Qual a necessidade desta ação? Qual ação é executada após esta ação? De onde vieram estes itens? Para onde vão?

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	Cortar as chapas = peças	28,00
6	Corte máquina	5		12,17
7	Manualmente	6	Movimentar as peças	18,00
8	Ponte rolante	7		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

A duração de cada atividade diz respeito ao tempo total para a produção da embarcação completa, ou seja, é o tempo de execução de uma determinada ação multiplicada pelo número de repetições dessa para a produção completa. Como exemplo, cita-se a ação 1, denominada “Trator”, cuja duração total é de 10 horas. Porém, o tempo necessário para movimentar uma chapa é cerca de 20 minutos e para produzir uma balsa é necessário aproximadamente 30 dessas ações, totalizando assim 600 minutos ou 10 horas.

Com base nessas informações, desenvolveu-se a rede que descreve todo o processo produtivo atual conforme Figura 41. Para tanto, observou-se quais itens ocorrem em série e/ou em paralelo com outros. Para facilitar a visualização, utilizaram-se cores para facilitar a visualização das atividades. As durações de cada atividade foram observadas *in loco* ou em relatos de funcionários responsáveis. Nesse último caso, obtiveram-se 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 41 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 nesta carreira produtiva.

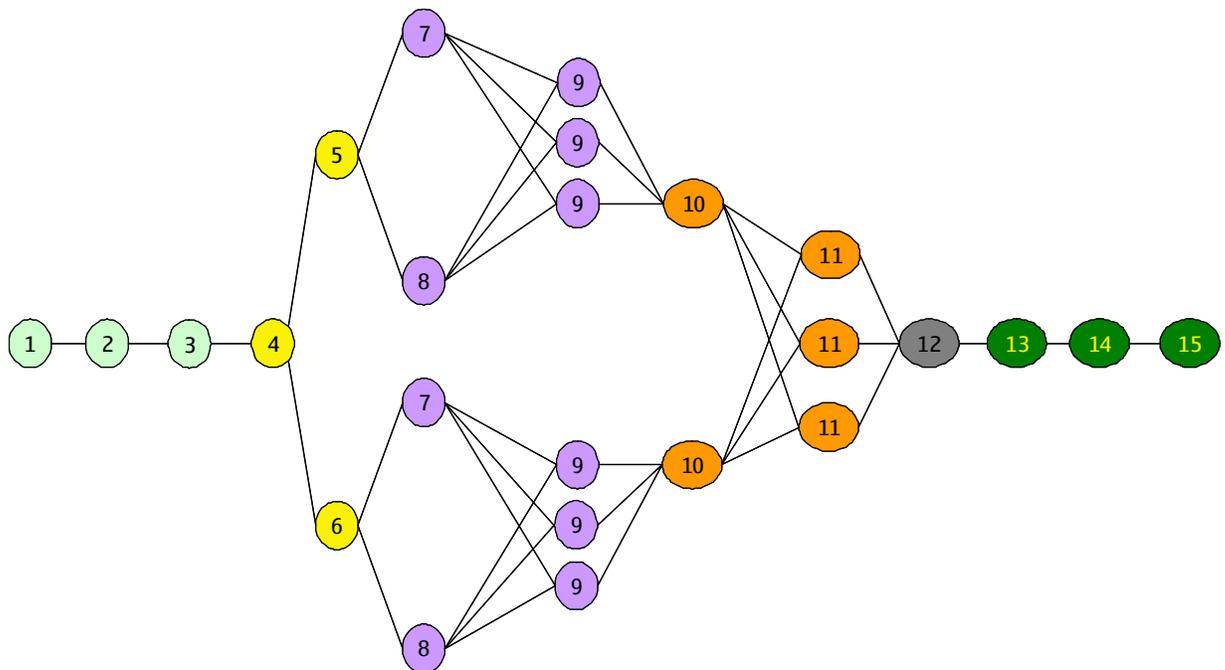


Figura 41: Rede do processo produtivo macro

Essa é a rede de ações do processo da produção de balsas, praticado no estaleiro em estudo. As características são de um processo produtivo por encomenda, nada é produzido para estoque. Nesse caso, a duração total da produção da balsa é de aproximadamente 57 dias corridos, ou seja, aos sábados, domingos e feriados não se trabalha. Essa análise detalhada será observada no tópico seguinte.

#### **4.1 Técnica de avaliação e revisão de programas do processo produtivo atual – Análise PERT**

Com base nas ações necessárias observadas para a produção de balsas, desenvolveu-se o estudo de avaliação do programa e técnica de revisão ou *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) desse processo produtivo. Para desenvolver este estudo, utilizou-se a ferramenta computacional MS-Project 2002, da Microsoft. Trata-se de uma ferramenta bastante utilizada, voltada para a gestão de projetos que possui as ferramentas PERT-CPM. Vale ressaltar que o aprendizado de uso da ferramenta deu-se por meio de esforço individual, desenvolveu-se estudo e pesquisa de inúmeras publicações relacionadas ao assunto e também se utilizou a função *Help* do MS-Project.

Em virtude da natureza desse processo produtivo, estudaram-se dois cenários distintos:

1. Organização atual: 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. Organização por 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 início do estudo PERT-CPM, lançou-se em uma planilha do MS-Project, cada ação do processo produtivo completo com suas respectivas durações. Para fins de ilustração, foi escolhido o dia 5 de janeiro do corrente ano, como a data de início do projeto, como pode ser visto na Tabela 2. Assim, todas as durações das ações, com suas respectivas data e hora de início e fim foram descritas. Essa etapa de estudo é de extrema importância para se ter a visão de quando uma atividade poderá iniciar, haja vista a necessidade de respeitar a ordem de precedência de cada ação.

Tabela 2: Duração das ações

Ordem	Nome da Atividade	Duração (h)	Início		Fim	
			Data	Hora	Data	Hora
1	Trator - Movimentar chapas	10,00	05/01/09	8:00:00	06/01/09	10:00:00
2	Jatear a superfície - Tratar superfície	22,83	06/01/09	10:00:00	09/01/09	8:50:00
3	Pintar as chapas - Tratar superfície	25,83	09/01/09	8:50:00	14/01/09	10:40:00
4	Ponte rolante - Movimentar chapas	24,33	14/01/09	10:40:00	19/01/09	11:00:00
5	Corte manual = Peças	28,00	19/01/09	11:00:00	22/01/09	16:00:00
6	Corte máquina = Peças	12,17	19/01/09	11:00:00	20/01/09	16:10:00
7	Manualmente - Movimentar peças	18,00	22/01/09	16:00:00	27/01/09	9:00:00
8	Ponte rolante - Movimentar peças	16,00	22/01/09	16:00:00	26/01/09	16:00:00
9	Montar os painéis	47,83	27/01/09	9:00:00	04/02/09	8:50:00
10	Ponte rolante - Movimentar painéis	12,00	04/02/09	8:50:00	05/02/09	13:50:00
11	Montar os blocos	80,17	05/02/09	13:50:00	19/02/09	14:00:00
12	Ponte rolante - Movimentar blocos	16,00	19/02/09	14:00:00	23/02/09	14:00:00
13	Montar a embarcação	120,67	23/02/09	14:00:00	16/03/09	14:40:00
14	Pintar - acabamento	48,17	16/03/09	14:40:00	24/03/09	14:50:00
15	Testar - homologação	24,33	24/03/09	14:50:00	27/03/09	15:10:00
	Processo Completo	59,77 dias	05/01/09	8:00:00	27/03/09	15:10:00

A duração de cada atividade na prática pode sofrer variação daquela prevista na elaboração do projeto. Há muitos fatores que são praticamente impossíveis de serem previstos e podem adiantar ou atrasar a duração de uma atividade. Como exemplos, citam-se a escassez ou abundância de recursos devido à variação abrupta de indicadores econômicos, intempéries climáticas, guerras, entre outros.

Com base nas durações de cada ação do processo completo, com suas respectivas datas de início e fim, essas informações foram lançadas no MS-Project, e para facilitar a visualização, desenvolveu-se o gráfico de Gantt do projeto, de acordo com a Figura 42. Dessa forma, verifica-se o início do projeto no dia 5 de janeiro de 2009 e sua conclusão no dia 27 de março desse mesmo ano.

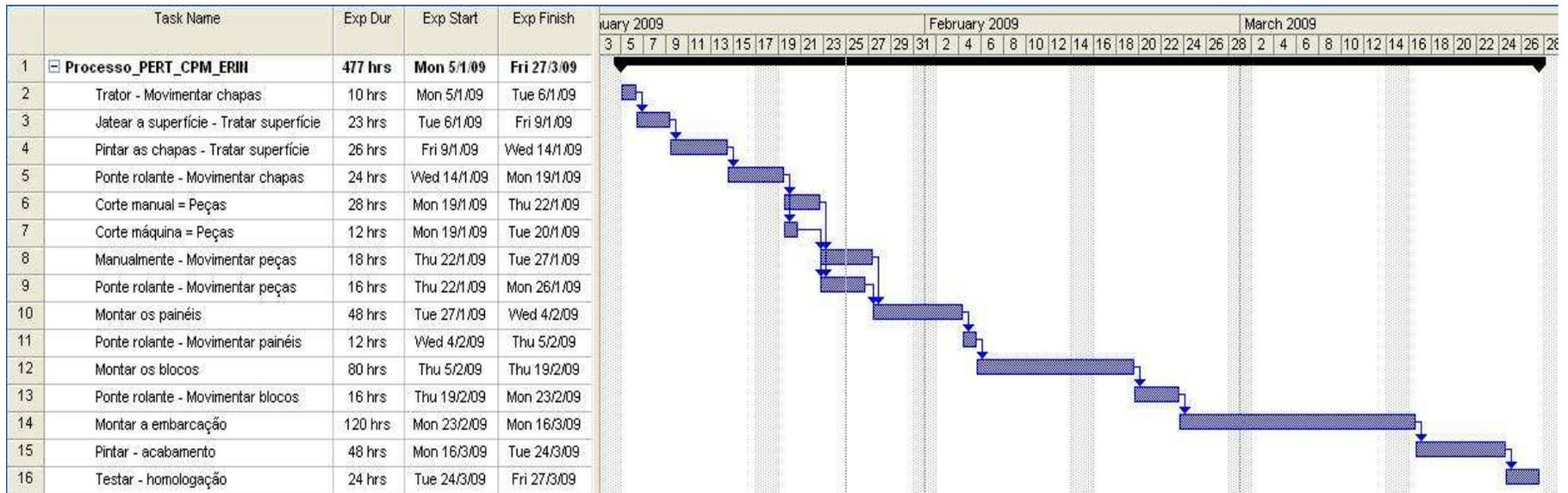


Figura 42: Gráfico de Gantt do projeto

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.

Com o objetivo de obter um planejamento mais confiável, é necessário considerar no modelo as incertezas sobre a duração de cada atividade. Na metodologia PERT, a duração de cada atividade é tratada como uma variável aleatória com alguma distribuição de probabilidade. A versão original da metodologia PERT utiliza três diferentes tipos de estimativas de duração para cada ação, para determinar os parâmetros da distribuição de probabilidade:

- estimativa otimista de duração de cada ação;
- estimativa mais provável da duração de cada ação; e
- estimativa pessimista da duração de cada ação.

Após o mapeamento de todo o processo produtivo, obteve-se a duração de cada ação. Essa informação foi verificada no local e quando isso não foi possível, responsáveis pela gestão do processo forneceram as informações. As estimativas de tempo – otimista e pessimista – obtiveram-se somente com os responsáveis pela gestão desse processo. Dessa forma, elaborou-se a Tabela 3 na qual constam as durações: otimista, pessimista e esperada.

A duração esperada é a mais próxima da real; as demais durações são baseadas na experiência de acompanhamento do processo produtivo dos responsáveis. Para estas estimativas, consideraram-se restrições do tipo: ausência de operadores e falta de energia elétrica, basicamente, pois é mantido um estoque de segurança dos demais insumos.

Tabela 3: Durações estimadas de cada ação do processo produtivo

Ordem	Nome da Atividade	Duração (h)	Duração (h)		
			Otimista	Esperada	Pessimista
1	Trator - Movimentar chapas	10,00	8	10	12
2	Jatear a superfície - Tratar superfície	22,83	20	23	25
3	Pintar as chapas - Tratar superfície	25,83	23	26	28
4	Ponte rolante - Movimentar chapas	24,33	22	24	28
5	Corte manual = Peças	28,00	25	28	31
6	Corte máquina = Peças	12,17	10	12	15
7	Manualmente - Movimentar peças	18,00	15	18	21
8	Ponte rolante - Movimentar peças	16,00	14	16	18
9	Montar os painéis	47,83	45	48	50
10	Ponte rolante - Movimentar painéis	12,00	10	12	14
11	Montar os blocos	80,17	78	80	83
12	Ponte rolante - Movimentar blocos	16,00	13	16	19
13	Montar a embarcação	120,67	118	120	126
14	Pintar - acabamento	48,17	44	48	54
15	Testar - homologação	24,33	22	24	28
	Processo Completo	59,79 dias	443	477	519

Com base nas durações: otimista, esperada e pessimista, aplicou-se a metodologia PERT fazendo uso do software MS-Project. Com isso, foi possível obter as durações dos processos completos para as situações: otimista 443 horas; esperado 477 horas; e pessimista 519 horas.

Assim, foi possível obter os resultados do projeto com estimativa otimista, duração de 443 horas ou 55,37 dias. A Figura 43 demonstra o gráfico de Gantt dessa estimativa, com o início do projeto no dia 5 de janeiro de 2009 e com seu término no dia 22 de março desse mesmo ano.

Baseado nas estimativas esperadas de cada ação, gerou-se o planejamento com duração de cada ação com suas respectivas datas de início e fim. A Figura 44 ilustra o gráfico de Gantt. A duração do projeto seria de 477 horas ou 59,62 dias. O início do projeto foi no dia 5 de janeiro de 2009 e seu término seria no dia 26 de março do mesmo ano.

Com as estimativas pessimistas de cada ação do processo produtivo, gerou-se o planejamento com a duração e suas respectivas datas de início e fim de cada ação do processo produtivo. A Figura 45 ilustra o gráfico de Gantt. A duração do projeto seria de 519 horas ou 64,87 dias. O início do projeto foi no dia 5 de janeiro de 2009 e seu término seria no dia 3 de abril do mesmo ano.

Com essas estimativas, é possível ter um horizonte dos prováveis acontecimentos para cada ação do projeto completo. Dessa forma, torna-se

prático elaborar planos de contingência para eventuais atrasos com eventuais datas de acontecimento. 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.

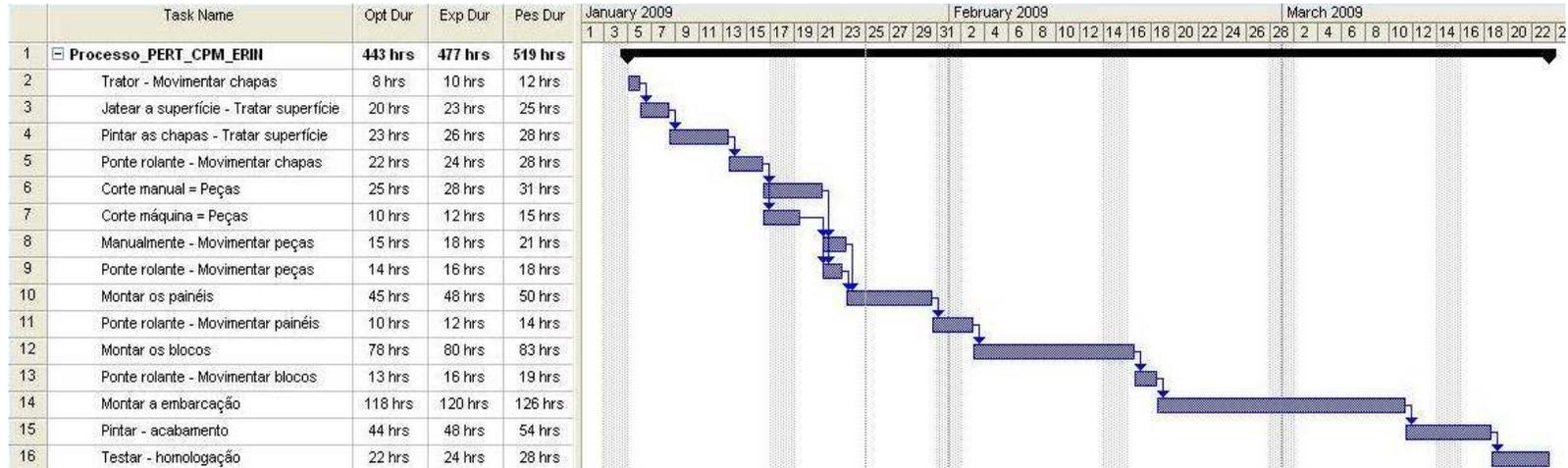


Figura 43: Estimativa otimista com seu respectivo gráfico de Gantt

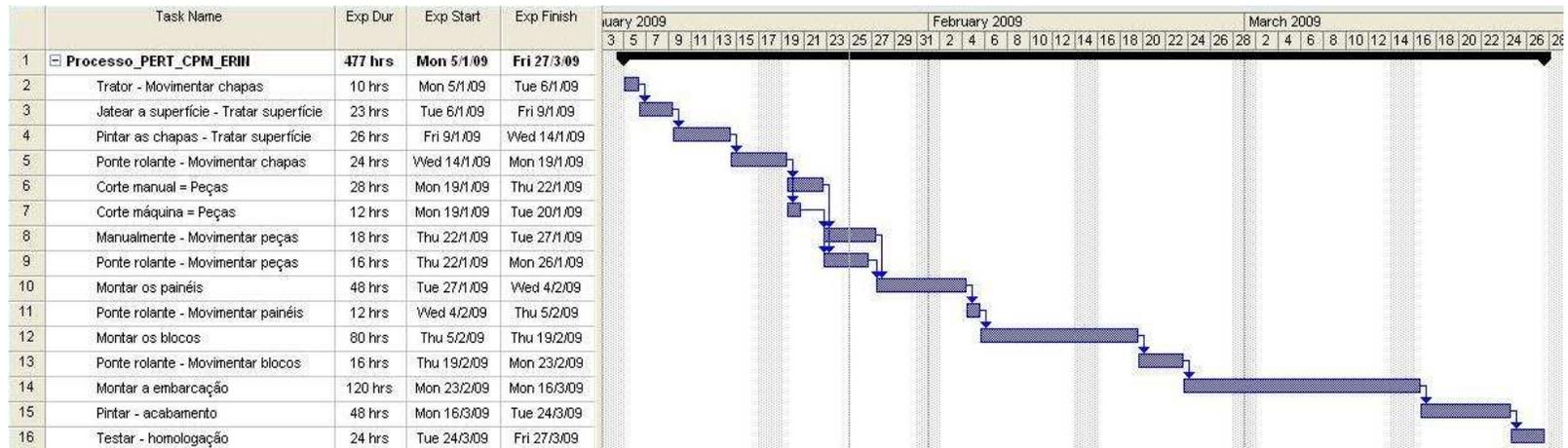


Figura 44: Estimativa esperada com seu respectivo gráfico de Gantt

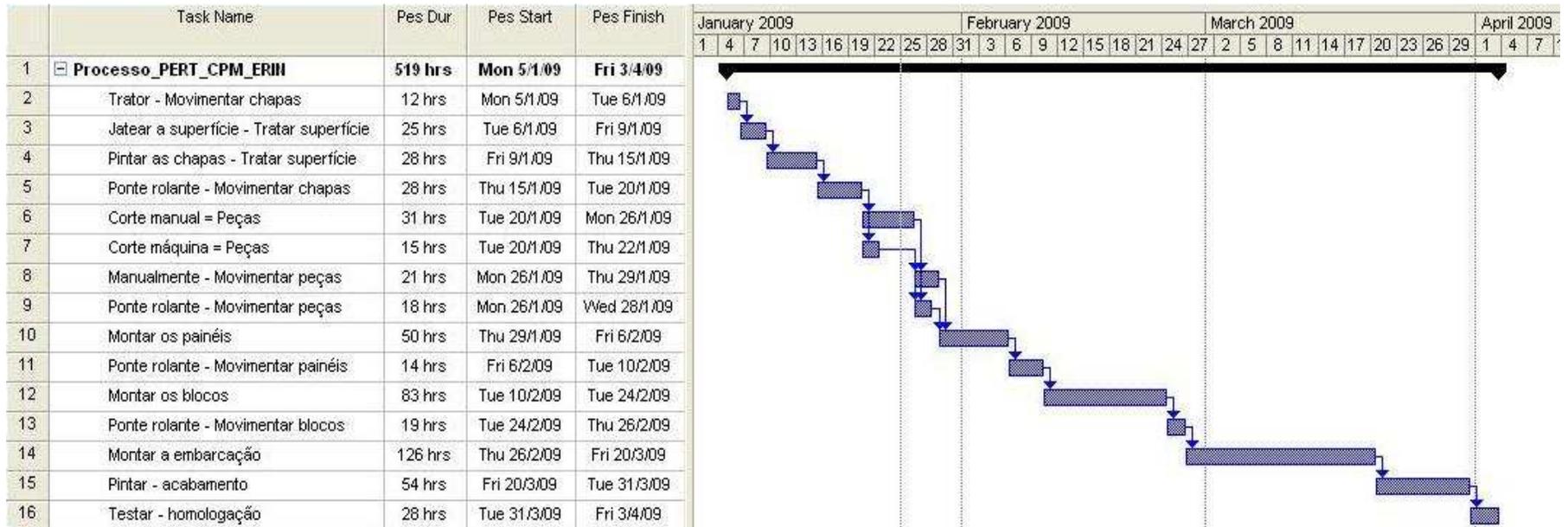


Figura 45: Estimativa pessimista com seu respectivo gráfico de Gantt

## 4.2 Método do caminho crítico do processo produtivo atual – Análise CPM

O método do caminho crítico ou *Critical Path Method* (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. Outros caminhos terão excesso de tempo (ou folga), e a folga associada com qualquer caminho é simplesmente a diferença entre o tempo esperado e o tempo para o caminho dado.

As etapas envolvidas na execução CPM são:

1. Definir o projeto em termos de atividades e eventos. Ver Tabela 1;
2. Construir um diagrama de rede mostrando as relações de precedência. Ver Figura 41;
3. Desenvolver a estimativa de duração de cada atividade. Ver Tabela 3; e
4. Considerar a exigência de tempo para cada caminho na rede. Ver Figura 42.

As etapas de 1 a 4 contemplaram-se nos itens anteriores. Baseado na análise de todos os itens, desenvolveu-se o caminho crítico deste processo produtivo. Só há apenas um caminho crítico, em destaque na cor vermelha da Figura 46. Uma das principais características deste processo é a execução das atividades em série.

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.

Outro problema grave desse tipo de organização de processo produtivo relaciona-se ao fato de que caso ocorra um atraso excessivo de uma etapa, todas as demais que estejam após essa também atrasarão, comprometendo

assim todo o projeto. Dessa forma, verifica-se um aumento dos riscos. Este estudo foi feito com o uso do software MS-Project 2002.

As redes PERT-CPM são muito úteis, não só para projetos grandes, mas também implica a resolução de dois problemas fundamentais no planejamento:

- atividades que serão realizadas; e
- quais as etapas precedentes dessa.

Verifica-se o quanto estas duas metodologias complementam-se com base nas informações das durações das atividades com suas respectivas possibilidades de antecipação e atrasos. A metodologia PERT calcula a probabilidade de atraso ou de adiantamento de cada ação do processo produtivo. Assim é possível ter a visão do projeto completo baseada na interação de cada parte. Já a CPM, com base nas durações de cada ação do projeto, facilita a percepção das etapas que consumirão mais tempo para serem concluídas. Esses são os caminhos críticos do projeto. Dessa maneira, é viável definir planos a fim de minimizarem os prejuízos.

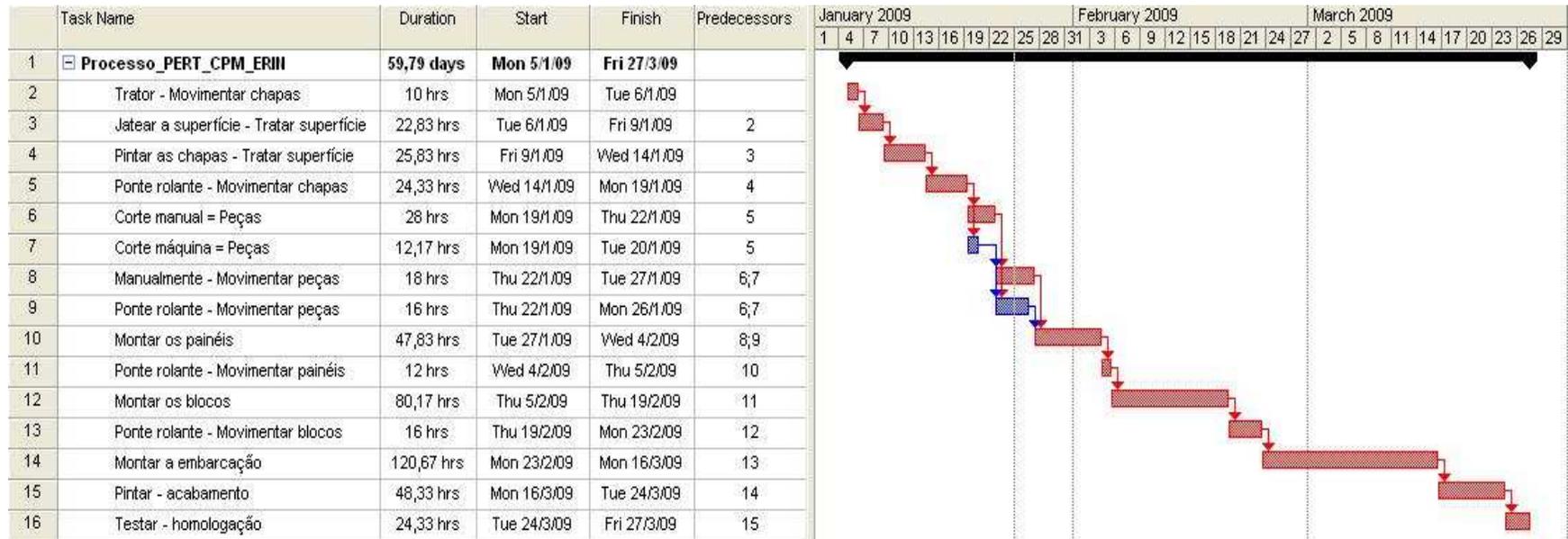


Figura 46: Caminho crítico do processo produtivo atual

### **4.3 Método do caminho crítico do processo produtivo sugerido – Proposta CPM**

O que motivou o desenvolvimento da proposta aqui apresentada foi a seguinte indagação: É possível reduzir o tempo de produção de uma balsa, sem a necessidade de grandes investimentos? Essa indagação, formulada por gestores do estaleiro em questão, tem embasamento na crescente procura por este tipo de embarcação.

Na produção por encomenda, trabalhadores qualificados, usando ferramentas manuais, fabricam cada produto de acordo com as especificações do comprador. Os produtos são feitos um de cada vez.

A produção do estaleiro em estudo tem demanda constante por este tipo de produto: 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 contratação de 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.

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.

A metodologia PERT norteou a coleta das seguintes durações de atividades e conseqüentemente do projeto completo:

- estimativa otimista de duração de cada ação. Ver Figura 47;
- estimativa mais provável da duração de cada ação. Ver Figura 48; e
- estimativa pessimista da duração de cada ação. Ver Figura 49.

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.

	Task Name	Opt Dur	Exp Dur	Pes Dur
1	<input type="checkbox"/> Processo PERT_CPM_ERIII	197 hrs	208 hrs	227 hrs
2	Trator - Movimentar chapas	8 hrs	10 hrs	12 hrs
3	Jatear a superfície - Tratar superfície	20 hrs	23 hrs	25 hrs
4	Pintar as chapas - Tratar superfície	23 hrs	26 hrs	28 hrs
5	Ponte rolante - Movimentar chapas	22 hrs	24 hrs	28 hrs
6	Corte manual = Peças	25 hrs	28 hrs	31 hrs
7	Corte máquina = Peças	10 hrs	12 hrs	15 hrs
8	Manualmente - Movimentar peças	15 hrs	18 hrs	21 hrs
9	Ponte rolante - Movimentar peças	14 hrs	16 hrs	18 hrs
10	Montar os painéis	45 hrs	48 hrs	50 hrs
11	Ponte rolante - Movimentar painéis	10 hrs	12 hrs	14 hrs
12	Montar os blocos	78 hrs	80 hrs	83 hrs
13	Ponte rolante - Movimentar blocos	13 hrs	16 hrs	19 hrs
14	Montar a embarcação	118 hrs	120 hrs	126 hrs
15	Pintar - acabamento	44 hrs	48 hrs	54 hrs
16	Testar - homologação	22 hrs	24 hrs	28 hrs

Figura 47: Estimativa otimista de duração das atividades

	Task Name	Exp Dur	Exp Start	Exp Finish
1	<input type="checkbox"/> <b>Processo PERT_CPM_ERIII</b>	<b>208 hrs</b>	<b>Mon 5/1/09</b>	<b>Mon 9/2/09</b>
2	Trator - Movimentar chapas	10 hrs	Mon 5/1/09	Tue 6/1/09
3	Jatear a superfície - Tratar superfície	23 hrs	Wed 7/1/09	Fri 9/1/09
4	Pintar as chapas - Tratar superfície	26 hrs	Mon 12/1/09	Thu 15/1/09
5	Ponte rolante - Movimentar chapas	24 hrs	Mon 5/1/09	Wed 7/1/09
6	Corte manual = Peças	28 hrs	Fri 9/1/09	Wed 14/1/09
7	Corte máquina = Peças	12 hrs	Fri 9/1/09	Mon 12/1/09
8	Manualmente - Movimentar peças	18 hrs	Mon 5/1/09	Wed 7/1/09
9	Ponte rolante - Movimentar peças	16 hrs	Thu 8/1/09	Fri 9/1/09
10	Montar os painéis	48 hrs	Mon 12/1/09	Mon 19/1/09
11	Ponte rolante - Movimentar painéis	12 hrs	Mon 5/1/09	Tue 6/1/09
12	Montar os blocos	80 hrs	Wed 7/1/09	Tue 20/1/09
13	Ponte rolante - Movimentar blocos	16 hrs	Mon 5/1/09	Tue 6/1/09
14	Montar a embarcação	120 hrs	Wed 7/1/09	Tue 27/1/09
15	Pintar - acabamento	48 hrs	Wed 28/1/09	Wed 4/2/09
16	Testar - homologação	24 hrs	Thu 5/2/09	Mon 9/2/09

Figura 48: Estimativa esperada de duração das atividades

	Task Name	Pes Dur	Pes Start	Pes Finish
1	<input type="checkbox"/> <b>Processo PERT_CPM_ERIII</b>	<b>227 hrs</b>	<b>Mon 5/1/09</b>	<b>Thu 12/2/09</b>
2	Trator - Movimentar chapas	12 hrs	Mon 5/1/09	Tue 6/1/09
3	Jatear a superfície - Tratar superfície	25 hrs	Wed 7/1/09	Mon 12/1/09
4	Pintar as chapas - Tratar superfície	28 hrs	Mon 12/1/09	Thu 15/1/09
5	Ponte rolante - Movimentar chapas	28 hrs	Mon 5/1/09	Thu 8/1/09
6	Corte manual = Peças	31 hrs	Fri 9/1/09	Wed 14/1/09
7	Corte máquina = Peças	15 hrs	Fri 9/1/09	Mon 12/1/09
8	Manualmente - Movimentar peças	21 hrs	Mon 5/1/09	Wed 7/1/09
9	Ponte rolante - Movimentar peças	18 hrs	Thu 8/1/09	Mon 12/1/09
10	Montar os painéis	50 hrs	Mon 12/1/09	Tue 20/1/09
11	Ponte rolante - Movimentar painéis	14 hrs	Mon 5/1/09	Tue 6/1/09
12	Montar os blocos	83 hrs	Wed 7/1/09	Wed 21/1/09
13	Ponte rolante - Movimentar blocos	19 hrs	Mon 5/1/09	Wed 7/1/09
14	Montar a embarcação	126 hrs	Wed 7/1/09	Thu 29/1/09
15	Pintar - acabamento	54 hrs	Thu 29/1/09	Fri 6/2/09
16	Testar - homologação	28 hrs	Fri 6/2/09	Thu 12/2/09

Figura 49: Estimativa pessimista de duração das atividades

As durações de cada uma das atividades permaneceram as mesmas, como pode ser verificado na Figura 50. 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.

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 51. 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.

Sendo assim, a cada 26,17 ou cerca de 27 dias úteis, haverá balsas prontas saindo do processo produtivo. Essa proposta só se justifica com demanda constante para este tipo de embarcação: balsa. 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. O aumento no quadro de pessoal pode ser um problema pois, segundo gestores do estaleiro, há uma carência grande na região por profissionais que tenham capacitação técnica para a atividade de construção naval em aço.

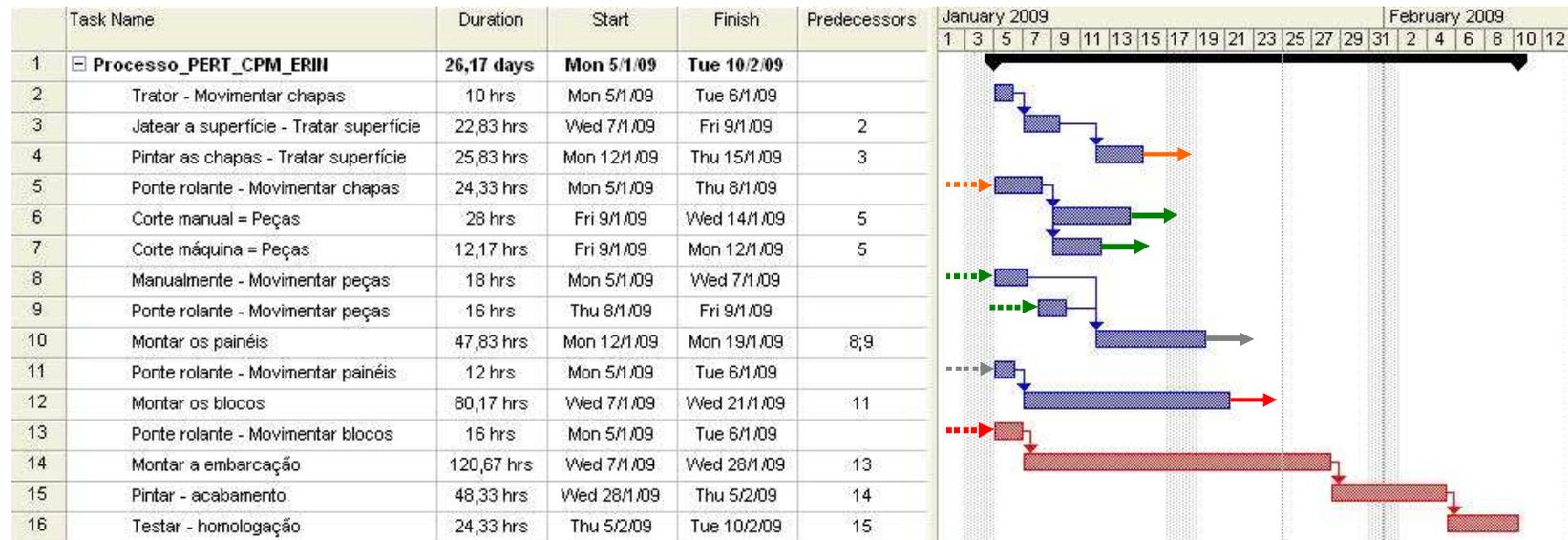


Figura 50: Durações das atividades e gráfico de Gantt

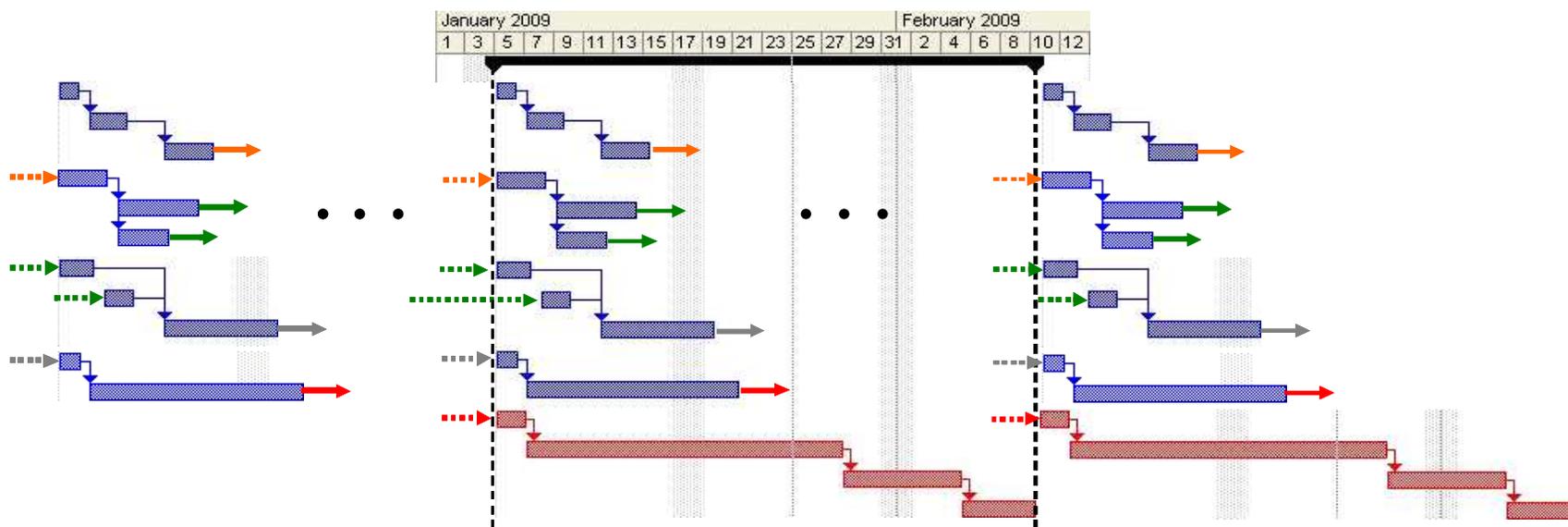


Figura 51: Sequência das atividades

## 5. MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O PROCESSO PRODUTIVO DA CARREIRA 6 DO ESTALEIRO A

Com o objetivo de verificar a viabilidade das propostas apresentadas nos itens 2.3, 2.4 e 2.5, desenvolveram-se modelos de simulação do sistema produtivo. Esses modelos foram implementados no Arena Professional, versão 12 de 2007. Esse *software* é de propriedade da Rockwell Automation.

O modelo representa a produção de balsas na carreira 6 do Estaleiro A. A Figura 52 é uma imagem aérea da carreira; nessa imagem está identificada a posição dos principais componentes.



Figura 52: Posição e componentes da carreira  
Fonte: Google Earth, dezembro de 2008

1. Via de acesso
2. Depósito de chapas não tratadas
3. Galpão para tratamento e pintura das chapas
4. Galpão para corte e montagem
5. Galpão para montagem da balsa
6. Rampa com 7° de inclinação, para montagem final
7. Rio Negro

### 5.1 Estrutura de desenvolvimento do modelo de simulação

Para simplificar a exposição do modelo de simulação, fez-se a divisão em três blocos:

- modelos lógicos e matemáticos do sistema: trata-se de itens essenciais para o desenvolvimento e validação da simulação;

- apresentação do modelo de simulação completo e dos cinco subsistemas desenvolvidos no ARENA a fim de mostrar uma visão detalhada da proposta.

## **5.2 Modelos lógicos e matemáticos que descrevem o sistema**

Para desenvolver a simulação da forma mais fiel à realidade, é necessário entender o modelo real e desenvolver modelos lógicos. O fluxograma é a ferramenta utilizada para descrever esses modelos. Com o objetivo de facilitar a modelagem, divide-se o sistema em partes menores. Essas divisões são aplicadas em atividades chave ou em atividades que possuem ações em comum.

A Figura 53 ilustra o início do processo. Há a movimentação das chapas de aço da área externa para o galpão, onde tem início o tratamento da superfície, para em seguida ser pintada. Essa primeira etapa destina-se ao tratamento da superfície das chapas de aço; a tinta utilizada é para proteger da oxidação.

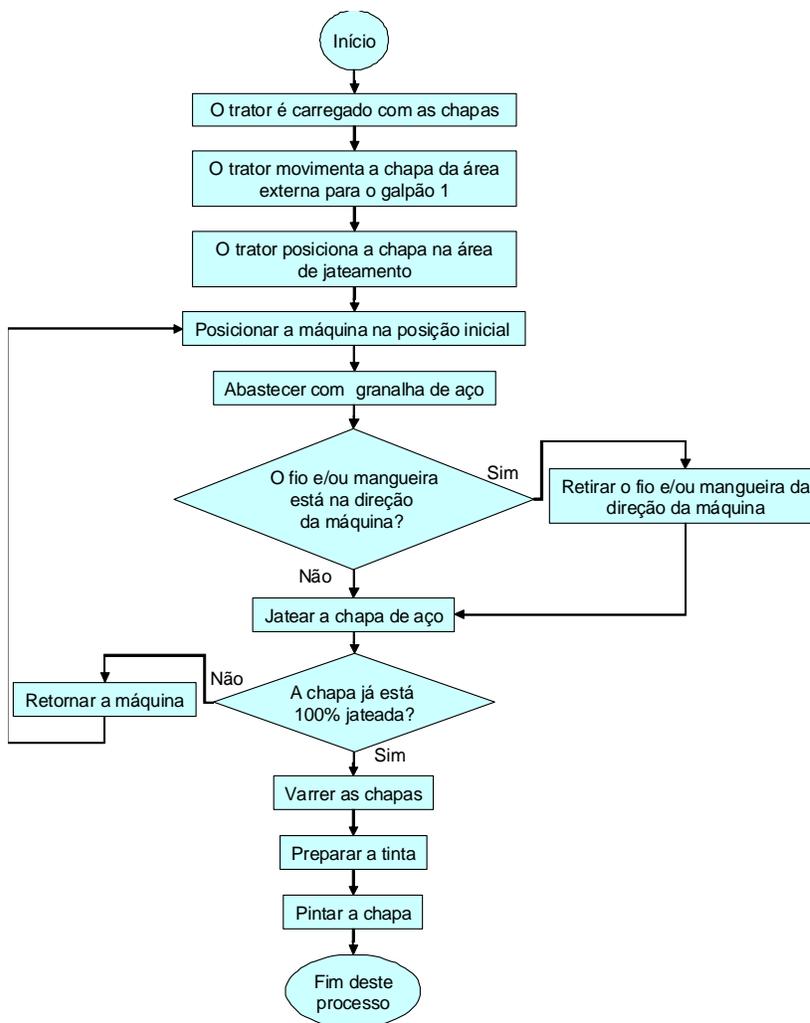


Figura 53: Fluxograma de movimentação das chapas, jateamento e pintura

A etapa seguinte, Figura 54, ilustra o fluxograma do processo de movimentação das chapas para cortar. A ação de movimentar as chapas deve ser considerada no modelo, pois essa operação, além de perigosa, ocupa tempo de homem e máquina. As chapas, por serem grandes e pesadas, são movimentadas pelo trator e pelas pontes rolantes. Após o corte das chapas, obtêm-se as peças que, por serem menores, são movimentadas manualmente pelos operários.

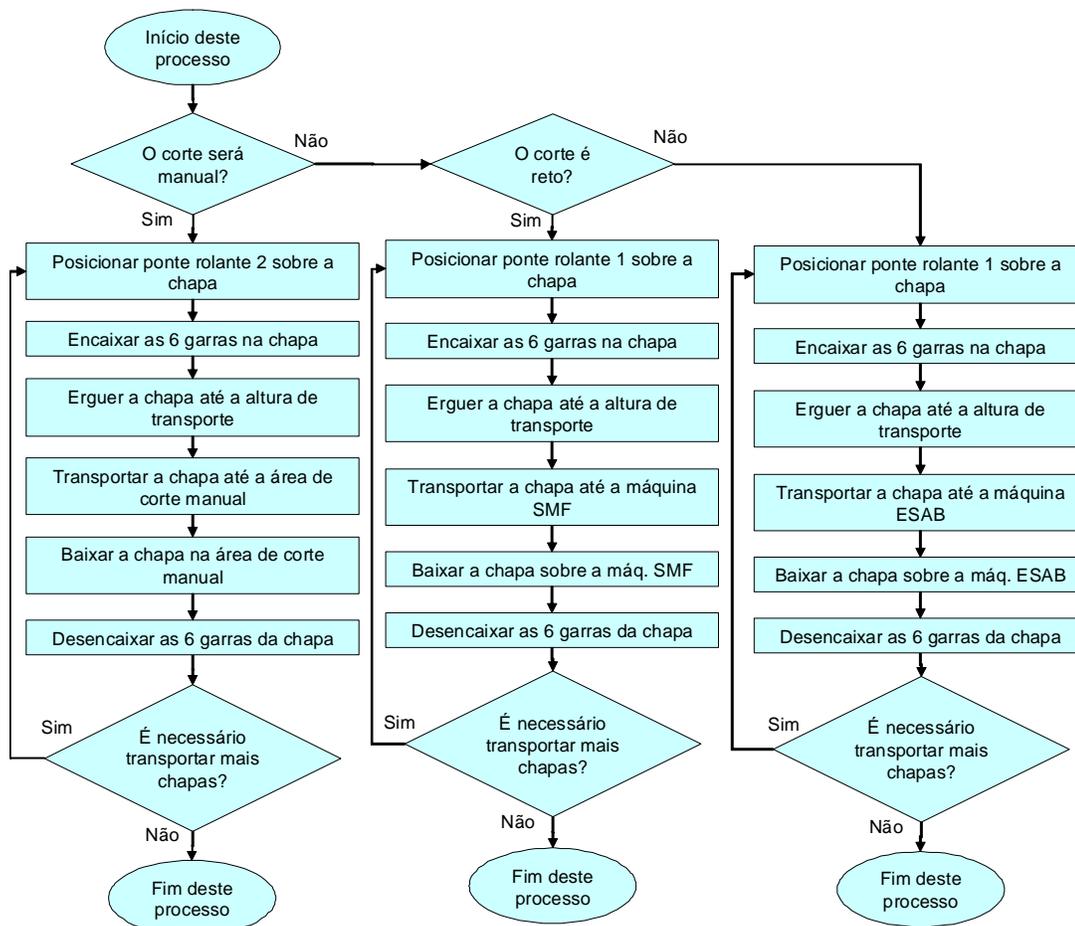


Figura 54: Fluxograma de movimentação das chapas e corte

A ação de corte das chapas é de extrema importância pois, tomando por base essa atividade, inicia-se a montagem dos painéis, blocos e da balsa propriamente dita. Esse processo pode ser executado de três formas distintas:

- corte manual: há colaboradores que fazem essa operação;
- corte reto: executado pela máquina de corte a maçarico de marca SMF;
- corte curvo: executado pela máquina de corte à plasma de marca Esab.

Quando há a necessidade de construir conveses, são necessárias outras ações no processo produtivo, haja vista que essa etapa ocorre em local distinto na carreira. O fluxograma que expõe essas ações está representado na Figura 55.

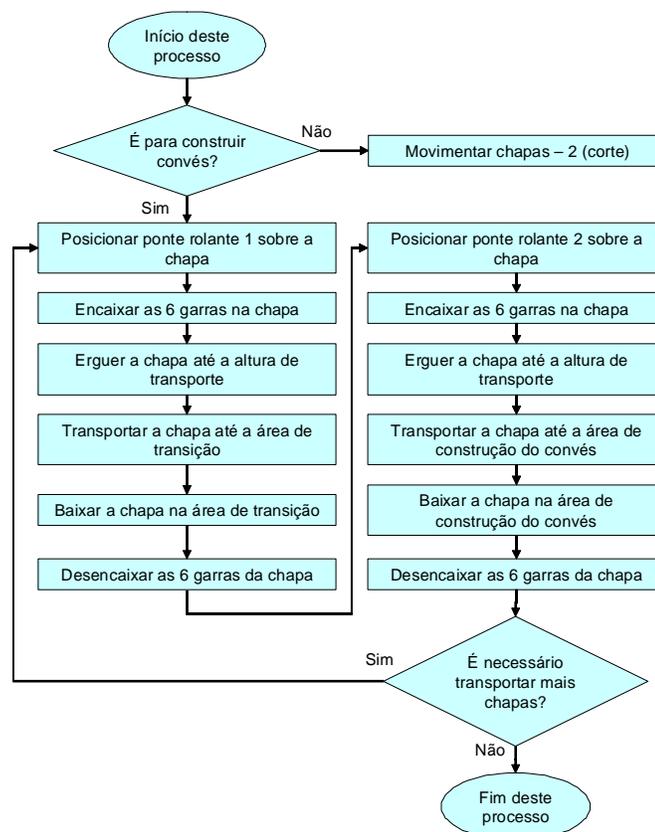


Figura 55: Fluxograma de movimentação das chapas para construção de convés

A etapa seguinte é a montagem do painel, que é composto por várias peças. Existem painéis de tipos e tamanhos variados, e a união de vários painéis originam um bloco. O fluxograma que descreve o processo de montagem dos painéis está exposto na Figura 56.

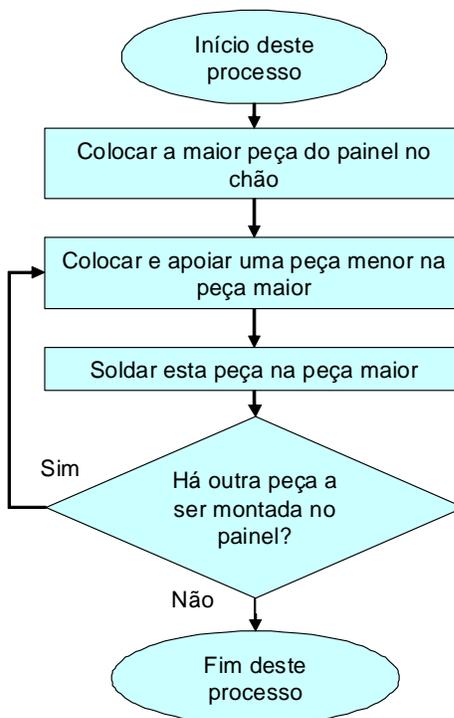


Figura 56: Fluxograma da montagem dos painéis

É necessário movimentar os painéis para o local de contagem dos blocos, e essa movimentação só é possível com o uso das pontes rolantes. A Figura 57 é o fluxograma desse processo.

Um bloco é composto por vários painéis. A Figura 58 ilustra o processo de montagem de blocos. Nessa etapa, toda movimentação é feita com o uso das pontes rolantes; há ocasiões que é necessário o uso de duas pontes rolantes para executar o tombamento<sup>8</sup> do bloco.

---

<sup>8</sup> Tombamento é a ação de fazer uma rotação em torno do eixo do bloco. Essa ação é necessária para a execução de determinados tipos de soldagens.

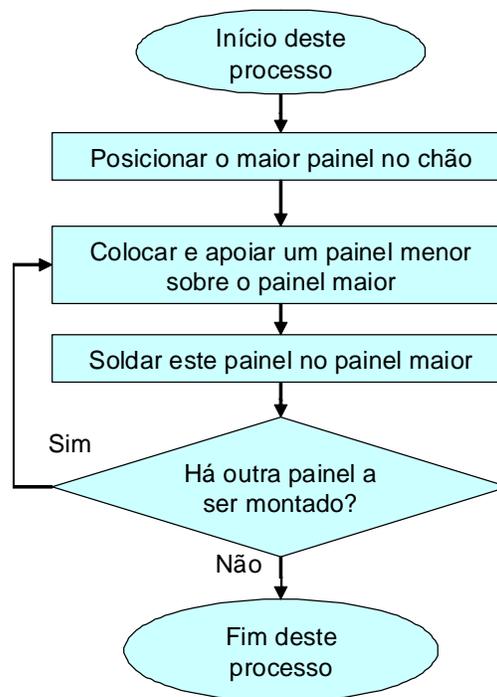
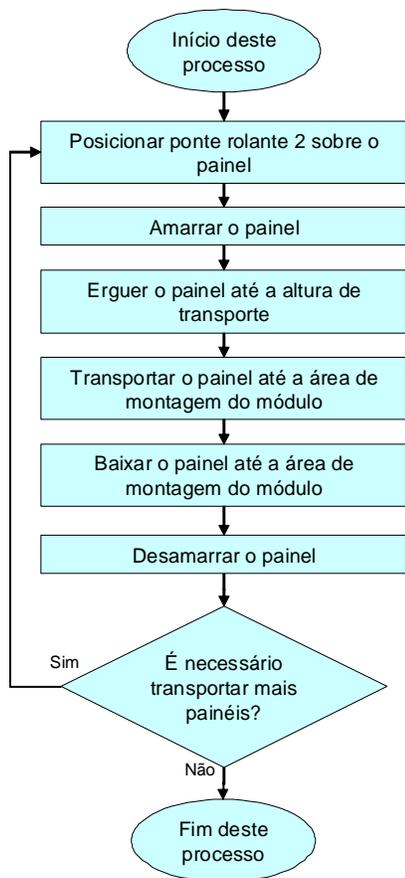


Figura 57: Fluxograma de movimentação dos painéis      Figura 58: Fluxograma da montagem dos blocos

Após a finalização dos blocos, é necessário movimentá-los para o local de montagem final das balsas. Essa operação só pode ser realizada com a utilização das pontes rolantes pois os blocos medem até 12 m de comprimento e pesam dezenas de toneladas. O comprimento do bloco é determinado pela medida do pé direito útil do galpão. A Figura 59 ilustra o fluxograma do processo para a movimentação dos blocos. Essa movimentação deve ser considerada pelo modelo, é uma operação arriscada e ocupa tempo de homem e máquina.

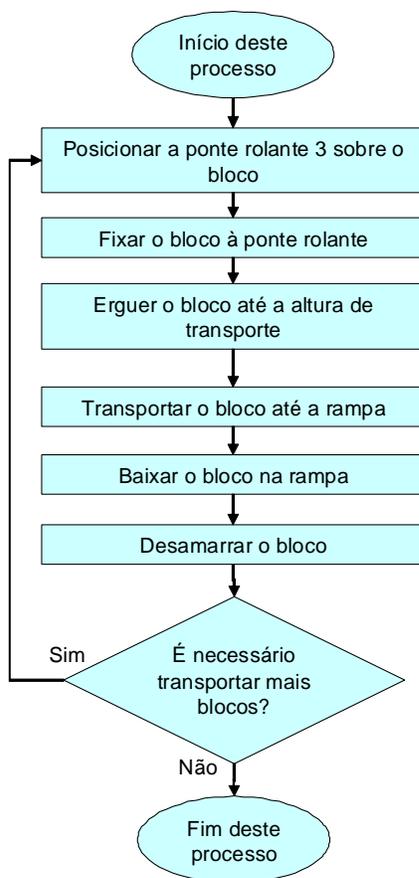


Figura 59: Fluxograma de movimentação dos blocos

À medida que os blocos são transportados para o local de montagem final, inicia-se a última etapa do processo produtivo. Os operadores posicionam e alinham os blocos na rampa, já considerando os sete graus de inclinação. O resultado da soldagem de todos os blocos é a balsa completa.

Após o alinhamento dos blocos, posicionam-se os exaustores para que se iniciem as soldagens. A ventilação é essencial, o calor e a fumaça são nocivos à saúde dos operários. Quando a soldagem conclui-se, todas as máquinas de solda e os exaustores são retirados da balsa, assim como todas as outras ferramentas. Esse processo, representado em forma de fluxograma, está ilustrado na Figura 60.

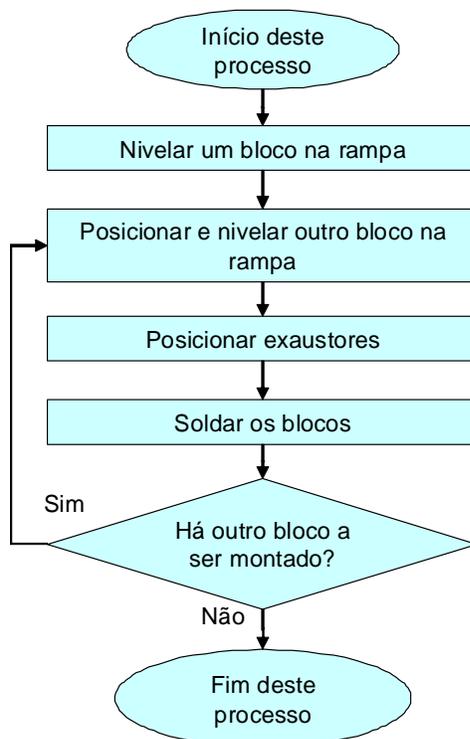


Figura 60: Fluxograma de montagem das balsas

A última etapa aqui retratada é a pintura final a qual é definida em conjunto com o cliente. A pintura, além do acabamento estético, tem função de proteger o aço contra a corrosão pelo fato de ficar exposto após o processo de soldagem. Ilustra-se esse processo por meio do fluxograma na Figura 61.

A etapa de teste da embarcação não pôde ser acompanhada neste estudo; assim, não foi possível desenvolver um modelo lógico. As informações coletadas sobre essa etapa deu-se por meio de relatos dos gestores dessa carreira.

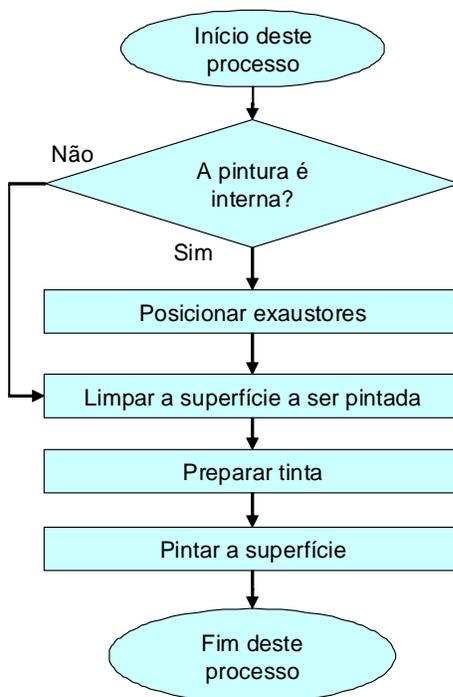


Figura 61: Fluxograma da pintura final da balsa

Os modelos lógicos justificam-se para o entendimento do sistema analisado; é considerada a ordem das atividades e a relação entre elas com as possibilidades inerentes ao sistema. Tais informações são necessárias para o desenvolvimento da simulação e para que essa represente fielmente o sistema real, é importante fazer verificações do modelo.

A verificação ou validação dos modelos é baseada em testes das variáveis. Para a execução das validações, desenvolveram-se modelos matemáticos que representam cada etapa desse processo produtivo; esses modelos estão expostos no APÊNDICE A – Modelos matemáticos do sistema. Tomando por base a análise desse processo produtivo, observaram-se 68 variáveis dependentes e independentes que se relacionam. Todas as equações são em função do tempo, pois, foram desenvolvidas para fins de testes do modelo de simulação. Sendo assim, com essas equações é possível calcular os tempos necessários para conclusão de cada etapa do processo produtivo de balsas.

Com a identificação dessas variáveis e com o entendimento desse processo produtivo, foi possível desenvolver equações que representam cada etapa desse

sistema. A proposta desses modelos matemáticos é representar processos produtivos de embarcações fabricadas em aço que utilizem mão-de-obra intensamente. Assim, esses modelos podem ser aplicados em estaleiros no Brasil ou em outros países que possuam características similares as do estaleiro em estudo.

### 5.3 Modelos de simulação desenvolvidos no ARENA

Para que o modelo possa representar o processo produtivo, criaram-se imagens para ilustrar as entidades<sup>9</sup> entre as etapas. Inicialmente as chapas de aço chegam do fornecedor sujas e em alguns casos com ferrugem na superfície; a Figura 62 ilustra a chapa com essas características. Na sequência, as chapas de aço recebem tratamento antiferrugem; a Figura 63 ilustra a chapa de aço após receber jateamento e pintura.



Figura 62: Chapa de aço suja e com ferrugem



Figura 63: Chapa de aço após tratamento antiferrugem

Após o tratamento da superfície das chapas de aço, há as etapas de corte e assim se originam as peças. O tipo de corte pode ser manual, ilustrado pela Figura 64, ou corte automático realizado pelas máquinas ESAB ou SMF, ilustrado pela Figura 65.

---

<sup>9</sup> É a parte que se movimenta no modelo, ou seja, que percorre todo o modelo lógico interagindo com os recursos.

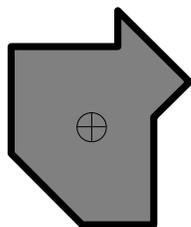


Figura 64: Peça gerada pelo corte manual

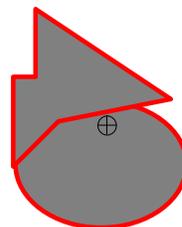


Figura 65: Peça gerada pelo corte automático

Os painéis formam-se baseados na soldagem de inúmeras peças; a imagem que ilustra um painel é a Figura 66. Um bloco é composto pela soldagem de inúmeros painéis; a imagem que ilustra um bloco é a Figura 67.

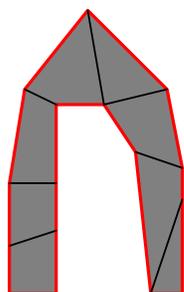


Figura 66: Imagem que ilustra um painel

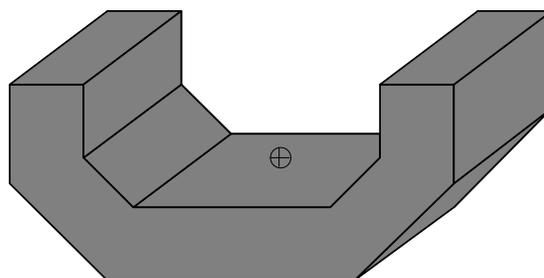


Figura 67: Imagem que ilustra um bloco

Uma balsa é composta pela união de seis blocos; a Figura 68 ilustra uma balsa pronta, mas sem a pintura final. Após a pintura final ou pintura de acabamento, a balsa está pronta; conforme Figura 69.

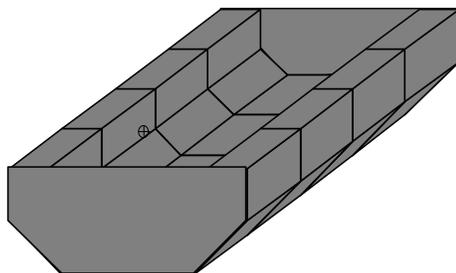


Figura 68: Balsa sem pintura final

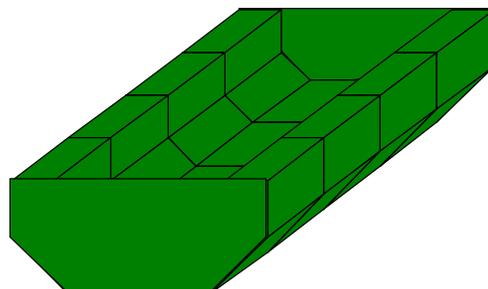
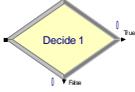
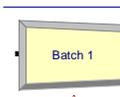


Figura 69: Balsa com pintura final

A Tabela 4 expõe os módulos e a quantidade utilizada para o desenvolvimento da simulação completa.

Tabela 4: Módulos e a quantidade utilizada para o desenvolvimento da simulação completa

Quantidades de módulos	Nome do módulo	Módulo
1	<i>Create</i>	
15	<i>Process</i>	
2	<i>Decide</i>	
3	<i>Batch</i>	
2	<i>Separate</i>	
4	<i>Assign</i>	
1	<i>Dispose</i>	

A Figura 70 ilustra o modelo completo desenvolvido no ARENA. Esse modelo é composto pela combinação de módulos do *software*. Essa simulação foi executada por cerca de 500 horas, representando o processo produtivo por encomenda.

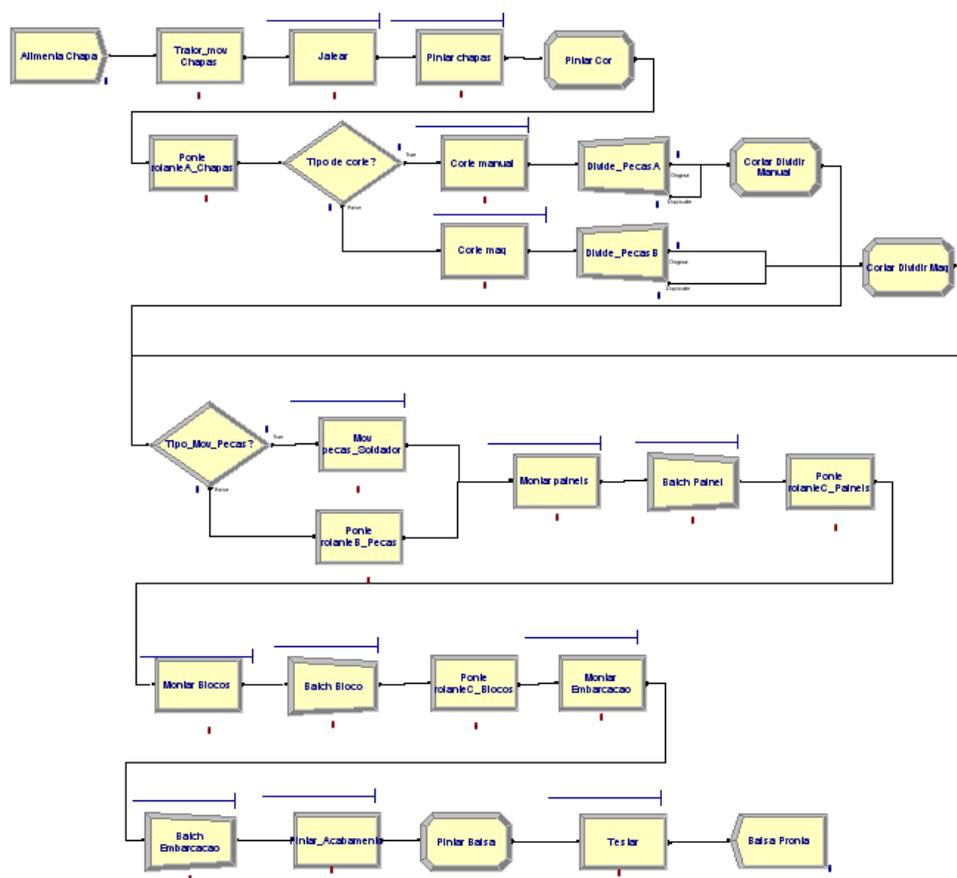


Figura 70: Modelo de simulação completo

O modelo de simulação inicia com o abastecimento das chapas de aço. A criação das chapas é realizada pelo módulo *Create*, denominado “Alimenta Chapa”. Os três módulos seguintes são *Process*. O primeiro, denominado “Trator\_mov\_Chapas”, exerce a função de transportar as chapas de aço da área externa para o galpão; o segundo, “Jatear”, realiza a ação de jatear as chapas de aço; e o terceiro, “Pintar Chapas”, diz respeito a ação de pintar essas chapas com o objetivo de proteger a superfície contra a ferrugem, sem fins estéticos. O módulo *Assign*, denominado “Pinta Cor”, causa a mudança da entidade “chapa”; desse modo a chapa recebe o tratamento antiferrugem. Essas etapas estão ilustradas na Figura 71. O resultado dessa etapa, são chapas pintadas, como ilustra a Figura 12.

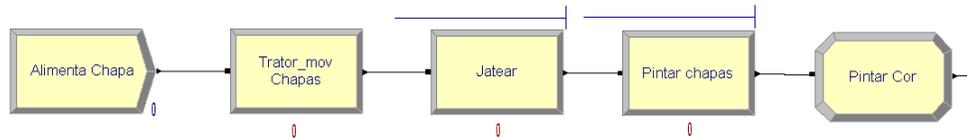


Figura 71: Início da simulação, criação das chapas, transporte e tratamento antiferrugem

A etapa seguinte, mostrada na Figura 72, inicia com o uso da ponte rolante para a movimentação das chapas. O módulo *Process*, denominado “Ponte rolanteA\_Chapas” representa essa ação. Há dois tipos de corte: o manual e o automático. O corte manual ocorre em 90% dos casos; já o corte automático ocorre nos restantes 10%. Na simulação, a decisão pelo tipo de corte é ditada pelo módulo *Decide*, denominado “Tipo de corte?”. O processamento do corte manual e automático é realizado por módulos *Process*, denominados “Corte manual” e “Corte maq”, respectivamente.

Os módulos *Separate* e *Assign* são usados de forma associada; o objetivo é mudar da entidade chapa para peças. Conforme o tipo de corte, as peças ganham um formato e um tamanho distintos. As peças cortadas manualmente são representadas por “Divide\_PecasA” e “Cortar Dividir Manual”; as peças cortadas automaticamente são representadas por “Divide\_PecasB” e “Cortar Dividir Maq”. O resultado dessa etapa são peças, de acordo com as Figuras 13 e 14.

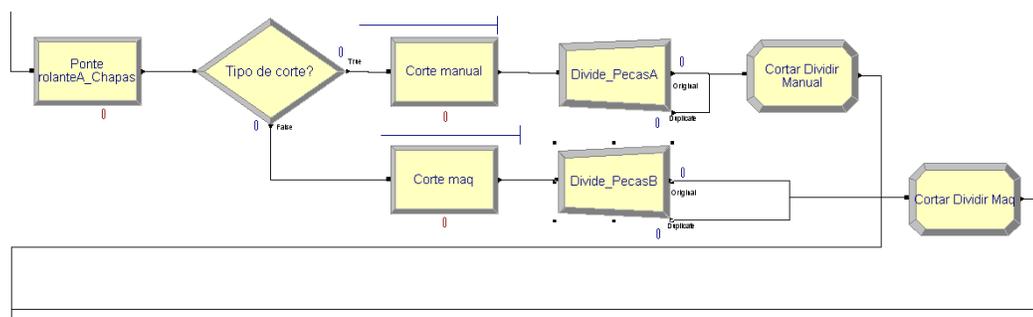


Figura 72: Movimentação e corte das chapas

O tamanho da peça define o tipo de movimentação: para peças pequenas, a movimentação é feita pelos operadores; para as peças maiores, é necessário o uso da ponte rolante. Essas operações são realizadas pelos módulos *Process*,

denominados respectivamente “Mov pecas\_Soldador” e “Ponte rolanteB\_Pecas”. Dando sequência, as peças são soldadas para montar os painéis; o módulo *Process* “Montar painéis” associado ao módulo *Batch* “Batch Painel” executam essa ação. O resultado dessa etapa são os painéis, Figura 15, que são movimentados pelo módulo *Process* denominado “Ponte rolanteC\_Paineis”. A Figura 73 ilustra essa etapa.

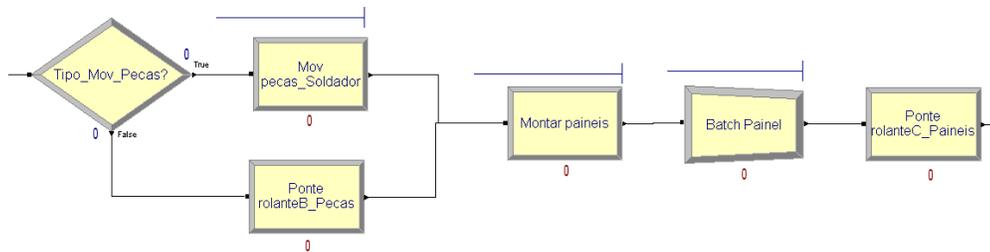


Figura 73: Montagem dos painéis

São utilizados os módulos *Process* e *Batch* para a montagem dos blocos e da balsa. O bloco é montado com a união de inúmeros painéis; os módulos “Montar Blocos” e “Batch Bloco” executam essa atividade. Os módulos “Montar Embarcação” e “Batch Embarcacao” são responsáveis pela montagem da balsa, que é feita com a união de seis blocos. Um módulo *Process*, denominado “Ponte rolanteC\_Blocos”, faz o transporte dos blocos até a rampa de montagem final. A Figura 74 ilustra essa etapa.

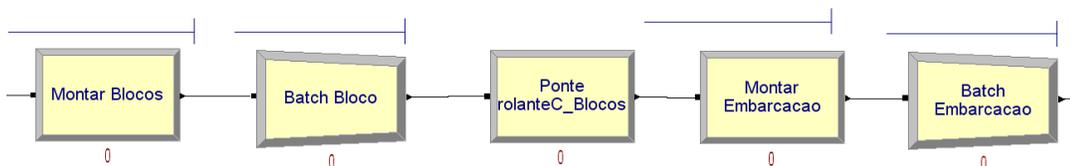


Figura 74: Montagem dos blocos e balsa

A última etapa está representada por meio da Figura 75. Executam-se a pintura de acabamento e o teste da balsa. A pintura é realizada pelo módulo *Process*, denominado “Pintar\_Acabamento”; o módulo *Assign*, “Pintar Balsa”, tem a função de alterar a entidade “Balsa não pintada” para “Balsa pintada”, como ilustram

as Figuras 17 e 18. O teste é realizado por um módulo *Process* denominado “Testar”. E por fim, é utilizado o módulo *Dispose* denominado “Balsa Pronta” que tem a finalidade de finalizar a simulação.

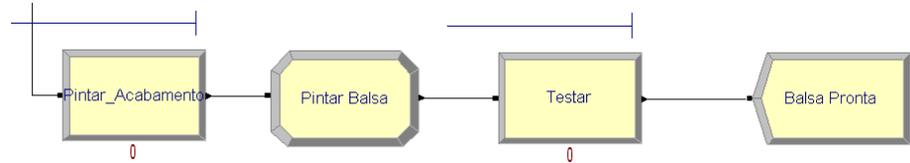


Figura 75: Acabamento da balsa, etapa final

#### 5.4 Modelo de simulação do processo proposto desenvolvido no ARENA

O modelo de simulação desenvolvido para representar a situação futura, ou seja, com características de produção contínua, possui a mesma estrutura da simulação apresentada no item 1.3. A única alteração na estrutura do modelo diz respeito ao acréscimo de um módulo *Assign*, denominado “Declara atributo Lead Time”, e de um módulo *Record*, denominado “Coleta do Lead Time”, destacados na Figura 76. Outra diferença ocorreu no tempo de execução da simulação. Esse modelo “rodou” por mais tempo que a primeira proposta; assim, infere-se a ideia de produção contínua.

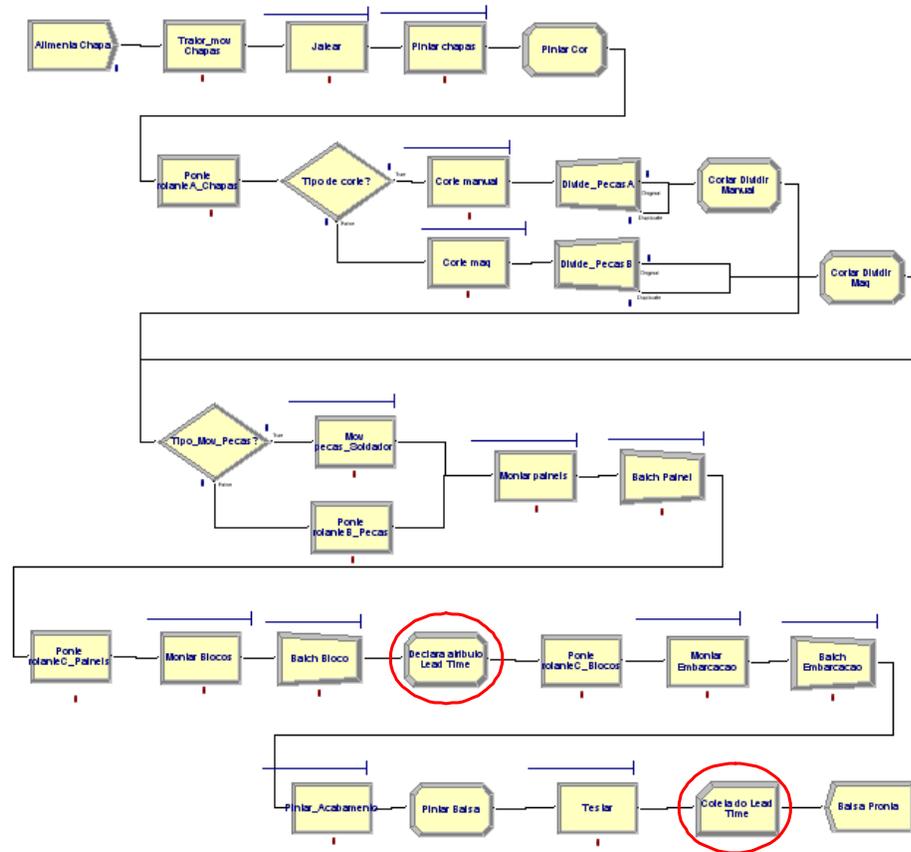


Figura 76: Modelo de simulação para a situação futura, em destaque os módulos acrescentados

## 5.5 Resultados obtidos

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 77 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 58,55 dias.



Figura 77: Relógios contadores

A simulação é uma técnica probabilística de estudo de sistemas. Dessa forma, executaram-se cinco interações da simulação do processo produtivo atual. A Tabela 5 demonstra as interações com seus respectivos tempos.

Tabela 5: Interações com seus respectivos tempos de produção de uma balsa

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

A Figura 78 ilustra os gargalos que existem no processo produtivo. A montagem dos blocos é o maior deles; observa-se a fila de painéis esperando para serem processados e assim compor os blocos. A fila de blocos para a formação da balsa não é um gargalo, pois para a montagem da balsa são necessários seis blocos.

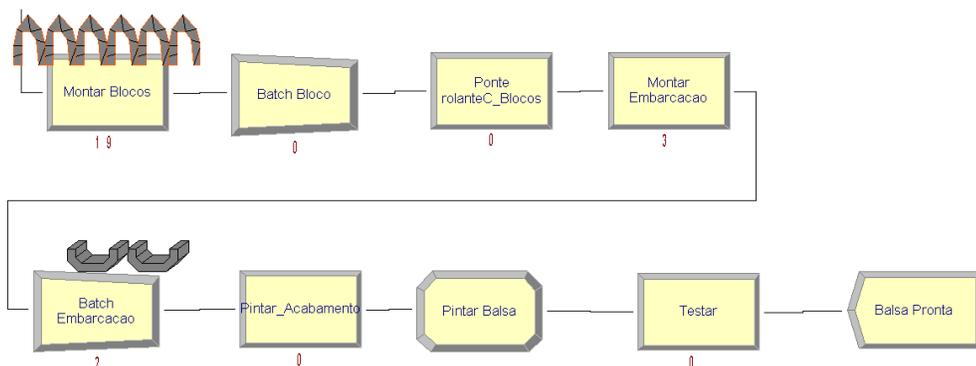


Figura 78: Gargalos do processo produtivo

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 79 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 80.

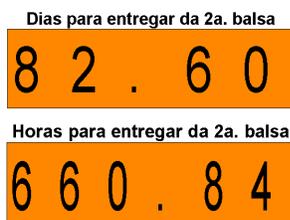


Figura 79: Tempo para entrega da 2ª balsa



Figura 80: Lead time para produção da 2ª balsa

Executaram-se cinco interações da simulação do processo produtivo proposto. A Tabela 6 demonstra as interações com respectivos tempos para produção da segunda balsa.

Tabela 6: 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 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 Figura 81 destaca a última etapa do processo produtivo. 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.

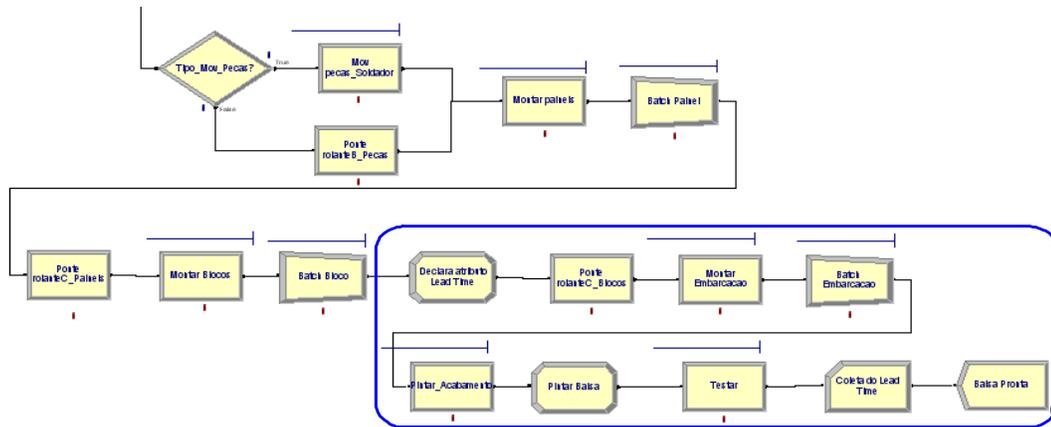


Figura 81: Última etapa do processo produtivo

## 6. CONCLUSÃO

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 firma-se como fornecedor da base de transporte para a hegemonia econômica e militar dos países.

Na construção naval, constatam-se instrumentos de incentivo e regulação, como: subsídios, benefícios fiscais, reserva de mercado e proteção à cabotagem, entre outros. Tais incentivos, em todos os países, são ofertados pelos Estados que têm presença significativa. Os motivos estão associados à segurança nacional, falhas de mercado e aos efeitos gerados pela indústria naval nos demais segmentos econômicos.

Os principais participantes do mercado internacional de construção naval seguem estratégias de especialização. A Coreia especializou-se em navios de grande porte; Cingapura, em plataformas e navios para a indústria de petróleo *offshore*; os Estados Unidos, na indústria militar. Na Europa, a maior parte dos países especializou-se 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.

O Brasil deve buscar 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. A possibilidade de o Brasil vir a tornar-se competidor internacional importante na construção naval depende de uma reativação competente de estaleiros e seus fornecedores, de forma a explorar vantagens circunstanciais, como o baixo custo da mão-de-obra. No entanto, a competitividade sustentada está associada à eficácia e eficiência produtiva, em primeira instância, e no longo prazo, à competência tecnológica.

As balsas e rebocadores, dentre as demais embarcações, são os principais produtos fabricados pelos estaleiros localizados em Manaus, impulsionados pela demanda das indústrias de grão e minério da região.

O fator econômico é o principal agente impeditivo para o aumento de capacidade produtiva de um estaleiro. Sempre que se busca ampliar essa capacidade, há a necessidade de altos investimentos na aquisição de mais máquinas e na contratação de pessoas. Ainda na mesma análise, aumentar a capacidade produtiva implica a ampliação da infra-estrutura, ou seja, construção de mais carreiras, aquisição de mais pontes rolantes e até a aquisição de outro terreno para viabilizar essa ampliação. Outro fator relevante que deve ser considerado é a inconstância da demanda. Assim, os riscos de investimentos nesse setor são ainda maiores, podendo causar até 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, as empresas que trabalham com produção sob encomenda enfrentam dificuldades em sequenciar sua produção, na tentativa de conciliar uma elevada taxa de utilização dos recursos produtivos com os prazos de entrega. Um problema grave que poderá acontecer nesse tipo de processo produtivo é o atraso excessivo de uma etapa, pois todas as demais, que estiverem após, também vão atrasar, comprometendo assim todo o projeto.

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. Em situações otimistas, também é possível planejar a realocação de mão-de-obra para os possíveis adiantamentos no cronograma, além de outras opções de decisão. 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. Tomando por base informações das durações das atividades com suas respectivas possibilidades de antecipação ou atraso, a metodologia PERT calcula a probabilidade de atraso ou de adiantamento de cada ação do processo produtivo. Assim, é possível ter a visão do projeto completo baseado na interação de cada

parte, formando o todo. Já a CPM, com base nas durações de cada ação do projeto, é possível ter a percepção das etapas que irão consumir mais tempo para serem concluídas. Esses são os caminhos críticos do projeto, dessa forma é possível definir planos que possam minimizar os prejuízos.

Com o detalhado estudo do processo produtivo de balsas no Estaleiro A, foi possível entender a relação entre as etapas que o compõe. Esse estudo só pode ser realizado com a aplicação da técnica de engenharia de processos. Assim foi possível desenvolver os modelos lógicos e matemáticos, essenciais para o desenvolvimento da simulação.

Os modelos lógicos valem para o desenvolvimento da lógica do modelo de simulação no *software* ARENA, respeitando a ordem de acontecimento das etapas desse processo. Já os modelos matemáticos têm a função de validação de cada etapa do modelo de simulação.

Os modelos matemáticos, além de validar etapas da simulação, também foram desenvolvidos com o intuito de representar processos produtivos de embarcações em aço de outros estaleiros nacionais e internacionais. Vale ressaltar que esses estaleiros devem fazer uso intensivo de mão-de-obra, ou seja, com características similares às do estaleiro em estudo nesse trabalho. Como sugestão de trabalho futuro, será interessante o teste desses modelos matemáticos em outros estaleiros do Brasil e de outros países.

A simulação de um sistema consiste na manipulação de um modelo que represente esse sistema, respeitando-se todas as regras e condições reais a que o sistema está submetido. O estudo da simulação permite manipulações que seriam inviáveis no sistema real que ele representa, por causa do custo ou da impossibilidade de realizá-las.

A intervenção direta nas rotinas de qualquer sistema consiste em implementar e/ou alterar as formas de operação do próprio sistema. Esse tipo de procedimento é arriscado, pois pode impactar 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.

Uma balsa medindo 76x16m é produzida no processo atual em aproximadamente 60 dias úteis de segunda-feira à sexta-feira, com turnos de

trabalho de 8 horas. 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.

A simulação computacional é uma poderosa ferramenta para auxiliar na tomada de decisão. A correta modelagem do sistema é extremamente necessária para que a simulação possa representar, o mais fiel possível, fenômeno 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.

### **Recomendações para trabalhos futuros**

Uma proposta de estudo e análise, seria desenvolver o *Material Requirements Planning* (MRP) ou Planejamento das Necessidades de Materiais para este processo produtivo e para outras propostas. Com isso, a quantidade de material consumido seria o suficiente para a necessidade, sem gerar estoques de insumos. Assim, a produção desse estaleiro estaria mais próxima à filosofia *Lean Manufacture*.

Os modelos matemáticos apresentados nesse trabalho foram desenvolvidos para esse processo produtivo, porém são aplicáveis a outros estaleiros nacionais e internacionais com características produtivas similares. Uma proposta de trabalho futuro seria validar esses modelos em outros estaleiros e desenvolver uma ferramenta computacional para gestão desse tipo de produção. Essas equações são fundamentais para o processamento desses dados.

## REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Terminologia do PERT/COM. Anteprojeto da Norma Brasileira, Rio de Janeiro, 1972.

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.

COUTINHO, L. G. et all. *Forças Atuantes na Indústria*. Disponível em: <<http://www.gestaonaval.org.br>> Acesso em: 19 abr. 2008.

CUKIERMAN, Z. S. *O modelo PERT-CPM aplicado a projetos*. São Paulo: Editora Qualitymark, 1993.

DAVENPORT, T. *Reengenharia de Processos*. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

FERRAZ, J. C. et all. *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.

IANNONI, A. P.; MORABITO R. Análise do Sistema Logístico de Recepção de Cana-de-Açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. In: *Revista Gestão e Produção*, v. 9, n. 2, ago. 2002, p.107-128.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. *Simulation with Arena*. 4. ed. MacGraw Hill: New York, 2007.

LAUGENI, F; MARTINS, P. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation Modeling & Analysis*. 2. ed. MacGraw Hill: New York, 1991.

LEITE, A. C. J. *Aperfeiçoamento de uma Política para a Indústria Naval e a Marinha Mercante*. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>> Acesso em: 19 abr. 2008.

- MARTINS, P. G; LAUGENI, F. P. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- METZNER, R. J.; FISCHER, F. M. Fadiga e capacidade para o trabalho em turnos fixos de doze horas. In: *Revista Saúde Pública*, P. 548-553, 2001.
- MONKS, J. G. *Administração da Produção*. 1. ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1987.
- MORAES, J. C. *Modelando o Sistema Produtivo para Avaliação de Mudanças: um exemplo de uso do software aris easy design*. Disponível em: <<http://www.enegep.org.br>> Acesso em: 22 nov. 2008.
- NEELAMKAVIL, F. *Computer Simulation and Modeling*. Great Britain: Jonh Wily e Sons, 1987.
- PRADO, D. *Usando o Arena em Simulação*. 2. ed. Belo Horizonte: INDG, 2004.
- QUEZADO, P. M. *Programação e Controle da Produção sob Encomenda utilizando PERT/CPM e Heurísticas*. Ceará: UFC, 1999.
- RIBEIRO, F. R. *Modelo de Simulação para Análise Operacional de Pátio de Aeroportos*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2003.
- RUMMLER, G. A.; BRACHE, A. P. *Melhores Desempenhos das Empresas*. Makron Books, 2000.
- SANTORO, M. C.; MORAES L. H. Simulação de uma Linha de Montagem de Motores. In: *Revista Gestão e Produção*, v.7, n.3, p.338-351, dez. 2000.
- SANTOS, R. C. et all. Engenharia de Processos de Negócios: aplicações e metodologias. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2003. **Anais**. Ouro Preto. Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. v. CD ROM.
- 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.

VERNADAT, F. B. *Enterprise Modeling and Integration: principles and applications*. 1. ed. London: Chapman & Hall, 1996.

VI RELATÓRIO do Projeto THECNA. *Projeto Transporte Hidroviário e Construção Naval na Amazônia: diagnóstico e proposição para o desenvolvimento sustentável*. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2007.

WANKE, P. et all. Um Estudo sobre os Impactos no Varejo das Principais Decisões Estratégicas de Produção e Distribuição da Indústria. In: *Revista Gestão e Produção*, v. 13, n. 1, P.1-14, abril 2005.

## APÊNDICE A

### MODELOS MATEMÁTICOS DO SISTEMA

Este apêndice dedica-se à exposição dos modelos matemáticos que representam o sistema. A Tabela 7 expõe as variáveis inerentes ao sistema.

Tabela 7: Variáveis do sistema

Nº	Variáveis
1	Tdtr : tempo de deslocamento do trator
2	Tcarga : tempo de carregar a chapa no trator
3	Tdescarga : tempo de descarregar a chapa do trator
4	Velj : velocidade de jateamento da máquina Metal Cym [ $m^2/min$ ]
5	Nmj : nº de máquinas de jatear
6	Velvar : velocidade para varrer por pessoa [ $m^2/min$ ]
7	Ntbv : nº de trabalhadores para varrer
8	Velpin : velocidade para pintar por pessoa [ $m^2/min$ ]
9	Ntbp : nº de trabalhadores para pintar
10	Tfg : tempo para fixar os 6 grampos
11	Terguer : tempo para erguer a chapa
12	Tdc : tempo de deslocamento da chapa
13	Tbaixar : tempo para baixar a chapa
14	Trg : tempo para retirar os 6 grampos
15	Ccorte : comprimento do corte [m]
16	Veldes : velocidade de desenho [m/min]
17	Velcorte : velocidade de corte [m/min]
18	Ntbc : nº de trabalhadores no corte
19	Ccorte : comprimento do corte [m]
20	Velesab : velocidade de corte da máquina ESAB [m/min]
21	Ccorte : comprimento do corte [m]
22	Velesab : velocidade de corte da máquina SMF [m/min]
23	Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]
24	Ncs: nº de cordões de solda
25	Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]
26	Nmq : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina
27	Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]
28	Ncs: nº de cordões de solda
29	Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina [m/min]
30	Nmq : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina
31	Tf : tempo para fixar o painel
32	Terguer : tempo para erguer o painel
33	Tdp : tempo de deslocamento do painel
34	Tbaixar : tempo para baixar o painel

Nº	Variáveis
35	Tsolt : tempo para soltar o painel
36	Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]
37	Ncs : nº de cordões de solda
38	Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]
39	Nmq : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina
40	Tf : tempo para fixar o bloco
41	Terguer : tempo para erguer o bloco
42	Tdp : tempo de deslocamento o bloco
43	Tbaixar : tempo para baixar o bloco
44	Talinhar : tempo para alinhar o bloco
45	Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]
46	Ncs : nº de cordões de solda
47	Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]
48	Nmq : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina
49	Apf : área a ser pintada [m <sup>2</sup> ]
50	Ndemão : nº demão
51	Velpt : velocidade de de pintura por colaborador [m <sup>2</sup> /min]
52	Npt : nº de pintores
53	Tprt : Tempo para preparar a tinta
54	Mvelsold: média da velocidade de soldagem
55	Tm <sub>1</sub> : Tempo de movimentação 1 - chapas
56	Tj: Tempo de jatear
57	Tpt: Tempo para pintar
58	Tm <sub>2</sub> : Tempo de movimentação 2 - chapas pintadas
59	Tcm: Tempo de corte manual
60	Tcaesab: Tempo de corte automático ESAB
61	Tcsmf: Tempo de corte automático SMF
62	Tm <sub>cv</sub> : Tempo de montagem do convés
63	Tmp: Tempo de montagem do painel
64	Tm <sub>3</sub> : Tempo de movimentação 3 - painel
65	Tm <sub>bc</sub> : Tempo de montagem do bloco
66	Tm <sub>4</sub> : Tempo de movimentação 4 - bloco
67	Tmem: Tempo da embarcação
68	Tmpf: Tempo para pintura final

A fim de determinar os tempos de movimentação no processo produtivo, consideraram-se equações que envolveram movimentações das chapas, movimentação das chapas pintadas, dos painéis e finalmente dos blocos; assim, completando a montagem das balsas.

**(Tm<sub>1</sub>)** Tempo de movimentação 1 - chapas

$$Tm_1 = T_{dtr} + T_{carga} + T_{descarga}$$

T<sub>dtr</sub> : tempo de deslocamento do trator

T<sub>carga</sub> : tempo de carregar a chapa no trator

T<sub>descarga</sub> : tempo de descarregar a chapa do trator

**(Tm<sub>2</sub>)** Tempo de movimentação 2 - chapas pintadas

$$Tm_2 = T_{fg} + T_{erguer} + T_{dc} + T_{baixar} + T_{rg}$$

T<sub>fg</sub> : tempo para fixar os 6 grampos

T<sub>erguer</sub> : tempo para erguer a chapa

T<sub>dc</sub> : tempo de deslocamento da chapa

T<sub>baixar</sub> : tempo para baixar a chapa

T<sub>rg</sub> : tempo para retirar os 6 grampos

**(Tm<sub>3</sub>)** Tempo de movimentação 3 - painel

$$Tm_3 = T_f + T_{erguer} + T_{dp} + T_{baixar} + T_{solt}$$

T<sub>f</sub> : tempo para fixar o painel

T<sub>erguer</sub> : tempo para erguer o painel

T<sub>dp</sub> : tempo de deslocamento do painel

T<sub>baixar</sub> : tempo para baixar o painel

T<sub>solt</sub> : tempo para soltar o painel

**(Tm<sub>4</sub>)** Tempo de movimentação 4 - bloco

$$Tm_4 = T_f + T_{erguer} + T_{dp} + T_{baixar} + T_{alinhar} + T_{solt}$$

T<sub>f</sub> : tempo para fixar o bloco

T<sub>erguer</sub> : tempo para erguer o bloco

T<sub>dp</sub> : tempo de deslocamento o bloco

T<sub>baixar</sub> : tempo para baixar o bloco

T<sub>alinhar</sub> : tempo para alinhar o bloco

T<sub>solt</sub> : tempo para soltar o bloco

O jateamento e a pintura das chapas de aço são para protegê-las contra corrosão, não há a função estética de acabamento. As equações para determinar o tempo dessas ações foram desenvolvidas baseadas na observação e análise. A equação da pintura de acabamento será verificada mais adiante.

<b>(Tj)</b>	Tempo para jatear
$T_j =$	$\frac{\text{área a ser jateada}}{\text{Velj} \times \text{Nmj}}$
	Velj : velocidade de jateamento da máquina Metal Cym [m <sup>2</sup> /min] Nmj : n <sup>o</sup> de máquinas de jatear

<b>(Tpt)</b>	Tempo para pintar
$T_{pt} =$	$\frac{\text{área a ser pintada}}{\text{Velvar} \times \text{Ntbv}} + T_{prt} + \frac{\text{área a ser pintada}}{\text{Velpin} \times \text{Ntbp}}$
	Velvar : velocidade para varrer por pessoa [m <sup>2</sup> /min] Ntbv : n <sup>o</sup> de trabalhadores para varrer Velpin : velocidade para pintar por pessoa [m <sup>2</sup> /min] Ntbp : n <sup>o</sup> de trabalhadores para pintar

A atividade de corte manual origina as peças. Para tanto, é necessário que antes ocorra o desenho das peças sobre as chapas de aço; desse modo, a equação para determinar o tempo de corte manual das chapas considerou o tempo de desenho.

Com o intento de retratar fielmente a realidade, na equação, acrescentou-se 20% correspondentes à fadiga dos operadores. Essa fadiga diz respeito ao tipo de trabalho praticado pelos operadores, que exige bastante esforço físico, ao período em que bebem água e/ou vão ao banheiro (METZNER, 2001). Em virtude disso, há o produto das atividades – “velocidade de desenho” e “velocidade de corte” por 0,2. Essas atividades ligam-se intimamente à ação e à quantidade de operadores que desempenham essas ações.

**(Tcm)** Tempo de corte manual

$$T_{cm} = \frac{C_{corte}}{V_{eldes} \times N_{tbc}} + \frac{C_{corte}}{V_{elcorte} \times N_{tbc}} + (V_{elcorte} \times N_{tbc} \times 0,2) + (V_{eldes} \times N_{tbc} \times 0,2)$$

C<sub>corte</sub> : comprimento do corte [m]

V<sub>eldes</sub> : velocidade de desenho [m/min]

V<sub>elcorte</sub> : velocidade de corte [m/min]

N<sub>tbc</sub> : nº de trabalhadores no corte

A atividade de corte automático origina as peças. Como o corte é automático, não é necessário que antes ocorra o desenho das peças sobre as chapas de aço; assim, a equação para determinar o tempo de corte automático das chapas não considerou o tempo de desenho.

**(Tcaesab)** Tempo de corte automático ESAB

$$T_{caesab} = \frac{C_{corte}}{V_{elesab}}$$

C<sub>corte</sub> : comprimento do corte [m]

V<sub>elesab</sub> : velocidade de corte da máquina ESAB [m/min]

**(Tcasmf)** Tempo de corte automático SMF

$$T_{casmf} = \frac{C_{corte}}{V_{elsmf}}$$

C<sub>corte</sub> : comprimento do corte [m]

V<sub>elsmf</sub> : velocidade de corte da máquina SMF [m/min]

Os painéis são compostos pela soldagem de inúmeras peças. A equação para determinar o tempo de montagem dos painéis está exposta a seguir. Por conta da fadiga, o tempo dessa ação foi acrescido em 20%, por isso, há a multiplicação da “média da velocidade de soldagem” por 0,2. Os painéis podem ser montados com o uso de diferentes tipos de máquina de solda, daí a necessidade de usar a média das velocidades dessas máquinas.

**(Tmp)** Tempo de montagem de painel

$$T_{mp} = \frac{Cas \times Ncs}{V_{elsold} \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{V_{elsold} \times Nm_q} + (M_{velsold} \times 0,2)$$

Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]

Ncs : nº de cordões de solda

V<sub>elsold</sub> : velocidade de soldagem por tipo de máquina [m/min]

Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda para cada tipo de máquina

M<sub>velsold</sub> : média da velocidade de soldagem

Os conveses são itens com menor complexidade de montagem; não há a necessidade de cortar as chapas de aço para gerar as peças. Para a montagem, é preciso soldar inúmeras chapas de aço inteiras – as soldas são retas – o que reduz consideravelmente a complexidade.

A montagem dos conveses, blocos e da balsa propriamente dita, está sujeita à fadiga. O tempo dessas ações foi acrescido em 20%, por isso, há a multiplicação da “média da velocidade de soldagem” por 0,2. Os conveses podem ser montados com o uso de diferentes tipos de máquinas de solda; desse modo, não há necessidade de usar a média das velocidades dessas máquinas. Um bloco é composto por inúmeros painéis, e uma balsa é composta por inúmeros blocos.

**(T<sub>mcv</sub>)** Tempo de montagem de convés

$$T_{mcv} = \frac{Cas \times Ncs}{Velsoldas \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsoldas \times Nm_q} + (Mvelsold \times 0,2)$$

Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]

Ncs: nº de cordões de solda

Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]

Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina

Mvelsold: média da velocidade de soldagem

**(T<sub>mbc</sub>)** Tempo de montagem do bloco

$$T_{mbc} = \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + (Mvelsold \times 0,2)$$

Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]

Ncs : nº de cordões de solda

Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]

Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina

Mvelsold: média da velocidade de soldagem

**(T<sub>mem</sub>)** Tempo de montagem da embarcação

$$T_{mem} = \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + (Mvelsold \times 0,2)$$

Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]

Ncs : nº de cordões de solda

Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]

Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina

Mvelsold: média da velocidade de soldagem

A última etapa do processo produtivo é a pintura final ou de acabamento. Após a conclusão dessa etapa, a carreira poderá ser desocupada, restando apenas

a etapa de testes. Ao tempo das ações dessa última etapa do processo produtivo, acrescentaram-se 20% por conta da fadiga.

<p><b>(T<sub>mpf</sub>)</b> Tempo para pintura final</p> $T_{mpf} = \frac{Apf \times Ndemão}{Velpt \times Npt} + (Velpt \times 0,2)$ <p>Apf : área a ser pintada [m<sup>2</sup>]  Ndemão : n<sup>o</sup> demão  Velpt : velocidade de pintura por colaborador [m<sup>2</sup>/min]  Npt : n<sup>o</sup> de pintores</p>
--

O número de blocos pode ser calculado tomando por base a informação do pé direito útil do local onde ocorre a montagem final da embarcação. Essa equação faz parte da proposta de modelos matemáticos genéricos para embarcações construídas em aço.

<p><b>(Nb)</b> Número de Blocos</p> $Nb = \frac{\text{comprimento da balsa}}{Ped}$ <p>Ped: pé direito útil do galpão  comprimento do bloco &lt; Ped</p>
---

Para simplificar a exposição dos modelos matemáticos, considerou-se cada parcela separadamente. Assim, obteve-se uma equação relativamente simples, com 14 variáveis. Vale salientar que cada uma dessas parcelas é composta por inúmeras variáveis, de modo que o modelo completo é composto por 68 variáveis. O tempo total para produção da balsa é dado pela seguinte equação:

$$Tt = Tm_1 + Tj + Tpt + Tm_2 + Tcm + Tcaesab + Tcsmf + Tmcv + Tmp + Tm_3 + Tmbc + Tm_4 + Tmem + Tmpf$$

Abaixo, observa-se a equação completa do tempo total para produzir uma balsa. Nela são consideradas todas as relações entre as mais diversas variáveis que compõem o modelo.

A proposta desses modelos matemáticos é representar não somente esse processo produtivo, mas todos com as características semelhantes as encontradas

aqui. Com exceção dos estaleiros americanos, europeus, japoneses e coreanos, todos os demais se enquadram nessa condição, ou seja, utilizam intensamente a mão-de-obra com uso restrito de máquinas.

Para desenvolver modelos matemáticos representativos de processos produtivos os quais utilizem mais intensamente máquinas, seria necessário realizar outro estudo detalhado desses processos.

$$T_t = (T_{dm1} + T_{carga} + T_{descarga}) + \frac{\text{área a ser jateada}}{Velj \times Nm_j} + (T_{prt}) + \frac{\text{área a ser pintada}}{Velvar \times Ntbv} + T_{prt} + \frac{\text{área a ser pintada}}{Velpin \times Ntbp} + (T_{fg} + T_{erguer} + T_{dc} + T_{baixar} + T_{rg}) +$$

**(T<sub>dm1</sub>)** Tempo de movimentação 1 - chapas  
 T<sub>dm1</sub> : tempo de deslocamento do trator  
 T<sub>carga</sub> : tempo de carregar a chapa no trator  
 T<sub>descarga</sub> : tempo de descarregar a chapa do trator

**(T<sub>j</sub>)** Tempo para jatear  
 Velj : velocidade de jateamento da máquina Metal Cym [m<sup>2</sup>/min]  
 Nm<sub>j</sub> : nº de máquinas de jatear

**(T<sub>prt</sub>)** Tempo para pintar  
 Velvar : velocidade para varrer por pessoa [m<sup>2</sup>/min]  
 Ntbv : nº de trabalhadores para varrer  
 T<sub>prt</sub> : Tempo para preparar a tinta  
 Velpin : velocidade para pintar por pessoa [m<sup>2</sup>/min]  
 Ntbp : nº de trabalhadores para pintar

**(T<sub>dm2</sub>)** Tempo de movimentação 2 - chapas pintadas  
 T<sub>fg</sub> : tempo para fixar os 6 grampos  
 T<sub>erguer</sub> : tempo para erguer a chapa  
 T<sub>dc</sub> : tempo de deslocamento da chapa  
 T<sub>baixar</sub> : tempo para baixar a chapa  
 T<sub>rg</sub> : tempo para retirar os 6 grampos

$$+ \frac{C_{corte}}{Veldes \times Ntbc} + \frac{C_{corte}}{Velcorte \times Ntbc} + (Velcorte \times Ntbc \times 0,2) + (Veldes \times Ntbc \times 0,2) + \frac{C_{corte}}{Velesab} + \frac{C_{corte}}{Velsmf} +$$

**(T<sub>cm</sub>)** Tempo de corte manual  
 C<sub>corte</sub> : comprimento do corte [m]  
 Veldes : velocidade de desenho [m/min]  
 Velcorte : velocidade de corte [m/min]  
 Ntbc : nº de trabalhadores no corte

**(T<sub>caesab</sub>)** Tempo de corte automático ESAB  
 C<sub>corte</sub> : comprimento do corte [m]  
 Velesab : velocidade de corte da máquina ESAB [m/min]

**(T<sub>casmf</sub>)** Tempo de corte automático SMF  
 C<sub>corte</sub> : comprimento do corte [m]  
 Velesab : velocidade de corte da máquina SMF [m/min]

$$+ \frac{Cas \times Ncs}{Velsoldas \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsoldas \times Nm_q} + (Mvelsold \times 0,2) + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + (Mvelsold \times 0,2) + (T_f + T_{erguer} + T_{dp} + T_{baixar} + T_{solt}) +$$

**(T<sub>mcv</sub>)** Tempo de montagem de convés  
 Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]  
 Ncs : nº de cordões de solda  
 Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]  
 Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina  
 Mvelsold : média da velocidade de soldagem

**(T<sub>mp</sub>)** Tempo de montagem de painel  
 Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]  
 Ncs : nº de cordões de solda  
 Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina [m/min]  
 Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina  
 Mvelsold : média da velocidade de soldagem

**(T<sub>m3</sub>)** Tempo de movimentação 3 - painel  
 T<sub>f</sub> : tempo para fixar o painel  
 T<sub>erguer</sub> : tempo para erguer o painel  
 T<sub>dp</sub> : tempo de deslocamento do painel  
 T<sub>baixar</sub> : tempo para baixar o painel  
 T<sub>solt</sub> : tempo para soltar o painel

$$+ \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + (Mvelsold \times 0,2) + (T_f + T_{erguer} + T_{dp} + T_{baixar} + T_{alinhar} + T_{solt}) + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + \frac{Cas \times Ncs}{Velsold \times Nm_q} + (Mvelsold \times 0,2) + \frac{Apf \times Ndemão}{Velpt \times Npt} + (Velpt \times 0,2)$$

**(T<sub>mbc</sub>)** Tempo de montagem do bloco  
 Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]  
 Ncs : nº de cordões de solda  
 Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]  
 Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina  
 Mvelsold : média da velocidade de soldagem

**(T<sub>m4</sub>)** Tempo de movimentação 4 - bloco  
 T<sub>f</sub> : tempo para fixar o bloco  
 T<sub>erguer</sub> : tempo para erguer o bloco  
 T<sub>dp</sub> : tempo de deslocamento do bloco  
 T<sub>baixar</sub> : tempo para baixar o bloco  
 T<sub>alinhar</sub> : tempo para alinhar o bloco  
 T<sub>solt</sub> : tempo para soltar o bloco

**(T<sub>mem</sub>)** Tempo de montagem da embarcação  
 Cas : comprimento da aresta a ser soldada [m]  
 Ncs : nº de cordões de solda  
 Velsold : velocidade de soldagem por tipo de máquina de arco submerso [m/min]  
 Nm<sub>q</sub> : nº de máquinas de solda por cada tipo de máquina  
 Mvelsold : média da velocidade de soldagem

**(T<sub>mpf</sub>)** Tempo para pintura final  
 Apf : área a ser pintada [m<sup>2</sup>]  
 Ndemão : nº demão  
 Velpt : velocidade de de pintura por colaborador [m<sup>2</sup>/min]  
 Npt : nº de pintores