



**COPPE/UFRJ**

TÉCNICAS AVANÇADAS EM PLANEJAMENTO E CONTROLE DA  
CONSTRUÇÃO NAVAL

Cassiano Marins de Souza

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Oceânica.

Orientador: Floriano Carlos Martins Pires Junior

Rio de Janeiro

Junho de 2009

TÉCNICAS AVANÇADAS EM PLANEJAMENTO E CONTROLE DA  
CONSTRUÇÃO NAVAL

Cassiano Marins de Souza

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Aprovada por:

---

Prof. Floriano Carlos Martins Pires Jr, D.Sc.

---

Prof. Cláudio Luiz Baraúna Vieira, Ph.D.

---

Prof. Segen Farid Estefen, Ph.D.

---

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

---

Eng. Isaias Quaresma Masetti, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2009

Souza, Cassiano Marins de

Técnicas Avançadas em Planejamento e Controle da  
Construção Naval / Cassiano Marins de Souza. – Rio de  
Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XIII, 290 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Floriano Carlos Martins Pires Junior

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de  
Engenharia Oceânica, 2009.

Referencias Bibliográficas: p.231-238.

1. Construção Naval. 2. Planejamento e Controle. 3.  
Inteligência Artificial. 4. Simulação de Eventos Discretos.  
5. Otimização. Pires Jr, Floriano C. M. II. Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de  
Engenharia Oceânica. III. Título.

Dedicatória

À Vanessa, Nina e Theo com amor.

## AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional do Petróleo – ANP e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro.

Ao Estaleiro Atlântico Sul pelo apoio para a finalização do trabalho.

Ao Prof. Floriano Pires Jr. pela orientação profissional, pelas oportunidades oferecidas, pela paciência com que conduziu o processo de desenvolvimento deste trabalho e pela amizade capaz de apontar o caminho correto.

Ao Prof. Thomas Lamb pelas lições generosas sobre a construção naval e, principalmente, sobre a vida.

Ao Prof. Segen Stefen pelo exemplo de competência e dinamismo.

Ao Prof. Claudio Baraúna pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao Prof. Raad Qassim pelas agradáveis discussões.

Ao Prof. Michael Parsons pela ajuda generosa.

Ao Prof. David Singer pelo apoio e confiança.

Ao Prof. Luiz Felipe Assis pela compreensão e disponibilidade infinitas.

À Glace, Sônia e Elza pela amizade sincera e o apoio sempre presente.

Ao Felipe e ao Glauco pela atenção nunca negada.

Ao Rogério pelo companheirismo.

Ao Vitinho com quem tive o privilégio de conviver e aprender que a vida é mais simples do que parece.

Aos brilhantes colegas do LABSEN: Clarice, Tostes, Roberto, Hugo, Yuri, Átila, Cláudio. O convívio com vocês deixa muita saudade.

Aos não menos brilhantes Clara, Luciano, Jordani, Estevão, Angélica, João, Júlio e Renato pela importante ajuda.

Aos Colegas de Michigan: Piotr Bandyk, Ken Burgess, David Belisle, David Hosenlopp, Dimitris Maroulis, George Payapilly, Yana Panciera, Miguel Loban, Chris Wozniak. Elite Clientele rules!

Ao Eng. Cleber Siqueira pela amizade e apoio incondicional na reta final.

Ao Eng. Ricardo Menezes que com energia e entusiasmo, mesmo sem saber, contribuiu muito para a finalização do trabalho.

Ao Sr. Volker Bertram e Prof. Philippe Rigo pela oportunidade oferecida.

Ao Eng. Jean-David Caprace pela parceria produtiva.

Ao casal Raquel e Christiano Campos, amigos que me incentivaram sempre.

Aos meus pais Paulo Afonso Marins de Souza e Therezinha Amaral, e irmãos Leandro e Marina, pela amizade e amor que ajudaram a finalizar este trabalho.

À Vó Lígia, exemplo de otimismo e persistência.

Ao Capitão James, pelas lições sobre como navegar em mares difíceis.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

## TÉCNICAS AVANÇADAS EM PLANEJAMENTO E CONTROLE DA CONSTRUÇÃO NAVAL

Cassiano Marins de Souza

Junho/2009

Orientador: Floriano Carlos Martins Pires Jr.

Programa: Engenharia Oceânica

O principal objetivo deste trabalho é a abordagem de um conjunto de conceitos, técnicas e ferramentas com sentido inovador sob uma perspectiva científica mais ampla e, além disso, com aplicação inovadora na indústria de construção naval.

Neste trabalho foi promovida a união do conceito de Tecnologia de Grupo e das técnicas de Inteligência Artificial e Simulação de Eventos Discretos, configurando uma contribuição relevante para o avanço das funções de planejamento, programação e controle da construção naval.

Tal abordagem demonstra capacidade para induzir ganhos significativos de eficiência nas operações industriais e originar aumentos nos níveis de produtividade praticados, principalmente ao considerar-se o ambiente da construção naval no Brasil.

Para que os benefícios da utilização do conjunto de conceitos e ferramentas citados acima sejam efetivamente auferidos, é necessário que o controle sobre os indicadores de desempenho produtivo da organização seja efetivo.

Este trabalho também tem como objetivo a apresentação de um sistema desenvolvido com o objetivo de aferir o desempenho das atividades nas diversas áreas dentro de um estaleiro. Dessa forma é possível identificar o impacto de ações de planejamento e programação e também alimentar as funções de reprogramação de atividades ou de planejamento de novas obras.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

## ADVANCED TOOLS FOR SHIPBUILDING PLANNING AND CONTROL

Cassiano Marins de Souza

June/2009

Advisor: Floriano Carlos Martins Pires Jr.

Department: Ocean Engineering

The main purpose of this work is a joint approach to innovative concepts, techniques and tools under a broader scientific perspective and moreover with an original application to the shipbuilding industry.

Putting together Technology Group concept, Artificial Intelligence and Discrete Event simulation techniques is a relevant contribution to shipbuilding planning, scheduling and control functions. This contribution is able to lead to significant efficiency gains and originating an upgrade on productivity levels, mainly considering Brazilian shipbuilding environment.

To take advantage from concepts and tools mentioned above it is necessary that production performance indicators be controlled in an effective way.

A production control system was then developed to monitor shipbuilding activities on different areas of a shipyard. With this system it is possible to identify impacts from planning and scheduling actions and also feed up replanning activities or newbuilding planning.

# Técnicas Avançadas em Planejamento e Controle da Construção Naval

## ÍNDICE GERAL

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. TECNOLOGIA E PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO NAVAL .....</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1. INTRODUÇÃO .....   | 6         |
| 2.2. CARACTERÍSTICAS DA DEMANDA E DO PRODUTO .....  | 6         |
| 2.3. MODELOS DE ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO .....   | 10        |
| 2.4. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA .....   | 16        |
| 2.5. ESCALA DE PRODUÇÃO .....   | 19        |
| 2.6. PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D) .....   | 19        |
| 2.7. PRODUTIVIDADE .....  | 22        |
| 2.8. PANORAMA TECNOLÓGICO DO SETOR NO BRASIL.....   | 27        |
| 2.8.1. <i>Organização da Produção</i> .....   | 28        |
| 2.8.2. <i>Perfil da mão-de-obra</i> .....   | 30        |
| 2.8.3. <i>Dinâmica Tecnológica</i> .....  | 31        |
| 2.8.4. <i>Desenvolvimento Competitivo</i> .....   | 33        |
| 2.8.5. <i>Estratégias de Especialização e Desenvolvimento Tecnológico</i> .....                                       | 36        |
| <b>3. GESTÃO DA PRODUÇÃO .....</b>  | <b>39</b> |
| 3.1. INTRODUÇÃO .....   | 39        |
| 3.2. ELEMENTOS CRÍTICOS .....   | 42        |
| 3.2.1. <i>Sistemas de codificação e classificação</i> .....   | 42        |
| 3.2.2. <i>Engenharia de Produção</i> .....  | 42        |
| 3.2.3. <i>Sistemas integrados de informações para o projeto e produção</i> .....                                      | 43        |
| 3.3. SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO .....  | 48        |
| 3.4. LEAN MANUFACTURING/PRODUÇÃO ENXUTA .....   | 51        |
| 3.5. SISTEMAS ERP (ENTERPRISE RESOURCES PLANNING) .....   | 55        |
| 3.6. GERENCIAMENTO DE PROJETOS .....  | 60        |
| 3.7. SISTEMAS HÍBRIDOS .....  | 64        |
| 3.8. PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....  | 67        |
| 3.8.1. <i>Planejamento da Produção</i> .....  | 67        |
| 3.8.2. <i>Programação da Produção</i> .....   | 69        |
| 3.8.3. <i>Controle da produção</i> .....  | 74        |
| 3.8.4. <i>Garantia de Qualidade</i> .....   | 76        |
| 3.8.5. <i>Estratégia de Construção (Build Strategy)</i> .....   | 77        |
| 3.8.6. <i>Técnicas avançadas – Simulação e Inteligência Artificial</i> .....  | 81        |
| <b>4. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SIMULAÇÃO NA CONSTRUÇÃO NAVAL .....</b>   | <b>85</b> |
| 4.1. INTRODUÇÃO .....   | 85        |
| 4.2. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS BASEADO EM FERRAMENTAS DE ANÁLISE INTELIGENTE DE DADOS ..... | 86        |
| 4.2.1. <i>Problemas de Classificação de Dados</i> .....   | 87        |
| 4.2.2. <i>Modelos de Classificação</i> .....  | 89        |
| 4.2.3. <i>Desenvolvimento de Modelos</i> .....  | 95        |
| 4.2.4. <i>Estudo de Caso</i> .....  | 96        |
| 4.2.5. <i>Metodologia</i> .....   | 97        |
| 4.2.6. <i>Resultados</i> .....  | 101       |
| 4.3. OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO PARA EDIFICAÇÃO DE BLOCOS .....  | 104       |
| 4.3.1. <i>Objetivo</i> .....  | 104       |
| 4.3.2. <i>Metodologia</i> .....   | 105       |
| 4.3.3. <i>Resultados</i> .....  | 112       |
| 4.4. SIMULAÇÃO DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO NAVAL .....   | 116       |
| 4.4.1. <i>Produto</i> .....   | 117       |
| 4.4.2. <i>Processos</i> .....   | 131       |
| 4.4.3. <i>Recursos</i> .....  | 149       |
| 4.5. IMPLANTAÇÃO DO MODELO - PLATAFORMA DELMIA .....  | 151       |
| 4.5.1. <i>Modelagem 3D do Produto</i> .....   | 151       |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.5.2.    | <i>Modelagem da Estrutura de Produtos</i> .....   | 153        |
| 4.5.3.    | <i>Modelagem da Estrutura de Processos</i> .....  | 154        |
| 4.5.4.    | <i>Modelo Integrado de Áreas do Estaleiro</i> .....   | 154        |
| 4.5.5.    | <i>Protótipo do Modelo Geral do Estaleiro no Quest</i> .....  | 157        |
| 4.6.      | USO DA SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE INTEGRADA DE ESTRATÉGIAS DE CONSTRUÇÃO .....  | 161        |
| 4.6.1.    | <i>Metodologia</i> .....  | 163        |
| 4.6.2.    | <i>Estratégias de Edificação</i> .....  | 164        |
| 4.6.3.    | <i>Agrupamento de Blocos</i> .....  | 165        |
| 4.6.4.    | <i>Procedimento Geral de Análise</i> .....  | 168        |
| 4.6.5.    | <i>Descrição geral dos modelos de montagem de blocos</i> .....  | 168        |
| 4.6.6.    | <i>Análise de agrupamentos</i> .....  | 170        |
| 4.6.7.    | <i>Dimensionamentos de estações de trabalho</i> .....   | 173        |
| 4.6.8.    | <i>Análise de estratégias de edificação</i> .....   | 175        |
| <b>5.</b> | <b>SISTEMA DE CONTROLE DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO NAVAL</b> .....  | <b>178</b> |
| 5.1.      | INTRODUÇÃO .....  | 178        |
| 5.2.      | MODELO PADRONIZADO DE ESTRUTURAS ANALÍTICAS DE PROJETOS (WORK BREAKDOWN<br>STRUCTURE – WBS) NA CONSTRUÇÃO NAVAL ..... | 180        |
| 5.2.1.    | <i>Decomposição do projeto em pacotes de trabalho</i> .....   | 181        |
| 5.2.2.    | <i>WBS moderna e padronizada</i> .....  | 183        |
| 5.2.3.    | <i>Product Work Breakdown Structure – PWBS</i> .....  | 185        |
| 5.2.4.    | <i>Estruturas de decomposição do trabalho da construção naval brasileira: OS-5 e EAP</i> ..                           | 187        |
| 5.2.5.    | <i>Ambiente Produtos-Processos-Recursos (PPR)</i> .....   | 189        |
| 5.3.      | SISTEMA DE INFORMAÇÕES .....  | 190        |
| 5.3.1.    | <i>Acompanhamento e análise de desempenho de projetos</i> .....   | 192        |
| 5.3.2.    | <i>Análise do valor agregado</i> .....  | 195        |
| 5.3.3.    | <i>Métricas para a medição de desempenho</i> .....  | 198        |
| 5.3.4.    | <i>Procedimentos de aquisição de dados</i> .....  | 203        |
| 5.4.      | PROPOSIÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE DECOMPOSIÇÃO DO TRABALHO .....   | 204        |
| 5.5.      | DEFINIÇÃO DOS INDICADORES, MÉTRICAS E PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS .....  | 205        |
| 5.5.1.    | <i>Banco de dados de produção</i> .....   | 205        |
| 5.5.2.    | <i>Coleta de dados</i> .....  | 205        |
| 5.5.3.    | <i>Estimativa do conteúdo de trabalho</i> .....   | 206        |
| 5.5.4.    | <i>Consumo de mão-de-obra</i> .....   | 207        |
| 5.5.5.    | <i>Progresso da produção</i> .....  | 208        |
| 5.5.6.    | <i>Produtividade</i> .....  | 209        |
| 5.5.7.    | <i>Controle de custo e tempo</i> .....  | 210        |
| 5.6.      | PLANEJAMENTO DA NECESSIDADE DE HOMENS-HORA E DO TEMPO EM PROJETOS DE<br>CONSTRUÇÃO NAVAL.....                         | 213        |
| 5.6.1.    | <i>Determinação do conteúdo de trabalho</i> .....   | 214        |
| 5.7.      | SISTEMA DE CONTROLE DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO NAVAL – DEPARTAMENTO DE<br>ESTRUTURA (SCPCN-DEST).....                  | 218        |
| 5.7.1.    | <i>Linha de Base do Projeto (LBP)</i> .....   | 219        |
| 5.7.2.    | <i>Painel de Controle (PC)</i> .....  | 223        |
| <b>6.</b> | <b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....   | <b>228</b> |
| <b>7.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | <b>231</b> |
| 7.1.      | BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL .....  | 231        |
| 7.2.      | BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR .....   | 236        |
|           | <b>ANEXO 1 – MODELAGEM DE PRODUTO, PROCESSOS E RECURSOS NO DELMIA V5,<br/>DPM, DPE</b> .....                          | <b>241</b> |
|           | <b>ANEXO 2 – RESULTADOS DE SIMULAÇÕES DO MODELO DO PROTÓTIPO DO<br/>ESTALEIRO NO QUEST</b> .....                      | <b>268</b> |
|           | <b>ANEXO 3 – EXEMPLO DO BANCO DE DADOS DE PRODUTOS</b> .....  | <b>278</b> |
|           | <b>ANEXO 4 – EXEMPLOS DE CONSULTAS AO BANCO DE DADOS</b> .....  | <b>279</b> |
|           | <b>ANEXO 5 – DADOS, INFORMAÇÕES E INDICADORES DE ÁREAS DO ESTALEIRO</b> .....   | <b>284</b> |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| TABELA 1 – PARTICIPAÇÃO DO INVESTIMENTO EM P&D EM RELAÇÃO AO PIB .....  | 20  |
| TABELA 2 – RELAÇÃO ENTRE FUNÇÕES DO SISTEMA DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E ASPECTOS<br>COMPETITIVOS .....                           | 51  |
| TABELA 3 – PRINCIPAIS FORNECEDORES DE PACOTES MRP II E ERP.....   | 59  |
| TABELA 4 – MAPEAMENTO DE PROCESSOS DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS .....   | 62  |
| TABELA 5 – NÍVEIS, ATIVIDADES E ESTÁGIOS DE APLICAÇÃO DO DOCUMENTO DE POLÍTICA DE<br>CONSTRUÇÃO .....                               | 79  |
| TABELA 6 – BASE DE DADOS .....  | 98  |
| TABELA 7 – REGRAS DE SOLDAGEM.....  | 109 |
| TABELA 8 – HOMENS-HORA E DURAÇÃO DAS LIGAÇÕES ENTRE OS BLOCOS .....   | 109 |
| TABELA 9 – HH E DURAÇÕES DE CADA ETAPA DA EDIFICAÇÃO PARA UMA SEQÜÊNCIA ESPECÍFICA .....  | 112 |
| TABELA 10 – PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS .....   | 121 |
| TABELA 11 – ESTRUTURA DO SISTEMA DE CODIFICAÇÃO .....   | 125 |
| TABELA 12 – LEGENDA DE CLASSES DO SISTEMA DE CODIFICAÇÃO .....  | 126 |
| TABELA 13 – FAMÍLIAS DE BLOCOS DE CORPO PARALELO.....   | 127 |
| TABELA 14 – FAMÍLIAS DE PAINÉIS PLANOS.....   | 127 |
| TABELA 15 – FAMÍLIAS DE SUBMONTAGENS .....  | 128 |
| TABELA 16 – FAMÍLIAS DE PARTES PARALELAS .....  | 129 |
| TABELA 17 – PLANOS DE CORTE PARA PARTES PARALELAS .....   | 131 |
| TABELA 18 – PLANOS DE CORTE PARA PARTES NÃO-PARALELAS .....   | 131 |
| TABELA 19 – PLANOS DE CORTE PARA PARTES INTERNAS .....  | 131 |
| TABELA 20 – ÁREAS, LINHAS DE PRODUÇÃO E OFICINAS DE TRABALHO .....  | 132 |
| TABELA 21 – PESO DE BLOCOS.....   | 134 |
| TABELA 22 – PESO DE PAINÉIS PLANOS .....  | 134 |
| TABELA 23 – PESO DE SUBMONTAGENS .....  | 135 |
| TABELA 24 – COMPRIMENTO DE CORTE DE PARTES PARALELAS .....  | 137 |
| TABELA 25 – COMPRIMENTO DE CORTE DE PARTES NÃO-PARALELAS .....  | 138 |
| TABELA 26 – COMPRIMENTO DE CORTE DE PARTES INTERNAS .....   | 138 |
| TABELA 27 – COMPRIMENTO DE SOLDA NA ÁREA DE EDIFICAÇÃO .....  | 139 |
| TABELA 28 – COMPRIMENTO DE SOLDA NA ÁREA DE PRÉ-EDIFICAÇÃO .....  | 139 |
| TABELA 29 – COMPRIMENTO DE SOLDA NA OFICINA DE MONTAGEM DE BLOCOS .....   | 140 |
| TABELA 30 – COMPRIMENTO DE SOLDA NA LINHA DE PAINÉIS PLANOS, NA OFICINA DE FABRICAÇÃO DE<br>PARTES E NA OFICINA DE SUBMONTAGEM..... | 141 |
| TABELA 31 – PARÂMETROS DE TEMPO ASSOCIADOS AO TRABALHADOR .....   | 142 |
| TABELA 32 – PARÂMETROS DE TEMPO ASSOCIADOS AOS PROCESSOS DE SOLDAGEM .....  | 143 |
| TABELA 33 – TEMPOS DE PROCESSO NA OFICINA DE FABRICAÇÃO DE PERFIS .....   | 143 |
| TABELA 34 – TEMPOS DE PROCESSO NA LINHA DE PAINÉIS PLANOS .....   | 143 |
| TABELA 35 – TEMPOS DE PROCESSO NA OFICINA DE SUBMONTAGEM.....   | 144 |
| TABELA 36 – TEMPOS DE PROCESSO NA OFICINA DE MONTAGEM DE BLOCOS.....  | 146 |
| TABELA 37 – ÁREAS DO ESTALEIRO E RECURSOS .....   | 149 |
| TABELA 38 – ESTOQUES PARA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM POR ANÉIS .....   | 170 |
| TABELA 39 – ESTOQUES PARA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM POR ANÉIS .....   | 170 |
| TABELA 40 – PRODUÇÃO PARA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM POR CAMADAS .....   | 171 |
| TABELA 41 – ESTOQUES PARA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM POR CAMADAS .....   | 171 |
| TABELA 42 – PRODUÇÃO PARA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM PIRAMIDAL.....  | 172 |
| TABELA 43 – ESTOQUES PARA SEQÜÊNCIA DE MONTAGEM PIRAMIDAL.....  | 172 |
| TABELA 44 – ÍNDICES PARA A MEDIÇÃO DO PROGRESSO DA PRODUÇÃO E DA PRODUTIVIDADE.....   | 202 |
| TABELA 45 – DETERMINAÇÃO DE TEMPOS DE CONSTRUÇÃO E DA PRODUÇÃO ANUAL .....  | 214 |
| TABELA 46 – TEMPOS DE PRODUÇÃO ADOTADOS .....   | 214 |
| TABELA 47 – CONTEÚDO DE TRABALHO (HH) POR ÁREA DO ESTALEIRO .....   | 217 |
| TABELA 48 – NÚMERO DE TRABALHADORES POR ÁREA DO ESTALEIRO.....  | 218 |
| TABELA 49 – INDICADORES DO SCPCN-DEST.....  | 219 |
| TABELA 50 – LINHA DE BASE DO PROJETO PARA O CONSUMO DE MÃO-DE-OBRA .....  | 220 |
| TABELA 51 – ANÁLISE DOS <i>BUFFERS</i> .....  | 268 |
| TABELA 52 – ANÁLISE DAS ÁREAS DO ESTALEIRO .....  | 269 |
| TABELA 53 – ANÁLISE DAS PONTES ROLANTES .....   | 269 |
| TABELA 54 – ANÁLISE DAS PARTES E COMPONENTES.....   | 269 |
| TABELA 55 – ANÁLISE DOS PROCESSOS .....   | 277 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE NAVIOS MERCANTES – VALORES EM MILHÕES DE GT (GROSS TONNAGE) ..... | 7   |
| FIGURA 2 – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE DE CONSTRUÇÃO NAVAL.....   | 8   |
| FIGURA 3 – MODELOS DE ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO .....  | 10  |
| FIGURA 4 – EXEMPLOS DE ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO COM ORIENTAÇÃO AO PROCESSO E COM TECNOLOGIA DE GRUPO .....    | 12  |
| FIGURA 5 – CURVA DE APRENDIZAGEM – OCDE – 2007.....  | 23  |
| FIGURA 6 – TECNOLOGIA E PRODUTIVIDADE.....   | 24  |
| FIGURA 7 – EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE – JAPÃO E CORÉIA .....  | 25  |
| FIGURA 8 – ESTRATÉGIAS DE MERCADO.....   | 33  |
| FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO DO MODELO DO PRODUTO DE UM NAVIO.....   | 44  |
| FIGURA 10 – ESTRUTURA CONCEITUAL DOS SISTEMAS ERP.....   | 57  |
| FIGURA 11 – CRONOGRAMA MESTRE DA PRODUÇÃO.....   | 64  |
| FIGURA 12 – TIPOS DE INDÚSTRIAS X SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO .....                                | 65  |
| FIGURA 13 – RELAÇÕES ENTRE OS DIVERSOS NÍVEIS DA ESTRUTURA DE PRODUTO DO NAVIO .....                         | 67  |
| FIGURA 14 – ANÁLISE DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DE UM BLOCO.....  | 68  |
| FIGURA 15 – PROGRAMAÇÃO DE ATIVIDADES NA CONSTRUÇÃO NAVAL .....  | 70  |
| FIGURA 16 – SEQÜENCIAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA EDIFICAÇÃO .....   | 72  |
| FIGURA 17 – COORDENADAS ORIGINAIS E TRANSFORMADAS PELA ACP .....   | 91  |
| FIGURA 18 – ARQUITETURA DE UMA REDE NEURAL .....   | 93  |
| FIGURA 19 – EXEMPLOS DE PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS ENCONTRADOS EM UM PROJETO DE NAVIO .....                     | 96  |
| FIGURA 20 – BLOCOS DA BASE DE DADOS .....  | 98  |
| FIGURA 21 – VARIÁVEIS ORIGINAIS NORMALIZADAS .....   | 99  |
| FIGURA 22 – GRÁFICOS COM PARES DE ATRIBUTOS PARA AS VARIÁVEIS ORIGINAIS NORMALIZADAS .....                   | 100 |
| FIGURA 23 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....   | 100 |
| FIGURA 24 – PARES DE ATRIBUTOS DAS DUAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS TRANSFORMADAS NORMALIZADAS .....                | 101 |
| FIGURA 25 – VARIÁVEIS TRANSFORMADAS NORMALIZADAS .....   | 101 |
| FIGURA 26 – RESULTADOS DOS MODELOS VALIDADOS PARA DUAS, TRÊS E SEIS CLASSES DE BLOCOS .....                  | 103 |
| FIGURA 27 – EXEMPLO DO FUNCIONAMENTO DE UM MODELO “FLOW SHOP” .....  | 107 |
| FIGURA 28 – DEFINIÇÃO BÁSICA DOS NOVE BLOCOS CONSIDERADOS.....   | 107 |
| FIGURA 29 – INFORMAÇÕES SOBRE AS INTERFACES DE SOLDA.....  | 108 |
| FIGURA 30 – INFORMAÇÕES SOBRE ESPESURAS DE CHAPAS.....   | 108 |
| FIGURA 31 – VISUALIZADOR DE SEQÜÊNCIAS DE UMA DADA POPULAÇÃO .....   | 110 |
| FIGURA 32 – TEMPOS TOTAIS DE EDIFICAÇÃO CALCULADOS.....  | 111 |
| FIGURA 33 – VISUALIZADOR DE CARGAS DE TRABALHO PARA SEQÜÊNCIAS DE UMA DADA POPULAÇÃO .....                   | 111 |
| FIGURA 34 – RESULTADOS COM TAMANHO DE POPULAÇÃO 10 E NÚMERO DE GERAÇÕES 30.....                              | 113 |
| FIGURA 35 – RESULTADOS COM TAMANHO DE POPULAÇÃO 20 E NÚMERO DE GERAÇÕES 50.....                              | 114 |
| FIGURA 36 – RESULTADOS COM TAMANHO DE POPULAÇÃO 30 E NÚMERO DE GERAÇÕES 40.....                              | 114 |
| FIGURA 37 – RESULTADOS COM TAMANHO DE POPULAÇÃO 30 E NÚMERO DE GERAÇÕES 60.....                              | 115 |
| FIGURA 38 – RESULTADOS COM TAMANHO DE POPULAÇÃO 50 E NÚMERO DE GERAÇÕES 30.....                              | 115 |
| FIGURA 39 – PROTÓTIPO DO MODELO GERAL DO ESTALEIRO.....  | 117 |
| FIGURA 40 – VISUALIZAÇÃO DA EMBARCAÇÃO-TIPO .....  | 118 |
| FIGURA 41 – SEÇÃO MESTRA E DIVISÃO DE BLOCOS.....  | 119 |
| FIGURA 42 – CLASSES DE PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS.....  | 121 |
| FIGURA 43 – DIAGRAMA DE ÁREAS, LINHAS DE PRODUÇÃO E OFICINAS DE TRABALHO.....                                | 133 |
| FIGURA 44 – MODELAGEM 3D DA SEÇÃO MESTRA DA EMBARCAÇÃO-TIPO .....  | 152 |
| FIGURA 45 – PERSPECTIVA (BOMBORDO) DO CORPO PARALELO DA EMBARCAÇÃO-TIPO.....                                 | 152 |
| FIGURA 46 – PERSPECTIVA (DE BORESTE) DO CORPO PARALELO DA EMBARCAÇÃO-TIPO .....                              | 153 |
| FIGURA 47 – PERSPECTIVA FRONTAL DO CORPO PARALELO DA EMBARCAÇÃO-TIPO .....                                   | 153 |
| FIGURA 48 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA O CICLO DE MONTAGEM DO BLOCO 1 E O GP ASSOCIADO .....                | 155 |
| FIGURA 49 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA O CICLO DE MONTAGEM DO BLOCO 2 E O GP ASSOCIADO .....                | 156 |
| FIGURA 50 – <i>MANUFACTURING CONCEPT</i> PARA A PRODUÇÃO DOS BLOCOS 1 E 2 .....                              | 156 |
| FIGURA 51 – EXEMPLO DE CARREGAMENTO DO MODELO QUEST A PARTIR DA ÁRVORE DE RECURSOS DO DPE.....               | 158 |
| FIGURA 52 – EXEMPLO DE PROCESSO NO MODELO INTEGRADO DE ÁREAS DO ESTALEIRO .....                              | 159 |
| FIGURA 53 – EXEMPLO DE CONEXÕES NO MODELO INTEGRADO DE ÁREAS DO ESTALEIRO .....                              | 159 |
| FIGURA 54 – EXEMPLO DE PRODUTOS/COMPONENTES NO MODELO INTEGRADO DE ÁREAS DO ESTALEIRO .....                  | 160 |
| FIGURA 55 – EXEMPLO DE ELEMENTOS NO MODELO INTEGRADO DE ÁREAS DO ESTALEIRO .....                             | 160 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 56 – MODELO QUEST DE ÁREAS DO ESTALEIRO INTEGRADAS.....   | 161 |
| FIGURA 57 – ESTRATÉGIA DE EDIFICAÇÃO POR ANÉIS .....   | 165 |
| FIGURA 58 – ESTRATÉGIA DE EDIFICAÇÃO POR CAMADAS .....   | 165 |
| FIGURA 59 – ESTRATÉGIA DE EDIFICAÇÃO PIRAMIDAL.....  | 165 |
| FIGURA 60 – BLOCOS MODELADOS .....   | 166 |
| FIGURA 61 – AGRUPAMENTOS 1 (CARACTERÍSTICAS FÍSICAS).....  | 167 |
| FIGURA 62 – AGRUPAMENTOS 2 (COMPRIMENTO DE SOLDA NA POSIÇÃO HORIZONTAL).....                                 | 167 |
| FIGURA 63 – AGRUPAMENTOS 3 (PESO DOS BLOCOS) .....   | 167 |
| FIGURA 64 – AGRUPAMENTO 4 (NÚMERO DE PAINÉIS E SUBMONTAGENS) .....   | 167 |
| FIGURA 65 – MODELO DA OFICINA DE MONTAGEM DE BLOCOS .....  | 168 |
| FIGURA 66 – PROCEDIMENTO GERAL DE ANÁLISE .....  | 169 |
| FIGURA 67 – AGRUPAMENTOS (ANEL) – TAXAS DE UTILIZAÇÃO X ESTAÇÕES DE TRABALHO (OMT).....                      | 171 |
| FIGURA 68 – AGRUPAMENTOS (CAMADA) – TAXAS DE UTILIZAÇÃO X ESTAÇÕES DE TRABALHO (OMT) .                       | 172 |
| FIGURA 69 – AGRUPAMENTOS (PIRÂMIDE) – TAXAS DE UTILIZAÇÃO X ESTAÇÕES DE TRABALHO (OMT)                       | 172 |
| FIGURA 70 – ESTRATÉGIA ANEL - Nº. DE BLOCOS PRODUZIDOS VS. DIMENSIONAMENTOS (1 E 2).....                     | 173 |
| FIGURA 71 – ESTRATÉGIA CAMADA - Nº. DE BLOCOS PRODUZIDOS VS. DIMENSIONAMENTOS (1 E 2).....                   | 174 |
| FIGURA 72 – ESTRATÉGIA PIRÂMIDE - Nº. DE BLOCOS PRODUZIDOS VS. DIMENSIONAMENTOS (1 E 2).....                 | 174 |
| FIGURA 73 – TEMPO DE EDIFICAÇÃO VS. NÚMERO DE TRABALHADORES .....  | 175 |
| FIGURA 74 – TEMPO DE EDIFICAÇÃO VS. NÚMERO DE TRABALHADORES (DETALHE).....                                   | 176 |
| FIGURA 75 – TEMPO TOTAL INTEGRADO COM QUATRO ESTAÇÕES DE MONTAGEM DE BLOCOS.....                             | 177 |
| FIGURA 76– TEMPO TOTAL INTEGRADO COM SETE ESTAÇÕES DE MONTAGEM DE BLOCOS .....                               | 177 |
| FIGURA 77 – ESTRUTURA BÁSICA DA WBS (PACOTES DE TRABALHO, CONTAS DE CONTROLE E NÍVEIS<br>HIERÁRQUICOS) ..... | 183 |
| FIGURA 78 – ESTRUTURAS DE DECOMPOSIÇÃO DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO NAVAL ORIENTADAS AO<br>PRODUTO .....        | 187 |
| FIGURA 79 – MODELO GENÉRICO ORIENTADO A OBJETOS DE UM ESTALEIRO .....  | 190 |
| FIGURA 80 – MODELO BÁSICO DE INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE CUSTO E CRONOGRAMA... 192                  | 192 |
| FIGURA 81 – DELIMITAÇÃO DAS FUNÇÕES DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES NO CONTEXTO DO SISTEMA DE<br>CONTROLE .....    | 193 |
| FIGURA 82 – GERENCIAMENTO TRADICIONAL DE CUSTOS E EVM .....  | 196 |
| FIGURA 83 – ELEMENTOS DO EVM.....  | 198 |
| FIGURA 84 – AQUISIÇÃO DE DADOS PARA A CÁLCULO DO IDC R E IDC T.....  | 204 |
| FIGURA 85 – PROCESSO DE ESTIMAÇÃO DO CONTEÚDO DE TRABALHO.....   | 207 |
| FIGURA 86 – SISTEMA DE ORÇAMENTAÇÃO DE MÃO-DE-OBRA.....  | 207 |
| FIGURA 87 – CONSUMO DE MÃO-DE-OBRA.....  | 208 |
| FIGURA 88 – PROGRESSO DA PRODUÇÃO.....   | 209 |
| FIGURA 89 – PRODUTIVIDADE.....   | 210 |
| FIGURA 90 – MATRIZ DE RISCOS DE DESEMPENHO DO PROJETO .....  | 213 |
| FIGURA 91 – CRONOGRAMA MESTRE DE PRODUÇÃO.....   | 219 |
| FIGURA 92 – CONSUMO MENSAL DE MÃO-DE-OBRA (OFP, OMT, APED, AED).....   | 222 |
| FIGURA 93 – ICMDO (DEST, OFP, OMT, APED, AED).....   | 222 |
| FIGURA 94 – ICMDO E CONSUMO MENSAL DE MÃO-DE-OBRA (DEST) .....   | 222 |
| FIGURA 95 – DECOMPOSIÇÃO DO BLOCO 1 .....  | 241 |
| FIGURA 96 – DECOMPOSIÇÃO DOS BLOCOS 2 E 3 .....  | 241 |
| FIGURA 97 – DECOMPOSIÇÃO DOS BLOCOS 4 E 5 .....  | 242 |
| FIGURA 98 – DECOMPOSIÇÃO DOS BLOCOS 6 E 7 .....  | 242 |
| FIGURA 99 – DECOMPOSIÇÃO DOS BLOCOS 8 E 9 .....  | 243 |
| FIGURA 100 – DECOMPOSIÇÃO DOS BLOCOS 10 E 11 .....   | 243 |
| FIGURA 101 – DECOMPOSIÇÃO DOS BLOCOS 12 E 13 .....   | 244 |
| FIGURA 102 – DECOMPOSIÇÃO DO BLOCO 18 .....  | 244 |
| FIGURA 103 – DECOMPOSIÇÃO DO BLOCO 19 .....  | 245 |
| FIGURA 104 – DECOMPOSIÇÃO DO BLOCO 20 .....  | 245 |
| FIGURA 105 – DECOMPOSIÇÃO DO BLOCO 21 .....  | 246 |
| FIGURA 106 – DECOMPOSIÇÃO DO BLOCO 22 .....  | 246 |
| FIGURA 107 – BLOCOS DECOMPOSTOS EM PAINÉIS E SUBMONTAGENS.....   | 247 |
| FIGURA 108 – PAINÉIS DECOMPOSTOS EM PARTES PARALELAS E PERFIS .....  | 248 |
| FIGURA 109 – SUBMONTAGENS DECOMPOSTAS EM PARTES PARALELAS, PARTES INTERNAS E PARTES NÃO<br>PARALELAS .....   | 249 |
| FIGURA 110 – BLOCO 1 NO DPE .....  | 250 |
| FIGURA 111 – BLOCO 2 NO DPE .....  | 250 |

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 112 – BLOCO 4 NO DPE .....   | 251 |
| FIGURA 113 – BLOCO 6 NO DPE .....   | 251 |
| FIGURA 114 – BLOCO 8 NO DPE .....   | 252 |
| FIGURA 115 – BLOCO 10 NO DPE .....  | 252 |
| FIGURA 116 – BLOCO 12 NO DPE .....  | 253 |
| FIGURA 117 – BLOCO 14 NO DPE .....  | 253 |
| FIGURA 118 – BLOCO 16 NO DPE .....  | 254 |
| FIGURA 119 – BLOCO 18 NO DPE .....  | 254 |
| FIGURA 120 – BLOCO 19 NO DPE .....  | 255 |
| FIGURA 121 – BLOCO 20 NO DPE .....  | 255 |
| FIGURA 122 – BLOCO 21 NO DPE .....  | 256 |
| FIGURA 123 – BLOCO 22 NO DPE .....  | 256 |
| FIGURA 124 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA A PRODUÇÃO DOS BLOCOS 1 E 2 .....  | 256 |
| FIGURA 125 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA PAINÉIS E SUBMONTAGENS DO BLOCO 1 .....  | 257 |
| FIGURA 126 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA PAINÉIS DO TIPO 1 E GP ASSOCIADO.....  | 257 |
| FIGURA 127 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA PAINÉIS DO TIPO 2 E GP ASSOCIADO.....  | 258 |
| FIGURA 128 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA SUBMONTAGENS DO TIPO 1 E GP ASSOCIADO.....   | 258 |
| FIGURA 129 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA SUBMONTAGENS DO TIPO 2 E GP ASSOCIADO.....   | 259 |
| FIGURA 130 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA PAINÉIS E SUBMONTAGENS DO BLOCO 2 .....  | 260 |
| FIGURA 131 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA PAINÉIS DO TIPO 3 E GP ASSOCIADO.....  | 260 |
| FIGURA 132 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA SUBMONTAGENS DO TIPO 3 E GP ASSOCIADO.....   | 261 |
| FIGURA 133 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA BLOCOS DO TIPO 1 E GP ASSOCIADO .....  | 261 |
| FIGURA 134 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA A MONTAGEM INICIAL DE ESTRUTURAS “EGG BOX” DE<br>BLOCOS DO TIPO 1 E GP ASSOCIADO ..... | 262 |
| FIGURA 135 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA A MONTAGEM FINAL DE ESTRUTURAS “EGG BOX” DE<br>BLOCOS DO TIPO 1 E GP ASSOCIADO .....   | 263 |
| FIGURA 136 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA A MONTAGEM INICIAL DE BLOCOS DO TIPO 1 E GP<br>ASSOCIADO .....                         | 264 |
| FIGURA 137 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA A MONTAGEM INVERTIDA DE BLOCOS DO TIPO 1 E GP<br>ASSOCIADO .....                       | 265 |
| FIGURA 138 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA BLOCOS DO TIPO 2 E GP ASSOCIADO .....  | 266 |
| FIGURA 139 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA A MONTAGEM INICIAL DE BLOCOS DO TIPO 2 E GP<br>ASSOCIADO .....                         | 266 |
| FIGURA 140 – ESTRUTURA DE PROCESSOS PARA A MONTAGEM INVERTIDA DE BLOCOS DO TIPO 2 E GP<br>ASSOCIADO .....                       | 267 |

## 1. INTRODUÇÃO

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho está associada à resposta para a seguinte pergunta: Como buscar aumento da competitividade da Indústria Brasileira de Construção Naval, criando condições de disputar encomendas no mercado internacional?

Ao longo deste texto será possível encontrar duas respostas para a pergunta acima.

A primeira indicará que é necessário um esforço concentrado para reduzir diferenças de nível tecnológico acumuladas no período de crise. Durante o final dos anos 80 e início dos anos 90 a Indústria Brasileira de Construção Naval mergulhou em uma profunda crise que levou os estaleiros nacionais a níveis de ociosidade elevados. A Indústria Brasileira de Construção Naval teve, nesse período, seus níveis de atividades drasticamente reduzidos, dificultando a manutenção dos padrões tecnológicos estabelecidos pelos estaleiros líderes mundiais. Padrões estes que avançaram significativamente nos anos de ociosidade nos estaleiros brasileiros.

A segunda resposta mencionada se trata de um desdobramento da primeira e indica que o nível tecnológico dos processos industriais avançou em ritmo mais lento que o desenvolvimento de ferramentas gerenciais. Ou seja, para recuperar a diferença em relação a estaleiros líderes é mais eficiente investir em ferramentas gerenciais do que em processos industriais.

Este trabalho tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento de ferramentas gerenciais que permitam que a Indústria Brasileira de Construção Naval avance na busca de competitividade internacional.

Para melhor entender a contribuição deste trabalho, é necessário explicar que a indústria de construção naval tem particularidades que definem a forma como ela é organizada. Tais particularidades têm impactos importantes nos processos de um estaleiro, especialmente:

- na organização dos fluxos de produção;
- na estrutura organizacional;
- no nível de desenvolvimento tecnológico;
- nas atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D+I); e
- na produtividade de processos,

Esses fatores determinam, em maior ou menor grau, quais são os melhores conceitos, técnicas e ferramentas a serem aplicados com o objetivo de aumentar os níveis de eficiência e de produtividade global.

As ferramentas normalmente utilizadas para a gestão de operações em indústrias maduras estão consolidadas na literatura, são utilizadas com relativa facilidade e estão incorporadas no dia-a-dia das operações. Tais técnicas tradicionais, entretanto, foram desenvolvidas para o planejamento, programação e controle, bem como a otimização das operações, em indústrias com características que se aproximam ou da indústria de construção, ou da indústria de manufatura.

Com o objetivo de ilustrar as diferenças entre a construção naval e outras indústrias, serão brevemente descritas as indústrias de construção e de manufatura.

A indústria de construção pode ser caracterizada como: orientada a projetos únicos com estruturas que são mobilizadas e desmobilizadas com o propósito de executar um único projeto.

Já a indústria de manufatura, caracterizada pela produção seriada de produtos padronizados, dispõe de uma infra-estrutura fixa, com grandes investimentos de capital, que busca retornos crescentes através do aumento contínuo da produtividade de seus processos industriais.

A indústria de construção naval está situada entre esses dois modelos típicos, executando projetos de grande porte e alta complexidade em instalações industriais fixas, e com grande volume de recursos alocados na implantação da infra-estrutura produtiva.

A literatura referente ao desenvolvimento de ferramentas e aplicações para as indústrias de construção e manufatura é abundante, tanto aquela mais básica que consolida conceitos técnicos e ferramentas de aplicação mais simples, como aquela voltada para a pesquisa e desenvolvimento com caráter mais científico e, portanto, de aplicação mais complexa.

Os principais conceitos, técnicas e ferramentas tradicionais estão descritos, principalmente, na literatura de Gestão de Operações e da Produção. A otimização de processos faz parte desse conjunto metodológico e ferramentas tradicionais são utilizadas, como por exemplo, heurísticas, programação linear e programação inteira.

A otimização de processos através de técnicas tradicionais implica na simplificação da formulação dos problemas. Na indústria de manufatura, considerando produtos padronizados e seriados, as ferramentas tradicionais trazem resultados bastante satisfatórios e são utilizadas em larga escala.

No entanto, a aplicação das ferramentas tradicionais de otimização na indústria de construção naval, devido a suas peculiaridades, muitas vezes não conduz a resultados satisfatórios, gerando a necessidade de desenvolvimento de soluções específicas. Tais soluções devem considerar as características de uma indústria com produtos complexos, de grande porte, tempos de produção elevados e produção de poucas unidades por ano (nos maiores estaleiros do mundo a produção pode chegar a atingir 50-60 navios/ano, sendo, mais comum encontrar produções anuais na faixa de 10-15 navios/ano).

A busca por ferramentas que dêem suporte às particularidades da indústria de construção naval e que, ao mesmo tempo, representem avanços significativos nas funções de planejamento, programação e controle da produção, envolve a necessidade de análise de problemas que demandam o tratamento de grandes massas de dados que apresentam comportamento estocástico de difícil previsão. Tais características sugerem que o uso de ferramentas que incorporam técnicas de Inteligência Artificial pode produzir resultados mais eficientes que as técnicas mais tradicionais de Pesquisa Operacional.

Outra ferramenta relativamente recente que se apresenta com grande utilidade para a indústria de construção naval é a simulação de eventos discretos. A simulação tem ganhado importância na medida em que permite a consideração da natureza complexa, dinâmica e estocástica dos processos de construção naval, no planejamento e programação das atividades. Essa tecnologia permite a avaliação geral de cenários de produção e a identificação de medidas de desempenho globais.

A simulação é uma ferramenta flexível, de baixo custo, para avaliação de diferentes cenários, identificação de gargalos produtivos e geração de alternativas para melhorias da situação atual. Tem o objetivo de avaliar os níveis de produção, de utilização de mão-de-obra e de ocupação de um estaleiro, operando em cenários específicos. É utilizada para realizar ajustes finos em processos produtivos para melhorias em processos, redução de tempos de ciclo e melhor utilização da mão-de-obra. Também é utilizada para identificar gargalos e avaliar o impacto de mudanças no fluxo de materiais e no aumento da produtividade de processos específicos.

Além das técnicas de Inteligência Artificial e de Simulação de Eventos Discretos, e ainda dentro do contexto de identificação de conceitos, técnicas e ferramentas para aumentar a eficiência e a produtividade na construção naval, também se destaca a Tecnologia de Grupo (*Group Technology – GT*).

Nos processos de produção organizados de acordo com os conceitos de Tecnologia de Grupo, produtos intermediários com atributos físicos similares são agrupados em famílias que requerem métodos similares de fabricação e montagem, gerando ganhos de eficiência na produção através do processamento conjunto desses elementos.

A implementação da Tecnologia de Grupo exige que sejam criados sistemas de codificação abrangentes e que a padronização de produtos intermediários seja intensificada. Dessa forma, através do agrupamento de peças similares, é possível organizar células de manufatura para fabricação de famílias de peças com infraestrutura, ferramentas e trabalhadores especializados na produção de uma determinada família de produtos.

A Tecnologia de Grupo explora a similaridade entre produtos intermediários com volumes consideráveis de produção, com o objetivo principal de tornar o trabalho repetitivo, permitindo ganhos de produtividade e de utilização de recursos, além de aumentar as chances de emprego de processos automáticos.

A união dos conceitos e técnicas descritas acima pode se configurar como uma contribuição relevante para o avanço das funções de planejamento, programação e controle da construção naval, com capacidade para provocar ganhos significativos de eficiência nas operações industriais e originar aumentos nos níveis de produtividade praticados, principalmente ao considerar-se o ambiente da construção naval no Brasil.

O principal objetivo deste trabalho é a abordagem de um conjunto de conceitos, técnicas e ferramentas com sentido inovador sob uma perspectiva científica mais ampla e, além disso, com aplicação inovadora na indústria de construção naval.

Neste trabalho foi promovida a união do conceito de Tecnologia de Grupo e das técnicas de Inteligência Artificial e Simulação de Eventos Discretos, configurando uma contribuição relevante para o avanço das funções de planejamento, programação e controle da construção naval.

No entanto, para que os benefícios da utilização do conjunto de conceitos e ferramentas citados acima sejam efetivamente auferidos, é necessário que o controle sobre os indicadores de desempenho da organização seja efetivo.

A necessidade de comparação entre o que foi planejado e o que está sendo executado é fundamental para a avaliação do desempenho de qualquer organização industrial. O controle envolve a avaliação de aspectos referentes a custo, prazo e qualidade. As ferramentas de controle são desenvolvidas para permitir que problemas

relacionados a esses aspectos sejam detectados e que os ajustes necessários no planejamento e na programação das atividades possam ser analisados.

Novamente, no caso específico da construção naval, sistemas desenvolvidos com histórico de sucesso em outras indústrias não necessariamente poderão ser aplicados com sucesso. Por exemplo, sistemas ERP que contém funções de planejamento, programação e controle com aplicações bem sucedidas em outras indústrias, normalmente não funcionam bem quando utilizados para desempenhar essas funções em estaleiros. É natural, portanto, encontrar soluções desenvolvidas especificamente para a construção naval.

As causas para que isso aconteça serão identificadas e detalhadas ao longo deste trabalho e um sistema com funções adaptadas para a construção naval será proposto, contendo uma proposta para a aquisição de dados e geração de indicadores e com capacidade para lidar com as particularidades da construção naval, principalmente no que se refere à heterogeneidade de seus produtos e processos.

Esta Tese ainda um segundo objetivo relacionado à apresentação de um sistema desenvolvido com o objetivo de aferir o desempenho das atividades nas diversas áreas dentro de um estaleiro. Dessa forma é possível identificar o impacto de ações de planejamento e programação e também alimentar as funções de reprogramação de atividades ou de planejamento de novas obras.

Para atingir os objetivos definidos para este trabalho e mencionados acima, foram desenvolvidos os Capítulos 2, 3, 4 e 5, que serão brevemente descritos a seguir.

O Capítulo 2 se inicia com a apresentação de uma visão geral sobre a evolução tecnológica na construção naval e o papel do desenvolvimento de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento, ressaltando o impacto de avanços tecnológicos nos índices de produtividade. Em seguida é apresentado um panorama da indústria brasileira de construção naval com relação às tecnologias empregadas e a forma como é organizada a produção e a força de trabalho.

O Capítulo 3 é dedicado a levantar, apresentar e comentar os principais conceitos, métodos e ferramentas associados à gestão da produção na construção naval. Esse levantamento é utilizado para definir as ferramentas que serão exploradas com maior profundidade na sequência do trabalho.

Com base na pesquisa baseada em extensa bibliografia e apresentada no Capítulo 3, foram definidos conceitos, ferramentas e técnicas compatíveis com o contexto descrito acima.

O Capítulo 4 apresenta uma abordagem integrada de ferramentas de Inteligência Artificial e de Simulação e do conceito de Tecnologia de Grupo. Modelos de Redes Neurais foram desenvolvidos para resolver o Problema da Formação de Células de Trabalho, ou “Cell Formation Problem (CFP)” aplicado à construção naval. A abordagem com Redes Neurais se mostrou válida para aplicação em grandes sistemas, onde a diversidade de padrões pode inviabilizar a estruturação de modelos manipuláveis.

Também foi desenvolvido um modelo de otimização baseado em Algoritmos Genéticos para sequenciar a edificação de blocos no berço de construção. A edificação é a atividade mais crítica em um estaleiro, pois utiliza o principal recurso desse tipo de organização industrial: o berço de construção. A otimização dessa

atividade pode levar a ganhos significativos de produtividade, desde que os processos nessa área estejam integrados com os processos que antecedem essa atividade crítica.

Finalmente, foi desenvolvido um modelo de simulação com o objetivo de testar a abordagem da formação de famílias de produtos e do seqüenciamento da edificação.

O Capítulo 5 apresenta um sistema de controle da produção especialmente desenvolvido para acompanhar atividades de construção naval e com o objetivo de aferir o desempenho das atividades nas diversas áreas dentro de um estaleiro. Dessa forma é possível identificar o impacto de ações de planejamento e programação e também alimentar as funções de reprogramação de atividades ou de planejamento de novas obras.

O Capítulo 6 apresenta as principais conclusões e recomendações relacionadas com o trabalho apresentado e o Capítulo 7 a bibliografia utilizada para o desenvolvimento desta Tese.

## **2. TECNOLOGIA E PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO NAVAL**

### **2.1. Introdução**

Este Capítulo tem como principal objetivo relacionar as características da indústria de construção naval e os padrões tecnológicos encontrados nos estaleiros mundiais e também brasileiros.

A influência de avanços tecnológicos, principalmente daqueles ligados à gestão da produção, serão avaliados com relação aos respectivos impactos nos níveis de produtividade.

O nível tecnológico da indústria de construção naval no Brasil também será estudado, com foco nas tecnologias utilizadas e na organização da produção.

A forma como a produção é organizada nas indústrias, em função de sua importância estratégica, é objeto de preocupação dentro de qualquer contexto que se volte para a eficiência na alocação de recursos e para o aumento de produtividade e, conseqüentemente, de competitividade.

Antes de iniciar o desenvolvimento do conteúdo deste Capítulo, é interessante esclarecer que a organização de um sistema de produção é orientada para o atendimento de necessidades específicas de fabricação de um determinado produto. As características da demanda por esse produto e a complexidade associada à sua fabricação determinam a forma mais adequada para produzi-lo (COPPE, 2007).

Todas as características da cadeia produtiva relacionadas ao produto, desde a pesquisa e o desenvolvimento até a fabricação e a venda para o consumidor, são partes integrantes do sistema de produção. Dessa forma, os sistemas de produção podem ser basicamente organizados em função dos recursos disponíveis; do tipo de produto (personalizado ou padrão); de seus processos de produção (focalizado no processo ou no produto) e da cultura organizacional da empresa.

O posicionamento do sistema de produção diante das alternativas de produtos, processos e estruturas de organização existentes é o ponto de partida para o melhor entendimento e análise crítica dos modelos de organização da produção encontrados nas indústrias.

De maneira geral, neste Capítulo serão discutidas as principais características que influenciam as abordagens produtivas encontradas nas indústrias em geral, posicionando a indústria naval em comparação com a produção de outros tipos de produtos e seus sistemas produtivos.

### **2.2. Características da demanda e do produto**

Uma grande variedade de fatores afeta a forma como os processos de produção são determinados. Entre os principais fatores, destacam-se as características da demanda e do produto. Tais características definem o tipo básico de organização dos processos de produção a ser adotado.

Nesta seção será discutida, inicialmente, a maneira como as características da demanda e produto influenciam a organização da produção, com destaque para as características específicas da indústria de construção naval.

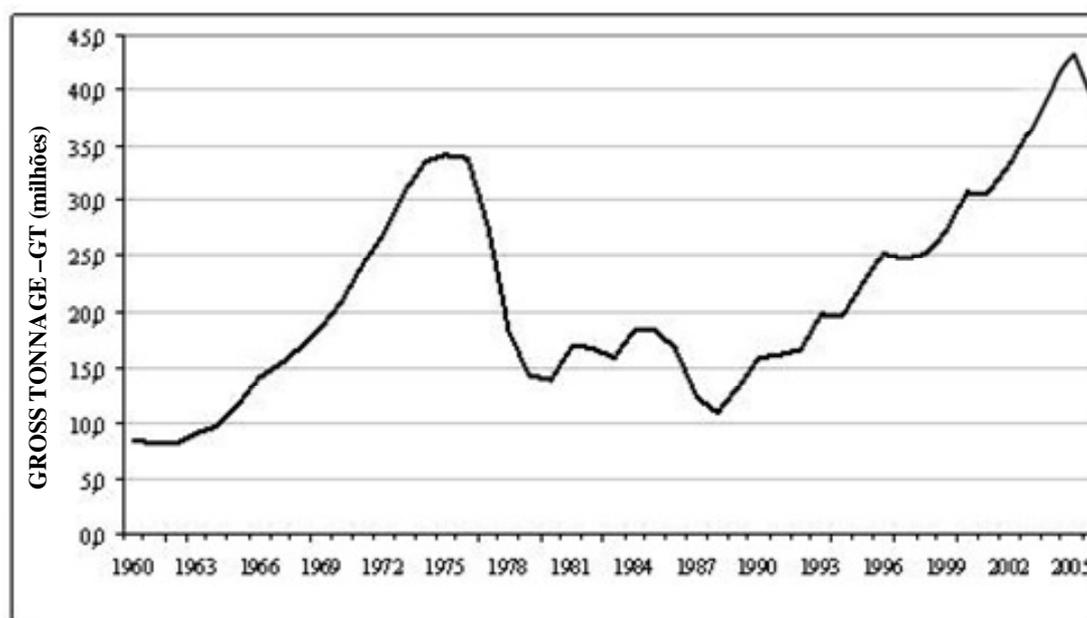
Posteriormente, serão abordados os modelos de organização da produção típicos e suas relações com o modelo de organização da construção naval, enfatizando

o papel da Tecnologia de Grupo como elemento de relevância dentro do contexto da construção naval moderna.

As características da demanda afetam a organização da produção na medida em que os processos de produção devem ter capacidade adequada para atender a demanda requerida em um determinado período. As principais características devem, portanto, ser conhecidas quando se pensa em projetar os processos de produção que serão responsáveis pelo atendimento da demanda mapeada. Desse modo, deve-se conhecer o perfil dos produtos demandados e as quantidades necessárias para atender ao mercado durante um determinado período.

Com o conhecimento dos elementos colocados acima, projeta-se a organização dos recursos disponíveis com o objetivo de desenvolver processos que atendam às necessidades mapeadas. Com base no estudo do comportamento futuro da demanda, deve-se expandir ou restringir a capacidade de produção visando ao equilíbrio entre demanda e capacidade. A escolha dos processos de produção, considerando que alguns processos são mais flexíveis que outros em relação à expansão e restrição da capacidade de produção, é, portanto, influenciada pela variação da demanda. Segmentos de mercado com demandas consistentes e estáveis tendem a desenvolver processos mais eficientes, no entanto pouco flexíveis. Por outro lado, segmentos sujeitos a variações significativas de demanda optam por processos mais flexíveis.

No caso da indústria de construção naval, a demanda apresenta um comportamento marcado por grandes ciclos, seja de expansão ou de retração. Atualmente, essa indústria está passando por um ciclo de grande desenvolvimento, encerrando um período de crise iniciado em meados da década de 1970 e que se arrastou pela década de 1980, conforme se pode observar na Figura 1.



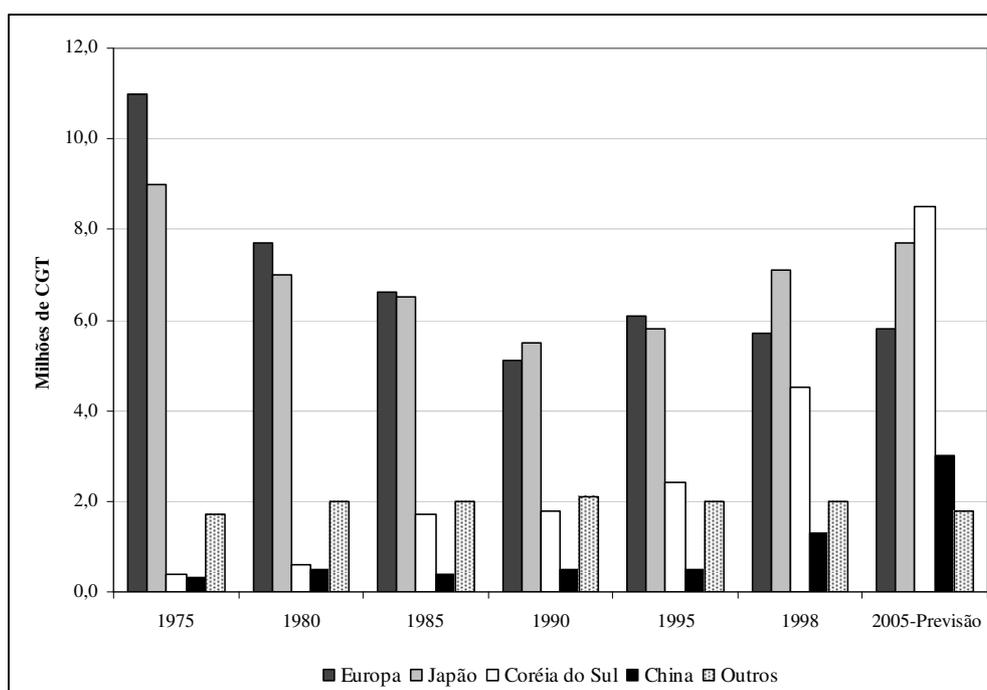
Fonte: Lloyd's Register e Clarkson Research Studies

Figura 1 – Evolução da Produção Mundial de Navios Mercantes – Valores em milhões de GT (Gross Tonnage)

Ao longo da década de 1960 e dos primeiros anos da década de 1970, verificou-se um rápido e contínuo crescimento da produção mundial de navios. Esse período extremamente favorável à construção naval mundial encerrou-se com as duas

crises do petróleo (em 1973 e 1979) e a recessão da economia mundial do início dos anos 1980. Como conseqüência, houve uma acentuada redução das encomendas de navios mercantes e o mercado de construção naval mergulhou em uma profunda crise. Do patamar de aproximadamente 34 milhões de GT anuais produzidos entre 1974 e 1976, a produção mundial de navios caiu drasticamente nos anos seguintes até atingir o seu menor nível em 1988 com 10,9 milhões.

Durante a crise, muitos estaleiros em todo mundo foram fechados. Os estaleiros europeus e japoneses passaram por um intenso processo de adequação para redução da capacidade de produção (Figura 2). A capacidade de produção dos estaleiros japoneses e europeus passou de 20,0 milhões de CGT<sup>1</sup> (Compensated Gross Tonnage) para apenas 10,6 milhões de cgt entre 1975 e 1990, representando uma redução de 47%. A fase da expansão, marcada pelo crescimento e consolidação da Coreia do Sul, iniciou-se ao final da década de 80 e se estende até os dias atuais. Nesse período os estaleiros japoneses e europeus ampliaram a capacidade de produção em cerca de 28%, passando para uma capacidade de 13,6 milhões de cgt em 2005. Já os estaleiros coreanos, que tinham uma capacidade de produção de 1,8 milhões de cgt no final da década de 80, passam a ter capacidade de 8,6 milhões de cgt em 2005, ou seja, aproximadamente 380% de crescimento.



Fonte: AWES - Association of European Shipbuilders and Shiprepairers

Figura 2 – Evolução da Capacidade de Construção Naval

<sup>1</sup> *Compensated Gross Tonnage* – CGT representa a tonelage de arqueação do navio, ou *Gross Tonnage* (GT), corrigida para levar em conta a dificuldade de construção. O fator de correção depende do tipo e do porte do navio. A complexidade é referida por comparação a um navio padrão, que é um cargueiro de 15.000 GT. O conceito de CGT foi desenvolvido em função da necessidade de se ter uma medida que levasse em conta as diferenças entre tipos de navio, de complexidade do projeto e construção, e de porte. Os coeficientes de correção são publicados e aceitos como referência pela OCDE.

Analisando as informações acima, percebe-se que a demanda de construção de navios oceânicos se caracteriza pelo comportamento cíclico, alternando períodos de grande quantidade de encomendas e expansão da produção, com períodos de poucas encomendas e retração da capacidade produtiva agregada. Esse tipo de comportamento da demanda é comum em outros tipos de indústria de bens de capital, como é o caso da indústria aeronáutica.

A organização dos processos de produção deve, portanto, permitir acomodações significativas da capacidade produtiva, sejam expansões ou retrações, para adequação às necessidades produtivas impostas pelo mercado no médio prazo.

Outros fatores que influem de forma significativa na definição dos processos de produção são relacionados a características do produto, como a complexidade de fabricação/montagem, a mobilidade, os tipos de materiais empregados e a possibilidade de padronização do produto final ou de produtos intermediários.

A construção de navios pode ser considerada uma atividade com alto grau de complexidade. Mesmo os navios mais simples são produtos com elevado grau de complexidade. Além da complexidade relacionada à aquisição e instalação dos sistemas mecânicos e eletro-eletrônicos que compõem um navio, também se destaca a complexidade de planejamento e controle da fabricação e montagem da estrutura do casco do navio. Por serem estruturas grandes e pesadas, compostas de inúmeros componentes diferentes, é necessária que sua fabricação e montagem sejam divididas para que as partes (blocos) possam ser deslocadas até o local de montagem final. Essa divisão permite que os trabalhos de montagem estrutural e de instalação de equipamentos nos blocos possam ser realizados paralelamente, o que, se por um lado representa aumento de produtividade, por outro representa aumento de dificuldade de gerenciamento de operações.

Adicionalmente, considere-se que normalmente um estaleiro processa mais de um navio simultaneamente (*tandem construction*) – em alguns casos vários navios em construção simultânea, que podem inclusive ser de tipos diferentes.

O fato de um navio ser uma estrutura móvel permite que a construção do casco e a instalação de equipamentos pesados e complexos (como é o caso de um motor principal) sejam realizadas em instalações com a adequada infra-estrutura para o desenvolvimento de tais atividades, independente de onde o navio operará depois de concluído e entregue.

Portanto, a mobilidade do navio, ao contrário do que se observa na indústria de construção civil e industrial, por exemplo, permite o desenvolvimento de instalações permanentes e dedicadas, com oficinas de grande porte, ferramentas e equipamentos especializados, e sistemas de movimentação de carga de grande porte, permitindo, assim, a modulação em grande escala e a facilitação do fluxo eficiente de materiais.

A capacidade de produzir módulos com infra-estrutura dedicada e de grande escala resulta em vários estágios interdependentes de montagem e em uma estrutura de produtos com grande capacidade de padronização e agrupamento em famílias de produtos. A construção de navios pode ser organizada de forma a ter uma grande quantidade de produtos padronizados ou similares, tornando o trabalho mais homogêneo. No entanto, a construção naval também não possui as características da produção em série, situando-se na faixa entre a construção de projetos únicos e específicos e a produção em série de bens de consumo.

Atualmente, entre os estaleiros de classe mundial, existem alguns altamente especializados em determinado tipo de navio, enquanto outros produzem vários tipos diferentes. É comum observar-se, em alguns dos mais competitivos estaleiros do mundo, sendo construídos em paralelo petroleiros, navios de produtos, graneleiros, porta-contêineres, LPG, LNG, etc.

### 2.3. Modelos de organização da produção

As características da demanda e do produto definem, de um modo geral, o modelo de organização dos processos de produção mais adequado para um determinado segmento industrial. No entanto, não há regras fixas que indiquem o modelo ótimo de organização da produção, e cada organização buscará o modelo que se mostre mais eficiente considerando um perfil de produção específico.

A decisão sobre o modelo de organização a ser adotado também deve considerar aspectos referentes ao custo de mão-de-obra e à produtividade exigida para inserção competitiva no mercado, que definem, entre outros fatores, a intensidade de capital empregado em infra-estrutura e equipamentos.

No caso específico da indústria de construção naval, as decisões devem ser tomadas de modo a posicionar a organização da produção em um estaleiro entre uma extensa faixa de modelos de organização.

Essa faixa se estende desde a execução de projetos *one-of-a-kind*, que são projetos únicos, com alto grau de complexidade e diferenciados, representados, por exemplo, pela construção de fábricas ou plataformas *offshore*; até a produção seriada de produtos padronizados, representada, por exemplo, pela produção de bens de consumo como geladeiras e aparelhos de televisão.

A produtividade e a intensidade de capital empregado em infra-estrutura e equipamentos tendem a aumentar na medida em que se aproxima do modelo de organização da produção em série, conforme se observa na Figura 3.

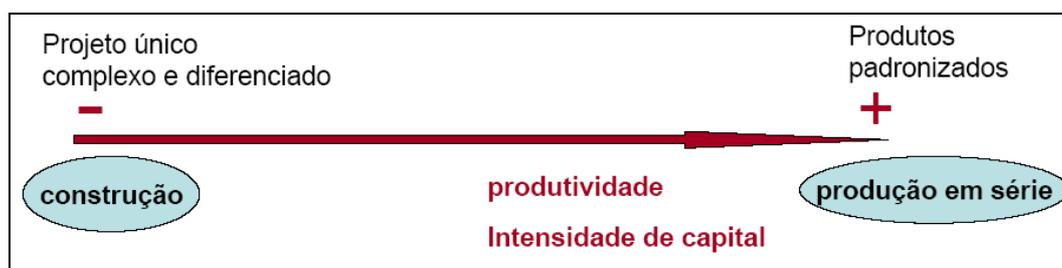


Figura 3 – Modelos de organização da produção

Portanto, a organização da produção pode ser voltada para projetos únicos, complexos e diferenciados, como é o caso da construção civil ou industrial; ou para produtos padronizados, como automóveis. Entre esses dois extremos há inúmeras formas de abordar a organização da produção.

Os tipos básicos de organização da produção para a manufatura são:

- orientados ao processo; e
- orientados ao produto.

Na produção organizada com orientação ao processo, normalmente as operações são agrupadas de acordo com o tipo de processo para a formação de um

departamento de produção, ou seja, as operações de produção com processos tecnológicos similares são agrupadas, com a organização dos sistemas de produção em oficinas (*job-shops*). Esse tipo de organização é caracterizado pela flexibilidade de produto, com capacidade de produção de pequenos lotes de uma grande variedade de produtos; e pelo menor investimento inicial, utilizando equipamentos de uso geral e equipamentos móveis de manuseio de materiais.

Já na produção com orientação ao produto, as operações de produção necessárias para a produção de um determinado produto são agrupadas, formando sistemas de produção em linhas de produção ou linhas de montagem. Caracteriza-se pela menor flexibilidade, pois as linhas são projetadas para produtos específicos, dificultando a sua adaptação para produtos com características diferentes, e pelo maior custo inicial, uma vez que demanda equipamentos fixos de movimentação e manuseio de materiais e equipamentos especializados para um determinado produto/serviço.

Os tipos básicos apresentados acima são métodos para a organização da produção e têm o objetivo de estruturar o entendimento das possibilidades de organização da produção. Na prática são encontrados, além de exemplos que representam fielmente as abordagens apresentadas, combinações dos modelos com orientação ao processo a ao produto que exploram as características de cada modelo de acordo com o perfil da demanda e do produto encontrados.

Ainda dentro do contexto de modelos de organização da produção, também se destaca a Tecnologia de Grupo (*Group Technology – GT*). Nos processos de produção organizados de acordo com os conceitos de Tecnologia de Grupo, produtos intermediários com atributos físicos similares são agrupados em famílias que requerem métodos similares de fabricação e montagem, gerando ganhos de eficiência na produção através do processamento conjunto desses elementos.

A implementação da Tecnologia de Grupo exige que sejam criados sistemas de codificação abrangentes e que a padronização de produtos intermediários seja intensificada. Dessa forma, através do agrupamento de peças similares, é possível organizar células de manufatura para fabricação de famílias de peças com infraestrutura, ferramentas e trabalhadores especializados na produção de uma determinada família de produtos, conforme ilustrado na Figura 4.

Portanto, a Tecnologia de Grupo explora a similaridade entre produtos intermediários com volumes consideráveis de produção, com o objetivo principal de tornar o trabalho repetitivo, permitindo ganhos de produtividade e de utilização de recursos, além de aumentar as chances de emprego de processos automáticos.

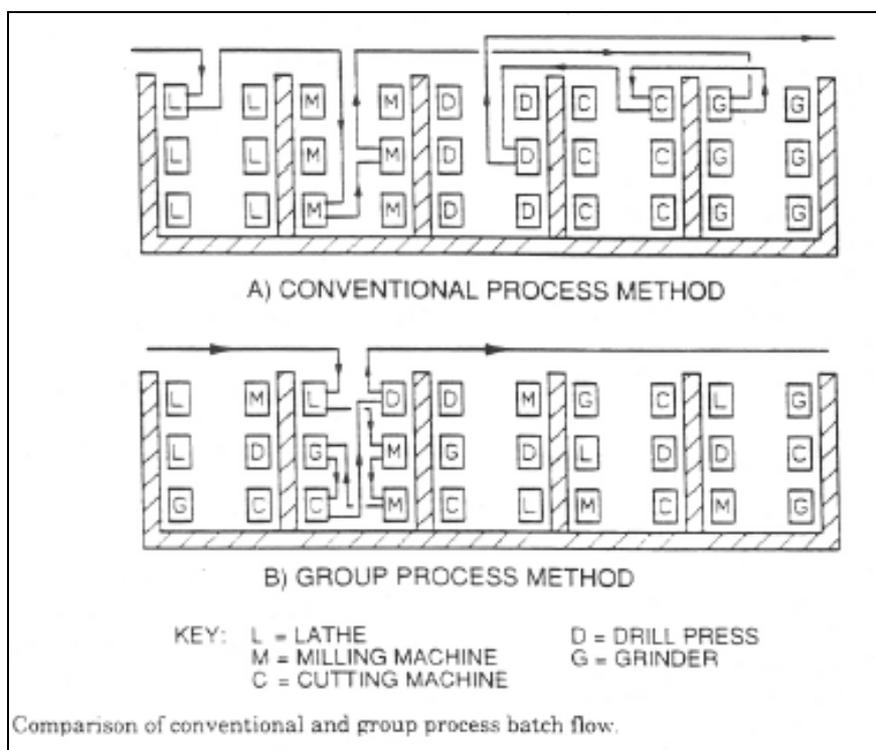
Na construção naval, o modelo de organização empregado no início da década de 60 se caracterizava pela fabricação e montagem de peça por peça na carreira ou no dique do estaleiro. Esse modelo, que se aproxima de um canteiro de obras, requer investimentos baixos, baixa capacidade de movimentação de carga e nível baixo de mecanização.

O acabamento (*outfitting*<sup>2</sup>) era realizado praticamente todo a bordo, após o lançamento. Em resumo, esse tipo de estaleiro era caracterizado pelos mais básicos

---

<sup>2</sup> Na construção naval costumam-se chamar de *outfitting* todos os elementos de uma embarcação que não fazem parte da estrutura do casco. Incluem-se nesse grupo acessórios de casco e de convés, máquinas e equipamentos, cabos e calhas elétricos, de instrumentação e Telecom, HVAC, tubulações e acessórios de tubulação.

equipamentos, sistemas e técnicas. O modelo de organização se aproximava do modelo orientado a processos. Tais métodos e processos são, hoje, totalmente obsoletos.



Fonte: STORCH *et. alii.* (1995)

Figura 4 – Exemplos de organização da produção com orientação ao processo e com Tecnologia de Grupo

A evolução desse modelo passou pelo reconhecimento das vantagens de se produzir grandes “pedaços” dos navios em áreas cobertas e transportá-los para a montagem em um dique seco ou carreira. A adoção desse modelo, chamado de método de construção em blocos, evidenciou as vantagens da padronização, repetição e automação, das economias de escala e da eficiência na produção, induzindo menores custos e reduções nos cronogramas.

Por outro lado, na medida em que os blocos montados cresciam em tamanho, mais investimentos foram necessários em guindastes e transportadores de grande porte, e na melhoria dos processos de fabricação e montagem.

O atual estado da arte da tecnologia de construção naval foi definido a partir do final da década de 90. Tem como características principais o desenvolvimento da automação e robótica em todas as áreas onde podem ser efetivamente empregadas, e pela integração dos sistemas operacionais, por exemplo, com o uso efetivo de CAD/CAM/CIM.

Caracteriza-se pela filosofia de produção modular no projeto e na produção, atingindo-se alto nível de padronização de componentes intermediários, mesmo para navios diferentes. Os estaleiros mais avançados tecnologicamente dispõem de estações de trabalho e linhas de processamento especializadas em tipos específicos de blocos ou módulos, com alto grau de automatização e robotização. Também caracterizam-se pela alta eficiência em controle computadorizado de material e pela garantia de qualidade plenamente efetiva. Têm sido introduzidos novos métodos de

corte, solda, conformação e pintura, e fortemente desenvolvidos os padrões de precisão e controle dimensional.

Analisando a transição nos modelos de organização da produção na construção naval, do modelo de construção “peça por peça”, focado em processos, até o método de construção em blocos com a adoção de conceitos de tecnologia de grupo, destaca-se um elemento com papel fundamental: a estrutura de decomposição do trabalho orientada a produtos, conhecida pela sigla PWBS (*Product Work Breakdown Structure*).

A PWBS forneceu as bases para a elaboração de um sistema de codificação e classificação que foi essencial para a implantação de um novo modelo de organização da produção na construção naval. A PWBS será abordada mais detalhadamente no Capítulo 5, que apresenta um sistema de planejamento e controle idealizado para a construção naval.

Outros elementos de destaque na organização moderna da produção em estaleiros são:

- o método de construção do casco em blocos (*Hull Block Construction Method – HBCM*);
- o método de outfitting por zonas (*Zone Outfitting Method – ZOFM*);
- o método de pintura por zonas (*Zone Painting Method – ZOFM*); e
- a fabricação de famílias de peças, como por exemplo, a fabricação de famílias de peças de tubulação (*Pipe Piece Family Manufacturing - PPFM*).

Esses elementos consolidaram o modelo de organização que permite o estabelecimento de linhas de produção de fabricação de peças, submontagens e montagens de blocos, com razoável grau de padronização. O *outfitting* e a pintura por zonas também consolidaram a integração estrutura-*outfitting*, e permitiram ganhos de eficiência consideráveis através da antecipação do *outfitting* ainda na fase de montagem do bloco, ou até mesmo na fase de submontagem.

A transição do modelo de organização da produção na construção naval, iniciada no início da década de 70, foi fortemente influenciada pelo surgimento de novos tipos de navios, pela produção de navios de porte cada vez maior, e por um movimento no sentido da produção de navios em série. Embora os estaleiros europeus e norte-americanos tenham iniciado nessa época processos de mudança visando a adaptar-se a modelos de organização voltados para a produção em massa, o período é marcado pela consolidação da liderança dos estaleiros japoneses, construídos ou reconstruídos dentro dos padrões do novo modelo de produção apresentado acima.

Os estaleiros dessa época apresentavam níveis superiores de produtividade, porém, o novo modelo trazia perda de flexibilidade na linha de produtos e no volume de produção requerido. Para que esses estaleiros pudessem operar com um mínimo de eficiência, era necessário que os produtos tivessem alto grau de padronização e que os volumes de produção fossem elevados.

No final da década de 70, com a profunda crise derivada do colapso da demanda por navios, particularmente superpetroleiros e graneleiros, houve uma mudança na tendência de superespecialização.

Os estaleiros implantados ou modernizados a partir desse período começam a incorporar os princípios da Tecnologia de Grupo, e são caracterizados por maior flexibilidade no planejamento e nos requisitos de volume de produção.

O objetivo da Tecnologia de Grupo, como colocado acima, é explorar a similaridade entre produtos intermediários, para aumentar a eficiência através do aumento da escala de produção, mesmo quando os produtos finais não sejam padronizados. No caso da construção naval, existe uma grande similaridade de componentes intermediários, mesmo para navios de tipo e porte diferentes, nos diversos estágios de agregação para montagem do produto final.

No contexto de um sistema de produção com Tecnologia de Grupo, os produtos intermediários de qualquer tipo e em qualquer nível podem ser agrupados em famílias com processo de produção similar. Dependendo da demanda por determinada família, pode ser economicamente justificada a implantação de uma linha de processo ou uma estação de trabalho especializada.

O estado da arte em organização da produção na construção naval se caracteriza pela adoção dos conceitos de Tecnologia de Grupo de forma extensiva, com o trabalho organizado em Células de Produção – CP (células de manufatura, *production shops* ou *production centers*) auto-suficientes e especialmente projetadas, dedicadas a produção de produtos intermediários definidos hierarquicamente, multifuncionais e integradas, com movimentação de material e uso do espaço otimizados, com áreas de estocagem e equipamentos de transporte dedicados a famílias de produtos, onde somente produtos intermediários completos são movimentados.

Os estaleiros que adotam Tecnologia de Grupo em um ambiente de engenharia de produção menos sofisticado agrupam componentes com nível de agregação mais baixo, como em painéis planos, *spools*, acessórios. Os estaleiros mais avançados exploram a padronização de blocos, grandes blocos e módulos de grande porte de máquinas e instalações.

Em estaleiros de grande volume de produção, as Células de Produção podem ser de grande porte, para famílias de produtos com alto grau de agregação, e incluir linhas de montagem para todos os componentes de nível mais baixo, gerando inclusive, duplicação de recursos. Em estaleiros de pequeno volume de produção as Células de Produção tendem a ser menores e focar na montagem de produtos intermediários com nível mais baixo de agregação, e o *layout* do estaleiro tende a permitir áreas de estocagem intermediárias maiores.

Num sistema que adota Tecnologia de Grupo ou Células de Produção – CP, o trabalho é necessariamente multifuncional. O perfil do trabalhador num estaleiro próximo do estado da arte na organização da produção é significativamente diferente dos estágios anteriores.

Os estaleiros que se aproximam do estado da arte na forma como organizam os seus processos de produção, como são os japoneses mais modernos e os principais coreanos adotam modelos avançados de Tecnologia de Grupo, sendo, portanto bastante flexíveis com relação aos tipos de navios e à seriação.

Esses modelos de produção permitem que se realizem os benefícios da produção em massa mesmo com séries pequenas de navios ou projetos únicos. A curva de aprendizagem é significativamente mais rápida do que a dos estaleiros com organização orientada ao processo.

Em qualquer caso, a produtividade tende a aumentar, progressivamente, ao longo de uma série de navios. Entretanto, os estaleiros que adotam Tecnologia de Grupo tendem a apresentar curvas de aprendizagem mais rápidas, ou seja, o benefício da produção em série é alcançado mais rapidamente, com séries menores. Na verdade, tem sido afirmado que os estaleiros japoneses mais eficientes tendem a alcançar o nível máximo de produtividade já no primeiro navio de uma série.

Outro fator que tem mais recentemente se destacado dentro do contexto da organização da produção na indústria de construção naval é a existência de uma significativa tendência de subcontratação de muitas atividades que eram tradicionalmente executadas pelos próprios estaleiros. Isso torna a análise das estruturas de insumos e dos perfis das indústrias fornecedoras mais complexa. Ao mesmo tempo, as relações entre os estaleiros e seus fornecedores vão demandar processos de planejamento e gestão mais sofisticados.

O fluxo de materiais em uma atividade industrial também é um elemento a ser analisado na definição do modelo de organização da produção mais adequado. Em um fluxo de materiais típico da construção naval os materiais comprados e os componentes fabricados são instalados durante o processo de produção. Outra característica marcante é que tudo, desde matérias-primas, como tintas, chapas e perfis de aço e tubulações, até blocos montados e unidades de *outfitting*, e mesmo superestruturas totalmente equipadas, podem ser adquiridos de fornecedores externos ao estaleiro.

A maioria das peças e componentes é utilizada para submontagens estruturais, no entanto, alguns seguem direto para a instalação durante a montagem de blocos e de grandes blocos, edificação ou mesmo para *outfitting* a bordo da embarcação.

Com relação ao fluxo das partes e componentes de *outfitting*, a maioria é instalada em montagens ou unidades de *outfitting*. Algumas partes são instaladas durante o *outfitting* a bordo da embarcação, incluindo peças destinadas a sistemas de distribuição de redes e eletricidade, normalmente localizados em regiões cortadas por uma união de blocos ou grandes blocos.

Com relação a tipos de *layout*, de equipamentos e de mão-de-obra encontrados em um estaleiro, é importante destacar que na medida em que o perfil produtivo dos estaleiros e a organização dos processos de produção se modificaram, também houve mudanças relativas ao *layout* e às práticas de construção naval.

No começo da década de 70 alguns construtores de navios se convenceram da necessidade de construir novos estaleiros e de remodelar as plantas existentes. No caso da opção pela construção de novos estaleiros, houve uma tendência de selecionar locais sem restrições, para que o melhor *layout* possível pudesse ser desenvolvido. O desenvolvimento desses novos estaleiros baseou-se em modelos de fluxo contínuo de materiais e na edificação em diques secos com comprimentos maiores que o necessário para a edificação de um navio, permitindo a edificação simultânea de mais de um navio dentro de um mesmo dique.

Os benefícios do modelo de organização de processos de produção voltados para a Tecnologia de Grupo, células de manufatura, famílias de peças similares, linhas de processamento e estações de trabalho especializadas, *outfitting* avançado, etc, normalmente são evidenciados em *layouts* que se aproximam do formato de um quadrado com a edificação dos cascos em diques secos, como observado em vários estaleiros japoneses.

De forma geral, os estaleiros novos ou remodelados, cujos investimentos têm sido realizados a partir da década de 70, têm se concentrado na instalação de novos equipamentos desenvolvidos para aprimorar os processos de construção em basicamente quatro áreas: (1) fabricação e montagem estrutural, (2) fabricação de tubulações, (3) *outfitting* avançado, e (4) berços de construção.

Os investimentos em fabricação e montagem estrutural estão relacionados com a tendência geral de minimização do tempo de edificação no dique/carreira. Isso significa que grandes áreas cobertas são necessárias para as atividades de montagem estrutural e *outfitting* avançado.

Estaleiros que possuem áreas muito grandes tendem a ter custos com movimentação de cargas maiores, já que as distâncias percorridas – entre as oficinas de fabricação e de montagem estrutural, as cabines de pintura e o berço de construção – por componentes através de transportadores são maiores.

Em estaleiros japoneses se observam investimentos na automatização de processos, como a fabricação de peças, de painéis planos e curvos e de montagem de blocos mais simples. A automatização de processos mais básicos permite que sejam montadas linhas de processamento (*process lanes*) dedicadas, como por exemplo, de montagem de blocos de fundo e de costados duplos. Processos automatizados são encontrados com mais frequência em estaleiros japoneses, devido à viabilização de investimentos em equipamentos proporcionada pelo alto custo da mão-de-obra local.

Embora existam oficinas de tubulações totalmente automatizadas em alguns estaleiros, a maioria dos estaleiros ainda emprega mão-de-obra para atividades manuais nesse tipo de oficina, mesmo que seja somente dedicada à fabricação de peças grandes, especiais e difíceis. Se um estaleiro pretende ter uma boa capacidade de fabricação de tubulações e com produtividade competitiva, deve lançar mão de equipamentos automáticos para corte, flangeamento, soldagem e dobramento de tubulações.

## **2.4. Evolução Tecnológica**

A evolução da indústria de construção naval é marcada pela evolução tecnológica dos navios e dos processos de construção, embora, é claro, o desenvolvimento das tecnologias de produto e de processo sejam intrinsecamente interdependentes. Em linhas gerais, o desenvolvimento dos processos de construção naval depende da evolução das técnicas de fabricação propriamente ditas (tecnologia *hard*) e das técnicas de planejamento, organização e controle dos processos (*soft*). As duas componentes são igualmente decisivas na formação de um estaleiro competitivo.

A evolução dos estaleiros, em termos da infra-estrutura, processos de trabalho, e, conseqüentemente, de desempenho, é determinada pela evolução da tecnologia, em ambas as áreas.

A evolução da construção naval, desde a introdução da solda, pode ser caracterizada, em grandes linhas, por cinco estágios de desenvolvimento, que caracterizam cinco gerações de estaleiros, de acordo com NSRP (2001-b):

Nível 1 – Reflete a prática dos estaleiros até o começo da década de 1960. O estaleiro utilizava várias carreiras simultaneamente, guindastes de baixa capacidade e nível baixo de mecanização. O acabamento (*outfitting*) era realizado praticamente todo a bordo, após o lançamento. Os sistemas operacionais

eram simples e implementados manualmente. Em resumo, o estaleiro é caracterizado pelos mais básicos equipamentos, sistemas e técnicas. Os métodos e processos são, hoje, totalmente obsoletos.

Nível 2 – É a tecnologia empregada nos estaleiros construídos ou modernizados no final da década de 60 e início de 70. São caracterizados por um menor número de carreiras, em alguns casos um dique de construção, guindastes maiores, e um nível mais elevado de mecanização. Sistemas óticos substituíram as salas de risco. Computadores eram empregados em algumas rotinas operacionais e nas atividades de projeto, porém em aplicações totalmente isoladas. Introdução da construção em blocos, com oficinas de pré-montagem afastadas das carreiras, maiores espaços para armazenagem de componentes e galpões com equipamentos mais avançados de fabricação e movimentação. O acabamento era realizado praticamente todo a bordo, após o lançamento. Os métodos e processos são muito inferiores ao padrão atual da indústria mundial.

Nível 3 – Corresponde à melhor prática de construção naval do final da década de 1970. É representado pelos novos estaleiros, recém-construídos ou completamente remodelados, norte-americanos, europeus, coreanos e japoneses. Tipicamente possuem um único dique, ou área de edificação, com guindastes de alta capacidade, alto grau de mecanização na produção da estrutura, e uso extensivo de computadores em todas as áreas, embora ainda com sistemas não integrados. Esses novos estaleiros têm organização orientada ao processo. O *lay-out* é planejado para facilitar o fluxo direto e contínuo de material. São instalados, em geral, em grandes áreas, sem restrições físicas para o *lay-out*. Embora alguns desses estaleiros ainda empreguem carreiras, o padrão é a construção em dique. Esses estaleiros introduziram tecnologia avançada no processamento do aço e fabricação da estrutura, e nos sistemas de transporte e movimentação interna de carga. Passavam a adotar estações de trabalho fixas e claramente definidas. O fluxo de pré-montagem e montagem de blocos e módulos toma um aspecto de processo de linha de montagem. É introduzido o acabamento avançado, porém sem integração de projeto, planejamento da construção, controle de materiais e controle do processo. A mão-de-obra ainda é tipicamente unifuncional.

Nível 4 – Refere-se a estaleiros que continuaram a avançar tecnologicamente durante a década de 80. Geralmente um único dique, com boa proteção ambiental, ciclos curtos de produção, alta produtividade, extensiva prática de acabamento avançado e alto grau de integração estrutura-acabamento. Sistemas operacionais e CAD/CAM plenamente desenvolvidos. Esses estaleiros adotam o modelo de organização voltada para o produto. Os conceitos da **Tecnologia de Grupo** (*Group Technology* ou *Family Technology*) são introduzidos na construção naval. Embora nesse período tenha prosseguido o avanço nas técnicas de fabricação e processamento, o progresso mais notável ocorre na engenharia de produção. O principal objetivo é sincronizar a produção de modo a minimizar a armazenagem e o transporte interno. Os tamanhos de blocos são otimizados para manter o equilíbrio no fluxo de trabalho, baseado no acabamento por zona. Para os

estaleiros com diques integrados aos galpões de montagem, a tendência é de construção de blocos de até 250 t (embora com exceções importantes). Para aqueles com diques afastados das oficinas, a tendência é de construção de grandes blocos, de 700 t a 1000 t, quando se usam guindastes, e até 3.000 t, com sistemas de deslocamento horizontal e elevadores. O caráter multifuncional do trabalho na construção naval, imposto pelo novo modelo de produção, ao lado do alto nível de automação, exige novos padrões de formação e treinamento dos trabalhadores. Este nível representa o padrão atual da maioria dos estaleiros de classe mundial.

Nível 5 – Representa o estado da arte da tecnologia de construção naval a partir do final da década de 90. É alcançado a partir do nível 4, pelo desenvolvimento da automação e robótica em todas as áreas onde podem ser efetivamente empregadas, e pela integração dos sistemas operacionais, por exemplo, com o uso efetivo de CAD/CAM/CIM. Caracteriza-se pela filosofia de produção modular no projeto e na produção, atingindo-se alto nível de padronização de componentes intermediários, mesmo para navios diferentes. O estaleiro desta geração dispõe de estações de trabalho e linhas de processamento especializadas em tipos específicos de blocos ou módulos, com alto grau de automatização e robotização. Este estágio é também caracterizado pela alta eficiência em controle de material computadorizado e pela garantia de qualidade plenamente efetiva. Têm sido introduzidos novos métodos de corte, solda, conformação e pintura, e fortemente desenvolvidos os padrões de precisão e controle dimensional. Poucos estaleiros podem ser caracterizados como de nível 5. Porém, embora não represente um padrão já atingido pelos estaleiros competitivos modernos, caracteriza o estado da arte, e as tendências, em tecnologia de processos industriais, instalações, sistemas, gerência e recursos humanos.

O processo de produção nos estaleiros que se aproximam da quinta geração é baseado na padronização extensiva de componentes. É claro que esse modelo coloca níveis mais exigentes de requisitos para a engenharia e para a qualificação dos recursos humanos.

As atividades de projeto enfatizam fortemente o projeto para produção e a padronização de componentes intermediários desde os estágios iniciais. O projeto, o planejamento da construção, e a engenharia da construção são integrados. Os sistemas operacionais e os sistemas de informação integram plenamente as atividades de projeto, produção, administração e comercial.

Num sistema que adota Tecnologia de Grupo ou células de manufatura, o trabalho é necessariamente multifuncional. O perfil do trabalhador num estaleiro de quarta ou quinta geração é significativamente diferente dos estágios anteriores. Por exemplo, os principais estaleiros japoneses não colocam um trabalhador em atividade, com responsabilidade na produção, com menos de três anos de treinamento na empresa, após os 12 anos de formação escolar.

Os estaleiros de quarta ou quinta geração, como são os japoneses mais modernos e os principais coreanos adotam modelos avançados de Tecnologia de Grupo, sendo portanto bastante flexíveis com relação aos tipos de navios e à seriação. Esses modelos de produção permitem que se realizem os benefícios da produção em massa mesmo com séries pequenas de navios ou projetos únicos. A curva de

aprendizagem é significativamente mais rápida do que a dos estaleiros com organização orientada ao processo.

## **2.5. Escala de Produção**

Outro elemento importante para a caracterização da organização da produção na construção naval são as escalas de produção dos principais competidores.

Atualmente, entre os estaleiros de classe mundial, existem alguns altamente especializados em determinado tipo de navio, enquanto outros produzem vários tipos diferentes. É comum observar-se, em alguns dos mais competitivos estaleiros do mundo, sendo construídos em paralelo petroleiros, produtos, graneleiros, porta-contêineres, LPG, LNG, etc.

É verdade que, no caso dos maiores estaleiros coreanos, o porte da planta, o *lay-out* e as facilidades fazem com que tudo se passe como se houvesse vários estaleiros compartilhando a mesma área.

Tem sido afirmado, inclusive no Brasil, que a eficiência dos estaleiros mais competitivos se deve à produção em série. Essa idéia está associada à de que o mercado da construção naval consiste predominantemente de grandes séries de navios iguais.

É muito importante observar também que, muitas vezes, séries de navios de mesmo tipo e capacidade, produzidos no mesmo estaleiro, não são séries de produtos rigorosamente iguais. Pode haver muitas diferenças de equipamentos, arranjo, e mesmo de forma do casco, requeridas pelos armadores. Isso ocorre até mesmo com séries de navios para um mesmo armador. Mesmo nos estaleiros mais competitivos e de maior escala de produção, é comum o armador apresentar projetos próprios, elaborados para requisitos individuais e específicos.

Como já fora mencionado acima, em qualquer caso a produtividade tende a aumentar, progressivamente, ao longo de uma série de navios. Entretanto, os estaleiros que adotam Tecnologia de Grupo tendem a apresentar curvas de aprendizagem mais rápidas, ou seja, o benefício da produção em série é alcançado mais rapidamente, com séries menores.

Maior escala de produção representa vantagem competitiva, na medida em que reduz o custo de produção ao viabilizar o emprego de facilidades de grande capacidade, reduz os custos indiretos, de engenharia e de P&D. Além disso, as vantagens comerciais - negociais e logísticas, vão impactar os custos finais dos insumos e favorecer as condições de contratação com os clientes. Por exemplo, o Estaleiro Hyundai tem, dentro de suas instalações, a maior fábrica de motores marítimos do mundo. Entretanto, economias de escala ocorrerão até um volume limitado de produção. A partir de certo ponto, a depender do perfil do estaleiro e da produção, deseconomias de escala serão observadas em consequência do aumento da complexidade de gestão da produção.

## **2.6. Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)**

O investimento em pesquisa e desenvolvimento é fundamental para o desenvolvimento econômico e melhoria da competitividade internacional dos países. Países como Estados Unidos e Japão têm firme determinação em reforçar a base científica e tecnológica das indústrias e de incentivá-las a se tornarem mais eficientes e competitivas internacionalmente. Essas economias estão entre as que apresentam os

maiores investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), conforme pode ser observado na Tabela 1.

Além dos Estados Unidos e Japão, também é importante destacar os investimentos de alguns países da Europa Ocidental, sobretudo Alemanha, e da Coreia do Sul, país de industrialização recente, que apresenta taxas que vêm se aproximando do padrão japonês. Nessa comparação, o Brasil apresenta um padrão de investimento inferior à média da Europa, e da própria China, que vem aumentando seus investimentos em P&D.<sup>3</sup>

Tabela 1 – Participação do Investimento em P&D em Relação ao PIB

| País           | 2003 | 2004 | 2005 |
|----------------|------|------|------|
| Alemanha       | 2,52 | 2,5  | 2,51 |
| Brasil         | 1,19 | 1,17 | 1,12 |
| China          | 1,31 | 1,23 | 1,34 |
| Coreia do Sul  | 2,6  | 2,84 | 2,99 |
| Croácia        | 1,14 | 1,22 | nd   |
| Dinamarca      | 2,59 | 2,48 | 2,44 |
| Espanha        | 1,05 | 1,06 | 1,12 |
| Estados Unidos | 2,59 | 2,68 | nd   |
| França         | 2,18 | 2,14 | 2,13 |
| Holanda        | 1,76 | 1,78 | nd   |
| Itália         | 1,14 | 1,1  | nd   |
| Japão          | 3,15 | 3,18 | nd   |
| Noruega        | 1,75 | 1,62 | 1,51 |
| Polônia        | 0,56 | 0,56 | 0,57 |
| Reino Unido    | 1,88 | 1,73 | nd   |
| Turquia        | 0,66 | nd   | nd   |

nd; não disponível

Fonte: OCDE

O Japão tradicionalmente se caracteriza por apresentar forte investimento em P&D. No caso da construção naval, existem vários centros de pesquisa, públicos e privados, além de universidades com forte atuação no setor. É notável o desenvolvimento em P&D conduzido pelos principais grupos de construção naval do país: Kawasaki, Mitsubishi, Mitsui e IHI Marine, por exemplo, que dispõem de centros de pesquisa no âmbito da estrutura corporativa das empresas. As despesas dos estaleiros japoneses com P&D são da ordem de 1% do valor das vendas. Os gastos anuais do governo com P&D no setor são da ordem de US\$ 1 bilhão.

O governo japonês apóia fortemente projetos de P&D voltados para a construção naval. Esses projetos freqüentemente envolvem a cooperação de instituições do governo, universidades públicas, organizações não governamentais e a própria indústria. Os recursos do governo são alocados principalmente, através da Japan Shipbuilding Industry Foundation (atualmente Nippon Foundation) e da Association for Structural Improvement of The Shipbuilding Industry (ASISI), na promoção de projetos de P&D e na oferta de subsídios para projetos de inovação conduzidos pelos estaleiros.

<sup>3</sup> Em 2000 os investimentos em P&D da China eram inferiores a 1% do PIB.

Segundo o governo japonês, a atual orientação é de priorizar investimento em desenvolvimento tecnológico no âmbito dos *clusters* marítimos envolvendo estaleiros, universidades, institutos de pesquisa, sociedades classificadoras, empresas de navegação e fabricantes de equipamentos.<sup>4</sup>

A Coreia do Sul apresentou um rápido crescimento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, que são desenvolvidas em institutos públicos, universidades e empresas. Atualmente, cerca de 75% dos recursos de P&D da Coreia provêm das empresas locais. No caso da construção naval, cerca de 1% do montante das vendas são investidos em P&D. O governo coreano ao longo das décadas de 1980 e 1990 estimulou a formação de *clusters* em P&D, além de estimular a interação das empresas com centros de pesquisa para desenvolvimento de projetos de inovação tecnológica. A indústria de construção naval do país caracteriza-se pela forte concentração na área de Busan-Jinhae, que dispõe de centros de pesquisa na área de construção naval.

Os países da Europa Ocidental sempre apresentaram uma destacada atuação no desenvolvimento de projetos de navios, bem como de equipamentos e máquinas navais. Além disso, os estaleiros da Europa têm se ocupado com o nicho de navios mais sofisticados, como navios de cruzeiro e *ferries*, por exemplo. Assim, tem sido uma constante preocupação da União Européia o estímulo ao desenvolvimento tecnológico para dar suporte à indústria de construção naval no continente. Apesar das ações no sentido de eliminação dos subsídios para a construção naval, a EU prevê algumas exceções, como é o caso de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como em projetos de inovação tecnológica.

O programa *Leadership 2015*, promovido pela União Européia para identificar linhas de ação visando à melhoria da competitividade dos estaleiros europeus, coloca como prioridade o desenvolvimento tecnológico e a necessidade de aumentar o investimento em P&D.

A China apresenta um padrão de desenvolvimento tecnológico e gerencial abaixo dos principais centros de construção naval mundiais. Todavia, esse panorama vem mudando rapidamente. Os investimentos em P&D da China vêm crescendo de uma maneira geral, assim como aqueles referentes à construção naval. Um exemplo disso é o novo centro de pesquisa da China Shipbuilding Industry Corporate (CSIC), uma das duas principais empresas de construção naval estatais do país, que inaugurou o seu centro de pesquisa em fins de 2004.

Os Estados Unidos apresentam um elevado padrão tecnológico na indústria naval, associada à construção militar. Todavia sofre com a falta de competitividade com os principais centros produtores de navios mercantes.

O governo norte-americano tem buscado melhorar a competitividade da construção naval do país utilizando uma série de medidas de apoio e incentivo à indústria doméstica, apoiada em grandes investimentos em P&D. Em 1994, foi estabelecido o MARITECH, um programa de desenvolvimento e capacitação tecnológica com o objetivo de melhorar o projeto e os processos de construção de navios em estaleiros norte-americanos. Até o momento já foram investidos US\$ 349 milhões nesse programa.

---

<sup>4</sup> Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan – *Japanese Shipbuilding Policy Since 2001* – Dec/2006.

## 2.7. Produtividade

A comparação de indicadores de desempenho, como a produtividade da mão-de-obra, precisa levar em conta o perfil da produção, isto é, os tipos de navios produzidos e o grau de seriação e padronização. Com o objetivo de permitir comparações para navios de tipos e portes diferentes, os indicadores de produtividade mais empregados são baseados na unidade chamada *compensated gross tonnage*<sup>5</sup> - *cgt*.

O conceito de *cgt* foi proposto originalmente por associações de construtores e adotado pela OCDE (*Council Working Party on Shipbuilding - WP6*), na década de 1970. O objetivo foi prover uma medida mais acurada da atividade do estaleiro do que *tpb*<sup>6</sup> ou *gt*<sup>7</sup>. Basicamente, o *cgt* procura medir a diferença de conteúdo de trabalho, ou de dificuldade, na construção de navios de tipos e portes diferentes. Embora o sistema apresente severas limitações, é, até agora, reconhecido universalmente como a melhor medida do *output* da indústria naval. Vários estudos têm sido publicados com sugestões no sentido de aprimorar o sistema ou ampliar sua aplicabilidade (BRUCE, 2006; LAMB, 1999; PIRES JR *et al.*, 2007), porém não são conhecidas propostas de alteração do núcleo do sistema.

Desde sua introdução, o conceito passou por uma série de revisões. O sistema vigente até 2006 foi introduzido em 1984, e, mais recentemente, atualizado em 1994. Em janeiro de 2007, foi introduzido um novo sistema (OECD, 2007), desenvolvido, em conjunto, por associações de construtores europeus, japoneses e coreanos<sup>8</sup>.

Quando se considera o *cgt* como unidade de produção, diferenças entre os navios construídos já são captadas no indicador de produtividade. Portanto, adotando-se *hh/cgt*<sup>9</sup>, em lugar de *hh/navio*, *hh/tpb*, *hh/gt*, *hh/tonelada de aço*, *etc*, não há mais necessidade de se considerar o tipo de navio como parâmetro do modelo.

Porém, existe outro elemento do perfil da produção que modifica fortemente os indicadores de desempenho, que é o grau de seriação. O efeito de série na demanda de homens-hora em construção naval tem sido objeto de vários trabalhos, tanto analisando os mecanismos de redução da carga de trabalho (SPICKNALL, 1995; ERICHSEN, 1994; CRAGGS, 2004), quanto apresentando estimadores para a curva de aprendizagem na construção naval (STUMP, 2002).

No sistema OCDE, os coeficientes para cálculo de *cgt* da fórmula refletem o conteúdo de trabalho para produzir o primeiro navio de uma série. O conteúdo de trabalho para os navios subseqüentes vai decrescer de acordo com a função chamada de curva de aprendizagem. A Figura 5 mostra a curva de aprendizagem estimada pela OCDE com dados fornecidos por estaleiros membros das associações mencionadas anteriormente.

---

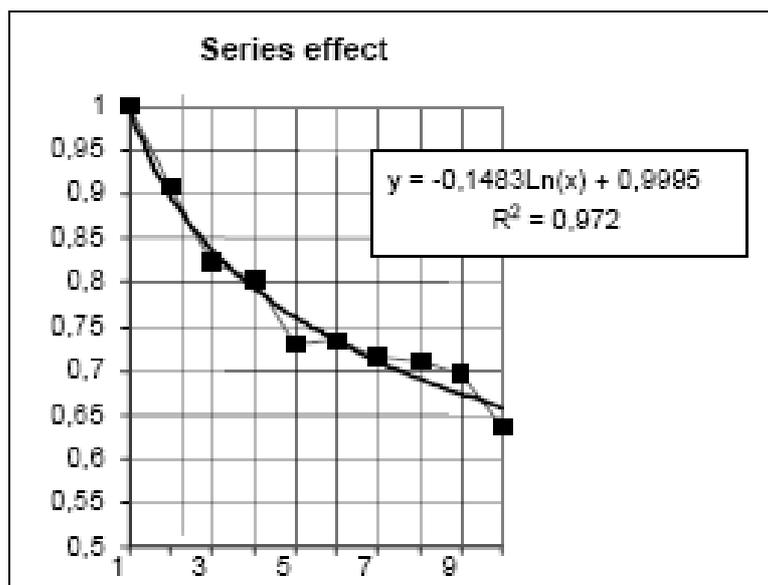
<sup>5</sup> Ver nota 1 na página 7

<sup>6</sup> Tonelagem de Porte Bruto, *tpb*, é uma medida da capacidade de carga de uma embarcação. Faz referência à quantidade de carga que uma embarcação é capaz de transportar.

<sup>7</sup> Gross Tonnage, ou tonelagem de arqueação bruta.

<sup>8</sup> Community of European Shipyards Associations – CESA, Shipbuilders' Association of Japan – SAJ, and Korean Shipbuilding Association – KSA.

<sup>9</sup> HH = Horas-homem



Fonte: OCDE (2007)

Figura 5 - Curva de Aprendizagem – OCDE – 2007

A produtividade é função do nível de tecnologia empregada, tanto de fabricação (*hard*) quanto de engenharia e gerenciamento (*soft*), mas é também função de outros aspectos como instalações e equipamentos, *lay-out* do estaleiro, perfil da produção (seriação e adequação dos produtos a plantas e processos), treinamento e motivação da mão-de-obra.

É oportuno ressaltar que o emprego da tecnologia mais avançada em qualquer processo não significa necessariamente aumento da produtividade global do estaleiro. O efeito na produtividade global da substituição de tecnologia em um processo específico depende do modelo global da produção. Por outro lado, o resultado econômico líquido da substituição de tecnologia visando ao aumento da produtividade vai depender do custo relativo dos fatores de produção.

Um conjunto de estudos realizados a partir do início da década de 90 (KPMG, 1992; NSRP, 2000; NSRP, 2001-a; NSRP, 2001-b) levantou e analisou as práticas de estaleiros japoneses, coreanos, europeus e norte-americanos, nas várias atividades da construção naval, tanto de tecnologia *hard* quanto *soft*. Para cada atividade foi atribuído uma pontuação, em uma escala que vai de 1 a 5. O nível 1 corresponde ao estado da prática no início dos anos 60 (típico do estaleiro de 1ª geração), e o nível 5 corresponde ao estado da arte, ou seja, à tecnologia mais avançada disponível.

Os resultados das análises foram sintetizados em um índice que foi chamado de IBP (*best practice*), e que representa, para um estaleiro, a média dos índices de cada atividade. Índice próximo de 5 indica que o estaleiro emprega recursos tecnológicos próximos do estado da arte.

Além disso, aqueles estudos relacionaram o nível tecnológico empregado com a produtividade dos estaleiros.

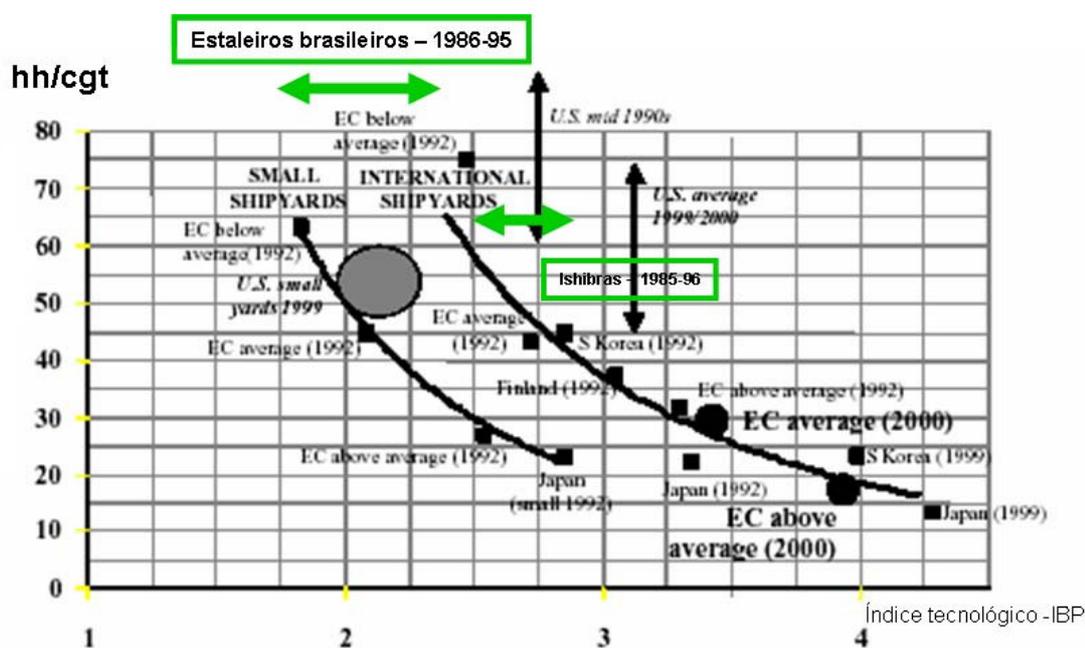
A Figura 6 apresenta uma síntese dos resultados dos estudos.

Não foi feito um mapeamento como esse dos processos adotados pela indústria naval brasileira. Porém, para o conjunto dos grandes estaleiros, considerando-se o padrão das instalações, equipamentos e operações nos anos 80 e 90, antes da crise,

pode-se estimar que um índice como o IBP, na média do setor, estaria na larga faixa entre 1,8 e 2,5. Para o Ishibrás, no mesmo período, pode-se estimar a faixa de 2,5 a 2,8.

A produtividade dos estaleiros brasileiros no período anterior à crise foi analisada em outros estudos. De acordo com PIRES JR. (1999), o índice médio de produtividade hh/cgt, para o estaleiro que alcançou melhor desempenho, foi de 65 hh/cgt. Para a média dos estaleiros nacionais, considerando-se os períodos de operação contínua, situou-se na faixa de 85 hh/cgt.

Como se observa na figura, a produtividade média dos estaleiros coreanos em 1992 era de 45 cgt/hh, com IBP menor do que 3, enquanto a estimada para o melhor estaleiro nacional foi de 65 hh/cgt, com IBP um pouco menor. Ou seja, a média coreana era cerca de 44% superior ao melhor padrão brasileiro.



Fonte: NSRP (2001-a), PIRES JR. (1999), estimativa dos autores.

Figura 6 – Tecnologia e produtividade

Entre 1992 e 1999, a produtividade média da indústria naval coreana aumentou cerca de 90%, devido, principalmente à evolução do padrão tecnológico, como se reflete no IBP agora perto de 4. Portanto, se os estaleiros nacionais voltassem a produzir recuperando o melhor padrão do período passado, estaria enfrentando competidores com padrão de produtividade 2,7 vezes maior, e um enorme déficit tecnológico acumulado.

Observa-se significativa evolução da produtividade em todos os países analisados.

Os estaleiros norte-americanos, embora tenham apresentado aumento de produtividade, não estão conseguindo superar o abismo que os separa dos líderes mundiais.

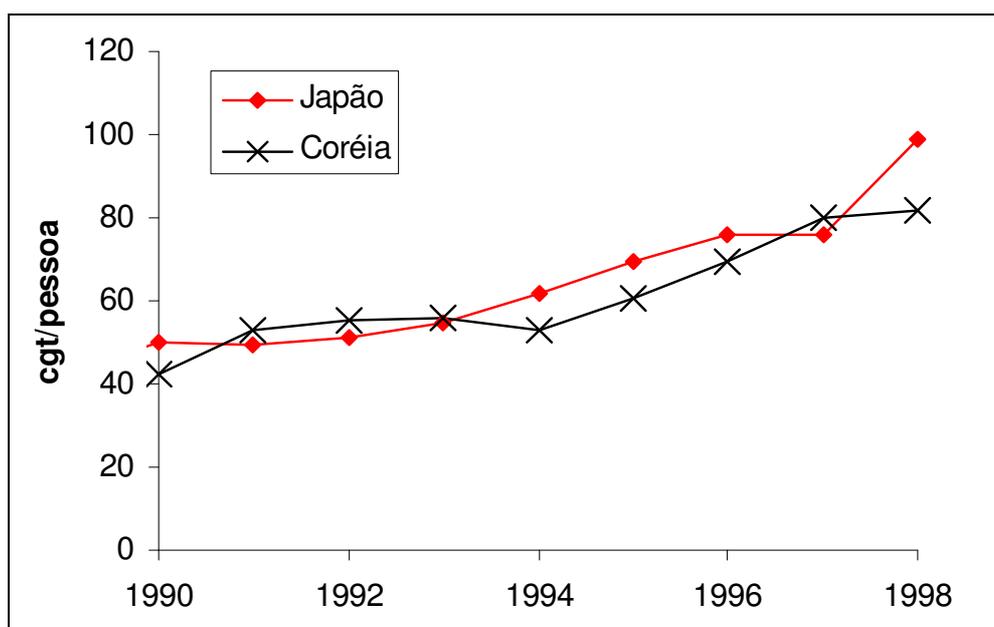
Os estaleiros europeus mais competitivos, em particular na Dinamarca e Alemanha, apresentam um padrão tecnológico bastante elevado, e níveis de produtividade relativamente próximos do padrão japonês.

Como já observado, os estaleiros europeus não apresentam um padrão homogêneo. Há estaleiros com produtividade baixa, em países de custo de mão-de-obra elevado, portanto sem perspectivas de permanecerem no mercado. Por outro lado, há um conjunto de estaleiros no leste europeu que, embora com níveis de produtividade muito abaixo dos líderes, apresentam custo baixo de mão-de-obra. Esse grupo, particularmente na Polônia e Croácia, tende a consolidar sua posição no mercado.

O Japão vem sustentando taxas elevadas de crescimento de produtividade por mais de 30 anos. O surgimento da Coreia, com instalações modernas, no estado da arte, de alta capacidade, grande economia de escala, e custo de mão-de-obra mais baixo, pressionou fortemente a indústria naval japonesa. Num setor em que o processo de inovação na tecnologia do produto é lento, a sustentação da competitividade exigiu contínuo aumento de produtividade e redução de custos. A taxa de crescimento média anual dos índices de produtividade da construção naval japonesa foi de cerca de 9%, na década de 1990.

A Coreia, por sua vez, também sustentou, ao longo das décadas de 80 e 90, taxas elevadas de aumento de produtividade, próximas das japonesas. A taxa média anual, na década de 90, foi de cerca de 8% (NAGATSUKA, 2000).

A Figura 7 mostra a evolução dos índices médios de produtividade.



Fonte – Nagatsuka (2000)

Figura 7 – Evolução da produtividade – Japão e Coreia

O ritmo de crescimento de produtividade da indústria japonesa deve-se, reconhecidamente, ao comprometimento com a evolução permanente, com metas progressivas de qualidade e produtividade, em todos os grupos de trabalhadores, níveis e atividades. Esse comprometimento se reflete em investimento elevado em pesquisa e desenvolvimento e formação de recursos humanos.

O processo de evolução tecnológica enfatizou a padronização de sub-produtos e a unitização; controle dimensional; automação e robotização de solda, pintura e conformação; emprego de sistemas laser para processamento de aço; desenvolvimento (pelos estaleiros individualmente ou em cooperação) de sistemas computacionais integrando atividades de vendas, projeto, planejamento da produção, engenharia de

processos e suprimento. Mecanismo importante a mencionar é a crescente formação de alianças entre companhias, compartilhando projetos, realizando compras conjuntas visando a ampliar os ganhos de escala, e a sub-contratação, visando à otimização do uso de instalações e à exploração de eventuais vantagens comparativas.

Os estaleiros brasileiros nunca competiram diretamente no mercado internacional. A produção foi basicamente voltada para o mercado doméstico, que era protegido e incentivado. O modelo brasileiro em nenhum aspecto estimulava a busca da inserção internacional. Entretanto, uma parcela significativa da produção foi exportada. Foram contratados, entre 1980 e 1996, 1.602 navios, correspondendo a um total de 16.773.980 tpb. Desse total, foram exportados 32 navios, com 3.555.820 tpb, correspondendo a 2% do número de navios, mas a 21% da tonelagem produzida.

Embora nunca tenha sido efetivamente um competidor no mercado internacional, o Brasil apresenta condições favoráveis para atingir um patamar competitivo que permita a efetiva inserção no mercado.

O principal indicador do potencial competitivo na indústria naval é o custo de mão-de-obra por unidade de produção. Esse custo unitário resulta da combinação da produtividade física (por exemplo, cgt/hh) e do custo unitário do trabalho (US\$/hh).

O baixo custo da mão-de-obra brasileira, quando comparado com os principais competidores, garante uma margem para a retomada do processo de desenvolvimento. O país possui, como ponto de partida, razoável infra-estrutura industrial, tradição no setor, mão-de-obra com nível básico de treinamento e uma base tecnológica significativa.

Porém é necessário observar que um novo ciclo de desenvolvimento da indústria nacional somente será sustentável se o desenvolvimento ocorrer na direção da genuína competitividade internacional. A viabilidade e efetividade de mecanismos governamentais de intervenção deverão no futuro tornar-se cada vez menos relevantes. A produção baseada em baixos salários não é sustentável, como se observa analisando os casos de Japão e Coréia, e, certamente também da China.

A posição do Brasil confirma a possibilidade de desenvolvimento do setor, desde com base no necessário investimento em infra-estrutura e capacitação tecnológica (PIRES JR *et al.*, 2007; COPPE, 2007).

Esta tese tem como um dos principais objetivos a identificação de técnicas, ferramentas e metodologias empregadas por estaleiros líderes para melhorar continuamente seus índices de produtividade. O Capítulo 3 é dedicado à tarefa de levantar e apresentar as principais tecnologias de gestão da produção voltadas para tornar os processos de construção naval mais eficientes.

## 2.8. Panorama Tecnológico do Setor no Brasil

Os níveis de desenvolvimento tecnológico encontrados na indústria de construção naval são definidos em função de fatores como tipo e porte das embarcações da linha de produtos, perfil da produção, ambiente industrial e custo da mão-de-obra.

Decisões para definir o nível tecnológico mais adequado são tomadas em função do conjunto de fatores que afeta cada organização.

Com o objetivo de facilitar o entendimento das diferenças tecnológicas encontradas entre diferentes estaleiros, três segmentos da construção naval serão identificados. A dinâmica tecnológica em cada segmento segue uma lógica própria, influenciando a forma como a produção é organizada, as tecnologias de produto e de processos adotadas e o perfil requerido da força de trabalho.

A indústria de construção naval brasileira passa, atualmente, por um processo que redefinirá os níveis de produção e de tecnologia praticados. O processo de retomada da construção naval no Brasil que se encontra em curso, alterará a estrutura atual do setor na medida em que exigirá padrões mais elevados de competitividade. É difícil prever qual será o ponto de equilíbrio desse processo, mas é possível avaliar quais são as condições de contorno e qual é o ponto de partida para os estaleiros brasileiros. Esse é o principal objetivo desta seção.

A indústria brasileira de construção naval pode ser classificada em três segmentos (COPPE, 2005a):

- estaleiros de construção de navios oceânicos acima de 10.000 tpb, e unidades *offshore* de grande porte;
- estaleiros de construção de embarcações de médio porte, como *supply vessels*, pesqueiros, barcas oceânicas, *ferries*;
- estaleiros de construção de pequenas embarcações fluviais.

Embora, naturalmente, as fronteiras não sejam rígidas, essa classificação será útil na sistematização da descrição e, principalmente, da análise do setor.

Além dos três grupos de estaleiros citados acima, há uma enorme quantidade de pequenas instalações, às margens, principalmente, dos rios brasileiros.

Os estaleiros do primeiro grupo passam por um processo de retomada que se apresenta com boas perspectivas. Após a profunda crise que culminou com a interrupção das atividades em alguns casos, a licitação para a construção de navios para a Transpetro coloca o setor novamente em evidência. Há contratos assinados para a construção de 23 navios da primeira fase e a segunda fase do programa prevê um número ainda maior de embarcações contratadas.

A demanda colocada pelo programa da Transpetro viabilizou a construção de um novo estaleiro e a modernização de plantas antigas e deterioradas. As perspectivas de assinatura de outros contratos com armadores da cabotagem e para países da América Latina indicam que esses estaleiros ainda terão fôlego adicional para buscar níveis de competitividade que permitam o acesso ao mercado internacional.

Os estaleiros do segundo grupo ainda podem contar com a demanda derivada dos Programas de Renovação de Frota de Apoio *Offshore*, que deve se manter durante

mais alguns anos. Há também demanda identificada para a construção de embarcações pesqueiras e de embarcações especializadas que, embora não seja uma demanda firme, deve ser considerada como uma alternativa para a manutenção dos níveis de produção após o desaquecimento do mercado de embarcações *offshore*.

O mercado internacional para o tipo de embarcação construída pelos estaleiros do segundo grupo é muito competitivo e globalizado. O acesso ao mercado internacional, facilitado pelo contato com armadores estrangeiros que encomendam atualmente embarcações para operar no Brasil, só será estabelecido se níveis elevados de competitividade forem alcançados.

Os estaleiros que se encontram no terceiro grupo têm mantido suas atividades devido a demandas por balsas petroleiras, para atender a regulamentação que obriga a substituição de balsas de casco singelo por balsas de casco duplo, e por balsas graneleiras para atender as necessidades de escoamento de soja da região Centro-Oeste. Com o desaquecimento da demanda por esse tipo de embarcação os estaleiros deverão diminuir seus níveis de produção.

Os estaleiros brasileiros não possuem, atualmente, linhas de produtos bem definidas, dificultando a classificação mais detalhada com foco no produto. A consolidação do processo de retomada de níveis adequados de produção, atualmente em curso, permitirá que os estaleiros possam se posicionar com relação às demandas identificadas e definir linhas de produtos com mais foco e clareza.

Os principais estaleiros do Grupo 1 possuem linhas de produtos mais heterogêneas, construindo ao mesmo tempo navios oceânicos de grande porte e embarcações de apoio *offshore* ou plataformas oceânicas. Já os estaleiros do Grupo 2 e 3 possuem linhas de produtos mais bem definidas. Embarcações de apoio *offshore* e portuário são as mais construídas atualmente por estaleiros do Grupo 2, e balsas e empurradores fluviais por estaleiros do Grupo 3.

### **2.8.1. Organização da Produção**

Atualmente, o processo de produção nos estaleiros líderes é baseado na padronização extensiva de componentes. O desenvolvimento do produto tem ênfase no projeto para produção e na padronização de componentes intermediários desde os estágios iniciais. O projeto, o planejamento da construção, e a engenharia da construção são integrados. Os sistemas operacionais e os sistemas de informação integram plenamente as atividades de projeto, produção, administração e comercial. Esse modelo coloca níveis mais exigentes de requisitos para a engenharia e para a qualificação dos recursos humanos.

Em resumo, a evolução da organização da produção em nível mundial foi marcada pela busca da eficiência de projetos e processos, apoiada por conceitos de padronização, produção em massa, pelo desenvolvimento de projetos orientados para a produção e pelo emprego crescente de sistemas computacionais que integram as várias funções do estaleiro.

No Brasil, o processo de desenvolvimento tecnológico do setor foi interrompido pela grave crise dos anos 80. A seguir será realizada uma breve análise da situação atual e das perspectivas que se apresentam com relação à organização da produção nos estaleiros brasileiros.

No sentido de sistematizar a análise, considere-se a mesma classificação em três grupos utilizada acima.

Estaleiros do Grupo 1 são estaleiros de construção de navios oceânicos acima de 10.000 tpb, e unidades *offshore* de grande porte; do Grupo 2 de construção de embarcações de médio porte, como *supply vessels*, pesqueiros, barcaças oceânicas, *ferries*; e do Grupo 3, estaleiros de construção de pequenas embarcações fluviais.

Embora alguns dos estaleiros nacionais do Grupo 1 nunca tenham se aproximado do padrão tecnológico dos principais produtores, de modo geral, os estaleiros do primeiro grupo, implantados na década de 60 e expandidos e modernizados na década de 70, apresentam *layout* e processos construtivos mais ou menos dentro do padrão dos estaleiros internacionais, da época.

Esse padrão geral se mantém, com exceção do estaleiro Atlântico Sul, apesar da substituição de certos processos e da introdução, de forma localizada, não sistêmica, de ferramentas computacionais e técnicas mais modernas. O estaleiro Atlântico Sul apresenta *layout* característico dos grandes estaleiros coreanos e deve incorporar com mais facilidade essas ferramentas e técnicas, podendo usá-las de forma integrada.

A engenharia nacional de construção naval encontra alguma defasagem nas áreas de engenharia industrial e de processos, e no projeto para construção. As atividades de engenharia de processos e de produção não são desenvolvidas de maneira estruturada e não há engenheiros dedicados ao desenvolvimento de tais atividades. Já o padrão da engenharia de projeto é bastante mais próximo do estado da técnica internacional, embora com menor massa crítica e experiência mais limitada. No entanto, afirma-se que na medida em que os investimentos na construção naval aumentarem, não serão encontradas barreiras para aumentar a capacitação da engenharia nacional voltada para essas atividades.

Os estaleiros do Grupo 1 investirão na recuperação ou ampliação da capacidade de produção, inclusive aumentando o conteúdo de engenharia nos processos. Em geral, esses investimentos já estão definidos e, em alguns casos, em fase de obtenção de financiamento ou de execução. Além disso, a capacitação para desenvolvimento de produto e de processos de forma integrada deverá ser considerada se há intenção de disputar encomendas no mercado internacional.

A tecnologia para desenvolvimento do produto já está incorporada em empresas de projeto que reúnem antigos funcionários dos departamentos de projeto de estaleiros que tinham níveis consideráveis de produção nas décadas de 70 e 80. Essas empresas foram criadas na época da crise da construção naval nos anos 90 e continuaram incorporando novas técnicas e ferramentas na medida em que a tecnologia de desenvolvimento do produto evoluía em nível internacional.

Durante a crise os níveis de produção caíram muito e alguns estaleiros chegaram a interromper suas atividades. Nesse período os estaleiros adotaram posturas flexíveis com relação a suas carteiras de encomendas, aceitando, por exemplo, construir PSVs em carreiras para embarcações de até 100.000 tpb, e alterando características de berços de construção para acomodar estruturas *offshore*.

Os estaleiros passaram a construir projetos muito customizados e de forma não continuada, dificultando o desenvolvimento de processos que incorporassem técnicas mais avançadas. A retomada de níveis de produção mais elevados e com alguma continuidade permitirá que avanços significativos da engenharia de produção e de processos sejam observados. Somente com a incorporação de avanços nessas áreas

como, por exemplo, a padronização e o projeto orientado para a produção, padrões de produtividade mais próximos da prática internacional serão alcançados.

Os estaleiros do Grupo 2 se encontram em situação similar em termos de padrão da organização da produção. Não desenvolvem projetos próprios e não têm engenharia de processos e de produção estruturada. No entanto, as condições de contorno desse segmento são diferentes, pois normalmente constroem projetos consagrados que são solicitados pelos armadores. A tecnologia de produto é dominada por algumas empresas de projeto e armadores, e é normalmente caracterizada pelo alto grau de inovação, seja na forma do casco ou em sistemas. Dessa forma, embora seja um mercado bastante competitivo em termos globais, muitos estaleiros constroem os mesmos projetos, fornecidos por um número restrito de empresas. Além do projeto, a maioria dos sistemas, máquinas e equipamentos são fornecidos por poucas empresas com marcas consagradas.

Os estaleiros tendem, dessa forma, a se tornar estaleiros montadores e integradores de sistemas, e o desempenho do trabalho com aço passa a ter importância secundária. A competitividade nesse setor está mais ligada ao desenvolvimento e coordenação de uma cadeia de fornecedores confiáveis e à produtividade e qualidade da instalação de sistemas. Não são necessários grandes investimentos no desenvolvimento da engenharia de processos, e em infra-estrutura e facilidades.

Os estaleiros do Grupo 3 constroem embarcações simples, como balsas oceânicas, cujos projetos são muito simples e padronizados. Não há engenharia de processos e de produto, os *lay-outs* são em geral improvisados e os processos são elementares. Não há cenário de mudanças significativas no perfil de organização da produção dos estaleiros do Grupo 3. Devem continuar com pouca engenharia para produzir produtos com baixo conteúdo tecnológico.

### **2.8.2. Perfil da mão-de-obra**

Em geral, os estaleiros brasileiros apresentam as especialidades tradicionais para o desenvolvimento das atividades de produção. Cada especialidade pode apresentar três níveis de qualificação. Normalmente o trabalhador começa a sua carreira na construção naval como operário iniciante após ter passado por uma etapa de treinamento.

Observa-se que, em geral, estaleiros brasileiros contam com pequeno número de engenheiros em relação ao número total de funcionários. O percentual correspondente ao número de engenheiros se encontra, em geral, abaixo de 5%. Para uma comparação geral, estaleiros coreanos podem ter até 2.000 engenheiros, que representam cerca de 10% do contingente total de trabalhadores. Do total de engenheiros, parte considerável é alocada em centros de P&D pertencentes aos estaleiros.

O perfil e a qualificação da força de trabalho na construção naval variam de estaleiro para estaleiro, bem como de país para país. As características da mão-de-obra dos estaleiros têm um impacto significativo na produtividade e nos tempos de produção dos navios.

Estaleiros com baixo padrão tecnológico não necessitam de mão-de-obra com alto nível de instrução. Ainda assim é necessária uma qualificação mínima para os operários. Por outro lado, as práticas mais avançadas adotadas pelos estaleiros classe

mundial, no que concerne à tecnologia de construção e planejamento da produção, necessitam de mão-de-obra mais qualificada, com melhor nível de instrução.

Estaleiros com baixo padrão tecnológico, como os do Grupo 3, não necessitam de mão-de-obra com alto nível de instrução. Ainda assim é necessária uma qualificação mínima para os operários, que devem ser alfabetizados e ter conhecimentos básicos de matemática, mesmo nos estaleiros que têm um perfil mais tradicional. O funcionário deve ser capaz de ler instruções, interpretar textos, bem como ter nível de instrução que lhe permita acompanhar programas de treinamento.

Os estaleiros brasileiros do Grupo 1, novos ou existentes modernizados, passarão a exigir perfis mais qualificados, com melhor nível de instrução, na medida em que novas tecnologias de desenvolvimento de produto e processos forem sendo adotadas.

### **2.8.3. Dinâmica Tecnológica**

Para estaleiros do Grupo 1, deve-se pensar em uma categorização adicional para diferenciar aqueles que constroem estruturas *offshore* para exploração de petróleo, navios mercantes sofisticados como LNG, navios de cruzeiro e super porta-contêineres, e navios mercantes convencionais como petroleiros e graneleiros.

No caso da construção de estruturas *offshore* e de navios sofisticados, a dinâmica tecnológica é diferente e envolve inovações no desenvolvimento de produto e de processos.

Já a construção de navios mercantes com qualidade e aceitação no mercado mundial não exige inovação em produto e processos e o emprego de tecnologias avançadas.

Dessa forma, a construção de navios mercantes convencionais em níveis competitivos não se deve ao emprego de tecnologias que não estão disponíveis comercialmente e que precisam ser desenvolvidas ou compradas de empresas que já as detém. A competitividade se origina em um processo de definição de um mercado-alvo e no desenvolvimento contínuo de produto e processos. O processo se completa na medida em que níveis elevados de produção são estabelecidos e séries numerosas passam a compor a carteira de encomendas. Desse modo, o desenvolvimento do produto voltado para a produção atinge um alto grau de depuração, resultando em aumentos significativos de produtividade e redução drástica de custos de produção.

Portanto, a definição do mercado-alvo é de importância estratégica para o sucesso das operações de um estaleiro com pretensões de participar do mercado internacional com padrões adequados de competitividade. Em estaleiros líderes essa definição é realizada com muito cuidado e é fruto de um esforço de prospecção de mercados e identificação de vantagens competitivas para a operação em um determinado nicho de mercado. O modelo de organização dos negócios nesses estaleiros é, portanto, voltado para o desenvolvimento de produtos e estratégias de produção com foco no mercado-alvo identificado.

O aporte de P&D nesse caso deve ser focado na identificação de um mercado, e no desenvolvimento de projetos que atraiam armadores e processos que permitam atingir a maior eficiência possível. Com um mercado-alvo identificado é possível trabalhar o projeto voltado para produção de maneira contínua e detalhada. Os processos são, dessa forma, desenvolvidos em tal nível que linhas de produção

especializadas podem ser implementadas, reduzindo a variabilidade de produtos intermediários e facilitando a produção.

Projetos desenvolvidos com foco na integração plena com a produção permitem que os produtos intermediários sejam acomodados nas linhas especializadas de produção sem provocar alterações significativas no fluxo e na quantidade de trabalho. Com conteúdos de trabalho mais homogêneos em cada linha de produção, o balanceamento das linhas e o nivelamento do conteúdo de trabalho entre as diferentes linhas de produção pode ser controlado de maneira mais efetiva. A produção naval, dessa forma, incorpora características de produção em massa e novos patamares de produtividade podem ser esperados.

Além disso, o desenvolvimento de produtos com foco em mercado-alvo aumenta as chances de contratação de séries numerosas de navios. Séries numerosas de navios permitem ao estaleiro o desenvolvimento contínuo de produto e processos e a diminuição drástica dos desperdícios na fase de produção.

Os estaleiros brasileiros ainda carecem da definição de mercados-alvo e no desenvolvimento de projetos orientados para a produção. As áreas de engenharia de processos e de produção precisam ser mais intensamente desenvolvidas.

As práticas adotadas por estaleiros classe mundial, no que concerne à tecnologia de construção e planejamento da produção, necessitam de mão-de-obra mais qualificada, com melhor nível de instrução. Sistemas computacionais para desenvolvimento de produto, processos e gestão da produção utilizados pelos estaleiros líderes, demandam trabalhadores com nível de instrução suficiente para que sejam capazes de interagir com esses sistemas.

No ambiente brasileiro, esse perfil de trabalhador ainda não está disponível. São necessários investimentos em programas de capacitação e treinamento para qualificar a força de trabalho nesse sentido.

Os estaleiros do Grupo 2 estão voltados para a construção de embarcações com características de mercado e de desenvolvimento do produto diferentes que aquelas construídas por estaleiros do Grupo 1.

O mercado de apoio *offshore* é bastante dinâmico e as embarcações têm apresentado grande desenvolvimento. Projetos com grande conteúdo tecnológico já são oferecidos por empresas dedicadas a esse nicho de mercado. Nesse caso, não há necessidade de investimentos do estaleiro em desenvolvimento do produto para se alcançar níveis internacionais de competitividade. No entanto, para assumir posições de liderança nesse mercado é necessário incorporar tecnologias de projeto e de processos disponíveis comercialmente, reconhecendo que o mercado de projetos já é dominado por empresas especializadas e com tradição no desenvolvimento desse tipo específico de produto.

Dessa forma, é possível afirmar que os estaleiros do Grupo 2 não operam com o nível de complexidade de processos exigido para a construção de navios mercantes. Também não há barreiras tecnológicas, seja de produto ou de processos, para construir embarcações desse tipo, uma vez que tanto os projetos como os sistemas que compõem as embarcações são adquiridos junto a fornecedores conhecidos. Qualquer esforço de desenvolvimento de projeto do produto final, ou de sistemas que o compõem, deve considerar que o mercado demanda projetos e sistemas com ampla aceitação internacional.

## 2.8.4. Desenvolvimento Competitivo

As estratégias de mercado em estaleiros líderes são estabelecidas dentro de uma faixa delimitada por dois modelos típicos: estaleiros com foco em projetos padronizados de um tipo específico de embarcação e estaleiros que oferecem flexibilidade de projeto e tipos de embarcações. As estratégias normalmente encontradas tendem a ser posicionadas na faixa compreendida entre os modelos típicos colocados acima. A Figura 8 ilustra a faixa de estratégias de mercado observadas na construção naval.

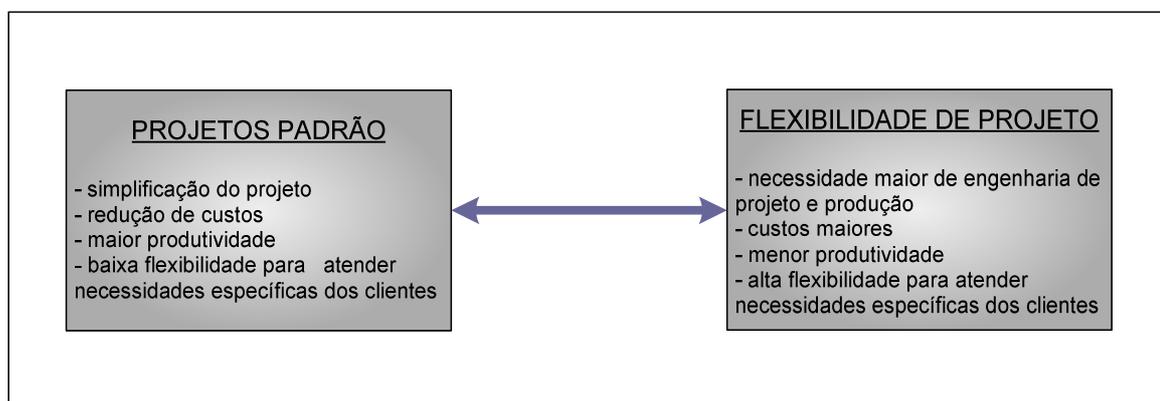


Figura 8 – Estratégias de mercado

Estaleiros com foco no desenvolvimento de projetos-padrão de navios de tipos e porte muito específicos buscam vantagens competitivas através da redução de custos, permitida pela simplificação de projetos e pela padronização extensiva de produtos intermediários.

Esse modelo de produção se aproxima do modelo de produção seriada de produtos padronizados encontrado com frequência na indústria de manufatura, e pode ser representado, por exemplo, pela produção de bens de consumo como geladeiras e aparelhos de televisão.

Caracteriza-se pela menor flexibilidade do produto, pois as linhas de produção são projetadas para produtos específicos, dificultando a sua adaptação para produtos com características diferentes. Dessa forma, a organização da produção com foco em produtos intermediários com baixa variação de conteúdo de trabalho permite a utilização de ferramentas e trabalhadores especializados na produção de uma determinada família de produtos, gerando ganhos significativos de produtividade.

Os estaleiros que oferecem flexibilidade de projeto como um diferencial de mercado, optam pela estratégia de atender, na medida do possível, a necessidades específicas de cada armador. Esse modelo de abordagem tende a reduzir a produtividade e aumentar a necessidade de engenharia, tanto de projeto como de produção, sem significar, no entanto, que técnicas de padronização de componentes intermediários não sejam empregadas.

Nesse caso, também podem ser observadas linhas de produção dedicadas e especializadas em tipos específicos de produtos intermediários. A diferença está apenas na quantidade de produtos intermediários iguais que são produzidos em uma mesma linha de produção. Com uma carteira de encomendas composta de embarcações de variados tipos e tamanhos, mesmo com um grande esforço de engenharia de projeto e produção, há uma variação considerável entre produtos

intermediários, o que gera variabilidade de conteúdos de trabalho e, portanto, maior dificuldade de planejamento e programação da produção. Mesmo assim, estaleiros com essas características que conseguem encomendas de séries numerosas podem se aproximar bastante dos níveis de produtividade de estaleiros que adotam modelos de abordagem de mercado voltados para o oferecimento de projetos-padrão de tipos e tamanhos específicos de navios.

Observa-se, independente do tipo de abordagem escolhida, que estaleiros líderes possuem foco muito claro nos mercados que decidiram por atuar e contam com capacitação para o desenvolvimento de projeto básico. Além disso, empregam estratégias de desenvolvimento do produto fortemente orientadas ao mercado e apoiadas por uma estrutura de *marketing* e relacionamento com clientes bem estabelecida. Os projetos desenvolvidos têm, portanto, forte apelo comercial e a contratação de séries numerosas por diferentes armadores torna-se possível.

Com relação ao perfil do trabalhador nos estaleiros classe mundial, em cada uma das três seções típicas de trabalho (estruturas, equipamentos e acabamento), os trabalhadores são treinados para serem multifuncionais, isto é, devem ser capazes de executar diferentes tarefas na sua seção de trabalho.

Normalmente, os estaleiros classe mundial não apresentam a subdivisão da mão-de-obra conforme a estrutura tradicional, pois adotam diferentes processos de produção que demandam outro perfil da mão-de-obra. No caso, os trabalhadores são agrupados em três especialidades: estrutura, equipamentos e acabamento.

Isso representa uma considerável vantagem em relação ao perfil unifuncional adotado nos estaleiros com organização tradicional. Por exemplo, um operário que trabalha na área de estruturas pode desempenhar todas as tarefas de chapeadores, montadores de estruturas e soldadores existentes em estaleiros tradicionais.

A disponibilidade de trabalhadores que possam desempenhar funções em diferentes seções de um estaleiro é uma vantagem adicional na construção naval, que se caracteriza por grande volatilidade nos níveis de produção. A existência de trabalhadores que possam atuar em diferentes frentes de trabalho permite ao estaleiro uma melhor alocação do seu contingente de mão-de-obra, em função da evolução da produção do estaleiro.

Alguns estaleiros que adotam uma organização tradicional do trabalho têm buscado estabelecer um contingente de mão-de-obra multifuncional com base em incentivos para que o trabalhador se qualifique e possa desempenhar diferentes funções. Todavia, por vezes, os sindicatos têm se colocado contra a multifuncionalidade, sobretudo no que se refere à atuação de funcionários em diferentes seções de um estaleiro.

Com a adoção do acabamento avançado (e também do *zone outfitting*), o emprego de mão-de-obra multifuncional constitui-se em uma grande vantagem no processo produtivo. São necessários menos trabalhadores atuando em uma mesma área de trabalho e se eliminam tempos de espera por equipes de uma determinada disciplina para executar uma determinada tarefa. Trabalhadores multifuncionais podem fixar os suportes de tubulações, cabos elétricos e de dutos de ventilação, simultaneamente, soldá-los e, então, instalar tubulações e dutos de ventilação.

Na área de tecnologia de fabricação, as principais pesquisas em estaleiros líderes são desenvolvidas para avançar nas tecnologias de solda, robotização e automatização. São observadas linhas de produção com processos robotizados de

solda nas linhas de painelização (inclusive com soldagem a laser), e nas oficinas de submontagem e montagem de blocos. Linhas de submontagem contam com processos robotizados para soldagem e, também, para movimentação de materiais. Linhas de montagem de blocos incluem estações de trabalho totalmente robotizadas para a soldagem final de elementos.

No Brasil o nível geral de automatização de processos é básico e não são encontrados processos robotizados. Em estaleiros do Grupo 1 são observados processos automáticos somente em mesas de corte de aço com CNC, embora o estaleiro que se encontra em construção certamente adotará a automatização em outras áreas do estaleiro, como, por exemplo, nas linhas de fabricação de painéis e de tubulações. Entre os estaleiros do Grupo 2 e do Grupo 3 também não adotam processos automatizados, com exceção de mesas de corte de aço CNC. A exceção que merece ser destacada se refere à única linha de painéis automática em operação no Brasil atualmente, instalada em um estaleiro recentemente construído para a produção de embarcações de apoio *offshore*.

De maneira geral, a competitividade do estaleiro se define como a capacidade de produzir com custo, prazo e qualidade compatíveis com o mercado internacional. Um importante determinante dessa capacidade é a produtividade do trabalho. O indicador de produtividade mais frequentemente utilizado, para fins comparativos, é a produção, medida em CGT por homem  $x$  ano ou por hora trabalhada.

O ritmo de crescimento de produtividade em estaleiros líderes deve-se ao comprometimento com a evolução permanente, com metas progressivas de qualidade e produtividade, em todos os grupos de trabalhadores, níveis e atividades. Esse comprometimento se reflete em investimento elevado em pesquisa e desenvolvimento e formação de recursos humanos.

Em resumo, o processo de evolução tecnológica dos estaleiros líderes que resultou em níveis elevados de produtividade enfatizou a padronização de subprodutos e a unitização; controle dimensional; automação e robotização de solda, pintura e conformação; emprego de sistemas laser para processamento de aço; desenvolvimento (pelos estaleiros individualmente ou em cooperação) de sistemas computacionais integrando atividades de vendas, projeto, planejamento da produção, engenharia de processos e suprimento. Mecanismo importante a mencionar é a crescente formação de alianças entre companhias, compartilhando projetos, realizando compras conjuntas visando a ampliar os ganhos de escala, e a sub-contratação, visando à otimização do uso de instalações e à exploração de eventuais vantagens comparativas.

De forma geral, as principais diferenças entre os estaleiros brasileiros e líderes mundiais e que merecem atenção em um contexto de busca por competitividade são referentes à engenharia de produção e de processos, ao rigor na programação e controle da produção, ao desenvolvimento de projeto básico com forte orientação ao mercado e voltado para a produção, e à padronização extensiva de produtos intermediários.

Finalmente, é importante destacar com relação à mão-de-obra, que caso a indústria naval brasileira incorpore novas tecnologias de produto e de processos, será necessário que o perfil atual do contingente de trabalhadores seja modificado para atender às demandas dessas tecnologias. Dessa forma, programas de treinamento e de qualificação para atender a esse novo perfil da mão-de-obra deverão ser

desenvolvidos e aplicados. No entanto, analistas do setor já apontam para um déficit quantitativo de trabalhadores mesmo nos perfis mais tradicionais encontrados nos estaleiros brasileiros atualmente.

### **2.8.5. Estratégias de Especialização e Desenvolvimento Tecnológico**

Há dois caminhos claros que se apresentam para os estaleiros brasileiros do Grupo 1 com relação a especialização da linha de produtos e de desenvolvimento tecnológico.

O primeiro é de especialização no segmento *offshore*, construindo estruturas para a indústria do petróleo. Nesse caso o desenvolvimento do produto exige altos investimentos em pesquisa que já vêm sendo feitos pela Petrobras, por universidades e por empresas que têm participado desse processo. Com relação aos processos, alguns dos estaleiros brasileiros do Grupo 1 já se especializaram e são capazes de construir essas estruturas com eficiência similar à encontrada em outros estaleiros do mundo. É importante destacar que se trata de um mercado totalmente diferente do mercado de construção naval tradicional, onde a qualidade final do produto é muito mais controlada e o trabalho de instalação e comissionamento de equipamentos é mais complexo, adquirindo uma dimensão maior no contexto de um projeto.

O caminho de especialização em estruturas *offshore* exige que o estaleiro adote soluções que nem sempre são compatíveis com a construção de navios convencionais. Em estaleiros líderes, a produção de estruturas *offshore* é realizada em instalações dedicadas e, mesmo quando é realizada nas mesmas instalações, tudo acontece como se fossem dois estaleiros dentro de um só. Nesse sentido, uma estratégia de desenvolvimento sustentável da construção naval brasileira não deve deixar de considerar que navios convencionais e estruturas *offshore* não devem ser fabricados de forma simultânea, compartilhando processos nas mesmas instalações, caso haja preocupação em se buscar níveis de produtividade e eficiência comparáveis aos do mercado internacional.

No caso de navios convencionais dois cenários diferentes devem ser considerados. A diferença fundamental entre os dois cenários consiste na implantação ou não de um processo de desenvolvimento, com motivação e mobilização semelhantes aos que alavancaram as indústrias em países como a Coreia e o Japão, e que vem sendo perseguida (ainda sem sucesso relevante) nos Estados Unidos. Um processo voltado para garantir um desenvolvimento efetivamente sustentável, fundado em estruturas empresariais sólidas, ênfase na capacitação tecnológica e gerencial, recursos humanos altamente capacitados e altamente motivados e engajados, instituições governamentais capazes de garantir a sintonia entre o desenvolvimento setorial e os interesses estratégicos do país.

No cenário mais conservador, a estrutura atual do setor seria, basicamente, mantida. Os estaleiros existentes receberiam investimentos destinados a recuperar ou ampliar a capacidade de produção, inclusive aumentando o conteúdo de engenharia nos processos. Em geral, esses investimentos já estão definidos e, em alguns casos, em fase de obtenção de financiamento ou de execução.

Neste cenário, considerando a hipótese de produção contínua de navios adequados às características de cada estaleiro, e ausência de gargalos na cadeia de produção, os estaleiros nacionais teriam condições de alcançar volumes de produção bastante superiores aos níveis praticados no passado. Em primeiro lugar, devido à própria evolução tecnológica (embora modesta comparada com a evolução

internacional) e desenvolvimento das práticas de gestão da produção, em segundo lugar, devido aos novos modelos de relacionamento com os clientes e o financiador.

Porém, é importante destacar que os estaleiros estariam ainda muito distantes do padrão de competitividade internacional. O marco de referência para custo de produção, tempo de construção e qualidade seria estabelecido dentro do próprio sistema. Portanto, o eventual ingresso de novos estaleiros poderia ser estimulado pelo excesso de demanda com relação à oferta, principalmente na faixa de navios de maior porte. Por outro lado, projetos de novos estaleiros teriam melhores condições de inaugurar padrões mais elevados de produção. A tendência seria de que os novos empreendimentos ocupassem a liderança do mercado, estabelecendo os marcos de referência para a competitividade da construção naval brasileira.

O segundo cenário corresponde à consolidação dos cenários futuros de desenvolvimento máximo da capacidade de cada estaleiro. Neste cenário seria alcançada a máxima capacidade em termos de volume de produção, mas também o nível máximo de competitividade, compatível com o ambiente tecnológico e econômico do país, no curto prazo.

Esse cenário depende do estabelecimento pelos estaleiros de um mercado-alvo, do desenvolvimento de projeto básico com forte orientação ao mercado e da especialização na construção de navios convencionais, sem a produção simultânea de navios e estruturas *offshore* e da realização de reparos navais.

Também seriam necessários investimentos para a capacitação tecnológica em engenharia de produção e processos e para desenvolvimento de projeto orientado à produção.

Os estaleiros do Grupo 2 que operam construindo embarcações de apoio já têm uma estratégia de especialização bem definida. É necessário que o foco nesse mercado seja mantido e que tecnologias voltadas para o desenvolvimento e coordenação de cadeia de fornecedores.

Os estaleiros do Grupo 3 operam com pouco ou nenhum aporte tecnológico com relação a engenharia de produto e processos. Embora as embarcações construídas tenham baixo conteúdo tecnológico, a incorporação de ferramentas básicas de engenharia de produção e de processos tornaria a produção mais eficiente. Tais ferramentas já estão disponíveis nos estaleiros brasileiros dos Grupos 1 e 2.

Os anos de estagnação da indústria brasileira foram anos de desenvolvimento acelerado dos principais competidores. É necessário recuperar a capacidade de produção perdida nos últimos anos, e viabilizar os investimentos necessários, na infraestrutura e na capacitação tecnológica, para superar o desnível acumulado.

A conjuntura internacional, a infra-estrutura industrial brasileira, a base de recursos humanos e de tecnologia já desenvolvida, o custo baixo da mão-de-obra, a demanda da marinha mercante nacional e os mecanismos de financiamento e fomento disponíveis formam um cenário favorável para um movimento de recuperação e consolidação de uma indústria naval competitiva internacionalmente e auto-sustentável.

A meta de produzir navios mercantes em condições compatíveis com os padrões atuais da indústria naval mundial, seja empregando as plantas já existentes, seja com a implantação de estaleiros novos, exigirá que se considerem entre as questões críticas, os seguintes pontos:

- algumas das plantas existentes perderam recursos (áreas, instalações e equipamentos);

- a engenharia encontra-se bastante atrasada, principalmente nas áreas de engenharia de produção, industrial e de projeto voltado para a produção;

- a cadeia produtiva precisará ser recomposta;

- as ações, governamentais e empresariais, voltadas para a capacitação de recursos humanos deverão contemplar as demandas relacionadas com o nível requerido de informatização dos processos e de multifuncionalidade, e que são incompatíveis com os padrões de treinamento adotados no Brasil;

- a superação do déficit tecnológico e gerencial exigirá que o desenvolvimento tecnológico e a formação de recursos humanos sejam assinalados com a mais alta prioridade estratégica;

- além do investimento público e privado na instalação e recuperação de infraestrutura, e em programas de capacitação tecnológica e de recursos humanos, será necessário um conjunto dinâmico de alianças estratégicas e o comprometimento de todos os segmentos com metas de produtividade e de competitividade.

O desenvolvimento de uma indústria naval competitiva no Brasil é uma meta viável, mas representa um enorme desafio para as empresas, entidades governamentais e para a engenharia nacionais.

### 3. GESTÃO DA PRODUÇÃO

#### 3.1. Introdução

Neste Capítulo são apresentados os resultados de pesquisas baseadas em extensa bibliografia das áreas de organização e gestão da produção na construção naval.

No desenvolvimento do Capítulo são inicialmente apresentados os seguintes elementos identificados como críticos para a efetividade das funções de gestão da produção na construção naval (COPPE, 2005b): Sistemas de Codificação e Classificação; Engenharia de Produção; e Sistemas Integrados de Informações.

Nas seções seguintes conceitos, sistemas e técnicas que constam da bibliografia pesquisada e são considerados relevantes para aumentar a eficiência das atividades de construção naval, são comentados, entre eles: Sistemas de Administração da Produção; Princípios de *Lean Manufacturing* aplicados à Construção Naval; Sistemas ERP; Gerenciamento de Projetos; Sistemas Híbridos de Controle da Produção; Planejamento, Programação e Controle da Produção na Construção Naval.

Ressalte-se que além de apresentar, descrever e comentar os conceitos, sistemas e técnicas mencionados acima, também é identificado o estado da arte de cada item no contexto da construção naval e, também, como os estaleiros líderes desenvolvem e utilizam cada um dos elementos mencionados acima.

Este Capítulo tem relevância no contexto do desenvolvimento desta Tese, uma vez que serviu como base para que os conceitos, técnicas e ferramentas que serão apresentados e desenvolvidos nos próximos Capítulos, com aplicações voltadas para a construção naval, fossem escolhidos.

Portanto, a seqüência deste trabalho tem como objetivo avançar além do estado da arte nos estaleiros líderes, buscando a aplicação de técnicas avançadas para explorar a fronteira de conhecimento dessas funções na construção naval.

Antes de entrar em detalhes sobre cada um dos itens comentados acima, é importante explicar que o ciclo de gerenciamento na construção naval, apresentado por STORCH *et alli.* (1995), é composto de cinco principais atividades, que se inter-relacionam através das estruturas de decomposição do trabalho utilizadas. As cinco atividades são:

- Elaboração de estimativas;
- Planejamento;
- Programação (*Scheduling*);
- Execução; e
- Avaliação.

Na fase de planejamento são listadas todas as atividades necessárias e determinadas as respectivas ordens de serviço necessárias, juntamente com as necessidades preliminares de material, mão-de-obra e utilização da infra-estrutura e de equipamentos. Além disso, são realizadas estimativas de custos e duração de atividades.

A programação (*scheduling*) consiste basicamente na determinação da ordem em que as atividades deverão ser executadas e na definição das datas de início e fim

de cada atividade para que o projeto seja concluído, com base nas informações sobre as necessidades de material e mão-de-obra para cada atividade, estimadas durante o processo de planejamento. Portanto, um dos principais resultados da programação é uma rede que define as relações de dependência e precedência entre as atividades, juntamente com as durações e datas de início e fim de cada atividade.

O andamento do projeto é acompanhado através do controle da produção, que compara os valores de tempo e custo estabelecidos nas fases de planejamento e programação com os valores efetivamente realizados.

As atividades de planejamento, programação e controle da produção estão diretamente relacionadas com a produção, projeto, engenharia, *procurement* e controle de materiais, e com a elaboração de estimativas.

As atividades de planejamento e programação freqüentemente são confundidas, embora tenham importantes diferenças. Para qualquer atividade é necessário conhecer o QUE e QUANDO será feito, e COMO e ONDE será realizada. Basicamente, com o objetivo de caracterizar o significado dos termos acima, pode-se dizer que o planejamento é responsável pelo QUE será produzido, e COMO e ONDE serão realizadas as atividades. À programação fica a responsabilidade de definir, principalmente, QUANDO as atividades devem ser realizadas. Eventualmente, também fica a cargo da programação a definição de QUEM irá executar as atividades previstas, mas freqüentemente a decisão de quais são os trabalhadores que executarão determinada atividade é responsabilidade dos gerentes de produção das estações de trabalho. Nos estaleiros com práticas mais avançadas, em geral, os trabalhadores estão designados a estações de trabalho específicas, permitindo que a programação seja realizada para a estação de trabalho, e não para os trabalhadores, simplificando e dando maior consistência à programação desenvolvida.

O planejamento ocorre em todos os níveis em uma organização, e normalmente ocorre antes da programação. Nos sistemas e *softwares* utilizados atualmente o planejamento e a programação são freqüentemente gerados ao mesmo tempo, contribuindo para que as diferenças entre o planejamento e a programação continuem confusas.

No trabalho de VAUGHAN (1983) sobre a produtividade na construção naval, são apresentados elementos agrupados sob a denominação de Núcleo Comum de Tecnologia (*Common Core Technology*). Os elementos são apresentados como parte de um processo de mudança tecnológica, e não se referem apenas a métodos e técnicas de produção, envolvendo também tecnologias de gestão e controle. Destaca-se também no trabalho a importância atribuída ao conceito de Tecnologia de Grupo e a sua aplicação no desenvolvimento de um sistema de classificação e codificação eficiente. Os elementos considerados no Núcleo Comum de Tecnologia são os seguintes:

- Desenvolvimento do produto;
- Estratégia de construção;
- Engenharia de produção;
- Definição da necessidade de materiais;
- Estimação do conteúdo de trabalho;
- Registro do tempo e controle da mão-de-obra;

- Controle de materiais;
- Controle da produção e gerenciamento do projeto;
- Desenvolvimento de tecnologias de produção;
- Desenvolvimento organizacional e treinamento;
- Sistemas de codificação; e
- CAD/CAM/CIM.

Nas seções a seguir, inicialmente serão abordados os elementos considerados críticos para o planejamento e o controle eficiente da produção em modelos de organização que representam o estado da arte. A produção organizada em Células de Produção e fortemente baseada nos conceitos de Tecnologia de Grupo, entre outros aspectos que caracterizam a organização da produção no estado da arte, requer mais tecnologia de gestão da produção.

A maneira como os processos de produção são planejados e controlados tem associação direta com a maneira como a produção é organizada. Principalmente quando o modelo de organização da produção adotado envolve conceitos de Tecnologia de Grupo, pois as atividades de planejamento e controle tornam-se ainda mais críticas.

Na construção naval tais atividades são complexas e devem ter alto nível de detalhamento, permitindo que a produção seja gerenciada com o foco na produtividade. E produtividade na construção naval, por sua vez, depende da coordenação de recursos chave na produção (materiais, mão-de-obra, infra-estrutura, equipamentos, capital e informação) através de um sistema de planejamento e controle eficiente.

Os elementos críticos que foram identificados, e cujo desenvolvimento e aperfeiçoamento caracterizam a tecnologia de gestão no estado da arte são os sistemas de codificação e classificação, a Engenharia de Produção e a integração de sistemas de informação.

O estado da arte em gestão da produção também se define através da forma como é tratado o fluxo de informações nos estaleiros, para que tornar efetivo o planejamento e o controle do processo de produção. Nesse sentido são abordados os Sistemas de Administração da Produção mais conhecidos, como a Produção Enxuta (*Just-in-Time* – JIT), o Planejamento de Recursos da Corporação (*Enterprise Resource Planning* – ERP) e a Gestão de Projetos, com destaque para aplicações na construção naval e para a abordagem híbrida da administração da produção.

Finalmente, após a discussão sobre os elementos críticos para a gestão da produção no estado da arte e sobre a utilização dos Sistemas de Administração de Produção no ambiente da construção naval, serão abordados o planejamento, a programação e o controle da produção na construção naval com foco nas características do estado da arte. Os elementos abordados compreendem o planejamento da construção do casco e *outfitting*, o *master planning*, a programação da produção, o controle da produção, a monitoração de desempenho e eficiência e a garantia da qualidade.

## **3.2. Elementos críticos**

### **3.2.1. Sistemas de codificação e classificação**

O desenvolvimento de um sistema de codificação e classificação de produtos intermediários é fundamental para a integração das funções de projeto, planejamento e produção.

Os sistemas de codificação no estado da arte são abrangentes, aplicados a todos os materiais, produtos, áreas de trabalho, operações e pessoal. Os sistemas têm estrutura hierárquica, de forma que podem ser aplicados em todas as etapas de agregação de produtos intermediários. Os códigos são chaves em todos os bancos de dados e sistemas de informação, e a partir deles as informações de projeto, planejamento e produção são integradas.

Sistemas avançados de codificação também permitem plena rastreabilidade dos elementos, possibilitando que os atributos das partes componentes de qualquer produto intermediário possam ser identificados, relacionando-as aos estágios anteriores e posteriores de produção, e às utilizações previstas e realizadas de recursos de produção.

O estado da arte em sistemas de codificação permite uma definição clara e consistente todos os produtos intermediários, das estações de trabalho e das zonas de *outfitting* em uma estrutura hierárquica, capaz de acomodar níveis crescentes de detalhamento para a formação do banco de dados do modelo do produto.

O sistema de codificação no estado da arte também define famílias de produtos, cujas informações são cruzadas com atributos de estações de trabalho e parâmetros de desempenho. Portanto, a produção das famílias de produtos é diretamente ligada a estações de trabalho específicas e, de forma automática, através de estatísticas coletadas a partir de uma base de dados, são geradas estimativas de tempo de produção e de quantidade de mão-de-obra necessária.

A estrutura do sistema de codificação também permite a definição da contribuição de cada produto para a conclusão de um grupo de atividades, ou de um sistema do navio, como por exemplo, o casco ou a praça de máquinas. Dessa forma, informações da produção podem ser compiladas para fornecer informações sobre o andamento do projeto de forma geral, ou de sistemas isolados do navio.

Para se alcançar o desenvolvimento de sistemas de codificação no estado da arte, é fundamental o desenvolvimento de estruturas de decomposição do trabalho voltadas para produtos intermediários padronizados, que também são utilizadas para a organização da produção em estaleiros que adotam conceitos de Tecnologia de Grupo e Células de Manufatura.

Estaleiros que possuem sistemas de codificação e organização da produção no estado da arte, têm estruturas de decomposição do trabalho com essas características. As estruturas de decomposição do trabalho que reúnem essas características serão comentadas mais detalhadamente no Capítulo 5 e 6 desta tese.

### **3.2.2. Engenharia de Produção**

As atividades de Engenharia de Produção podem ser caracterizadas, de forma geral, como aquelas realizadas com o objetivo de tornar os projetos mais fáceis de serem executados.

A Engenharia de Produção está presente em todos os níveis de atividades envolvidas com a produção, seja desenvolvendo padrões, métodos e processos a serem considerados no desenvolvimento do projeto do produto, seja aplicando os padrões para a definição de produtos intermediários, ou planejando e controlando a execução dos projetos. Também desenvolve atividades de caráter mais estratégico, como a análise de investimentos em infra-estrutura e equipamentos para melhoria da capacidade e produtividade.

A Engenharia da Produção também pode realizar a análise de processos e de seqüência de montagens, procurando a opção que resulte em maior produtividade e menor custo, determinando o esforço e o tempo necessários para a execução de cada atividade. No sentido mais básico, a Engenharia de Produção tem como objetivo a eliminação de métodos e processos ineficientes, e o aperfeiçoamento do projeto para a produção.

Em estaleiros que onde a Engenharia da Produção se encontra no estado da arte, as funções acima estão consolidadas através de uma Política de Construção e uma Estratégia de Construção muito bem desenvolvidas. A partir desses elementos são definidos os produtos intermediários ótimos e as regras para o projeto.

As funções de Engenharia da Produção no estado da arte são completamente integradas às funções de projeto e engenharia de processos. A análise de processos para cada produto intermediário é utilizada como parte das informações das estações de trabalho, sem, no entanto, o envolvimento com a produção corrente.

O estado da arte em Engenharia da Produção também é caracterizado pelo elevado nível de desenvolvimento dos padrões, com reduzida necessidade de desenvolvimento de novos padrões. Os estaleiros mais avançados desenvolveram um esforço considerável para estabelecer padrões, métodos e processos que otimizam a utilização de sua infra-estrutura e equipamentos, considerando o respectivo perfil da produção.

Nesse sentido, não é necessário muito esforço adicional de Engenharia de Produção para o desenvolvimento e a manutenção de padrões, métodos e processos. Conseqüentemente, somente um pequeno departamento dedicado à Engenharia de Produção é mantido para o desenvolvimento e análise de novos processos, métodos de construção, manutenção de padrões, e também para atividades de pesquisa e desenvolvimento de interesse dos estaleiros.

### **3.2.3. Sistemas integrados de informações para o projeto e produção**

Sistemas integrados de informações são fundamentais para alcançar o estado da arte em diversas funções de um estaleiro. Funções de produção, como o corte de chapas com controle numérico, ou a utilização de processos automatizados em linhas de produção dedicadas, e também funções de planejamento e controle só atingem o estado da arte se estiverem disponíveis sistemas de informações do produto, de processos e de recursos plenamente integrados.

Com a sofisticação dos sistemas atualmente utilizados para projeto, planejamento, programação e controle da produção na construção naval, e a tendência de padronização e modulação de produtos intermediários, a integração passa a ser uma questão fundamental na busca pela eficiência das operações em um estaleiro.

O modelo do produto é a base para a integração dos sistemas de informações na construção naval. Segundo WHITFIELD *et alii* (2003) o modelo do produto é uma

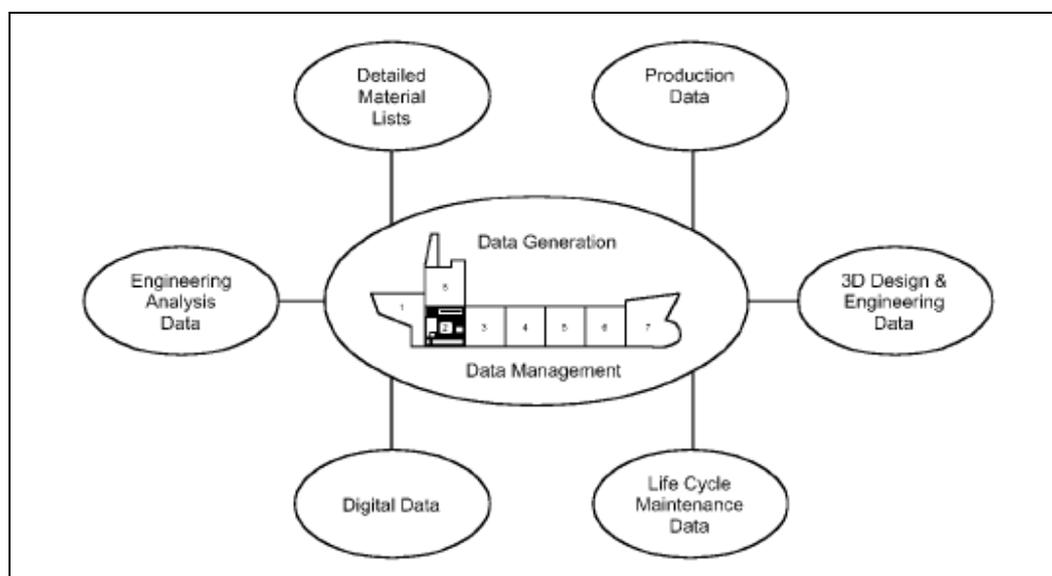
representação de um objeto real ou abstrato descrito através de uma coleção de atributos gráficos e não-gráficos e das relações com outros objetos. Essa coleção de atributos e relações acompanha o produto durante todo o seu ciclo de vida e, conceitualmente, localiza-se em uma única base de dados. Os sistemas de informações no estado da arte são baseados em um modelo do produto plenamente desenvolvido.

O modelo do produto permite que as saídas de cada sistema possam ser aproveitadas como entradas em outro sistema, dando maior efetividade às funções normalmente encontradas nos estaleiros.

WHITFIELD *et alii* (2003) apresenta o estado da arte das tecnologias de modelagem de produtos na construção naval. São identificadas características específicas dos principais modelos de produtos, tais como: base de dados única e integrada, interface para o usuário com formato consistente, relações entre os componentes do projeto, ferramentas paramétricas, e uma estrutura aberta, que permite a recuperação de dados para serem usados pelas funções de planejamento, programação e produção.

O modelo do produto é uma extensão das funções tradicionais de sistemas CAD que permite aos projetistas a integração efetiva com a fase de produção para a solução de questões críticas. A utilização do modelo do produto também acrescenta consistência aos dados utilizados durante todo o processo de projeto.

O modelo do produto não é apenas uma ferramenta de projeto, pois a informação pode ser utilizada por outras funções do estaleiro para a determinação da necessidade de materiais, de ordens de compra, para a programação de atividades e também por máquinas com controle numérico e linhas de produção com processos automatizados. A Figura 9 ilustra o modelo do produto de um navio e suas relações.



Fonte: WHITFIELD *et alii* (2003)

Figura 9 – Representação do modelo do produto de um navio

Os principais sistemas computacionais para a implementação do modelo do produto com integração plena das funções em um estaleiro, incluindo a integração das informações necessárias para o desenvolvimento das atividades de projeto, de

engenharia da produção e de processos e da produção, possuem as seguintes características:

- São desenvolvidos a partir de uma base de dados única e integrada;
- Interface gráfica com formato consistente;
- Relações associativas entre os componentes;
- Macros para o desenvolvimento de tarefas repetitivas;
- Estrutura de dados aberta;
- Integração entre elementos estruturais e de *outfitting* definida a partir de padrões disponíveis em uma biblioteca;
- Visualização do modelo geométrico;
- Visualização da seqüência de construção para análise de processos;
- Geração de desenhos;
- *Nesting*;
- Geração automática da lista de materiais (*bill of materials* – BOM);
- Realidade virtual para checagem de interferências;
- Informações sobre atributos dos produtos intermediários;
- Bibliotecas de componentes;
- Análise da integração estrutural/*outfitting*;
- Checagem automática de interferências estrutura-*outfitting*;
- Atributos de sistemas CAD/CAM; e
- Ambiente multi-usuário.

Abaixo são apresentados alguns dos principais *softwares* de modelagem do produto já desenvolvidos ou ainda em fase de desenvolvimento:

- CATIA/CADAM (Francês/Americano);
- *Computerized Ship Design and Production* - CSDP (Coreano);
- Electronic Product Definition – EDP (Americano);
- AutoSHIP (Canadense);
- FORAN (Espanhol);
- *Government Defence Design of Ships and Submarines* – GODDESS (Inglês);
- *Global Shipbuilding Computer Aided Design* – GSCAD (GRAD – Consórcio Internacional);
- *Mitsubishi Advanced Total Engineering System* – MATES (Japonês);
- HULLTECH (Inglês);
- NUPAS-CADMATIC (Holandês/Finlandês);

- *Product Model by Hitachi Zosen* – PHI (Japonês);
- *Product Model of Odense Shipyard* – PROMOS (Dinamarquês);
- NAVSEA CAD-2 (Americano);
- *Pro/ENGINEER Shipbuilding Solutions* – PTC (Americano);
- NAPA (Finlandês); e
- TRIBON (Sueco/Alemão).

Como comentado acima, a integração das informações para a integração de funções na construção naval é de fundamental importância. São observadas várias ações no sentido da integração entre diferentes sistemas, com foco na interoperabilidade e com o objetivo de melhorar o desempenho de um estaleiro. A integração, nesse sentido, vai além da integração de informações dentro de um único estaleiro através do uso de sistemas CAD/CAM/CIM e de modelo do produto, para integrar também diferentes organizações.

Segundo BENTHALL *et alii.* (2003), a interoperabilidade é fundamental no sentido de aproveitar plenamente os benefícios dos sistemas CAD/CAM/CIM e dos modelos do produto desenvolvidos. Projetos desenvolvidos para aumentar a interoperabilidade entre ferramentas computacionais e sistemas têm sido intensamente discutidos, entre eles o *Integrated Shipbuilding Environment* – ISE, o HARVEST e o ISPE. Os principais projetos, que têm como objetivo a integração efetiva entre os diversos sistemas encontrados em um estaleiro, utilizam plataformas para o desenvolvimento da interoperabilidade.

As plataformas STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*), ESTEP (*Evolution of STEP*), EXPRESS, plataformas desenvolvidas através da linguagem XML (*Extensive Mark-up Language*) e várias outras desenvolvidas em tecnologias de ambiente *Web*, têm sido muito abordadas na literatura e sobre elas tem sido realizado um considerável esforço de pesquisa e desenvolvimento.

A integração através do modelo do produto e a utilização de plataformas que promovem a interoperabilidade de sistemas do estaleiro (internamente ou externamente, compreendendo várias organizações) é fundamental para se alcançar o estado da arte em várias funções ligadas ao projeto, à engenharia de produção e de processos, e à produção. No entanto, mesmo que não seja utilizado um sistema de modelagem do produto, a utilização de maneira efetiva de sistemas CAD/CAM/CIM traz eficiência no desenvolvimento das funções citadas acima. Dentro desse contexto, a seguir serão comentadas as principais características desses sistemas.

Sistemas CAD/CAM/CIM são uma combinação de *software* e *hardware*. Usuários interagem com o sistema projetando e fabricando partes do navio, em coordenação com o sistema de construção naval disponível. A informação sobre o projeto e a fabricação fica disponível em uma base de dados, que pode também incluir um modelo do produto tridimensional completo.

A principal função de sistemas CAD (*Computer Aided Design*) é a disponibilização de informações técnicas com precisão, de forma adequada, e com custos reduzidos em relação aos desenhos manuais do passado. É uma ferramenta importante de integração no estaleiro, aproximando os departamentos de projeto e

produção e, através de desenvolvimentos mais recentes, também integra o departamento de planejamento e controle.

Através de sistemas CAD é possível desenvolver desenhos em duas dimensões e também desenhos tridimensionais. O projetista pode construir um modelo tridimensional do navio, executar análises estruturais, produzir planos e instruções de trabalho.

Há muitos sistemas CAD disponíveis no mercado atualmente, sejam sistemas específicos para o projeto de embarcações ou sistemas de aplicação geral que também são utilizados por estaleiros.

Há sistemas CAD com módulos de planejamento integrados ao modelo do produto, permitindo que atividades referentes a estrutura e *outfitting* sejam planejadas desde a fabricação de partes até a edificação. Muitos estaleiros usam sistemas CAD como parte de seus sistemas de planejamento.

Os sistemas CAM (*Computer Aided Manufacturing*) auxiliam a preencher a lacuna entre o projeto do navio e a sua construção, gerando dados, a partir do projeto, para atividades de produção, como, por exemplo, soldagem, levantamento de cargas, corte, conformação, planejamento e controle. Entre as principais funções de sistemas CAM, destacam-se as seguintes:

- Cálculo de distorções devido à solda;
- Controle dimensional;
- Programação de máquinas com controle numérico;
- Apoio à gestão da produção;
- Planejamento de levantamento de montagens estruturais;
- *Nesting*;
- Planejamento da conformação de chapas, perfis e tubulações;
- Definição do comprimento de cabos elétricos.

A manufatura integrada por computador, ou simplesmente CIM (*Computer-Integrated Manufacturing*), tem como principal objetivo a integração dos dados gerados nas fases de projeto e de produção do navio, incluindo os dados dos departamentos de projeto, de engenharia, de testes e de planejamento e controle da produção.

Os estaleiros mais avançados operam em um ambiente com interface CIM, entretanto, a prática atual nesses estaleiros não considera necessária a integração total dos sistemas, embora o estado da arte em sistemas de informação aponte nesse sentido.

Os principais benefícios da utilização da CIM é a minimização de operações redundantes entre programas computacionais, principalmente a alimentação manual de dados. Entre as principais funções da CIM, destacam-se as seguintes:

- Integração de informações técnicas e administrativas em uma única base de dados;
- Aprimoramento do gerenciamento através da melhoria da comunicação interna;

- Controle de materiais;
- Programação da produção;
- Planejamento da produção.

Os sistemas CIM são normalmente desenvolvidos pelos estaleiros e não há versões comerciais disponíveis, pois tratam da integração de diversos sistemas específicos de cada estaleiro. Destacam-se os ambientes CIM desenvolvidos nos estaleiros japoneses, como o Mitsubishi, o Sumitomo, o Mitsui e o Ishikawajima.

Destaca-se, nesse contexto, a iniciativa promovida pelos estaleiros japoneses desde 1989 e patrocinada através de sua associação (*Shipbuilders Association of Japan*), para o desenvolvimento e o avanço da aplicação da CIM. O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um ambiente comum para aplicação da CIM denominado *General Product Model Environment* – GPME. O sistema GPME cobre 15 aplicações. São elas:

- Gestão da fabricação e produção;
- Gestão do projeto;
- Informação para o projeto;
- Cálculo de resistência e necessidade de potência;
- Projeto estrutural;
- Lista de equipamentos para *outfitting*;
- Arranjo dos equipamentos de *outfitting*;
- Projeto dos sistemas do navio;
- Procedimento de pintura;
- Processamento do aço;
- Estratégia de construção;
- Programa de qualidade;
- Programação de alto nível;
- Programação de curto prazo;
- Controle de materiais.

Finalmente, com o objetivo de sintetizar as informações desta seção, pode-se dizer que o estado da arte na integração entre o projeto e a produção está associado com o desenvolvimento e a utilização efetiva de sistemas CIM abrangentes e eficientes, com base em sistemas de modelagem do produto, e também com a utilização de plataformas que permitam a interoperabilidade dos vários sistemas do estaleiro entre várias organizações.

### **3.3. Sistemas de administração da produção**

Em muitos segmentos industriais, entre os quais se inclui a construção naval, existe uma grande quantidade de informação nos vários setores e departamentos das empresas.

A forma como o fluxo de informações circula e é tratado em uma empresa pode prejudicar a sua eficiência e, conseqüentemente a competitividade, quando, por exemplo, afeta o ciclo de produção (SANTOS, 2003).

Para a gestão das informações das empresas têm sido utilizados sistemas informatizados, que podem ser desenvolvidos no ambiente da própria organização, ou, então, adquiridos no mercado.

Os sistemas de informação têm objetivo de melhorar e dar transparência ao fluxo de informações das empresas, de forma a propiciar controle das atividades de planejamento, principalmente daquelas relacionadas ao processo de produção.

Assim surgiram os Sistemas de Administração da Produção que compreendem os sistemas de informação para apoio à tomada de decisões táticas e operacionais referentes às seguintes questões logísticas básicas para que sejam alcançados os objetivos básicos da organização (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001):

- O que produzir e comprar;
- Quanto produzir e comprar;
- Quando produzir e comprar;
- Com que recursos produzir.

Os Sistemas de Administração da Produção auxiliam as empresas no planejamento e controle das necessidades dos recursos.

Existem diversos tipos de técnicas que podem ser utilizadas, por vezes complementarmente, com esse objetivo. Destacam-se, considerando o escopo deste trabalho, os sistemas de Produção Enxuta, baseados em sistemas de administração de empresas japonesas com foco na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua; os sistemas MRP II/ERP, que se baseiam na lógica do cálculo de necessidades de recursos a partir das necessidades futuras de produtos; e a Gestão de Projetos, que se baseia no gerenciamento de um grande número de atividades não repetitivas e suas relações de dependência através de redes de atividades.

Os objetivos dos Sistemas de Administração da Produção são, basicamente:

- Planejamento das necessidades futuras da capacidade produtiva;
- Planejamento dos materiais comprados;
- Planejamento dos níveis de estoque;
- Planejamento das atividades de produção de forma a garantir o emprego dos recursos no momento certo e prioritário;
- Informação correta da situação presente dos recursos (pessoas, equipamentos, materiais, instalações) e de ordens de compra e de produção;
- Capacidade de cumprir os prazos;
- Capacidade de reação, isto é, flexibilidade: visualização sobre capacidade e possibilidade de mudanças na produção.

Os sistemas de administração da produção influenciam diretamente na competitividade das empresas, o que justifica tanto investimento das empresas em

pacotes de *software* desenvolvidos por empresas especializadas, ou mesmo, em sistemas desenvolvidos na própria organização.

Dentre as vantagens dos sistemas informatizados de administração da produção podem ser citados (SANTOS, 2003):

- Redução de custos – A transparência das informações e o planejamento (do que produzir e comprar) permitem estabelecer níveis de estoque adequados nos locais e datas programados, reduzindo os níveis de estoque. O planejamento na aquisição de materiais contribui para que a empresa possa negociar com antecedência com os fornecedores e até criar parcerias.
- Influência nos tempos de produção – Minimizar problemas com disponibilidade de recursos utilizados no processo produtivo. As análises das informações dos sistemas de administração podem permitir: redução dos ciclos na produção, redução de paradas por problemas nos equipamentos (planejamento da manutenção).
- Influência sobre a flexibilidade da produção – os sistemas de administração da produção facilitam mudanças no processo produtivo. As informações que são disponibilizadas por esses sistemas garantem para a empresa uma visão privilegiada dos seus processos e com isso um melhor controle no caso de mudanças.
- Confiabilidade de entrega – Também é uma ferramenta importante no controle dos prazos, reduzindo risco de atrasos nas entregas dos produtos.
- Qualidade do produto – A qualidade é o aspecto que menos sofre influência dos sistemas de administração da produção (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001). Entretanto, existe algum benefício indireto que pode ser mencionado. Os sistemas de administração da produção mantêm os registros sobre as composições dos produtos (listas de materiais e estruturas de produtos), que, para evitar redundância de informações devem ser as mesmas listas e estruturas atualizadas e consultadas pela engenharia. A atualização dessas informações contribui para minimizar falhas na composição dos produtos.
- Qualidade no serviço prestado ao cliente – É, provavelmente, o aspecto de desempenho competitivo mais importante. Os sistemas de administração da produção buscam garantir o fluxo de informações. Essas informações envolvem a situação do pedido de um determinado cliente, informações e orientações logísticas sobre os níveis de estoque, serviços de integração do sistema de suprimentos ao sistema logístico do cliente. A Tabela 2 apresenta a relação entre as principais funções atribuídas aos sistemas de administração da produção e os seis aspectos de desempenho competitivo que estão dentro do escopo dos sistemas de operações produtivas nas organizações.

Tabela 2 – Relação entre Funções do Sistema de Administração da Produção e Aspectos Competitivos

|   | Custo | Velocidade | Confiabilidade | Flexibilidade | Qualidade | Serviço |
|---|-------|------------|----------------|---------------|-----------|---------|
| 1 | X     | X          | X              |               |           |         |
| 2 | X     |            |                |               |           |         |
| 3 | X     | X          | X              | X             |           |         |
| 4 | X     | X          | X              |               |           |         |
| 5 |       |            | X              |               | X         | X       |
| 6 | X     |            | X              |               |           |         |
| 7 |       | X          |                | X             |           |         |

Legenda:

- (1) planejar as necessidades futuras de capacidade produtiva da organização;
- (2) planejar materiais comprados;
- (3) planejar níveis adequados de estoques de matérias-primas, semi-acabados e produtos finais nos pontos certos;
- (4) programar atividades de produção para garantir que os recursos produtivos envolvidos estejam sendo utilizados, em cada momento, nas atividades certas e prioritárias;
- (5) ser capaz de informar corretamente a respeito da situação corrente dos recursos (pessoas, equipamentos, instalações, materiais) e das ordens (de compra e produção);
- (6) ser capaz de prometer menores prazos possíveis aos clientes e depois fazer cumpri-los;
- (7) ser capaz de reagir eficazmente

Fonte: CORRÊA, GIANESI e CAON (2001)

### 3.4. Lean Manufacturing/Produção Enxuta

O principal esforço dos estaleiros líderes em produtividade, principalmente os japoneses, é realizado no sentido de integrar e implementar as práticas que resultam em aumento de produtividade e diminuição do tempo de construção, eliminando aquelas que não são produtivas.

Desse modo, a melhoria no desempenho dos estaleiros está relacionada com a eliminação de desperdícios e a otimização dos processos de produção, que aliados a uma organização adequada do trabalho e a um bom nível de utilização de recursos, elevam os padrões de produtividade e qualidade praticados.

A maioria dos estaleiros líderes utiliza a abordagem baseada na construção em blocos e no *outfitting* por zonas, estabelecendo fluxos estáveis de informações, materiais e mão-de-obra, permitindo que sejam identificados aprimoramentos e desenvolvimentos de processos que resultem em redução de custos.

Produção Enxuta é um termo utilizado para descrever o sistema de fabricação de automóveis desenvolvido pela Toyota, cujo principal objetivo é o aprimoramento de atividades que contribuam diretamente com a redução de custos. Embora a construção de navios seja diferente da montagem de automóveis, o modelo desenvolvido pelos japoneses para a indústria automobilística pode ser aplicado com sucesso na indústria de construção naval (LAMB, 2001; LIKER e LAMB, 2001a; LIKER e LAMB, 2001b; LIKER e LAMB, 2002; KOENIG *et al.*, 2002). No entanto, adaptações são necessárias para que os princípios sejam adequadamente aplicados em circunstâncias específicas, seja em estaleiros diferentes, ou mesmo entre diferentes áreas de produção dentro de um mesmo estaleiro.

Entre os princípios básicos da Produção Enxuta estão incluídos o trabalho em equipe, a comunicação, o uso eficiente de recursos, a eliminação de desperdícios e o melhoramento contínuo. Esses princípios buscam a redução de custos através, principalmente, da eliminação de desperdícios que podem ser encontrados em: (1) operações desnecessárias; (2) tempos de espera; e (3) estoques. Adicionalmente, alguns elementos ajudam a compreender a extensão da aplicação dos princípios da Produção Enxuta, com destaque para os seguintes:

- Projeto colaborativo do produto;
- Projeto e análise de processos de produção;
- Eliminação de atividades que não agregam valor ao produto final;
- Padronização do trabalho;
- Balanceamento da demanda e nivelamento de recursos;
- Controle de processos;
- Manutenção preventiva;
- Envolvimento de fornecedores e colaboradores;
- Minimização de erros;
- Limpeza e organização do ambiente de trabalho;
- Comunicação visual;
- Recursos flexíveis;
- Fluxo único; e
- Sistema “puxar”.

Segundo o *Lean Institute Brasil*<sup>10</sup>, cinco itens resumem as principais idéias que sustentam o modelo de Produção Enxuta. São eles: (1) valor do produto; (2) eliminação de operações desnecessárias; (3) fluxo contínuo; (4) sistema “puxar”; e (5) busca ininterrupta pela perfeição. Os itens citados serão brevemente comentados a seguir.

Operações e processos desnecessários também são outro foco no modelo de Produção Enxuta. A remoção desse tipo de atividade tem sido uma prioridade principalmente nos estaleiros japoneses, onde, além da eliminação de etapas desnecessárias e de tempos de espera, a melhoria dos processos de produção passa pelo aumento da velocidade de etapas fundamentais.

Das ferramentas normalmente utilizadas para a eliminação de desperdícios na construção naval moderna, três merecem destaque: (1) aprimoramento do controle dimensional para eliminar os processos referentes a retirada de excesso de material na união de blocos; (2) treinamento de mão-de-obra multifuncional para minimizar o tempo ocioso dos trabalhadores; e (3) desenhos com análise de interferências estrutura-*outfitting* para evitar o retrabalho nas áreas de projeto e produção. Além disso, também pode ser citado o conjunto de iniciativas menores, normalmente propostas por operários, que correspondem plenamente ao espírito da Produção Enxuta.

O fluxo contínuo também é um importante elemento da “mentalidade enxuta”. A idéia que a produção por departamentos é a melhor alternativa é combatida no modelo de Produção Enxuta. O efeito do estabelecimento de fluxos contínuos pode ser sentido na redução dos tempos de concepção de produtos, de processamento de

---

<sup>10</sup> <http://www.lean.org.br/>

pedidos e em estoques. Nos estaleiros japoneses é possível verificar que o fluxo contínuo baseado em blocos é similar aos verificados na indústria automobilística.

Difícilmente observa-se a produção de lotes de componentes destinados a vários blocos, com a exceção do *nesting* de chapas e de pequenos e numerosos componentes padronizados, e sim a fabricação de componentes específicos de um determinado bloco. Desse modo, os processos de produção são organizados com base no fluxo definido para os blocos e não em lotes de componentes. Mesmo em atividades onde o produto intermediário permanece fixo, como é caso de submontagens e montagens de blocos, com trabalhadores se movimentando de uma área para outra, é mantido o conceito de fluxo contínuo. Nesse caso, mesmo que inicialmente possa parecer uma produção em lotes, os grupos de trabalhadores se movem de uma área para outra em uma única direção, encontrando sempre as mesmas ferramentas de trabalho. Esse sistema é similar a um sistema de produção com movimentação dos produtos em esteiras, só que são os grupos de trabalhadores que se movem ao invés do produto (bloco).

Nos estaleiros japoneses mesmo a edificação do casco é pensada de forma a manter o fluxo contínuo de trabalho. Em alguns casos blocos são estocados junto ao berço de construção para que o fluxo na área de edificação seja mantido após o lançamento de um casco. Tal estratégia é decorrente de uma cuidadosa análise de *trade-off* que coloca em conflito dois princípios básicos da Produção Enxuta: a manutenção do fluxo de trabalho e a minimização de estoques de produtos intermediários.

Sistemas “Puxar” também são uma importante característica da Produção Enxuta. Estão relacionados com a idéia que a demanda de um processo puxa a produção em um processo anterior, minimizando estoques de produtos intermediários e o trabalho em andamento (*work in process*). Essa abordagem induz à produção apenas dos itens necessários em cada estágio, nas quantidades necessárias e no momento necessário.

Ao contrário de sistemas “Empurrar”, que trabalham com a idéia de renovação de estoques, o sistema “Puxar” está alinhado com os princípios da Produção Enxuta. O modelo mais conhecido de um sistema “Puxar” é o *Just-in-Time* (JIT). Neste item há uma importante diferença entre a indústria automobilística – ambiente onde os princípios da Produção Enxuta foram desenvolvidos – e a indústria de construção naval. É normal que montadoras de automóveis trabalhem com estoques de produtos finais, sendo que o importante é a minimização de estoques de produtos intermediários ou de trabalho em processo.

A produção de um navio é “puxada” por um contrato, que respeita a restrição física representada pela ocupação do berço de construção, ou seja, só se inicia a edificação de um novo casco quando o anterior já fora lançado. Essa característica praticamente elimina o excesso de produção e de estoques de produtos finais.

A busca ininterrupta pela perfeição é uma das principais características de um sistema de produção “enxuto”. A motivação, mecanismos e as realizações dos estaleiros japoneses em relação à busca pela perfeição somente são comparáveis ao que se encontra na indústria automobilística.

Todos os princípios e métodos apresentados não são exclusivos da Produção Enxuta. Possuem raízes na fabricação e gestão de operações, na engenharia industrial, e no gerenciamento da qualidade, e também no bom senso.

As dificuldades de implementação dos conceitos, ferramentas e métodos apresentados são conhecidas, sabendo-se que o reconhecimento e a determinação na aplicação desses elementos de forma integrada e cuidadosa é que caracterizam realmente a Produção Enxuta. De forma resumida, a aplicação de conceitos “enxutos” pode ser caracterizada pelo foco na redução de estoques e de excesso de capacidade de produção, utilizando-se das ferramentas apresentadas para, continuamente:

- Minimizar os estoques de materiais e componentes, estoques de trabalho em andamento (*work in process*), estoques de produtos acabados, minimizando os custos com gerenciamento de materiais e outros custos relacionados a estoques; e
- Balancear a capacidade e melhorar os controles de processo e de qualidade, minimizando os custos com capacidade ociosa e com capacidade desperdiçada em retrabalhos.

Entretanto, é necessário que seja avaliado de forma cuidadosa o ambiente em que reduções de estoques e de capacidade de produção em excesso serão continuamente buscadas, pois ações para a implementação da Produção Enxuta representam custos que nem sempre são compensados.

O que deve ser destacado é que o pré-requisito fundamental para a Produção Enxuta é a redução de variações ao longo dos ciclos produtivos desenvolvidos em determinada indústria. Essas variações podem ser representadas por variações da demanda, do conteúdo de trabalho no produto final e em produtos intermediários, do desempenho dos processos produtivos empregados e da disponibilidade de recursos para a produção.

Na medida em que as variações são reduzidas, as capacidades dos processos de produção podem ser balanceadas, o excesso de capacidade pode ser minimizado e estoques de produtos intermediários podem ser reduzidos.

No entanto, há um limite na busca pela Produção Enxuta que, quando ultrapassado, pode levar a aumentos nas interrupções do trabalho devido a falta de materiais e componentes, resultando em diminuição da utilização da capacidade e queda de produtividade. Portanto, mesmo em um ambiente produtivo com foco na Produção Enxuta são permitidas variações reconhecidas como “não enxutas”, relativas a estoques e excessos de capacidade. Tais variações têm o papel de absorver variações inerentes ao sistema produtivo em questão, de modo a manter a produtividade e minimizar a interrupção e o custo total da produção.

A redução da variação de produtos na construção naval passa pela padronização de materiais, componentes e módulos. Quando a padronização não é possível, os conceitos de Tecnologia de Grupo devem ser aplicados para que os produtos intermediários, em diferentes níveis, possuam quantidades equivalentes de trabalho. Dessa forma, o seqüenciamento e a programação são aprimorados de forma a reduzir a variação da demanda por recursos específicos e o desempenho dos processos produtivos é equalizado.

Na construção naval, mesmo fazendo o possível para aprimorar o desempenho dos processos e reduzir as variações, a variação em características dos produtos intermediários é bastante elevada. Além disso, a variação da demanda por recursos em estações de trabalho também é elevada. Conclui-se, portanto, que a construção naval

possui variações inerentes que não devem ser desconsideradas quando se busca a Produção Enxuta. O modelo a ser desenvolvido deve considerar tais variações e definir de que forma e em qual extensão os princípios da Produção Enxuta devem ser aplicados.

### 3.5. Sistemas ERP (Enterprise Resources Planning)

Na década de 1970 surgiu o sistema MRP (*Material Requirements Planning* – Planejamento das Necessidades de Materiais), já como um exemplo de sistema de administração da produção. O sistema MRP utiliza a lista de materiais (*Bill of Material* – BOM), informações sobre os processos (nível de estoque, *lead time*, lotes de reposição e fabricação de produtos) e a programação da produção (*Master Production Schedule* – MPS) para calcular as necessidades de material (ZIJM, 2000).

O MRP se mostrou uma ferramenta importante no cálculo de necessidade de materiais, todavia a lógica do MRP apresenta alguns problemas. As empresas necessitam administrar um balanço entre as decisões de superestimar *lead times*, manter nível de produção em excesso ou gerenciar nível de serviço a clientes. Além disso, o MRP não indica quais os meios são necessários para dar suporte as decisões de o que, e quando produzir (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001).

Era necessário um sistema de administração da produção que além de calcular as necessidades de materiais, indicasse também as necessidades de outros recursos do processo de manufatura. Surgiu, então, na década de 1980, o MRP II (*Manufacturing Resources Planning* – Planejamento dos Recursos da Manufatura).

O MRP diferencia-se do MRP II pelo tipo de decisão de planejamento que o sistema orienta. Enquanto o MRP orienta as decisões de o que, quanto e quando produzir e comprar, o MRP II engloba também as decisões referentes a como produzir, isto é, com que recursos produtivos.

Segundo CORRÊA, GIANESI e CAON (2001) o sistema MRP II é composto de uma série de procedimentos de planejamento agrupados em funções, que estão normalmente associadas a módulos de pacotes de *software* comerciais, desenvolvidos para suportar esta filosofia de planejamento. Também há sistemas MRP II desenvolvidos pelas próprias empresas. O MRP II é composto de cinco módulos principais: Cadastro básico, SOP (*Sales Operations Planning* – Planejamento de Operações de Vendas), MPS (*Master Production Schedule* – Planejamento Mestre da Produção), MRP (*Material Requirements Planning* – Planejamento das Necessidades de Materiais), SFC (*Shop Floor Control* – Controle do Chão de Fábrica), Compras, e também uma função de apoio para gestão da demanda.

Não há dúvidas que os sistemas MRP provocaram uma grande mudança na forma de gerir a produção nas indústrias de manufatura, principalmente as de grande porte. Esse sucesso deve-se, entre outras coisas, à evolução dos recursos computacionais, viabilizando a manipulação de um grande número de informações requeridas pelos sistemas.

Por outro lado, os modernos sistemas MRP necessitam de muitos parâmetros a serem fornecidos pelo usuário, tendo em vista o tamanho dos lotes a serem produzidos, estoques de segurança, margens de segurança para *lead-times*, entre outros, mas não fornecem ajuda para se estabelecer esses parâmetros. Além disso, mesmo os sistemas MRP II não integram efetivamente o planejamento de material e o planejamento da produção. Sistemas MRP não geram alternativas para programação

da produção no caso de alguns elementos ou recursos não estiverem disponíveis conforme foi programado. Também são necessárias informações detalhadas e precisas dos recursos, materiais e dos processos no momento da aceitação das encomendas. Basicamente, os sistemas MRP operam de forma determinística, onde as incertezas devem ser cobertas por margens de segurança nos *lead-times*. Dessa forma, existe a tendência do inchamento de *lead-times* (ZIJM, 2000).

Após o surgimento do MRP II, com a rápida evolução da tecnologia de informação, os sistemas de administração de produção evoluíram para sistemas de gestão integrada, que tivessem a capacidade de gerenciar a informação num contexto mais amplo, envolvendo toda a empresa. O ERP (*Enterprise Resource Planning* – Planejamento de Recursos da Empresa) é uma evolução do sistema MRP II, pois se trata de uma arquitetura em que a informação está disponível e circula por todas as atividades da empresa tais como logística, manufatura, finanças e recursos humanos.

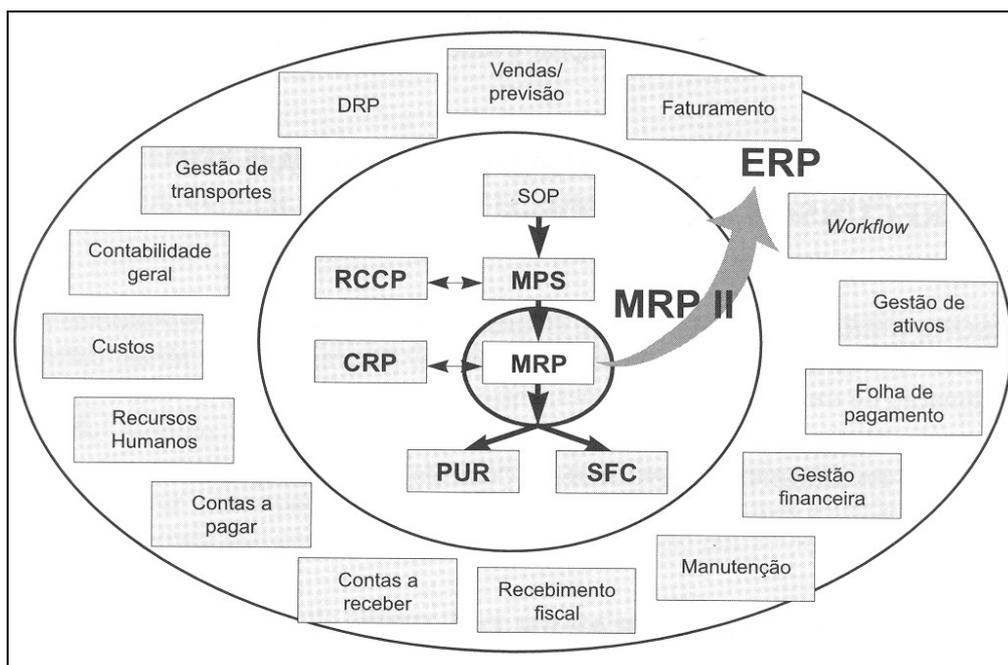
O ERP é um sistema integrado de gestão. Ele utiliza um banco de dados único, operando em uma plataforma comum, interagindo com diversas aplicações e integrando todas as operações em um só ambiente computacional.

A evolução dos sistemas MRP/MRP II até o ERP pode ser observada na Figura 10. Nota-se que o MRP passou a ser um módulo do MRP II, em conjunto com outros módulos e mecanismos de cálculo de capacidade. O MRP II, por sua vez, passou a ser um módulo dos sistemas ERP, em conjunto com módulos financeiros, recursos humanos entre outros.

O ERP corresponde a um sistema de informações integrado, que pode ser útil para todos os departamentos da empresa. Os módulos do sistema ERP podem ser capazes de interagir com outros sistemas já existentes na empresa, com grau de dificuldade variável, e, dependendo do fabricante, o ERP pode ser alterado através de programação.

Dentre as expectativas relacionadas à implantação de sistemas ERP, podem ser citadas (SANTOS, 2003):

- Disponibilização de informações coerentes e corretas que auxiliem em decisões gerenciais;
- Possibilidade de integração de todos os setores da organização através de uma base de dados única e não redundante;
- Diminuição dos esforços gerenciais e operacionais na busca de soluções para as diferenças nas interfaces de sistemas de informações que não trocam informações entre si;
- Transparência nos processos de planejamento;
- Melhoria do desempenho operacional, o que reflete na competitividade da empresa.



Fonte: Corrêa, Giansesi e Caon, 2001

Figura 10 – Estrutura Conceitual dos Sistemas ERP

A introdução de um sistema ERP em uma organização demanda tempo e treinamento, de maneira que sua implantação não é trivial. Muitas empresas fracassaram na implantação do ERP, principalmente no início da década de 1990, por não avaliarem esses aspectos adequadamente, ou até mesmo por tentarem um processo rápido de implantação. (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001; MOGENSEN, 1999).

Dentre os problemas relacionados à introdução de sistemas ERP podem ser apontados:

- Diferentes linguagens adotadas pelos fornecedores de *software*;
- A compra de um pacote ERP pode representar um alto investimento na empresa, assim é necessário uma avaliação adequada dos custos e benefícios relacionados à adoção de sistemas ERP;
- Dificuldade de gerenciamento das interfaces entre o sistema ERP e outros sistemas já implantados na empresa; a rotina de tradução de dados de um sistema já estabelecido MRP II, por exemplo, para o módulo de produção do ERP é muito complexa;
- Não existe uma solução padrão; em cada empresa onde o sistema for implantado, apesar da solução padrão do *software*, é necessária uma adaptação da empresa ao *software* ou vice-versa.

Atualmente, embora existam diferenças de nomenclatura, os sistemas ERP mais avançados possuem módulos integrados que abrangem o seguinte escopo (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001):

- Módulos relacionados a operações e *Supply Chain Management*: Previsões/Análise de Vendas (*Forecasting/Sales Analysis*), Lista de Materiais (BOM – *Bill of Material*), Planejamento Mestre da Produção (MPS – *Master Production Scheduling*), Capacidade Aproximada (RCCP –

*Rough-Cut Capacity Planning*), Planejamento de Materiais (MRP - *Material Requirements Planning*), Planejamento Detalhado de Capacidade (CRP - *Capacity Requirements Planning*), Compras (*Purchasing*), Controle de Fabricação (SFC - *Shop Floor Control*), Controle de Estoques (Inventory), Engenharia (*Engineering*), Distribuição Física (DRP - *Distribution Requirements Planning*), Gerenciamento de Transporte (TM - *Transport Management*), Gerenciamento de Projetos (*Project Management*), Apoio à Produção Repetitiva, Apoio à Gestão da Produção em Processos, Apoio à Programação com Capacidade Finita de Produção Discreta, Configuração de Produtos, Manutenção.

- Módulos relacionados à Gestão Financeira/ Contábil/ Fiscal: Contabilidade Geral, Custos, Contas a pagar, Contas a Receber, Faturamento, Recebimento Fiscal, Gestão de Caixa, Gestão de Ativos, Gestão de Pedidos, Definição e Gestão dos Processos de Negócio (*Work Flow*).
- Módulos relacionados à Gestão de Recursos Humanos: Pessoal (*Personnel*), Folha de Pagamento (*Payroll*).

Como a abrangência dos sistemas ERP supera em muita a dos sistemas MRP II, muitas vezes as empresas optam por iniciar a implantação do ERP pelos módulos administrativo-financeiros, postergando a implantação dos módulos de manufatura.

### **Fornecedores de Sistemas ERP**

A implantação dos sistemas ERP ocorreu de forma acelerada no início da década de 1990, sendo exclusividade das empresas de grande porte tendo em vista o alto investimento necessário. Posteriormente, os fornecedores vislumbraram o mercado de empresas de pequeno e médio porte, e ofereceram alternativas com preços mais acessíveis.

No Brasil a maioria das soluções ERP mais robustas pertencem a fornecedores estrangeiros, e necessitam passar por um grande esforço de adaptação dos módulos originais às particularidades do país (chamado processo de *tropicalização*).

Em muitas situações os usuários preferem adotar alguns módulos do ERP e manter outros sistemas, já adaptados às suas necessidades. O custo desta alternativa é evidentemente a necessidade de gerenciar interfaces entre dois sistemas – aqueles em uso e o novo ERP. Nem sempre esse processo é simples, pois pode requerer rotinas de tradução de dados que podem ser mais ou menos complexas, dependendo do nível de incompatibilidade dos sistemas envolvidos.

A SAP e a Oracle são as principais fabricantes de sistemas MRP II e ERP. A Oracle adquiriu a PeopleSoft que por sua vez já havia adquirido a JD Edwards, fabricantes de sistemas ERP também bastante populares. No Brasil, Logocenter e Microsiga, que dispõem de sistemas ERP voltados principalmente para pequenas e média empresas, associaram-se recentemente, dando origem ao maior fabricante de *software* empresarial da América Latina.

Também existem alguns sistemas ERP específicos para o setor marítimo: o MARS da Logimatic e o Marine ERP Suíte da Multiplus.

Os principais sistemas ERP disponíveis no mercado encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais Fornecedores de Pacotes MRP II e ERP

| Produto                            | Fornecedor                                  | Sede               | Sítio   |
|------------------------------------|---|--------------------|---|
| SAP/R3 (MRP II/ ERP)               | SAP AG                                      | Walldorf/ Alemanha | www.sap.com   |
| Oracle Manufacturing (MRP II/ ERP) | Oracle Corporation                          | Califórnia/ EUA    | www.oracle.com  |
| BAAN4 (MRP II / ERP)               | SSA Global                                  | Chicago/ EUA       | www.ssaglobal.com   |
| SSA                                | SSA Global                                  | Chicago/ EUA       | www.ssaglobal.com   |
| PeopleSoft ERP                     | Oracle's PeopleSoft Enterprise applications | Califórnia/ EUA    | www.peoplesoft.com/corp/en/public_index.jsp               |
| J D Edward ERP                     | Oracles's JD Edwards EnterpriseOne          | Califórnia/ EUA    | www.oracle.com/applications/jdedwards-enterprise-one.html |

### Sistemas ERP na Construção Naval

Hoje em dia grande parte das indústrias de manufatura busca substituir os seus sistemas de administração da produção domésticos por sistemas integrados generalistas, como é o caso dos sistemas ERP. No entanto, essa prática está em oposição ao que está sendo feito no ambiente da construção naval. Os estaleiros buscam abordagens híbridas e desenvolvem sistemas próprios, específicos para atendimento de suas necessidades, principalmente com relação a melhor adequação aos seus perfis de produção e de organização da produção. Os sistemas híbridos podem reunir características dos três tipos de Sistemas de Administração da Produção abordados nessa seção (Produção Enxuta, ERP e Gestão de Projetos), reunindo inclusive módulos de sistemas comerciais integrados em um sistema mais abrangente.

Conforme já foi mencionado anteriormente, os sistemas ERP passaram por um crescimento explosivo nos últimos anos, inclusive com a sua adoção por pequenas e médias empresas. Alguns estaleiros também instalaram módulos ERP como é o caso do Fincantieri na Itália, Howaldtswerke-Deutsche Werft AG na Alemanha e o Newport News nos Estados Unidos, que adotaram o sistema desenvolvido pela SAP. Entretanto problemas associados à implantação de sistemas ERP na construção naval podem ser citados (MOGENSEN, 1999):

- Módulos relacionados à Gestão de Recursos Humanos: Pessoal (*Personnel*), Folha de Pagamento (*Payroll*);
- Muitos sistemas ERP baseiam-se em sistemas MRP II, que foram desenvolvidos para indústrias de manufatura de produção em série;
- Fundamentalmente os sistemas ERP não foram desenvolvidos para indústria de um produto único, isto é, uma indústria associada a um projeto. A estrutura dos sistemas ERP necessita de grandes adaptações para ser utilizada pela indústria de construção naval;
- Os sistemas de informação ERP tradicionais pressupõem manipulação de um considerável volume de informações antes que algum resultado possa

ser obtido. Essa perspectiva é contraditória em relação ao processo de produção na construção naval, que se caracteriza por um processo interativo entre o projeto, aquisição de materiais e produção;

- Normalmente, os sistemas ERP têm grande preocupação com a geração de pedidos de compra, gerenciamento do estoque e produção de itens padronizados. Essas funções nos sistemas ERP frequentemente geram muitas atividades, que do ponto de vista estratégico da construção naval, são de menor relevância.

Muitos fabricantes de pacotes voltados para a administração da produção, isto é, sistemas MRP/MRP II e ERP, oferecem soluções específicas para determinados segmentos industriais como o automotivo, químico, farmacêutico, siderurgia, óleo e gás. Entretanto, soluções específicas para construção naval são difíceis de se encontrar no mercado (ERRAGUNTLA *et al.*, 2003).

Uma empresa que se dedicou ao desenvolvimento de sistemas de administração da produção voltados para a construção naval é a Logimatic da Dinamarca. Esse fabricante atualmente dispõe de um sistema integrado MARS, que abrange produção, gerenciamento de materiais, programação e procedimentos para concorrências. Os sistemas desenvolvidos pela Logimatic estão instalados em mais de 50 estaleiros em todo o mundo e o MARS foi adquirido por vários estaleiros classe mundial. Uma das razões para esse sucesso deve-se a origem da empresa, a Logimatic é oriunda do setor marítimo, e da estreita cooperação com os estaleiros no desenvolvimento dos seus sistemas.

Tendo em vista a sua aplicação na construção naval, o MARS não utiliza uma abordagem típica dos sistemas ERP, buscando soluções de tecnologia de informação mais adequadas para as principais operações relacionadas à construção naval: CAD/CAM, gerenciamento de materiais e da produção, gerência de projeto, controle financeiro e recursos humanos (MOGENSEN, 1999).

### **3.6. Gerenciamento de Projetos**

Nos últimos anos as ferramentas, os métodos e as técnicas relacionados ao gerenciamento de projetos têm recebido atenção crescente. O trabalho de consolidação desses elementos, realizado por instituições que também têm como objetivo a disseminação da cultura do gerenciamento de projetos, têm sido muito bem sucedido. Dentre as instituições ligadas ao gerenciamento de projetos, destaca-se o *Project Management Institute - PMI*, que edita periodicamente o Guia do Conjunto de Conhecimentos do Gerenciamento de Projetos (*Project Management Institute Body of Knowledge – PMIBOK® Guide*).

O PMIBOK apresenta de forma bastante abrangente as técnicas e ferramentas utilizadas e consagradas pela prática do gerenciamento de projetos. A utilização dessas técnicas e ferramentas garante que o projeto está sendo gerenciado de acordo com as melhores práticas estabelecidas pelo PMI.

A metodologia PMI é composta de trinta e nove processos de gerenciamento de projetos distribuídos em uma estrutura matricial que relaciona áreas de conhecimento e grupos de processos, conforme apresentado na Tabela 4. Para cada processo de gerenciamento de projetos são descritos quais são os dados necessários, as ferramentas e técnicas empregadas e o resultados obtidos.

O conjunto completo dessas informações permite que o projeto seja gerenciado conforme a metodologia estabelecida no PMIBOK. As áreas de conhecimento do PMIBOK são as seguintes:

- Gerenciamento de Integração
- Gerenciamento do Escopo
- Gerenciamento de Tempo
- Gerenciamento de Custos
- Gerenciamento de Qualidade
- Gerenciamento de Recursos Humanos
- Gerenciamento das Comunicações
- Gerenciamento de Riscos
- Gerenciamento das Aquisições

Os grupos de processos do PMIBOK são os seguintes:

- Iniciação
- Planejamento
- Execução
- Controle
- Encerramento

Os *softwares* normalmente utilizados pelos estaleiros para o planejamento e programação de projetos são o *Microsoft Project*, o *Primavera* e o *Artemis*. Também são largamente utilizadas planilhas eletrônicas como o *Microsoft Excel* para o desenvolvimento dessas funções.

As áreas de gerenciamento de projetos que tradicionalmente são consideradas na construção naval, de acordo com a metodologia PMI, são o gerenciamento de custo e o gerenciamento de tempo.

As técnicas mais freqüentemente utilizadas para o gerenciamento do tempo em estaleiros são o PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method*) e o Gráfico de *Gantt*.

A necessidade de identificação de atividades independentes e de relações de precedência entre as várias atividades na construção de um navio torna imprescindível a utilização de técnicas de elaboração de redes de atividades. As redes de atividades estabelecem, portanto, a seqüência e a dependência entre várias atividades, caracterizando-se como ferramentas de programação de atividades.

Tabela 4 – Mapeamento de processos de gerenciamento de projetos

| Grupos de processos<br>Áreas de conhecimento        | Iniciação | Planejamento  | Execução   | Controle  | Encerramento                |
|---|-----------|---|--|---|-----------------------------|
| <b>Gerenciamento de Integração do Projeto</b>       |           | Elaboração do plano do projeto  | Execução do plano do projeto                                   | Controle integrado de alterações                          |                             |
| <b>Gerenciamento do Escopo do Projeto</b>           | Iniciação | Planejamento do escopo<br>Definição do escopo   |  | Verificação do escopo<br>Controle de alterações do escopo |                             |
| <b>Gerenciamento de Tempo do Projeto</b>            |           | Definição das atividades<br>Seqüenciamento das atividades<br>Estimativa de duração das atividades<br>Elaboração do cronograma   |  | Controle do cronograma                                    |                             |
| <b>Gerenciamento de Custos do Projeto</b>           |           | Planejamento dos recursos<br>Estimativas de custos<br>Orçamento de custos   |  | Controle de custos  |                             |
| <b>Gerenciamento de Qualidade do Projeto</b>        |           | Planejamento da qualidade   | Garantia de qualidade  | Controle de qualidade                                     |                             |
| <b>Gerenciamento de Recursos Humanos do Projeto</b> |           | Planejamento organizacional<br>Formação da equipe   | Desenvolvimento da equipe                                      |   |                             |
| <b>Gerenciamento das Comunicações do Projeto</b>    |           | Planejamento das comunicações   | Distribuição de informações                                    | Relatório de desempenho                                   | Encerramento administrativo |
| <b>Gerenciamento de Riscos do Projeto</b>           |           | Planejamento do gerenciamento de riscos<br>Identificação de riscos<br>Análise qualitativa de riscos<br>Análise quantitativa de riscos<br>Planejamento de respostas a riscos |  | Monitoração e controle de riscos                          |                             |
| <b>Gerenciamento das Aquisições do Projeto</b>      |           | Planejamento das aquisições<br>Planejamento da solicitação  | Solicitação<br>Seleção das fontes<br>Administração do contrato |   | Encerramento do contrato    |

Fonte: PMI (2000)

A técnica comumente conhecida como PERT/CPM se baseia, essencialmente, nas redes de atividades. Na verdade são duas técnicas diferentes, mas que por força da prática são referidas como uma única técnica. KERZNER (2003) comenta que, embora ambas as técnicas se baseiem em redes de atividades e possuam a mesma nomenclatura, há as seguintes diferenças:

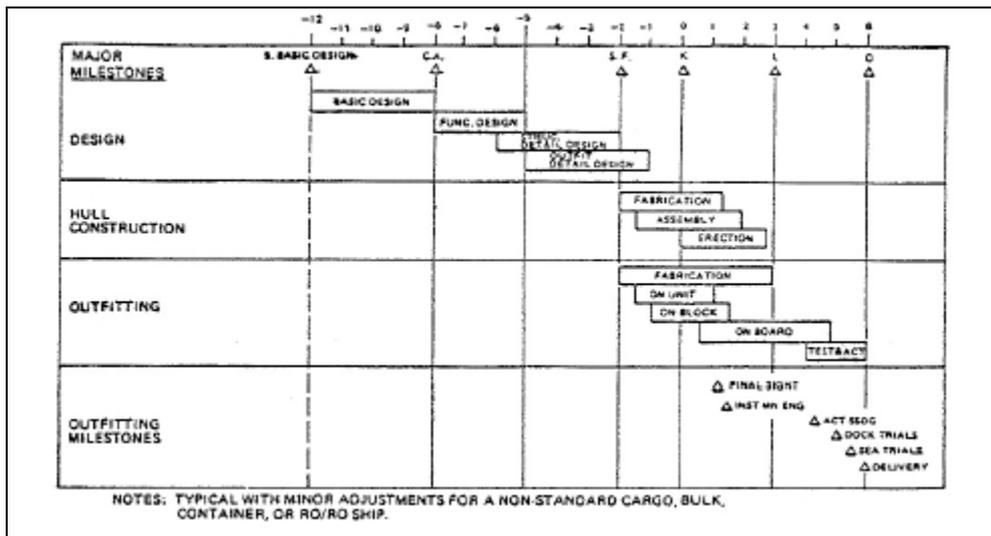
- PERT utiliza três estimativas de duração para as atividades (otimista, mais provável e pessimista) para estimar a duração esperada, o CPM usa apenas uma estimativa;
- PERT é uma técnica de natureza estocástica, que utiliza distribuições de probabilidade para definir as durações das atividades permitindo que riscos de conclusão do projeto sejam estimados, o CPM é de natureza determinística e se baseia em uma única estimativa;
- PERT é utilizado para projetos onde os riscos envolvidos no cálculo das durações apresentam grande variação, o CPM é utilizado em projetos que possuem estimativas precisas de tempo;
- PERT é utilizado em projetos onde o percentual de conclusão é impossível de ser calculado, não ser em *milestones* bem definidas, o CPM é utilizado em projetos onde é possível calcular o percentual de conclusão com razoável precisão.

As redes de atividades são formadas por eventos, representados por nós, e atividades, representadas por flechas. Os eventos representam o início ou o fim de uma atividade e não representam a passagem do tempo. As atividades representam o desempenho do trabalho com as respectivas durações.

A principal crítica em relação a técnicas de gerenciamento de atividades através de redes se refere ao custo e ao tempo necessários para a manutenção das redes. A dinâmica da disponibilidade de recursos encontrada em um estaleiro força a atualização constante das redes para que o seu uso seja efetivo, o que representa um esforço considerável para o departamento de planejamento do estaleiro.

O gráfico de *Gantt*, também conhecido como gráfico de barras, é uma técnica simples de representação gráfica onde atividades são distribuídas pelo tempo ou pelo valor. É uma ferramenta reconhecida pela sua simplicidade e utilidade, pois é facilmente entendida e modificada para acomodar alterações do projeto. Pode ser utilizada em vários níveis de detalhamento das atividades e pode ou não representar também as relações entre atividades. É muito útil para a representação de atividades na construção naval, principalmente para visualizar e controlar as atividades em níveis mais agregados de detalhamento. Também é importante pela simplicidade de entendimento, já que muitas pessoas podem facilmente compreender a seqüência e as relações entre atividades representadas através do gráfico *Gantt*, mas têm problemas para compreender a representação através de redes de atividades.

A representação do cronograma mestre de edificação através de um gráfico de *Gantt*, como se observa na Figura 11, é muito utilizada, permitindo que a superposição na utilização de recursos críticos seja visualizada de forma mais clara.



Fonte: STORCH *et alii* (1995)

Figura 11 – Cronograma mestre da produção

Para controle de custo e cronograma a técnica conhecida como Gerenciamento do Valor Adquirido (*Earned Value Management – EVM*) também tem sido utilizada por estaleiros. O EVM será comentado em mais detalhes na seção dedicada ao Controle da Produção.

Outras ferramentas importantes que também fazem parte do conjunto de técnicas de Gerenciamento de Projetos têm sido utilizadas em estaleiros, como, por exemplo, as relacionadas com as áreas de conhecimento de Gerenciamento de Qualidade, Gerenciamento de Riscos e Gerenciamento das Aquisições.

Gerenciamento de tempo, de custo e de risco são as áreas onde se observa o maior desenvolvimento de tecnologias baseadas em técnicas quantitativas. Os procedimentos empregados nos estaleiros mais avançados incorporam, além de métodos estatísticos e de pesquisa operacional, ferramentas de simulação e inteligência artificial.

### 3.7. Sistemas híbridos

Foram apresentados acima três das principais abordagens para a administração da produção, a Produção Enxuta, o ERP e a Gestão de Projetos. Nenhum dos sistemas, ou filosofias, apresentados são capazes de resolver, de forma isolada, todos os problemas de uma organização industrial. Cada sistema tem suas características, vantagens e desvantagens, que são em maior ou menor grau mais adequadas para cada tipo de indústria.

As atividades industriais também têm características específicas, como, por exemplo, o perfil da demanda e o perfil do produto, que definem o modelo de organização dos processos de produção e também a forma como são administrados. Portanto, a utilização de uma abordagem híbrida que aproveite os elementos de cada sistema apresentado da melhor forma possível, de forma integrada e flexível, é em muitos casos a solução para se ter um sistema de administração eficiente.

A abordagem do gerenciamento com o foco na gestão de operações e na administração da produção é similar à encontrada nas indústrias de manufatura. É fundamentalmente diferente da abordagem encontrada na indústria de construção,

baseada do gerenciamento de projetos individuais que possuem recursos de produção próprios e em grande parte não compartilhados.

A construção naval, que se situa entre a indústria de construção, com produtos únicos, complexos e especializados; e a indústria de manufatura, com produtos padronizados, demanda sistemas de gestão específicos, como ilustrado na Figura 12, incorporando ferramentas de gestão de projetos e também de gestão da produção. Os estaleiros que usam sistemas de gestão no estado da arte desenvolvem sistemas híbridos que consideram as características específicas dos seus sistemas de produção.

Muitos dos estaleiros que têm adotado práticas de organização da produção voltadas para a Tecnologia de Grupo e a Produção Enxuta, também têm utilizado ferramentas de gerenciamento de operações, como o Planejamento Agregado da Produção, em conjunto com técnicas e ferramentas encontradas na disciplina de gerenciamento de projetos.

Alguns sistemas de gestão de projeto e programação da produção suportam técnicas e ferramentas de gerenciamento de projetos que foram modificadas de forma a acomodar a abordagem agregada da produção na construção naval. Dessa forma, permitem o gerenciamento de múltiplos projetos, o compartilhamento dos recursos de produção entre múltiplos projetos, e a geração de programações que considerem todas as atividades do estaleiro independentemente do contrato ou do projeto.

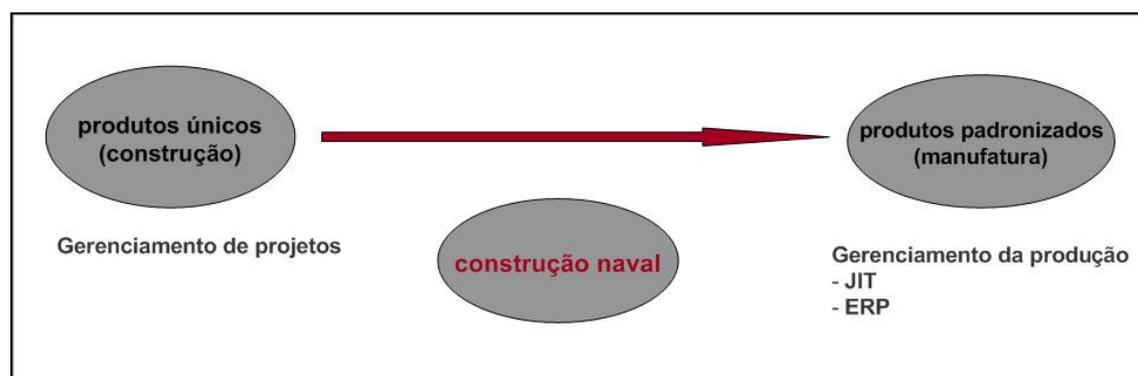


Figura 12 – Tipos de Indústrias x Sistemas de Administração da Produção

O acompanhamento físico-financeiro de um projeto, através da ligação entre os eventos principais e o fluxo de caixa de um determinado projeto, ainda merece atenção especial como ferramenta indispensável para a comunicação entre o estaleiro e *stakeholders* do projeto (armadores, órgãos de governo, instituições seguradoras ou financeiras, etc).

Entretanto, em estaleiros cujo perfil de produção se caracteriza pela padronização de produtos intermediários, pelas Células de Manufatura, e pela utilização de conceitos de Tecnologia de Grupo e de Produção Enxuta, o gerenciamento de projetos individuais tem recebido importância secundária como ferramenta de gestão da produção do estaleiro.

Em estaleiros com esse perfil, a gestão de projetos únicos tem se modificado de modo a incorporar a capacitação para o gerenciamento de múltiplos projetos, incluindo o planejamento da utilização da capacidade e de balanceamento da força de trabalho que considerem essa abordagem.

Como comentado anteriormente, o Planejamento Agregado da Produção tem sido utilizado junto com as ferramentas de gerenciamento de projetos para auxiliar no estabelecimento de estratégias de estoques e capacidade no processo de planejamento de médio prazo.

As ações de médio prazo com foco em planos de produção são geralmente definidas com o apoio dos resultados do planejamento agregado, que orientam decisões sobre contratação e demissão de funcionários, subcontratação, estoques, utilidades, modificações de instalações e contratos de fornecimento de materiais. Dessa forma, pode-se incorporar a análise da variação de custos e níveis de produtividade, de recursos de produção ou subcontratação, do custo do atraso, do impacto de diferentes tipos de políticas de estoques, além de inúmeros outros fatores.

O planejamento agregado permite que as instalações sejam carregadas de forma a minimizar a sobrecarga e a subcarga, nivelando a carga de trabalho e reduzindo os custos de produção. Através dessa ferramenta, também é possível trabalhar com um plano para suportar mudanças na capacidade de produção de modo a atender a variações na demanda, resultando em capacidade de produção alinhada com a expectativa de demanda agregada.

O planejamento agregado é normalmente realizado com base na previsão da demanda agregada para um período de tempo, nas capacidades do sistema de produção e nas fontes de capacidade de médio prazo (trabalho em horas normais e em horas extras, estoques e subcontratação).

Alguns estaleiros têm utilizado sistemas do tipo MRP/MRP II/ERP, adotando a perspectiva de gestão agregada dos recursos com o foco em produtos intermediários, e não em atividades. Alguns estaleiros também têm realizado tentativas de integrar as duas abordagens citadas, ou seja, a gestão de operações e o gerenciamento de projetos.

Entretanto, é necessária alguma prudência ao se utilizar sistemas comerciais de administração da produção MRP/MRP II no controle de manufatura de produtos extremamente complexos como é o caso de um navio (SPICKNALL, 2004). Alguns sistemas MRP/MRP II podem apresentar limitações para trabalhar com uma quantidade muito grande de componentes, como é o caso de um navio.

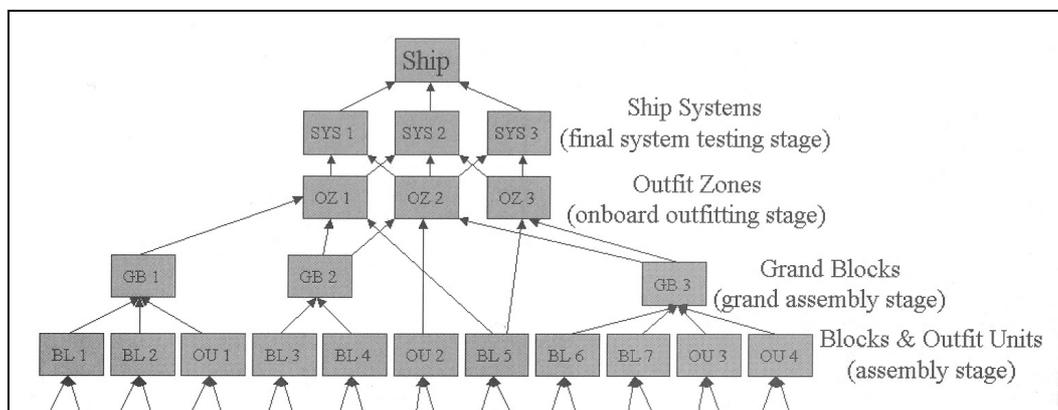
Esses sistemas também assumem uma estrutura de produto tipicamente hierárquica, mas a estrutura de produto de um navio não é puramente hierárquica, conforme pode-se observar na Figura 13. Por exemplo, pode haver muitas relações na estrutura do produto entre os blocos e o trabalho de *outfitting* realizado a bordo, isto é, uma única zona de *outfitting* a bordo pode ser composta por diversos blocos, bem como a edificação de um único bloco pode gerar diversas zonas de *outfitting*.

De forma semelhante, também podem existir muitas relações na estrutura do produto entre zonas de *outfitting* a bordo e os sistemas do navio, isto é, uma única zona de *outfitting* pode abranger partes de vários sistemas do navio, e um único sistema pode passar por várias zonas de *outfitting* do navio.

Muitos estaleiros desenvolveram seus próprios sistemas de planejamento uma vez que os sistemas comerciais não se adequavam as suas necessidades. Vários estaleiros japoneses e coreanos, e alguns europeus (Odense Steel Shipyard) e norte-americanos (Ingalls) desenvolveram seus próprios sistemas de planejamento. Alguns sistemas CAD/CAM desenvolvidos para construção naval apresentam módulos de planejamento que são integrados com o modelo do produto e proporcionam meios

para planejar atividades de estruturas e *outfitting* na etapa de edificação dos blocos. Muitos estaleiros utilizam esses pacotes como parte dos seus sistemas de planejamento.

Outros estaleiros, conforme já foi mencionado anteriormente, utilizam simplesmente sistemas comerciais de gerenciamento de projetos ou mesmo planilhas eletrônicas como base de seus sistemas de planejamento.



Fonte: Spicknall, 2004

Figura 13 – Relações entre os Diversos Níveis da Estrutura de Produto do Navio

### 3.8. Planejamento, programação e controle da produção

#### 3.8.1. Planejamento da Produção

O planejamento orientado para a capacidade de longo prazo, também caracterizado como planejamento estratégico, tem como objetivos principais o desenvolvimento das instalações e equipamentos, grandes fornecedores e processos de produção.

Já o Planejamento da Produção ocorre nos níveis tático e operacional. No caso específico da construção naval, a definição da seqüência programada para a montagem dos blocos é um exemplo de uma função do nível tático. Já a definição das seqüências de fabricação de peças e componentes, de submontagens e montagens, o planejamento do *outfitting*, da pré-edificação e da edificação são funções do nível operacional.

Para o planejamento no nível tático são utilizados os produtos intermediários de alto nível, como grandes blocos, blocos, unidades de *outfitting*, zonas de *outfitting* a bordo e sistemas da embarcação. No planejamento operacional são considerados todos os produtos intermediários, com a definição dos pacotes de trabalho e a consideração dos recursos específicos necessários para a execução de cada um.

O Planejamento da Produção também envolve atividades ligadas à Engenharia de Produção, ou Industrial, como, por exemplo, as funções de análise dos processos de construção naval, juntamente com a definição dos tempos e dos esforços necessários para cada atividade, considerando as características do estaleiro relacionadas com a infra-estrutura, a produção anual e os tipos mais comuns de embarcações construídas. A Figura 14 mostra um exemplo da análise de processos para a montagem de um bloco plano de um navio.

Entre as principais atividades de planejamento no estaleiro se destacam o planejamento básico da construção do casco, o planejamento detalhado da produção e as estimativas de conteúdo de trabalho. Essas três atividades serão brevemente descritas a seguir.

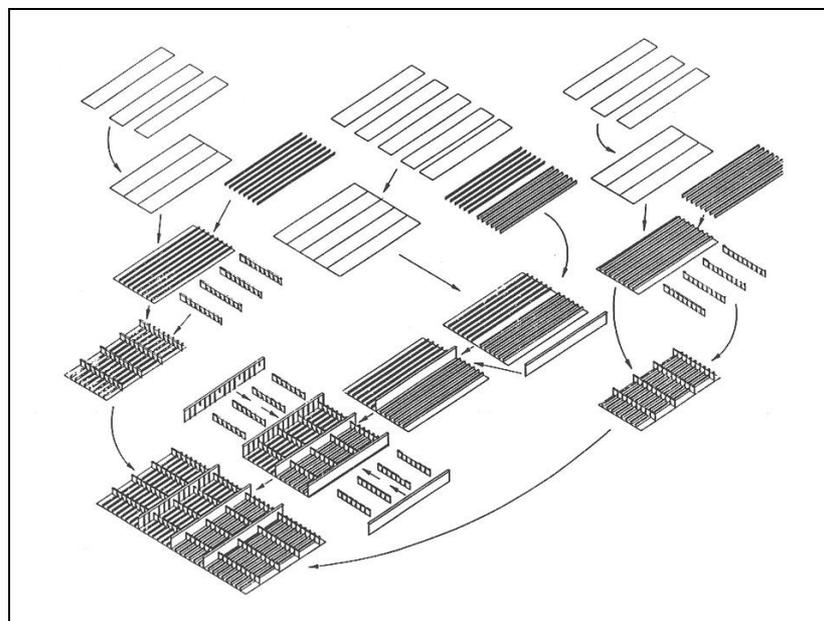


Figura 14 – Análise de processos de construção de um bloco

O planejamento básico da construção do casco, por se tratar da base sobre a qual outros planos serão desenvolvidos, recebe normalmente grande atenção da equipe de planejadores. As programações da construção do casco e das linhas de processamento estão fortemente relacionadas com o planejamento da construção do casco.

A definição dos blocos é estabelecida de forma coordenada com as necessidades de instalação de *outfitting* e de pintura. Atividades de *outfitting* e pintura que não podem ser realizadas em unidades, e que precisam ser realizadas no bloco ou a bordo da embarcação, implicam em alterações no projeto do bloco para que sejam facilitadas. No entanto, é a seqüência de montagem dos blocos e da edificação que definem, fundamentalmente o planejamento do *outfitting* e da pintura. O aumento da eficiência na construção de blocos passa pela padronização de produtos intermediários, como já foi comentado.

O planejamento das atividades de montagem de blocos e edificação ganha, com a padronização dos produtos intermediários, velocidade, precisão e maior consistência de dados da produção. Como conseqüência, há uma sensível melhora da produtividade no planejamento da produção e no desenvolvimento de produtos intermediários que sejam adequados à infra-estrutura, equipamentos e processos disponíveis.

O planejamento detalhado da produção, referente a cada produto intermediário, no nível do chão de fábrica, tem fundamental importância para a definição de todas as operações diárias ou de curto prazo em um estaleiro. Cada área do estaleiro relacionada a atividades de construção do casco (projeto, controle dimensional, fabricação de peças e componentes, submontagem, montagem de blocos,

edificação) é responsável pelo planejamento e desenvolvimento de seus processos, incluindo o seqüenciamento das atividades, a programação, os recursos necessários, o controle de materiais, o controle dimensional, etc, para a produção de cada produto intermediário.

O planejamento da fabricação de peças e componentes é derivado dos planos estabelecidos para a edificação, a montagem de blocos e as submontagens. No planejamento das linhas de fabricação de partes, deve ser considerado que partes com conteúdo de trabalho diferentes devem estar prontas ao mesmo tempo para o início de uma submontagem, por exemplo. Portanto, para que sejam estabelecidos fluxos uniformes de trabalho nessas linhas de processamento, são separadas as pequenas peças com grande quantidade de trabalho referente a cortes complexos e chanfros, por exemplo, de peças que compõem o fluxo principal com conteúdos de trabalho similares.

A separação de submontagens de montagens de blocos se deve ao fato de que tais atividades possuem, claramente, diferentes níveis de trabalho, inviabilizando o estabelecimento de fluxos. Separando as submontagens, é possível trabalhar com taxas constantes de avanço do trabalho nas seqüências de atividades, ideais para o nivelamento da carga de trabalho. Como diferentes submontagens são requeridas em quantidades variadas, com a adoção da Tecnologia de Grupo é possível estabelecer linhas de produção específicas para determinadas categorias de submontagem.

O último processo antes da edificação é a montagem de blocos. Os blocos são montados a partir do recebimento de peças e submontagens no local determinado para a montagem. Normalmente são organizadas linhas de processamento de painéis planos e de painéis curvos, sendo que linhas específicas também podem ser estabelecidas para blocos com quantidades de trabalho com variações muito grandes, como, por exemplo, blocos de proa e popa e da praça de máquinas.

O Planejamento da Produção no estado da arte se dá através do desenvolvimento de um *Master Planning*, que programa globalmente todas as atividades de pré-produção e produção de um navio. O *Master Planning* é parte integrante de um sistema computadorizado integrado de planejamento, que viabiliza a interação contínua dos níveis de planejamento estratégico, tático e detalhado. Possui orientação a sistemas, zonas e departamentos, mas nos níveis mais baixos de planejamento é orientado a produtos. No entanto, a estrutura do *Master Planning* permite a rastreabilidade das atividades desde a produção orientada a produtos intermediários até os níveis de planejamento orientados a sistemas. Os dados de alocação de recursos e desempenho de células de produção/*workstations* estão disponíveis *on-line*. O *Master Planning* nunca (ou raramente) é alterado durante o projeto servindo de referência para monitoração dos contratos.

### **3.8.2. Programação da Produção**

Enquanto o planejamento está voltado, principalmente, para as atividades e recursos necessários, a programação estabelece tempos para a utilização dos recursos alocados às atividades no planejamento. A programação (*scheduling*) consiste basicamente na determinação de quando as atividades devem ser realizadas.

A Figura 15 mostra uma representação hierárquica dos principais elementos na programação da produção na construção naval.

A programação dos eventos principais é o programa básico para as operações referentes a um determinado projeto, e pode chegar a ter cerca de 30 eventos, como o início e término do processamento de aço, início e término de montagens estruturais, batimento de quilha, lançamento, início e término da instalação do motor principal, etc. No nível hierárquico abaixo da programação dos eventos principais, encontram-se as programações da edificação e da montagem de blocos.

A programação para a montagem de blocos estabelece quando e onde serão montados e serve como base para a programação do *outfitting* nos blocos. A programação da edificação, exemplificada na Figura 16, estabelece quando os blocos e as unidades de *outfitting* serão unidos no dique/carreira e é a base para a programação do *outfitting* a bordo.

Esses programas formam a base para a programação mais detalhada, seja de um grupo de atividades em particular, como casco, máquinas, superestrutura e fabricação de peças e componentes, ou em relação ao tempo, como cronogramas mensais e semanais de atividades.

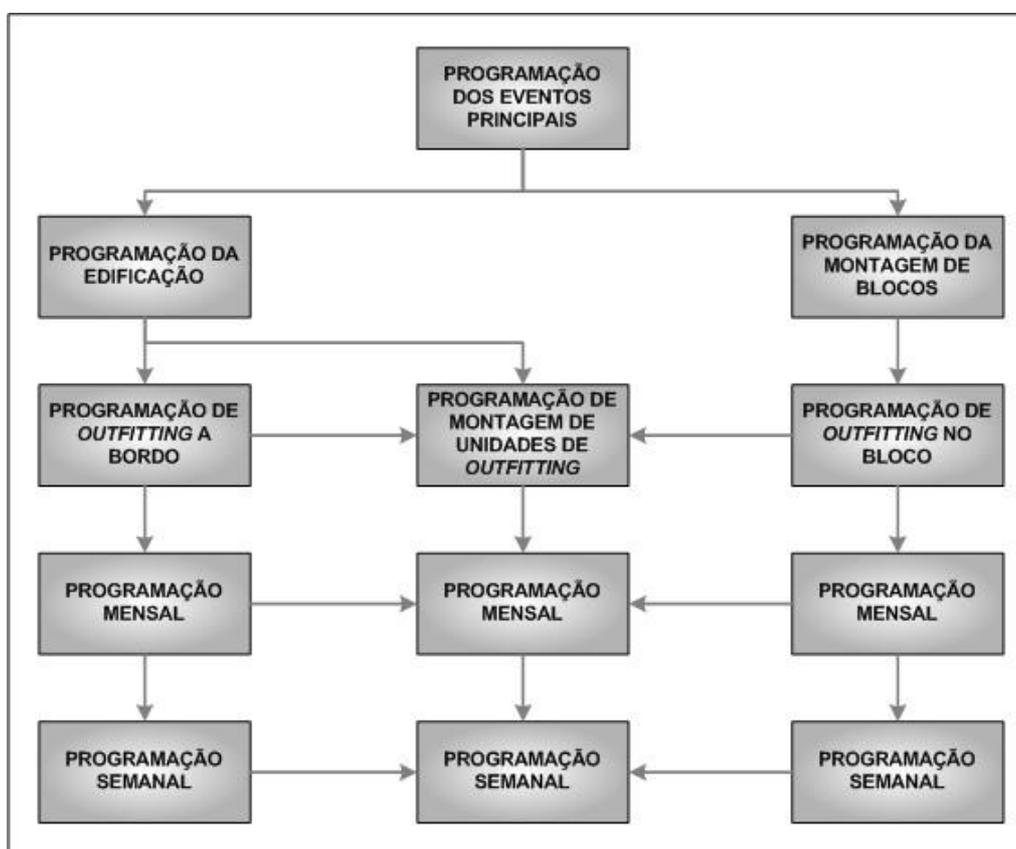


Figura 15 – Programação de atividades na construção naval

Quatro dos principais elementos da programação na construção naval merecem destaque dentro do escopo deste trabalho e serão brevemente comentados a seguir: (a) o cronograma mestre da produção, (b) o cronograma detalhado da edificação, (c) o cronograma mestre de montagem, e (d) a programação detalhada da produção.

A programação básica das operações no estaleiro é iniciada através do cronograma mestre de produção. O Cronograma Mestre da Produção é normalmente apresentado através de um gráfico de *Gantt*, onde são apresentadas as datas e as

durações programadas para as atividades de projeto (projeto básico, projeto funcional, detalhamento estrutural e detalhamento de *outfitting*), de construção do casco (processamento do aço, montagem de blocos e edificação), e de *outfitting* (fabricação, montagem de unidades, *outfitting* no bloco e *outfitting* a bordo e testes).

O cronograma mestre também é utilizado para acomodar as principais etapas de construção no caso da construção simultânea de vários navios, permitindo a análise de sobrecargas em recursos críticos, como, por exemplo, o berço de construção e as áreas de montagem de blocos.

A partir do Cronograma Mestre, que é basicamente um cronograma integrador dadas as características de agregação das atividades consideradas, deriva-se uma série de outros cronogramas operacionais (cronogramas mestres de edificação, *outfitting* e pintura) programando a produção em todos os níveis organizacionais do estaleiro, como, por exemplo, em departamentos, seções, grupos ou estações de trabalho.

O cronograma mestre de edificação pode ser apresentado como na Figura 16, onde são ilustradas as zonas do navio, o posicionamento dos blocos em relação ao casco, a seqüência e a programação para a edificação. No entanto, perde-se a capacidade de análise da construção simultânea e das possíveis sobrecargas de atividades em determinados recursos críticos. Portanto, também é muito utilizada a representação do cronograma mestre de edificação através de um gráfico de *Gantt*, permitindo que a superposição na utilização de recursos críticos seja visualizada de forma mais clara.

Alguns estaleiros utilizam sistemas próprios desenvolvidos que apresentam, junto com os cronogramas operacionais, um gráfico que indica a utilização da capacidade de determinados recursos ou processos críticos. A utilização é associada a uma atividade do cronograma e, logo abaixo da barra correspondente à atividade no gráfico de *Gantt*, é colocada uma barra vertical que indica a utilização da capacidade. Dessa forma, por exemplo, em um cronograma de montagem de blocos, a utilização da capacidade é indicada para cada período considerando todos os blocos em montagem naquele período. É uma ferramenta útil para programar as atividades com o foco na utilização da capacidade, facilitando a visualização e permitindo que as atividades ou as capacidades sejam modificadas de forma a maximizar a utilização dos recursos disponíveis.

O cronograma detalhado de edificação é elaborado a partir do cronograma mestre da edificação, incluindo as seguintes informações:

- O tempo mais curto de edificação;
- A seqüência de edificação mais favorável para o alinhamento;
- As durações necessárias para o alinhamento e a união de blocos na edificação, para a mudança de unidades de trabalho, e remoção de andaimes;
- As datas para a edificação de cada bloco;
- As necessidades diárias de mão-de-obra de montagem e soldagem

A partir das informações contidas no cronograma detalhado da edificação é, então, elaborado o cronograma mestre de montagem, que antecede a programação detalhada das atividades no nível do chão de fábrica. Além do cronograma detalhado da edificação também são utilizados para a elaboração do cronograma mestre de

montagem o cronograma mestre da produção, a programação básica das atividades e o cronograma mestre do projeto.

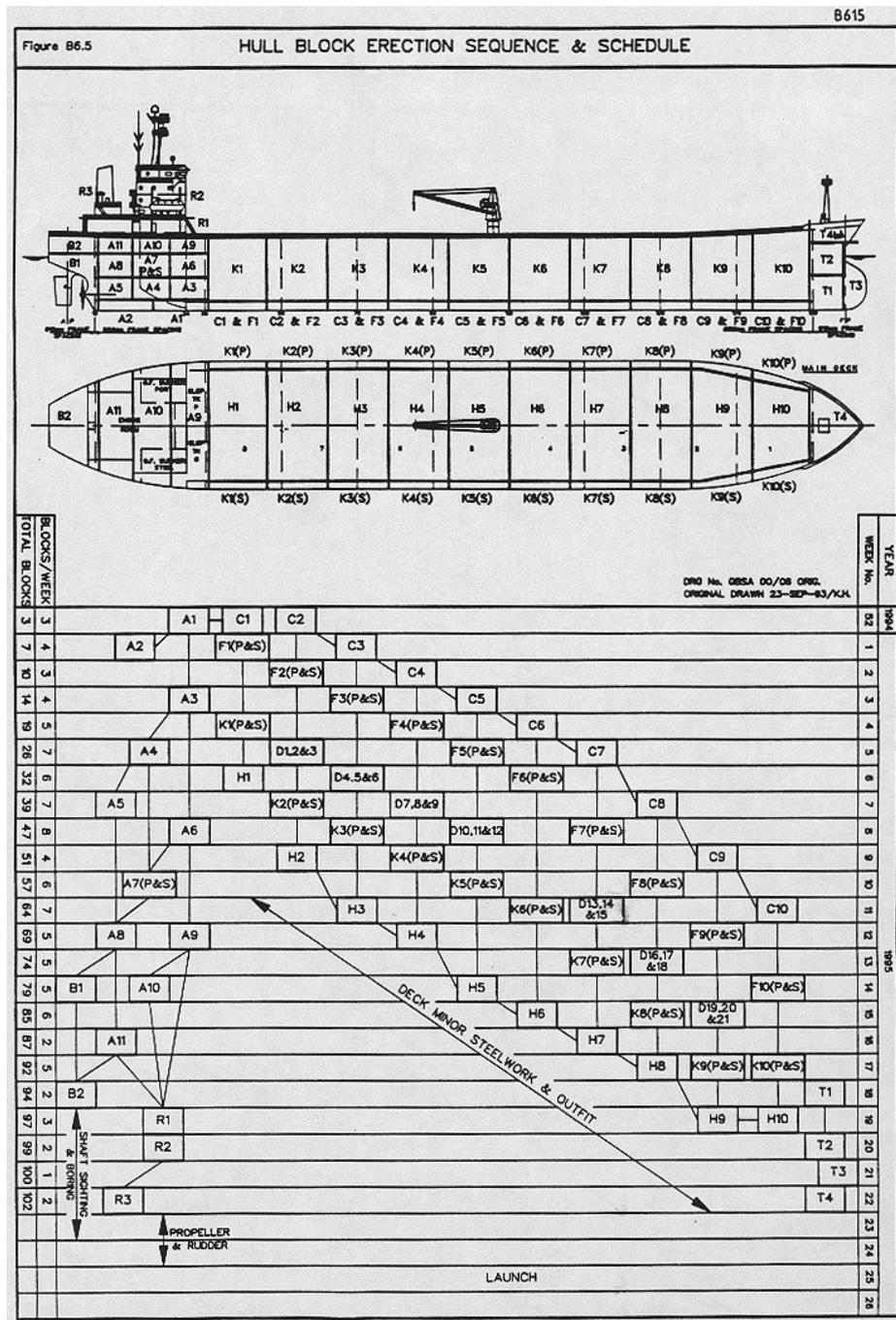


Figura 16 – Sequenciamento e Programação da edificação

O desenvolvimento do cronograma mestre de montagem envolve o nivelamento da carga de trabalho, considerando todas as outras atividades de montagem no estaleiro. Nesse cronograma são mostrados os tempos de montagem de cada bloco para cada navio em construção e para cada categoria de processos (por exemplo, montagens de blocos planos e blocos curvos). O cronograma mestre de montagem é também o cronograma mestre para as atividades de submontagem, fabricação de partes, requisição de materiais e detalhamento do projeto.

O cronograma mestre de montagem juntamente com os cronogramas mestres de montagem de unidades de *outfitting* e as necessidades de tempo para o *outfitting* no bloco, dão origem a um cronograma integrado para a produção. Esse cronograma integrado para a produção passa por ajustes, referentes à coordenação no chão de fábrica, para se tornar o cronograma detalhado da produção no nível do chão de fábrica.

A programação detalhada da produção é elaborada, principalmente, para as áreas do estaleiro envolvidas com a construção do casco. Dessa forma, são estabelecidos cronogramas e programas de produção para a oficina de fabricação de partes e para as áreas de submontagem, de montagem de blocos e de edificação.

A programação na oficina de fabricação de partes é baseada nos cronogramas mestres de edificação e de montagem. Cada linha de processamento definida na área de fabricação de partes (partes planas, partes conformadas, partes com formas complexas) tem datas de início de atividades diferentes, uma vez que as taxas de produção são diferentes e que as partes devem ficar prontas ao mesmo tempo, de modo a evitar estoques de produtos intermediários. Portanto, peças que requerem maior tempo de processamento, por exemplo, peças que precisam de marcação e corte específicos para a conformação em relação ao corte e marcação de peças planas, são programadas para ter sua produção antecipada.

O detalhamento da programação das submontagens, para cada linha de processamento, é realizado a partir do cronograma mestre de montagem. As submontagens são classificadas para que peças da mesma família sejam processadas em fluxos contínuos, e para cada fluxo de submontagens são definidos os tempos de processamento, os tempos de espera entre as conclusões das submontagens e o início da montagem no bloco, os limites de estoque de submontagens com base na área disponível. O nivelamento da carga de trabalho nas linhas de submontagem é realizado com base na produtividade do processo de soldagem de elementos (horas-homem por comprimento de solda).

A programação detalhada da montagem dos blocos também é gerada a partir do cronograma mestre de montagem. Para cada bloco é elaborado um cronograma detalhado da produção, envolvendo todos os processos de união de submontagens, peças e componentes de *outfitting*. As datas estabelecidas no cronograma mestre de montagem definem o tempo de início e fim da montagem de cada bloco. O cronograma detalhado do bloco também inclui a programação de recursos para o desenvolvimento dos processos, com atenção especial para as necessidades de mão-de-obra e de equipamentos de movimentação de carga.

As principais datas referentes à edificação já estão definidas no cronograma detalhado da edificação comentado acima. A programação detalhada envolve ainda os cronogramas de instalação e remoção de andaimes, e cronogramas de inspeção e pintura dos blocos edificados. Atenção especial é dada à coordenação do berço de construção, normalmente considerado um recurso crítico no estaleiro, de forma que o batimento de quilha de uma nova construção seja realizado imediatamente após o lançamento da construção anterior.

A Programação da Produção no estado da arte é integrada com o sistema central de planejamento, sendo a preparação das atividades dos locais de trabalho, a programação do dia a dia, e as informações sobre desempenho funções do chão de fábrica. A informação para a preparação dos programas é extraída diretamente de

modelos 3D dos produtos, usando estatísticas de homem/hora e de tempos de execução. O sistema de modelagem do produto é alimentado com informações adquiridas através de cartões com código de barras que registram início e fim de cada pacote de trabalho. A Programação da Produção no estado da arte também é integrada aos sistemas de materiais e folha de pagamentos.

### **3.8.3. Controle da produção**

A necessidade de comparação entre o que foi planejado e o que está sendo executado é fundamental para a avaliação do desempenho de qualquer organização industrial. O controle envolve a avaliação de aspectos referentes a custo, prazo e qualidade. As ferramentas de controle são desenvolvidas para permitir que problemas relacionados a esses aspectos sejam detectados e que os ajustes necessários no planejamento e na programação das atividades possam ser analisados.

O controle da produtividade consiste na monitoração de índices de progresso da produção calculados com base em diferentes medidas, como por exemplo, peso, comprimento de solda e comprimento de cabos. Eventualmente é necessário mais de um índice para o controle de um grupo de pacotes de trabalho.

A acumulação dos índices de produtividade permite que, além da produtividade nos processos, também seja analisado o progresso da produção no processo em questão. A comparação com as respectivas programações serve de base para ajustes de curto prazo na produção, como a mudança de operários ou a utilização de horas extras.

Alguns índices de progresso da produção e de produtividade são apresentados abaixo:

- Progresso da produção na construção do casco (tempo x peso)
  - Fabricação
  - Submontagem
  - Montagem
  - Edificação
- Produtividade na fabricação de partes (tempo x hh)
  - Estruturas internas
  - Conformação de partes
- Produtividade na submontagem e montagem de blocos (peso x hh)
  - Submontagens
  - Montagem de blocos planos
  - Montagem de blocos curvos
- Produtividade na edificação (peso x hh)
  - Posicionamento de bloco
  - Soldagem
- Produtividade na instalação de máquinas e equipamentos (peso parametrizado x hh)
  - Montagem de unidades
  - Outfitting no bloco
  - Outfitting a bordo

- Produtividade em instalações elétricas, sem considerar os cabos (peso parametrizado x hh)

Outfitting no bloco

Outfitting a bordo

Alguns estaleiros têm utilizado para controlar aspectos referentes a custo e tempo a técnica conhecida como Gerenciamento do Valor Adquirido (*Earned Value Management* – EVM), também conhecida como Sistema de Controle de Custo-Cronograma (*Cost-Schedule Control System* – CS 2). Essa abordagem do controle, com foco no projeto, pode deixar de lado importantes questões relacionadas ao desempenho das operações no contexto do Planejamento Agregado da Produção. No entanto, mantendo o controle das operações conforme delineado no Planejamento Agregado da Produção, o EVM pode ser uma ferramenta de grande utilidade para o controle do custo e do cronograma na construção naval.

Segundo FLEMING e KOPPELMAN (2000), o valor agregado (*earned value*), ou valor adquirido, tem origem remota, sendo idealizado por engenheiros industriais das fábricas americanas do final do século XIX. Basicamente, o conceito de valor adquirido é explicado através do entendimento de três elementos fundamentais: os padrões planejados, os padrões realizados e os custos reais. Portanto, a comparação entre o que foi planejado de custo e de tempo, com o estágio atual do trabalho e com os custos reais incorridos é a forma mais básica de gerenciar o valor adquirido. A técnica de EVM será abordada com mais detalhes no Capítulo 6 desta tese.

Independentemente da técnica utilizada para controlar os indicadores de desempenho da produção, é de fundamental importância que a base de dados gerada a partir dos dados coletados no chão de fábrica, seja integrada com o modelo do produto, para que essas informações estejam disponíveis para apoiar as funções de projeto e engenharia de produção e de processos. O sistema de controle da produção também se insere nesse ambiente integrado com capacidade para analisar os indicadores gerados a partir dessa base de dados. Modelos de análise e diagnose podem ser desenvolvidos no sentido de interagir com o banco de dados com os seguintes objetivos:

- Modelagem de custos e tempos para planejamento e orçamentação;
- Diagnose de problemas nos projetos; e
- Previsão de tempos e custos para conclusão de projetos, visando a antecipar problemas e auxiliar no replanejamento e reprogramação de atividades.

O Controle da Produção no estado da arte é inserido em um sistema de planejamento totalmente integrado, com monitoração e controle em todos os níveis, integrando *workstations* e o *master plan*. Em cada nível de planejamento há conexão direta com sistemas financeiro, comercial e de compras, para controle e monitoração de custos, materiais e mão-de-obra.

O Controle da Produção no estado da arte também exige que sistemas de informações para o gerenciamento da produção sejam desenvolvidos. O estado da arte em sistemas de informações para o gerenciamento da produção é caracterizado pela estruturação dos registros de forma a atender as necessidades dos vários níveis do

gerenciamento e supervisão da companhia, com parâmetros de desempenho simples e bem definidos em todos os níveis.

A meta e o desempenho (incluindo estatísticas de defeito e retrabalho) de cada estação de trabalho são fixados nos locais de trabalho para servir de referência para as atividades em andamento.

O sistema de registro é uma parte do sistema de planejamento e controle da produção. O sistema de elaboração e divulgação de relatórios é integrado aos sistemas de planejamento e controle da produção, com os registros de desempenho sendo fornecidos *on-line* como parte integrante dos sistemas computacionais integrados. O acesso ao banco de dados é controlado por um código que permite vários níveis de acesso de acordo com a função individual, responsabilidades e nível na estrutura da organização.

A avaliação e monitoração de desempenho e eficiência na construção naval, juntamente com as funções de planejamento, programação e controle da produção, também é um importante elemento em sistemas operacionais no estado da arte.

O estado da arte em avaliação e monitoração de desempenho e eficiência compreende a utilização de métricas de desempenho estabelecidas para todas as atividades do estaleiro (pré-produção e produção), com indicadores de desempenho ligados aos modelos 3D dos produtos e aos sistemas de planejamento e controle.

Para avaliação do desempenho da produção nas estações de trabalho (*workstations*), são atribuídas taxas de desempenho a famílias de produtos intermediários desenvolvidas com base em estatísticas de utilização de mão-de-obra e de tempos de produção. A monitoração é realizada *on-line* no nível das estações de trabalho (*workstations*) e também em níveis mais agregados para o acompanhamento de projetos e previsões para planejamento. A revisão e a atualização são realizadas de maneira regular e automatizada, permitindo a avaliação do desempenho e da eficiência a qualquer momento.

#### **3.8.4. Garantia de Qualidade**

O controle e a garantia da qualidade são aspectos críticos na construção naval moderna e competitiva. Por exemplo, partes e submontagens que não se encaixam adequadamente provocam retrabalho e até mesmo a substituição causando aumento de custos com materiais e mão-de-obra, e, por conseqüência, descumprimento dos cronogramas estabelecidos desequilibrando todo o sistema de produção. Portanto, a qualidade é fundamental na busca por maior competitividade na construção naval.

Métodos de controle estatístico da qualidade/processos (*Statistical Quality Control/Statistical Process Control – SQC/SPC*) são ferramentas antigas e muito conhecidas desde o seu surgimento na década de 30, e têm sido utilizadas com sucesso na indústria de construção naval. Atualmente, estaleiros de classe mundial têm sistemas de SQC/SPC muito bem estabelecidos e plenamente efetivos.

O estado da arte em controle e garantia da qualidade é reconhecido através do estabelecimento de um sistema de garantia de qualidade plenamente reconhecido, com pessoal de todos os níveis (gerenciamento, supervisão e força de trabalho) intensamente treinados com foco na qualidade.

A responsabilidade pela qualidade é do chão-de-fábrica, encarregado de aplicar os procedimentos definidos no sistema de qualidade. Apenas um pequeno departamento é encarregado da manutenção do sistema e da verificação regular do

bom funcionamento para garantir a consistência da qualidade. O registro de defeitos é incorporado ao sistema, ligando-o a um programa permanente de treinamento e melhoramento contínuo.

O estado da arte em qualidade na construção naval também está associado a uma política de defeito zero no estaleiro.

### **3.8.5. Estratégia de Construção (*Build Strategy*)**

A Estratégia de Construção é uma ferramenta fundamental para se alcançar o estado da arte em diversas funções associadas à gestão da produção na construção naval. Estaleiros com níveis tecnológicos próximos ao estado da arte nessas funções possuem Estratégias de Construção muito bem definidas.

Estaleiros japoneses, por exemplo, têm manuais que documentam os procedimentos para a execução de atividades que são mantidos com extremo cuidado. Nesses documentos é encontrado o histórico de desenvolvimento do processo, incluindo as mudanças incorporadas ao longo do tempo.

Nesta seção é brevemente apresentado um conjunto de procedimentos desenvolvido para a implantação da Estratégia de Construção.

A Estratégia de Construção, segundo CLARK e LAMB (1996), é um plano abrangente e devidamente aprovado que contém elementos de projeto, engenharia, gerenciamento de materiais e planos de produção e de testes. É aprovado antes do início do trabalho e tem como principal objetivo a identificação e a integração de todos os processos necessários para a conclusão da construção da embarcação.

A Estratégia de Construção contém, normalmente, três elementos básicos: (a) o Plano de Negócios (*Business Plan*), a Política de Construção (*Shipbuilding Policy*), e a Definição do Navio (*Ship Definition*) para aplicação da Estratégia de Construção. Esses elementos serão comentados nesta seção.

O conceito de Estratégia de Construção foi originalmente concebido por um estaleiro inglês no início da década de 70, contendo detalhes da decomposição do trabalho, seqüências de trabalho formalizadas e ciclos curtos de construção associados às características de infra-estrutura, equipamentos e modelo de organização da produção específicos do estaleiro. Essa abordagem agregada do planejamento permitiu que a comunicação, coordenação e cooperação dentro do estaleiro fossem significativamente melhoradas.

Desenvolvimentos posteriores foram realizados incorporando a experiência adquirida na utilização desta abordagem em estaleiros de diferentes países. Embora em muitos estaleiros se chame o plano de produção de Estratégia de Construção, são poucos os que realmente adotam os procedimentos recomendados por essa abordagem do processo de planejamento.

A construção de uma embarcação é um processo complexo que envolve um esforço considerável de planejamento para aumentar as chances de sucesso do empreendimento. Normalmente, os estaleiros planejam a forma como seus navios serão construídos, utilizando-se de diferentes abordagens, ferramentas, métodos e técnicas para desenvolver as atividades de planejamento.

Observa-se que frequentemente os planos são preparados por diferentes departamentos e são integrados através de um plano mestre (*master plan*). Sob a

abordagem da Estratégia de Construção, todas as atividades de planejamento são integradas, respeitando os seguintes objetivos:

- Aplicação da Política de Construção (*Shipbuilding Policy*) aos contratos;
- Permitir que o desenvolvimento do projeto esteja de acordo com as exigências da produção;
- Introduzir de forma sistemática princípios que reduzam o trabalho e o tempo de construção;
- Identificar produtos intermediários e criar abordagens voltadas para o produto nas atividades de engenharia e planejamento;
- Determinar as necessidades de recursos e as respectivas demandas de infraestrutura e equipamentos;
- Identificar problemas de capacidade em relação a infra-estrutura e equipamentos, mão-de-obra e habilidades específicas;
- Criar parâmetros para a programação e o planejamento detalhado da engenharia, *procurement* e atividades de produção;
- Estabelecer as bases para a organização da produção, incluindo as datas referentes a encomenda e entrega de itens com tempo de entrega longo;
- Assegurar que todos os departamentos contribuam para a estratégia;
- Identificar e resolver problemas antes do início do trabalho em determinado contrato; e
- Assegurar a comunicação, cooperação, colaboração e consistência entre as diferentes atividades técnicas e de produção.

Para evitar que uma Estratégia de Construção completa seja desenvolvida para cada navio contratado, dois documentos mais gerais são recomendados para a definição de questões estratégicas e de organização da produção no estaleiro: o Plano de Negócios (*Business Plan*) e a Política de Construção (*Shipbuilding Policy*).

Dessa forma, para cada novo contrato não é necessário o desenvolvimento do Plano de Negócios e da Política de Construção, já que são gerais e aplicáveis ao estaleiro independente do contrato. A Estratégia de Construção é uma aplicação da Política de Construção em um contrato específico.

### **Plano de Negócios**

O Plano de Negócios é um documento que reúne os objetivos corporativos do estaleiro no longo prazo e descreve a forma como pretende se alcançar tais objetivos, incluindo as metas relativas a aspectos técnicos e de produção. Para atingir tais metas são, normalmente, necessárias decisões envolvendo:

- O desenvolvimento da infra-estrutura e equipamentos;
- A definição de metas de produtividade;
- Escolhas entre fazer, comprar ou subcontratar; e
- A definição sobre a organização técnica e da produção.

### Política de Construção

No documento referente à Política de Construção, com base no perfil produtivo considerado estratégico pelo estaleiro, discutido na elaboração do Plano de Negócios, são definidos a organização da produção e os métodos construtivos considerados ideais para atender as expectativas de produção.

Os objetivos principais da Política de Construção são a racionalização do projeto e a padronização, desenvolvidos através da consideração dos conceitos de Tecnologia de Grupo e de uma estrutura de decomposição do trabalho orientada a produtos. O conjunto de padrões desenvolvido no contexto da Política de Construção pode ser aplicado em contratos específicos de construção, baseando-se em três níveis, conforme se observa na Tabela 5.

A Política de Construção deve ser desenvolvida de modo a permitir que, ao mesmo tempo, seja consistente em relação aos objetivos colocados e também flexível para aceitar mudanças relativas ao desenvolvimento do produto, a novos mercados, ao desenvolvimento das facilidades, entre outras. Mudanças na Política de Construção devem ser consideradas através de um processo estruturado, desenvolvido previamente para acomodar as variações freqüentemente encontradas na indústria de construção naval.

Tabela 5 – Níveis, atividades e estágios de aplicação do documento de Política de Construção

| Nível                                     | Atividades   | Estágio                         |
|---|--|---------------------------------|
| Estratégico                               | <ul style="list-style-type: none"><li>- Definição das principais unidades de planejamento</li><li>- Desenvolvimento de planos (para diferentes tipos de embarcações) mostrando a seqüência de edificação</li><li>- Análise dos principais tipos de produtos intermediários</li><li>- Dimensões preferíveis para matérias-primas</li><li>- Dimensões máximas para montagens estruturais</li><li>- Pesos máximos para montagens estruturais</li><li>- Capacitação para conformação de materiais, considerando configurações de casco preferenciais</li><li>- Pesos, configurações e tamanhos preferíveis para montagens de módulos e unidades de <i>outfitting</i></li></ul> | Projeto preliminar e conceitual |
| Tático                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>- Produtos intermediários padrão</li><li>- Métodos e processos de produção padrão</li><li>- Estágios de produção padrão</li><li>- Práticas de instalação</li><li>- Tamanhos de materiais padrão</li><li>- Partes e componentes padrão</li></ul>  | Contrato e projeto de transição |
| Operacional, Detalhado ou Chão de Fábrica | <ul style="list-style-type: none"><li>- Descrições das estações de trabalho</li><li>- Capacidade das estações de trabalho</li><li>- Capacitação das estações de trabalho</li><li>- Padrões de projeto</li><li>- Tolerâncias do controle dimensional</li><li>- Padrões de solda</li><li>- Exigências para testes</li></ul>  | Projeto detalhado               |

### Aplicação da Estratégia de Construção

A Estratégia de Construção, como comentado acima, é a aplicação a um contrato específico da Política de Construção. Para que a Estratégia de Construção seja completamente definida é necessário, portanto, um documento denominado Definição do Navio (*Ship Definition*).

Nesse documento se encontram descrições detalhadas dos procedimentos a serem adotados, e o formato e o tipo de informação a ser providenciada por cada departamento ligado à produção de informações técnicas dentro do estaleiro. Tais informações serão utilizadas por armadores e agentes, pela gerência do estaleiro, por sociedades classificadoras, órgãos governamentais, departamentos técnicos do estaleiro (escritórios de projeto, centro de CAD/CAM, almoxarifado, planejamento, engenharia de produção, controle da produção, controle de materiais, estimativas, *procurement*) e departamentos de produção.

No processo de elaboração da Política de Construção, são identificados os tipos de navio que melhor se encaixam ao perfil produtivo do estaleiro. Por ocasião da negociação de um novo contrato de construção, se o objeto da negociação for um tipo de navio delineado na Política de Construção, alguns itens necessários para o desenvolvimento da proposta já terão sido considerados, entre eles:

- Métodos construtivos;
- Estrutura de decomposição do trabalho;
- Codificação;
- Estações de trabalho;
- Produtos intermediários padrão;
- Procedimentos de controle dimensional;
- Métodos de definição do navio;
- Estrutura de planejamento;
- Recursos físicos do estaleiro; e
- Recursos humanos.

Outra questão de preocupação na Estratégia de Construção é como encaixar a nova encomenda nos trabalhos em andamento no estaleiro. Um conjunto de informações é então necessário para que sejam analisadas as interferências na programação corrente do estaleiro e a programação para o navio em negociação. Tal conjunto inclui as seguintes informações:

- Cronograma dos eventos principais (fabricação, batimento de quilha, lançamento e entrega);
- Utilização de recursos;
- Cronograma de encomenda de materiais e equipamentos;
- Cronograma de entrega de materiais e equipamentos;
- Cronograma de detalhamento do projeto;
- Cronograma de testes; e

- Cronograma de pagamentos e fluxo de caixa projetado.

Embora a Estratégia de Construção não seja uma ferramenta utilizada por indústrias de produção em massa, no caso específico da construção naval pode ser utilizada com muita eficiência no sentido de melhorar a comunicação, a coordenação e cooperação entre os vários departamentos envolvidos.

Em estaleiros líderes em produtividade e cuja produção tem pouca variação, seja do produto final ou de produtos intermediários, considera-se, de forma geral, que não há grande necessidade de desenvolvimento de um documento contendo a Estratégia de Construção, pois normalmente já estão familiarizados com os produtos e organizados de forma a produzi-los da melhor maneira possível.

No caso desses estaleiros, que encontraram um nicho específico de atuação, desenvolveram projetos padrão adequados e também métodos construtivos padrão, o ritmo de encomendas permite que seja mantida uma base de recursos humanos habituada com os padrões praticados. Como as semelhanças entre os produtos intermediários e os produtos finais produzidos são muito grandes, não é necessária a revisão de cada novo navio para a elaboração de uma Estratégia de Construção adequada.

Estaleiros próximos ao estado da arte em Engenharia de Produção têm uma Estratégia de Construção muito bem desenvolvida e plenamente utilizada, através de métodos e padrões para a definição de produtos intermediários e de seus respectivos processos de fabricação. Dessa forma, não é necessário o esforço de desenvolvimento de uma Estratégia de Construção, como colocado nesta seção, e somente um pequeno grupo se dedica à manutenção dos padrões e ao desenvolvimento de novos métodos e processo.

A adoção da abordagem da Estratégia de Construção e a produção das informações e documentos ligados a essa abordagem não garante aumento de produtividade por si só. No entanto, o processo de implementação dessa abordagem pode resultar em benefícios para o estaleiro. Entre os benefícios citados com a implementação plena e efetiva da Estratégia de Construção, destacam-se os seguintes:

- Durante a produção, gerentes e operários têm disponíveis documentos que informam e orientam sobre todos os planos e metas estabelecidos para o projeto, inclusive referentes a outros departamentos. Esse conjunto de documentos, que é amplamente discutido e divulgado junto a vários departamentos do estaleiro, diminui a probabilidade de tomadas de decisão individuais que afetem de forma negativa o andamento do projeto.
- No desenvolvimento da fase que precede a produção, a abordagem da Estratégia de Construção assegura que o melhor projeto geral e a melhor filosofia de produção sejam adotados. O estímulo à comunicação estruturada e interdisciplinar entre os principais departamentos, ainda na fase preliminar de discussão do projeto, influencia de forma significativa no sentido da redução dos custos globais do projeto.

### **3.8.6. Técnicas avançadas – Simulação e Inteligência Artificial**

Entre as técnicas encontradas na literatura que representam avanços significativos nas funções de planejamento, programação e controle da produção na construção naval, destacam-se a simulação, a manufatura digital, a realidade virtual e

a inteligência artificial. São técnicas muito utilizadas em outras indústrias, com alguns projetos de aplicação já em andamento em alguns estaleiros, como observado em KRAUSE e ROLAND (2004), LEE *et alii.* (1997), OKUMOTO (2002), OKUMOTO *et alii.* (2005), SHIN *et alii.* (2002), SAUTER *et alii.* (2001).

A simulação de processos de produção, que tem sido chamada de *manufatura digital*, é uma tecnologia relativamente nova que assumiu um papel importante na gestão do ciclo de vida de produtos. É uma tecnologia voltada para a definição e otimização de processos industriais, gestão de informações, e promoção de integração efetiva das atividades de engenharia.

A manufatura digital apóia o planejamento de processos, modelagem das instalações industriais, simulação de operações e visualização, análise de fatores humanos e ergonomia. Na área da engenharia da construção naval, a pesquisa e desenvolvimento na área de manufatura digital tem sido objeto de grande investimento, por instituições de pesquisa, empresas de *software* e estaleiros.

Para simulação de processos de construção naval, vários métodos e ferramentas têm sido pesquisados. Entretanto, por diversas razões, em geral, não têm apresentado resultados satisfatórios.

Uma das razões é que os pacotes de simulação de eventos discretos mais freqüentemente utilizados não incorporam modelos de recursos específicos da construção naval, que sejam predefinidos e reutilizáveis. Também, os métodos e ferramentas para planejamento e *scheduling* não conseguem levar em conta adequadamente as características dos processos e interações dentro do estaleiro, e entre o estaleiro e subcontratados e fornecedores. Finalmente, os dados requeridos para construir e validar os modelos tradicionais são extremamente difíceis de serem obtidos.

Tipicamente, em um estaleiro, instalações e equipamentos de uso geral são empregados para produzir componentes sempre diferentes (por vezes similares, porém pouco freqüentemente iguais). Por outro lado, o mesmo componente pode ser produzido em diferentes locações, empregando recursos e métodos diferentes. O tempo e o custo de um processo varia de componente para componente, em função do método e dos recursos empregados.

Assim, ao contrário do que ocorre com a produção em série, a informação necessária para descrever o desempenho de cada estação de trabalho não é definida a priori, precisando ser determinada através da simulação de cada componente do processo.

Portanto, ferramentas de simulação, manufatura digital e visualização tridimensional de processos de produção têm sido cada vez mais utilizadas para projetar a organização da produção em estaleiros e para o planejamento e a programação da produção.

A simulação tem ganhado importância na medida em que permite a consideração da natureza complexa, dinâmica e estocástica dos processos de construção naval, no planejamento e programação das atividades. As operações do estaleiro são normalmente modeladas através de subsistemas, representados por modelos de simulação que são criados e modificados de forma independente. Essa abordagem permite a avaliação geral de cenários de produção e a identificação de medidas de desempenho globais.

Modelos de manufatura digital com visualização tridimensional também estão sendo utilizados e são desenvolvidos para análises de interferências, da seqüência de atividades e de produtividade para o processo e o produto escolhidos. Dessa forma, é possível verificar se a estratégia de construção definida para tal processo e produto é factível dentro dos parâmetros estabelecidos. Com o detalhamento do produto e do processo, define-se a seqüência de montagem do produto através da lista de subprodutos. Assim, o processo de montagem é definido e sua validação através da manufatura digital é possível.

Os sistemas de simulação e manufatura digital disponíveis permitem, ainda, a análise de processos robotizados e de ergonomia. Na análise de processos robotizados as possíveis interferências entre o dispositivo e os produtos e a viabilidade de processos automáticos em relação a processos manuais podem ser avaliados. Através de modelos de representação digital de trabalhadores, também é possível a comparação entre o processo automatizado e o processo manual.

Aspectos relacionados à ergonomia na estação de trabalho podem ser avaliados com base no modelo desenvolvido para os trabalhadores. A repetição de movimentos e também as cargas movimentadas manualmente por cada trabalhador são analisadas para avaliar se as operações se enquadram dentro das normas estabelecidas para segurança e qualidade no ambiente de trabalho. Nesse contexto, também serão avaliadas a produtividade do trabalhador e o tamanho das equipes de trabalhadores necessárias para equivaler a um determinado processo automatizado. Adicionalmente, a viabilidade da modificação de certos procedimentos para maximizar o conforto, a segurança e o desempenho dos trabalhadores no estaleiro pode ser analisada.

No entanto, a operação de sistemas desse tipo demanda a definição e integração dos produtos, dos processos de produção e dos recursos necessários. Essas atividades exigem mão-de-obra qualificada, além da disponibilidade de dados.

É necessário o desenvolvimento de uma biblioteca que integre dados dos produtos, processos e recursos, incluindo todos os produtos intermediários e os subprodutos, processos, subprocessos e recursos necessários para a sua execução.

Com os dados do produto é possível obter a lista de subprodutos necessários até a montagem final. A partir dessa lista é possível definir preliminarmente as seqüências e os relacionamentos entre os processos e os recursos. As informações estruturadas a partir da biblioteca de produtos, processos e recursos, tornam possível a definição dos custos com materiais, processos e mão-de-obra envolvidos na execução das atividades para cada produto identificado do sistema de produção. Dessa forma, é possível a definição de alternativas de planejamento para as atividades. São normalmente utilizados diagramas de precedências para avaliar a seqüência de atividades a serem executadas, respeitando as particularidades associadas a cada parte, submontagem e sub-bloco (por exemplo, área e mão-de-obra necessárias), bem como aos processos e subprocessos envolvidos (por exemplo, disponibilidade, produtividade e custos).

A análise preliminar de processos pode ser realizada através de diagramas esquemáticos que representam subprocessos, interligados como predecessores e antecessores e processos paralelos. A análise gráfica permite que análises sejam realizadas com razoável antecedência no desenvolvimento do processo, facilitando o entendimento, a visualização e o pré-planejamento do processo considerado. Também podem ser avaliadas, considerando cenários de disponibilidade de mão-de-obra,

alternativas para o balanceamento da força de trabalho em determinado processo de produção. Os custos associados com a mudança no seqüenciamento das atividades para acomodar as restrições de disponibilidade de mão-de-obra podem ser levantados, permitindo que a tomada de decisões sobre a seqüência ótima de atividades se baseie também nas informações sobre a carga de trabalho necessária vs. a disponibilidade de mão-de-obra.

Além da simulação, técnicas de inteligência artificial (AI) têm grande potencial para melhorar a eficiência do projeto e da produção na construção naval. Destacam-se as aplicações de AI em problemas cuja natureza complexa dificulta a utilização de métodos convencionais de pesquisa operacional.

Na construção naval, freqüentemente é necessária a análise de problemas que envolvem grandes massas de dados e com comportamento estocástico, estimulando a utilização de ferramentas que incorporem técnicas de AI. Entre as aplicações identificadas como mais passíveis de aplicação de AI na construção naval, destacam-se aquelas ligadas a problemas de planejamento, programação e controle da produção.

SNAME (2003) aponta que, no futuro, a inteligência artificial na construção naval pode desenvolver as seguintes aplicações:

- Melhorar os sistemas de visualização de processos de fabricação e montagem;
- Melhorar sistemas de troca de informações facilitando a apresentação de grandes quantidades de dados;
- Auxiliar no desenvolvimento de máquinas e equipamentos capazes de entender comandos de voz;
- Melhorar sistemas robotizados, incluindo sistemas de visualização;
- Melhorar os processos de planejamento da produção.

## 4. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SIMULAÇÃO NA CONSTRUÇÃO NAVAL

### 4.1. Introdução

No Capítulo 3, observou-se que ferramentas que dão suporte às particularidades da indústria de construção naval e que, ao mesmo tempo, representam avanços significativos nas funções de planejamento, programação e controle da produção, precisam suportar a análise de problemas que demandam o tratamento de grandes massas de dados e que apresentam comportamento estocástico de difícil previsão. Tais características sugerem que o uso de ferramentas que incorporam técnicas de Inteligência Artificial pode produzir resultados eficientes.

Outra ferramenta que se apresenta com grande potencial para a indústria de construção naval é a simulação de eventos discretos. A simulação tem ganhado importância na medida em que permite a consideração da natureza complexa, dinâmica e estocástica dos processos de construção naval, no planejamento e programação das atividades. Essa tecnologia permite a avaliação geral de cenários de produção e a identificação de medidas de desempenho globais.

Neste capítulo é apresentada uma abordagem integrada de ferramentas de Inteligência Artificial e de Simulação e do conceito de Tecnologia de Grupo. Modelos de Redes Neurais, de Otimização com Algoritmos Genéticos e de Simulação foram desenvolvidos para aplicar conceitos de Tecnologia de Grupo à construção naval.

Observe-se que as ferramentas apresentadas têm como premissa básica a produção em escala para que o potencial pesquisado neste trabalho seja verificado. A produção em escala, se bem planejada e controlada pode levar a economias. A utilização das ferramentas apresentadas neste trabalho busca garantir os benefícios da produção em escala.

As ferramentas, conceitos e modelos pesquisadas e desenvolvidos neste Capítulo (Inteligência Artificial, Simulação e Tecnologia de Grupo) assumem, além da produção em escala mencionada acima, a hipótese de produção seriada e em paralelo para atingir os resultados previstos.

Também é importante mencionar que os modelos desenvolvidos consideram somente a produção de cascos de navios, sem *outfitting*. A consideração de componentes de *outfitting* aumentaria a complexidade dos problemas abordados e inviabilizaria a abordagem integrada apresentada neste trabalho. No entanto, deixa-se como recomendação para futuros trabalhos a consideração da integração entre estrutura e *outfitting*.

A hipótese do suprimento perfeito também foi considerada, ou seja, todos os materiais necessários para a produção estão disponíveis na quantidade certa e no tempo certo.

Também foi desenvolvido um modelo de otimização baseado em Algoritmos Genéticos para seqüenciar a edificação de blocos no berço de construção. A edificação é a atividade mais crítica em um estaleiro, pois utiliza o principal recurso desse tipo de organização industrial: o berço de construção.

A otimização dessa atividade pode levar a ganhos significativos de produtividade, desde que os processos nessa área estejam integrados com os processos que antecedem essa atividade crítica.

Finalmente, foi desenvolvido um modelo de simulação com o objetivo de validar a abordagem da formação de famílias de produtos e do seqüenciamento da edificação.

Embora toda a filosofia deste Capítulo esteja voltada para a integração entre os modelos mencionados, devido a limitações operacionais, a integração efetiva entre os modelos não foi possível. No entanto, recomenda-se que essas fronteiras sejam exploradas em trabalhos futuros.

#### **4.2. Sistema de Classificação de Produtos Intermediários baseado em Ferramentas de Análise Inteligente de Dados**

Esta seção tem como principal objetivo apresentar uma aplicação de princípios de Tecnologia de Grupo à Construção Naval (SOUZA e TOSTES, 2008). Para alcançar esse objetivo, um sistema de classificação de produtos baseado em ferramentas de inteligência artificial foi desenvolvido. A utilização dessas ferramentas permite que a classificação de produtos intermediários seja realizada através da consideração de aspectos complexos e multidimensionais, característicos de problemas de classificação de produtos aplicados à indústria de fabricação e montagem.

A indústria de construção naval possui muitas particularidades e seus modelos de organização se encontram numa faixa situada entre aqueles observados na indústria de construção e na indústria de manufatura. Dessa forma, um estaleiro pode estar configurado para operar com foco em produtos especiais, únicos, customizados e complexos, como faz a indústria de construção, ou em produtos padronizados, como a indústria automobilística, por exemplo. Entre esses dois modelos típicos, inúmeros outros modelos são possíveis.

Estaleiros de classe mundial têm realizado esforços no sentido de aplicar as ferramentas analíticas disponíveis que melhor se encaixam com suas estratégias operacionais. Dessa forma, uma vez definidas a estratégia de negócios, a linha de produtos e a estratégia de construção, as ferramentas de projeto e de gerenciamento da produção são utilizadas ou desenvolvidas para dar suporte à organização da produção.

Estaleiros com alta produtividade tendem a ajustar seus modelos de produção de modo a considerar navios diferentes como um conjunto relativamente similar de produtos intermediários. Essa abordagem oferece a possibilidade de trabalhar com linhas de produto mais flexíveis sem, no entanto, reduzir os níveis de produtividade alcançados. A forma encontrada para adequar a flexibilidade na linha de produtos com níveis altos de produtividade foi a adoção de princípios de Tecnologia de Grupo, onde similaridades entre produtos e processos de fabricação são identificadas e exploradas com o objetivo de aumentar a escala de produção para produtos intermediários, mesmo que os produtos finais (navios) sejam diferentes.

Em um sistema de produção com princípios de Tecnologia de Grupo incorporados, produtos intermediários podem ser agrupados em famílias com características similares de projeto e processos produtivos. Normalmente, dois tipos diferentes de atributos dos produtos podem ser utilizados para observar similaridades: (1) Atributos de projeto como formas, materiais, dimensões e tolerâncias, e (2) Atributos produtivos como ferramentas para fabricação, seqüência de operação, tamanho do lote, tempos de produção. Dependendo do tamanho da família, linhas de produção, ou estações de trabalho, especializadas podem ser implementadas.

O objetivo desta seção é desenvolver um sistema baseado em inteligência artificial capaz de identificar famílias de produtos e classificar elementos de um projeto de acordo com as famílias identificadas. Quando a família alcançar um número suficiente de elementos, linhas de produção especializadas podem ser projetadas com base nos atributos da família de produtos identificada.

O sistema desenvolvido utiliza informações de blocos obtidas de projetos já elaborados para identificar famílias de blocos, baseando-se nas similaridades entre atributos de projeto e de fabricação. Linhas de produção especializadas podem ser então projetadas com base nesses atributos, de forma que diferentes linhas de produção acomodem diferentes famílias de blocos com diferentes dimensões, peso de aço e conteúdo de trabalho.

Para a identificação das famílias de blocos, um modelo de classificação não-supervisionada (k-means) foi utilizado. Um banco de dados contendo atributos de projeto e de fabricação para diferentes blocos foi desenvolvido. Utilizando o banco de dados desenvolvido, o modelo k-means foi aplicado para identificar famílias de blocos.

Uma vez que famílias foram identificadas, outro modelo de classificação (redes neurais) é aplicado para a classificação de um novo projeto. As entradas para esse modelo são o banco de dados anteriormente utilizado e as classes obtidas através do modelo k-means.

O modelo de redes neurais é então treinado com esses dados e funções discriminantes são estimadas para a classificação de novos conjuntos de dados. Os parâmetros da rede neural estimada podem ser utilizados para aplicar essa estratégia de classificação em outros conjuntos de blocos.

#### **4.2.1. Problemas de Classificação de Dados**

A necessidade de reconhecer padrões de forma rápida e precisa pode ser verificada mesmo em problemas simples e cotidianos. O reconhecimento de faces e palavras, a leitura de manuscritos, interpretação de imagens e a tomada de decisões com base na identificação de padrões são tarefas simples que envolvem processos complexos.

O ser humano desenvolveu ao longo de sua evolução, uma impressionante habilidade para identificar padrões com base no desenvolvimento contínuo de sistemas cognitivos. O reconhecimento de padrões é também considerado um problema de classificação e uma vasta literatura está disponível sobre esse assunto, demonstrando o fato que esforços consideráveis têm sido realizados no sentido de desenvolver sistemas computacionais que representem estratégias de reconhecimento e classificação.

Há um grande número de soluções propostas para problemas de classificação. Um conjunto de ferramentas muito popular entre pesquisadores nessa área são as técnicas de classificação (*clustering*). O principal objetivo da aplicação dessas técnicas é a divisão de um grupo de objetos em classes de elementos similares, chamados “clusters”. Essa divisão é realizada através da análise de dados com a utilização de algoritmos matemáticos que representam funções discriminantes.

Pesquisadores dedicados a esse tema têm combinado ferramentas de inteligência artificial com técnicas de classificação, desenvolvendo análises inteligentes de dados para construir modelos sofisticados de classificação de dados.

A seguir será apresentada uma revisão da literatura referente a problemas de classificação na indústria de manufatura.

#### 4.2.1.1 Problemas de Classificação na Indústria de Manufatura

Uma área importante de preocupação para pesquisadores na área de manufatura é o desenvolvimento de sistemas de manufatura celular, ou “Cellular Manufacturing Systems (CMS)”, para melhorar a eficiência das operações de produção.

A aplicação de princípios de Tecnologia de Grupo como uma filosofia de planejamento aproveita similaridades entre partes para reduzir os custos de fabricação (SURESH e SLOMP, 2005). O principal aspecto da Tecnologia de Grupo é o agrupamento de partes com características similares, formando famílias de partes. O agrupamento de partes similares leva a economias de escala e permite a flexibilização da produção com baixos custos. Esse problema é frequentemente citado na literatura como o Problema da Formação de Células de Trabalho, ou “Cell Formation Problem (CFP)”.

Quando o trabalho é separado por categorias de problemas, utilizando-se princípios de Tecnologia de Grupo, a distribuição estatística da produtividade para cada categoria terá um comportamento mais estável, mais homogeneizado e com menor variância, portanto estimativas para o planejamento e programação das atividades podem ser obtidos com um grau muito maior de certeza. O controle do desempenho do projeto é também facilitado se os indicadores das operações são mais previsíveis.

Modelos de classificação podem ser utilizados para identificar famílias de acordo com os princípios de Tecnologia de Grupo. A aplicação de modelos de classificação para o CFP é comum na literatura de tecnologia da manufatura (DAGLI, 1994; MUJTABA e HUSSAIN, 2001; LEONDES, 1997).

A revisão da literatura relacionada com técnicas de classificação aplicadas ao CFP indica que a escolha por ferramentas de inteligência artificial para o desenvolvimento de soluções eficientes é adequada.

ONWUBOLU (1999) utiliza Redes Neurais SOM (Self-Organizing Maps) para o reconhecimento de produtos e partes para identificação de famílias e propõe uma metodologia para a aplicação em engenharia Simultânea, onde o projeto e a manufatura são integrados.

KAO e FU (2006) propõem um algoritmo de classificação baseado na técnica de colônia de formigas (ant-based) para aplicação na solução do CFP, concluindo que a metodologia é capaz de resolver esses tipos de problemas de forma eficiente.

SU (1995) utiliza lógica *fuzzy* para a formação de famílias e KUO (1999) integra redes neurais e lógica *fuzzy* para desenvolver aplicações de Tecnologia de Grupo.

#### 4.2.1.2 Problemas de Classificação na Indústria de Construção Naval

Problemas de classificação também estão presentes nas áreas de projeto do navio e construção naval, embora o número de estudos reportados não seja muito alto. Uma conclusão parecida pode ser considerada na aplicação de ferramentas de inteligência artificial.

KIM *et al.* (2006) utiliza um modelo de redes neurais para classificar chapas de aço para estimar cortes nos custos de processamento em etapas preliminares do

projeto de um navio. Outras aplicações de redes neurais na construção naval são apresentadas por CAPRACE *et. al* (2007) como parte de uma análise de *data mining* para filtrar dados com o objetivo de minimizar custos com atividades de alinhamento estrutural.

Já a Tecnologia de Grupo na construção naval tem sido estudada por mais de 30 anos com vários trabalhos desenvolvidos e publicados (GALLAGHER *et. al.*, 1974; LAMB, 1988; GRIBSKOV (1989).

No entanto, a aplicação de ferramentas de inteligência artificial para a solução de problemas CFP<sup>11</sup> na indústria de construção naval não foram ainda reportados.

STORCH e SUKAPANPOTHARAM (2002) e STORCH e SUKAPANPOTHARAM (2003) desenvolveram um trabalho muito interessante nessa direção ao apresentarem o conceito de *Common Generic Block* (CGB). Esse trabalho está em linha com o trabalho desenvolvido por construtores navais japoneses, publicados na série de estudos editados pelo *National Shipbuilding Research Program* (NSRP).

Em um desses estudos, OKAYAMA e CHIRILLO (1982) introduzem a estrutura de decomposição do trabalho orientada a produtos (*Product Work Breakdown Structure* - PWBS), que está relacionada com a aplicação de princípios de Tecnologia de Grupo. A PWBS será estudada com mais detalhes no Capítulo 5 e 6 desta tese. A PWBS permite que o produto principal possa ser organizado e planejado para, na medida do possível, manter os níveis de produtividade estáveis e o fluxo de trabalho ininterrupto. CHIRILLO (1989) ressalta a importância da PWBS e dos princípios de Tecnologia de Grupo para a eficiência da construção naval.

O trabalho desta seção tem como objetivo apresentar uma metodologia para a aplicação de princípios de Tecnologia de Grupo através da utilização de ferramentas de inteligência artificial para implementar modelos de classificação na construção naval.

#### **4.2.2. Modelos de Classificação**

Modelos de classificação que aplicam ferramentas de inteligência artificial são divididos em dois grandes grupos: supervisionados e não supervisionados. Basicamente, modelos supervisionados utilizam a informação já existente sobre classes e estimam uma função discriminante já existente e definida. Ao contrário, modelos não supervisionados têm a capacidade de classificar um conjunto de dados sem nenhuma informação prévia sobre classes.

Nesta seção serão apresentados dois métodos para a preparação de dados (normalização e Análise de Componentes Principais – ACP) e dois métodos para a classificação de dados (k-means e redes neurais).

##### **4.2.2.1 Normalização**

Um aspecto importante relacionado a métodos de classificação refere-se ao fato de que eles podem ser afetados pelas diferenças de escala entre os valores dos atributos. A solução para o problema é a normalização dos valores associados ao vetor de atributos. Os procedimentos que podem ser utilizados para a normalização dos vetores de atributos são apresentados a seguir:

---

<sup>11</sup> *Cell Formation Problem*

- Procedimento 1 – Normalizar todos os vetores de atributos utilizando como base os valores máximo e mínimo dos vetores, ou seja, utiliza-se um vetor composto dos valores máximos de cada objeto e um vetor com os valores mínimos. A expressão utilizada é a seguinte:

$$\hat{X}(t) = \frac{x(t) - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Onde  $x(t)$  é o vetor de atributos,  $\min(x)$  é o vetor com os valores mínimos e  $\max(x)$  é o vetor com os valores máximos.

- Procedimento 2 – A técnica apresentada acima pode gerar resultados imprecisos ao se considerar valores muito abaixo ou acima da média de todos os atributos (*outliers*). Esse segundo procedimento é baseado na média dos valores, portanto não é tão sensível ao efeito de *outliers*. A expressão utilizada é apresentada abaixo:

$$\hat{X}(t) = \frac{x(t) - \text{avg}(x)}{\alpha \text{sdv}(x)}$$

Onde  $\text{avg}(x)$  é a média dos valores do vetor de atributos,  $\text{sdv}(x)$  é o vetor de desvio padrão e  $\alpha$  é um número constante retirado de uma distribuição normal padronizada. Normalmente,  $\alpha$  é igual a 3, representando 99% dos valores dentro da faixa [-1,1].

Esses dois métodos de normalização são métodos lineares, mas métodos não-lineares também podem ser utilizados como, por exemplo, o Softmax apresentado abaixo:

$$\hat{X}'(t) = \frac{1}{1 + \exp(-\hat{X})}$$

Onde  $\hat{X}(t)$  é o vetor de valores dos atributos normalizado através de um dos dois métodos lineares apresentados acima.

#### 4.2.2.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise dos atributos é o ponto de partida para realizar a classificação de um elemento. Conseqüentemente, o primeiro passo em um estudo para a classificação de padrões é a definição do número de atributos mais adequado a ser considerado na base de dados do estudo. A escolha por um grande número de atributos é bastante comum.

Nesses casos, o problema de escolher atributos demais é que freqüentemente dois ou mais atributos se referem à mesma informação, reduzindo a eficiência do algoritmo de classificação. Com o objetivo de reduzir a base de dados ao menor número possível de atributos, maximizando a eficiência dos modelos de classificação, utiliza-se uma ferramenta relativamente popular, chamada Análise de Componentes Principais (ACP). O seu principal objetivo é a redução do número de atributos, dimensões ou componentes que serão analisados. Componentes Principais são combinações lineares de todos os atributos de uma determinada base de dados.

Graficamente, a ACP pode ser representada por um vetor que aponta na direção mais representativa da base de dados, ou seja, a direção com a maior variância. Desse

modo, esse método pode ser interpretado como um transformador do sistema de coordenadas de uma posição inicial para uma posição onde os dados são mais relevantes.

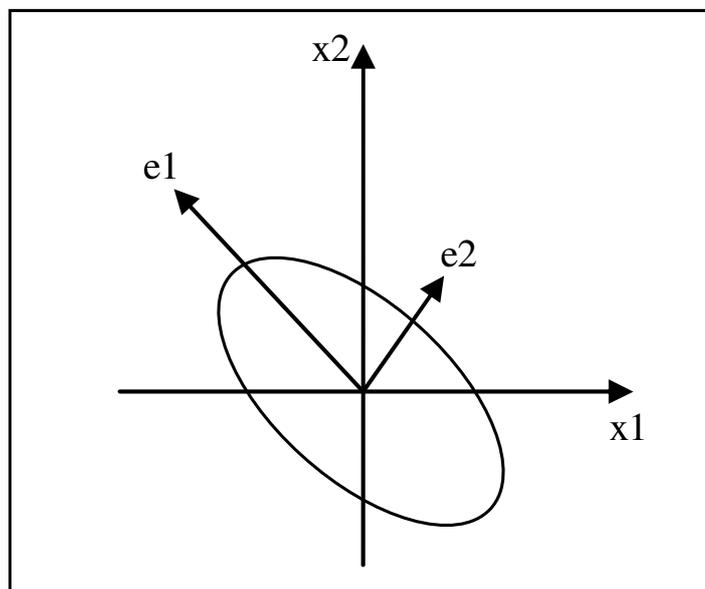


Figura 17 – Coordenadas originais e transformadas pela ACP

A transformação do sistema de coordenadas implica em assumir que as variáveis transformadas têm valores completamente diferentes dos valores originais. A Figura 17 ilustra as características da ACP, apresentando a transformação das coordenadas direcionando-as para a direção de máxima variância. As coordenadas transformadas na figura acima são representadas pelos vetores e1 e e2.

#### 4.2.2.3 K-Means

K-means é um algoritmo clássico e simples para classificar objetos. Trata-se de uma maneira simples para classificar uma base de dados através de um número pré-determinado de divisões (“clusters”). Supondo que a idéia é dividir a base em k “clusters”, serão definidos k centróides, um para cada “cluster”. O objetivo final é achar o centro de “cluster” mais próximo a um objeto. Através desse procedimento simples são consideradas todas as relações entre os valores dos atributos.

Antes de entrar em detalhes sobre esse método, deve-se considerar que ele se baseia, fundamentalmente, na distância entre os atributos dos objetos e dos centros de “cluster”. Para o cálculo dessa distância, normalmente a distância Euclidiana é utilizada. A expressão para o cálculo da distância Euclidiana é apresentada abaixo.

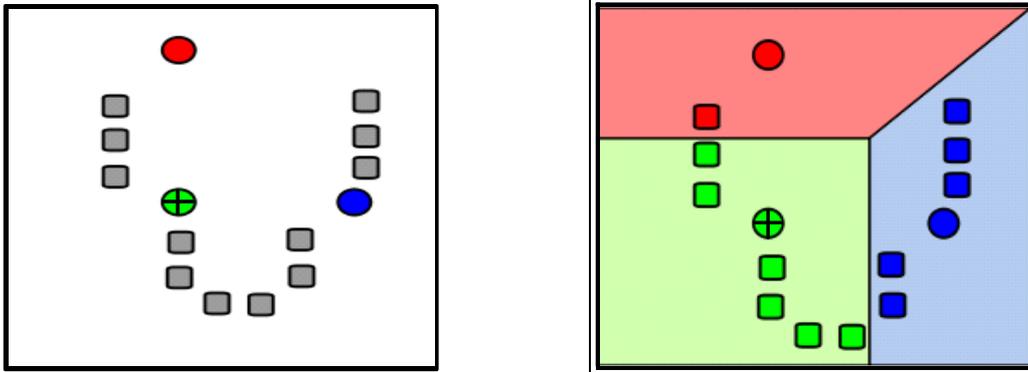
$$d(x(t), w_i) = [x(t) - w_i] P [x(t) - w_i]^T$$

Onde  $P$  é a matriz de ponderação que define os pesos referentes aos valores dos atributos,  $x(t)$  é o vetor dos atributos e  $w_i$  é o centro de “cluster”.

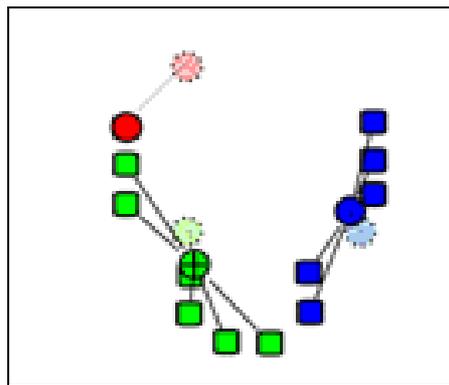
A seguir é apresentada de forma breve a forma como o algoritmo k-means funciona:

- 1º passo → Normalização dos vetores dos atributos, definição do número de “clusters” e escolha das posições iniciais dos centros de “cluster”.

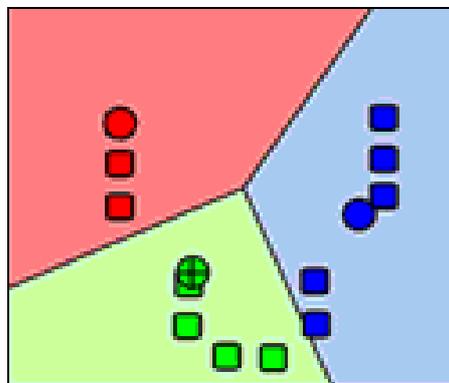
- 2º passo → Informar todos os objetos e seus respectivos vetores de atributos. O algoritmo faz a primeira divisão da base de dados considerando as menores distâncias dos pontos em relação à posição inicial atribuída para os centros dos “clusters”.



- 3º passo → São calculados os centróides de cada “cluster” que passam a ser os novos centros dos “clusters”. A base é dividida novamente com base nas distâncias entre os pontos e os centros dos “clusters”.



- 4º passo → Os passos 2 e 3 são repetidos até que se atinja a convergência do modelo.



O algoritmo é interrompido quando a tolerância definida é alcançada, ou seja, quando a diferença entre os centros dos “clusters” em duas iterações sucessivas é menor que a tolerância previamente definida, conforme a expressão abaixo.

$$\varepsilon = \| W_k - W_{k-1} \| < \delta$$

Onde  $W$  é a matriz de centros dos “clusters” e  $k$  é a iteração atual.

Trata-se de um método simples e eficiente que não requer parâmetros prévios para a definição das classes, requer somente a informação sobre o número de classes a serem identificadas.

#### 4.2.2.4 Redes Neurais (RN)

Um dos desafios para o desenvolvimento de problemas de classificação é a não linearidade, sendo difícil de escolher a função não linear mais apropriada. Uma das formas encontradas por pesquisadores para resolver esse problema é a utilização de Redes Neurais (RN). As RN são capazes de “aprender” e estimar funções discriminantes lineares, mesmo quando os dados do problema estão mapeados de forma não linear.

Os componentes básicos das RN são nós que correspondem a sinapses biológicas. Os dados são ponderados e acumulados em elementos do modelo chamados de neurônios e, então, são ativados ou não por funções de ativação que determinam as respostas da rede. Uma resposta positiva significa a ativação de uma conexão entre neurônios e uma resposta negativa inibe essa conexão.

Existem mais de 30 diferentes arquiteturas para as Redes Neurais. As mais utilizadas são: Adaptive Resonance Theory models (ART), Multi layer Perceptrons (MLP) também chamadas de Multi Layer Feedforward Networks, Recurrent Associative Networks (RAN), e Self-Organizing Maps (SOM).

RN têm que ser treinadas para “aprender” as funções discriminantes. Um dos algoritmos de treinamento mais utilizados é o Back Propagation (BP). Neste trabalho, uma RN com arquitetura MLP com algoritmo de treinamento BP foi escolhida.

#### *Mulyi-layer Perceptron (MLP)*

A estrutura das RN é composta de elementos simples de processamento (neurônios) conectados entre si. Os neurônios de entrada são ponderados e somados e, então, são enviados para a próxima camada. As funções de ativação trabalham excitando ou inibindo conexões que ligam uma camada à outra.

Uma representação esquemática de uma arquitetura de RN é apresentada na Figura 18.

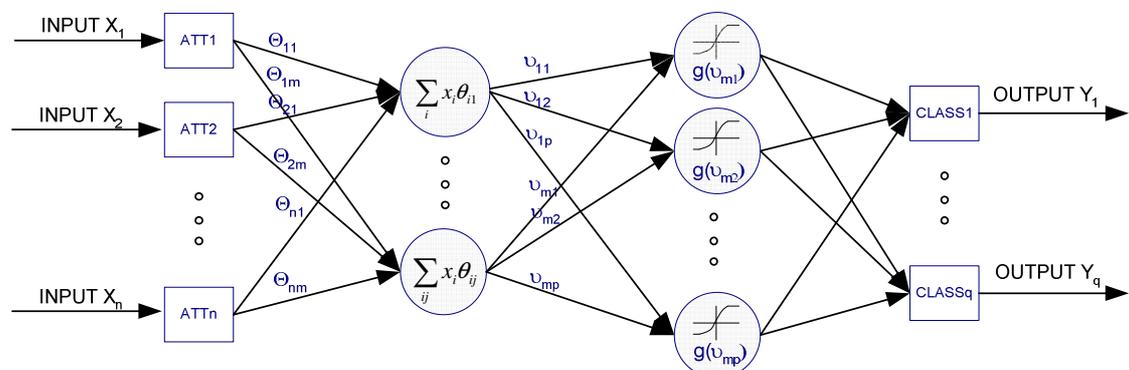


Figura 18 – Arquitetura de uma Rede Neural

### Backpropagation Algorithm (BP)

O algoritmo BP foi utilizado para treinar a RN-MLP. O BP baseia-se na conjugação de três métodos: Gradiente, Newton e Levenberg-Marquardt. É o algoritmo de treinamento de RN mais utilizado, cuja idéia básica é o cálculo do gradiente local, considerando que os erros na saída da RN são propagados no sentido inverso da RN, recalculando os pesos das conexões.

O algoritmo BP pode ser dividido em quatro passos para uma melhor compreensão de seu funcionamento, conforme apresentado a seguir:

- 1º passo – Entrar com os dados na camada de entrada para obter um vetor de dados de saída. Neste passo, as entradas e saídas de cada neurônio são ponderadas e somadas
- 2º passo – Calcular o erro local e os pesos para cada saída dos neurônios. As seguintes expressões são utilizadas para calcular essa informação

$$e_k^{(0)} = (d_k - o_k) \cdot f'(I_k)$$

Onde:

- $e_k^{(0)}$  é o erro de escala local
- $d_k$  é o dado de saída desejado
- $o_k$  é o vetor de saída para treinamento
- $f'(I_k)$  é a derivada da função relacionada com a soma ponderada das entradas de dados

$$\Delta w_{ij}^{[s]} = l_{coef} \cdot e_j^{[s]} \cdot x_i^{[s-1]} + m \cdot \Delta w_{ij}^{[s]}$$

Onde:

- $\Delta w_{ij}^{[s]}$  é a diferença de peso na conexão que liga o neurônio  $i$  na camada  $(s-1)$  ao neurônio  $j$  na camada  $(s)$
  - $l_{coef}$  é o coeficiente de aprendizagem
  - $e_j^{[s]}$  é o erro de escala local
  - $x_i^{[s-1]}$  é o vetor de saída
  - $m$  é o coeficiente de momento
- 3º passo – Calcular a mesma informação para cada camada utilizando a expressão abaixo

$$e_j^{[s]} = x_j^{[s]} \cdot (1.0 - x_j^{[s]}) \cdot \sum_k (e_k^{[s+1]} \cdot w_{kj}^{[s+1]})$$

- 4º passo – Atualizar todos os pesos somando aos pesos anteriores a diferença calculada

### *Configuração da Rede Neural*

Os números e valores para parâmetros utilizados são diferentes para cada arquitetura de RN. Os parâmetros utilizados acima são normalmente determinados utilizando-se a experiência e através de tentativas e erros. Exemplos para esses parâmetros são o número de camadas ocultas e o número de neurônios em cada camada.

Outros parâmetros importantes são: o coeficiente de aprendizagem, responsável por ajustar os pesos das conexões da RN durante o treinamento; e o coeficiente de momento, que melhora a eficiência da aprendizagem através da consideração da influência dos pesos adotados em cada iteração do processo de treinamento da RN.

Da mesma forma que são definidos o número de camadas ocultas e de neurônios em cada camada, o desenvolvedor da RN deve escolher os coeficientes de aprendizagem e de momento com base na sua experiência e através de tentativas e erros.

Finalmente, o conjunto de dados deve ser dividido em dois conjuntos diferentes: treinamento e validação. O conjunto de treinamento será utilizado para treinar a RN e estimar a função discriminante. O conjunto de validação validará os resultados, verificando a eficiência da RN para classificar novos conjuntos de dados.

#### **4.2.3. Desenvolvimento de Modelos**

A aplicação de princípios de Tecnologia de Grupo proposta neste trabalho utiliza modelos de classificação para resolver o problema de formação de células de trabalho (CFP). Pretende-se, dessa forma, identificar possíveis alternativas de agrupamento de blocos em famílias. Mesmo que neste trabalho a metodologia tenha sido aplicada para a classificação de blocos, ela poderia ter sido utilizada para classificar qualquer outro produto intermediário.

Os modelos utilizados neste trabalho foram inteiramente desenvolvidos através de códigos escritos no programa Matlab<sup>®</sup>. Os códigos desenvolvidos para aplicação descrita estão listados abaixo:

- Normalização → Normaliza conjuntos de dados utilizando qualquer um dos três métodos descritos acima
- Análise de Dados → Realiza um ACP, verifica o conjunto de dados e fornece gráficos para dar suporte à análise dos dados
- Cálculo de Distâncias → Calcula as distâncias entre pontos definidos na base de dados e centros de “clusters” utilizando tanto distâncias Euclidianas como Manhattan
- K-means → Aplica o algoritmo de classificação k-means permitindo que sejam escolhidos o número inicial de “clusters” e a utilização de variáveis originais ou transformadas pela ACP
- Rede Neural → Rede Neural MLP com três camadas com algoritmo de treinamento BP para classificar um conjunto de dados permitindo: escolher os tamanhos dos conjuntos de treinamento e validação; e a definição de aspectos topológicos básicos como o número de neurônios em cada camada, a taxa de aprendizagem e o número de épocas de treinamento

Os códigos são aplicados a uma base de dados que consiste de informações detalhadas do projeto de 30 blocos que formam um grande bloco (anel) de um petroleiro Suezmax. A base de dados é limitada devido à disponibilidade de informações. Todos os blocos foram modelados em um sistema de modelagem 3D (Delmia V5®). No entanto, uma base de dados muito maior pode ser utilizada sem problemas ou necessidade de adaptação dos códigos, uma vez que foram desenvolvidos assumindo que bases de dados de maior porte poderiam estar disponíveis.

A base de dados utilizada nesta seção será também utilizada em outras partes desta tese.

#### 4.2.4. Estudo de Caso

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de inteligência artificial que seja capaz de identificar famílias de produtos intermediários e classificar um projeto de um navio ou unidade *offshore* considerando as famílias identificadas.

Com base na estratégia de construção e em outros projetos existentes, as classes para produtos intermediários podem ser identificadas. As classes correspondem às famílias de produtos intermediários que podem ser encontradas para cada nível da estrutura de produtos. Considerando a estrutura ilustrativa apresentada na Figura 19, o modelo de classificação para identificar famílias de produtos poderia identificar, por exemplo, diferentes famílias para blocos curvos com base nas dimensões e tipos de curvaturas. As famílias são identificadas para agrupar produtos intermediários que reúnem características similares, sejam de projeto ou de fabricação.

Uma vez que as famílias para um nível específico da estrutura de produtos são identificadas, um novo projeto pode ser avaliado no sentido de sua adequabilidade à estrutura de famílias de produtos intermediários criada.

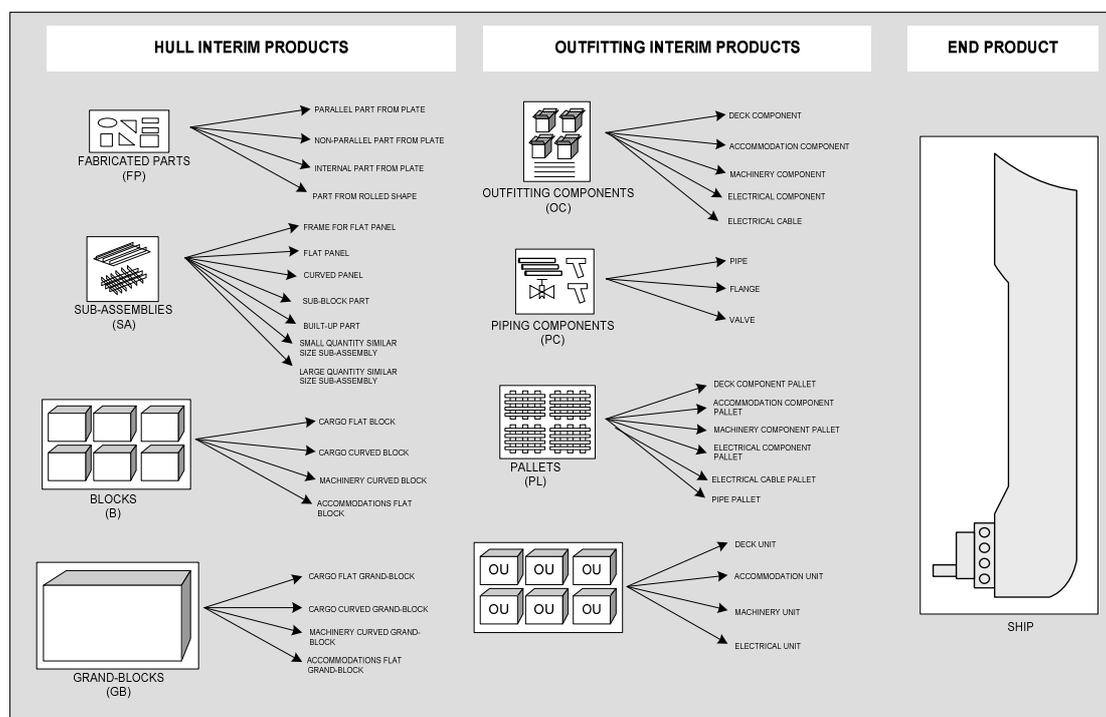


Figura 19 – Exemplos de produtos intermediários encontrados em um projeto de navio

Desse modo, um novo projeto pode ser avaliado em termos de seu nível de producibilidade, indicado através do nível de aderência do novo projeto às famílias definidas. O nível de producibilidade pode ser avaliado para qualquer nível da estrutura de produtos que seja considerado relevante.

#### **4.2.5. Metodologia**

Neste trabalho, o nível da estrutura de produtos a ser considerado se refere aos blocos estruturais. Portanto, o sistema irá primeiro identificar diferentes famílias de blocos para, então, ser possível classificar blocos de um novo projeto de acordo com as famílias identificadas.

Para a identificação das famílias de blocos, o modelo de classificação não supervisionada k-means foi desenvolvido e aplicado. A entrada para esse modelo são as informações sobre características de projeto e de fabricação e, portanto, uma base de dados contendo atributos de projeto e de fabricação para diferentes blocos deve estar disponível. Utilizando-se essa base de dados, o modelo de classificação não supervisionada pode ser utilizado para identificar famílias de blocos sem nenhuma informação prévia sobre classes de blocos.

Uma vez que as famílias são identificadas, o próximo modelo de classificação (rede neural) pode ser aplicado para classificar um novo projeto. Será utilizada a mesma base de dados utilizada anteriormente e também as informações de classe obtidas com o modelo k-means. O modelo de RN será treinado utilizando essa base de dados e funções discriminantes serão obtidas para classificar novos dados. As funções discriminantes representarão a estratégia de construção e a classificação de um novo conjunto de dados indicará o nível de adequabilidade de novo projeto à estratégia de construção, ou seja, o nível de producibilidade do novo projeto referente à montagem de blocos.

A metodologia aplicada neste trabalho pode ser dividida em quatro passos conforme apresentado a seguir:

- Configuração de base de dados com atributos de projeto e de fabricação para diferentes blocos
- Desenvolvimento do modelo de classificação não supervisionada (K-means)
- Desenvolvimento e treinamento do modelo de classificação supervisionada (Rede Neural – RN)
- Avaliação de novas alternativas de projeto

##### **4.2.5.1 Base de Dados**

A base de dados desenvolvida para este trabalho consiste de 30 blocos pertencentes à seção mestra do corpo paralelo de um petroleiro Suezmax. Trata-se da mesma base de dados utilizada para o desenvolvimento dos modelos de Simulação que serão apresentados neste Capítulo.

A Tabela 6 apresenta a base de dados utilizada neste trabalho e a Figura 20 apresenta um esquema dos blocos considerados. A base de dados tem sete campos diferentes, sendo o primeiro se refere à identificação do bloco e os outros seis são atributos dos blocos: comprimentos de solda (na posição e vertical), peso, volume e número de painéis e submontagens.

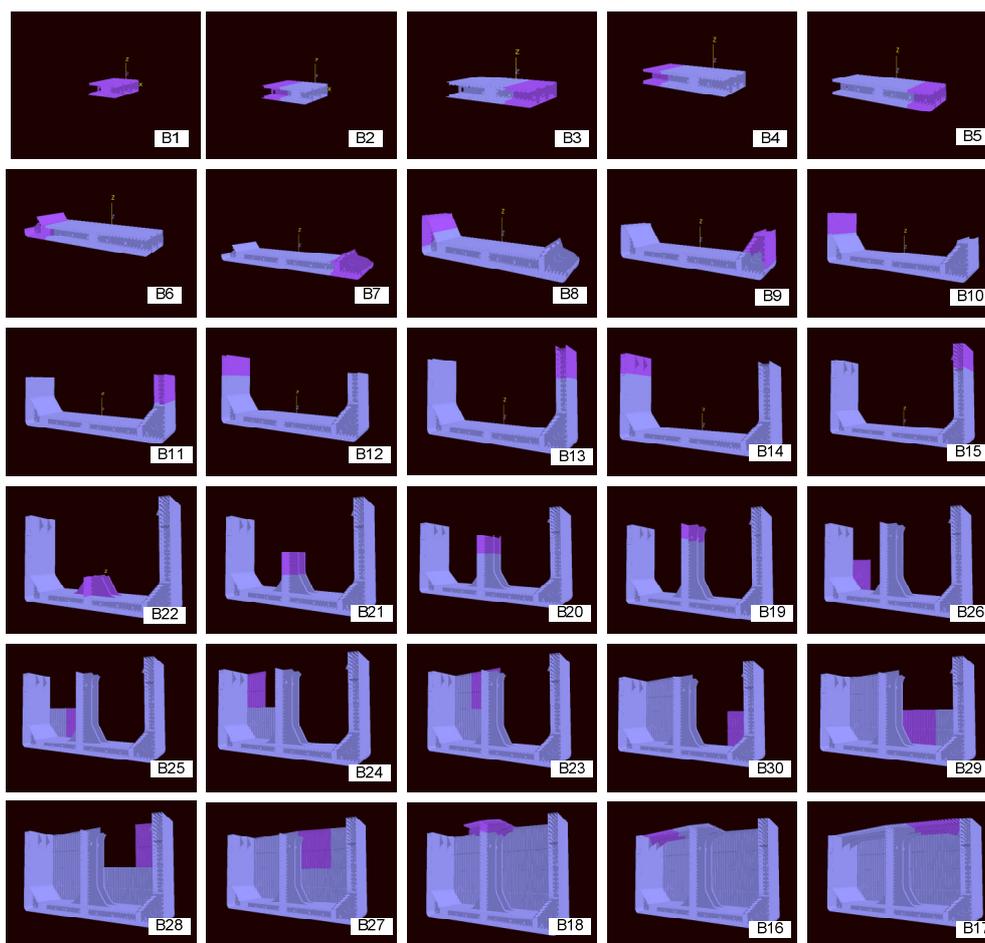


Figura 20 – Blocos da base de dados

Tabela 6 – Base de Dados

| Bloco ID | CS* na posição (m) | CS* vert. (m) | Peso (t) | Volume (m³) | Número de Painéis | Número de Sub Montagens |
|----------|--------------------|---------------|----------|-------------|-------------------|-------------------------|
| B1       | 78.0               | 50.9          | 58.7     | 247.5       | 3                 | 6                       |
| B2       | 44.7               | 16.8          | 44.0     | 180.2       | 2                 | 3                       |
| B3       | 44.7               | 16.8          | 44.0     | 180.2       | 2                 | 3                       |
| B4       | 40.7               | 20.3          | 39.9     | 184.1       | 2                 | 3                       |
| B5       | 40.7               | 20.3          | 39.9     | 184.1       | 2                 | 3                       |
| B6       | 23.3               | 18.9          | 35.6     | 262.7       | 4                 | 6                       |
| B7       | 23.3               | 18.9          | 35.6     | 262.7       | 4                 | 6                       |
| B8       | 64.5               | 53.0          | 38.3     | 332.6       | 3                 | 3                       |
| B9       | 64.5               | 53.0          | 38.3     | 332.6       | 3                 | 3                       |
| B10      | 70.0               | 31.5          | 39.4     | 169.9       | 3                 | 3                       |
| B11      | 62.8               | 38.7          | 39.4     | 169.9       | 3                 | 3                       |
| B12      | 70.8               | 31.5          | 33.6     | 144.0       | 3                 | 3                       |
| B13      | 70.8               | 31.5          | 33.6     | 144.0       | 3                 | 3                       |
| B14      | 141.8              | 27.9          | 36.8     | 172.8       | 3                 | 6                       |
| B15      | 126.0              | 43.7          | 36.8     | 172.8       | 3                 | 6                       |
| B16      | 57.8               | 50.4          | 40.3     | 509.6       | 1                 | 3                       |
| B17      | 57.8               | 50.4          | 40.3     | 509.6       | 1                 | 3                       |
| B18      | 79.2               | 56.7          | 48.3     | 518.4       | 3                 | 6                       |
| B19      | 26.6               | 9.0           | 15.8     | 175.5       | 1                 | 6                       |

Tabela 6 (cont.)

| Bloco ID | CS* na posição (m) | CS* vert. (m) | Peso (t) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Número de Painéis | Número de Sub Montagens |
|----------|--------------------|---------------|----------|--------------------------|-------------------|-------------------------|
| B20      | 26.6               | 9.0           | 28.3     | 191.1                    | 1                 | 3                       |
| B21      | 35.3               | 12.6          | 32.5     | 275.5                    | 1                 | 6                       |
| B22      | 25.4               | 21.6          | 38.2     | 770.0                    | 1                 | 6                       |
| B23      | 23.5               | 12.0          | 31.6     | 144.0                    | 1                 | 0                       |
| B24      | 11.7               | 6.0           | 25.2     | 122.4                    | 1                 | 0                       |
| B25      | 16.8               | 7.7           | 22.4     | 96.6                     | 1                 | 0                       |
| B26      | 8.4                | 3.8           | 16.3     | 85.5                     | 1                 | 0                       |
| B27      | 23.5               | 12.0          | 31.6     | 144.0                    | 1                 | 0                       |
| B28      | 11.7               | 6.0           | 25.2     | 122.4                    | 1                 | 0                       |
| B29      | 16.8               | 7.7           | 22.4     | 96.6                     | 1                 | 0                       |
| B30      | 8.4                | 3.8           | 16.3     | 85.5                     | 1                 | 0                       |

\*CS = Comprimento de solda

#### 4.2.5.2 Análise de Dados

O primeiro passo após a definição da base de dados a ser utilizada é a análise dos dados considerados para que se tenha um melhor entendimento do problema. A Figura 21 apresenta um gráfico (*box plot*) onde são indicados, para as variáveis originais normalizadas, os valores máximo e mínimo, a faixa que delimita os percentis 15 e 75, o valor médio e *outliers*.

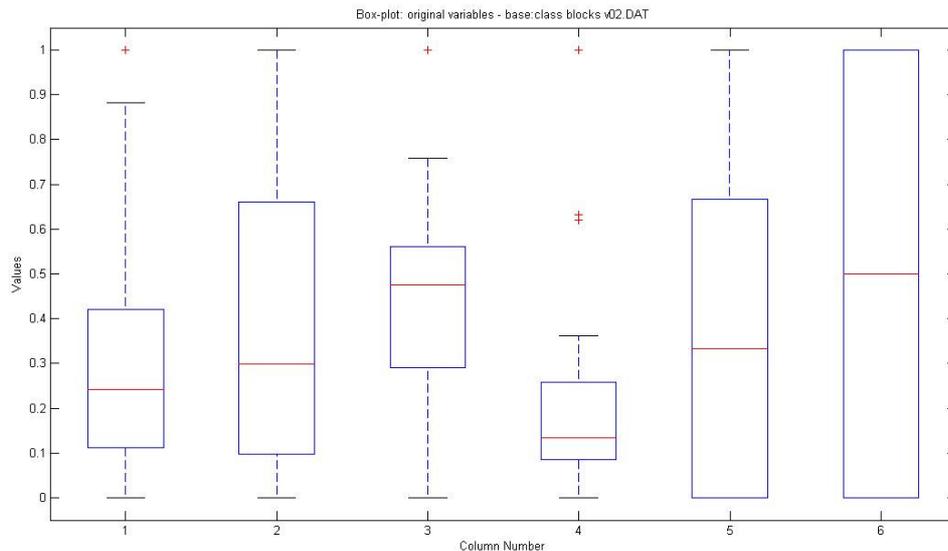


Figura 21 – Variáveis originais normalizadas

A Figura 22 apresenta seis gráficos selecionados, cada um deles representa pares de atributos ( $x_1$  = CS na posição,  $x_2$  = CS vert.,  $x_3$  = peso,  $x_4$  = volume,  $x_5$  = número de painéis e  $x_6$  = número de submontagens). Notar que os valores dos atributos estão normalizados, mas ainda representam as variáveis originais.

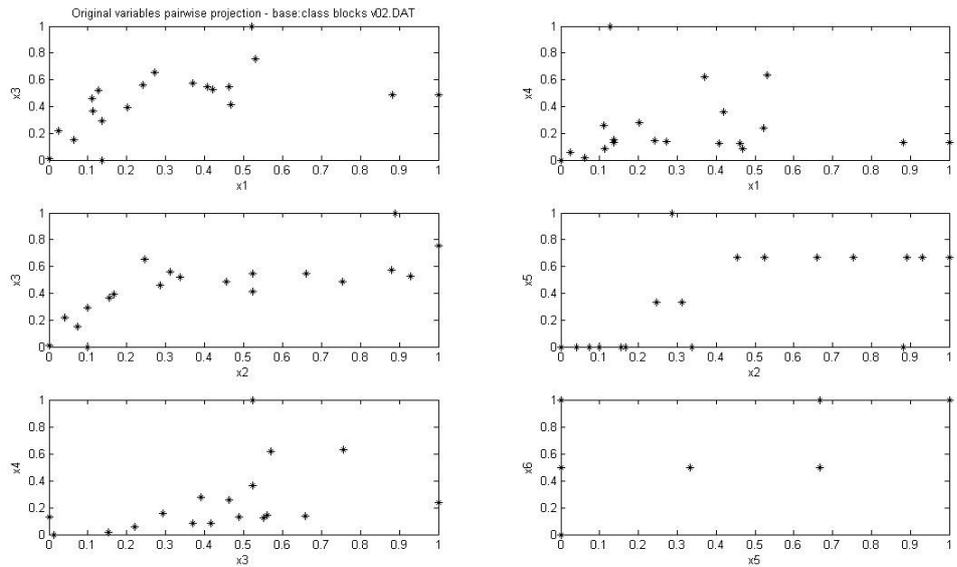


Figura 22 – Gráficos com pares de atributos para as variáveis originais normalizadas

A ACP foi aplicada à base de dados e os resultados são apresentados na Figura 23. Como pode ser observado a partir da leitura do gráfico, a primeira variável transformada representa cerca de 60% da variância total do conjunto de dados. O gráfico também indica que as quatro variáveis com maior representatividade do banco de dados respondem por mais de 90% da variância total da base de dados.

A Figura 24 apresenta um gráfico que relaciona as duas primeiras variáveis transformadas pela ACP. A Figura 25 apresenta um gráfico (*box plot*) onde são indicados, para cada variável transformada e normalizada, os valores máximo e mínimo, a faixa que delimita os percentis 15 e 75, o valor médio e *outliers*.

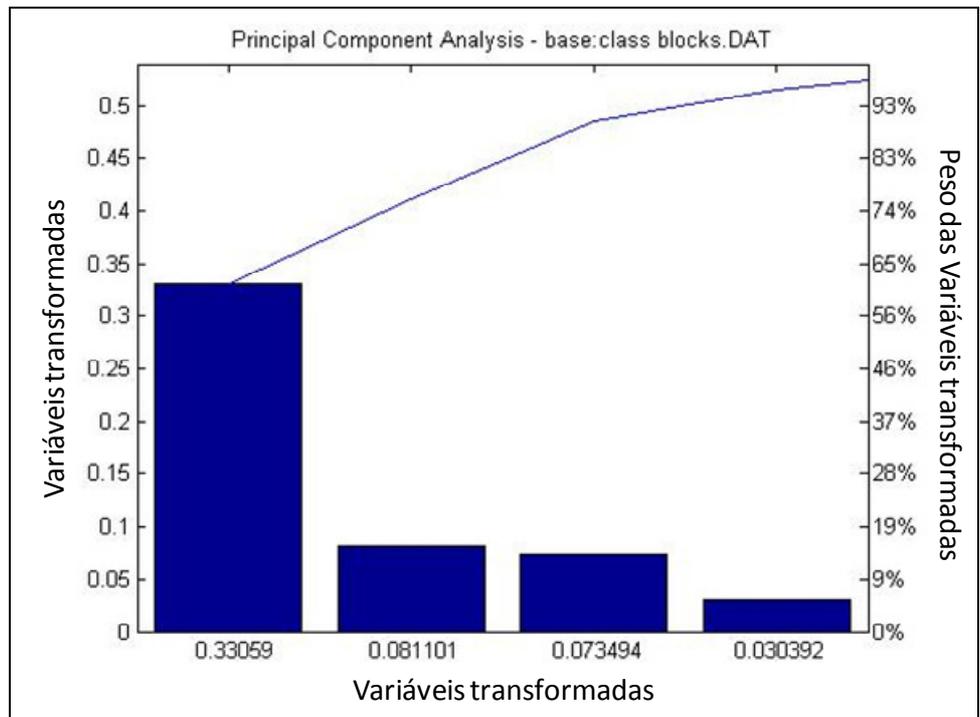


Figura 23 – Análise de Componentes Principais

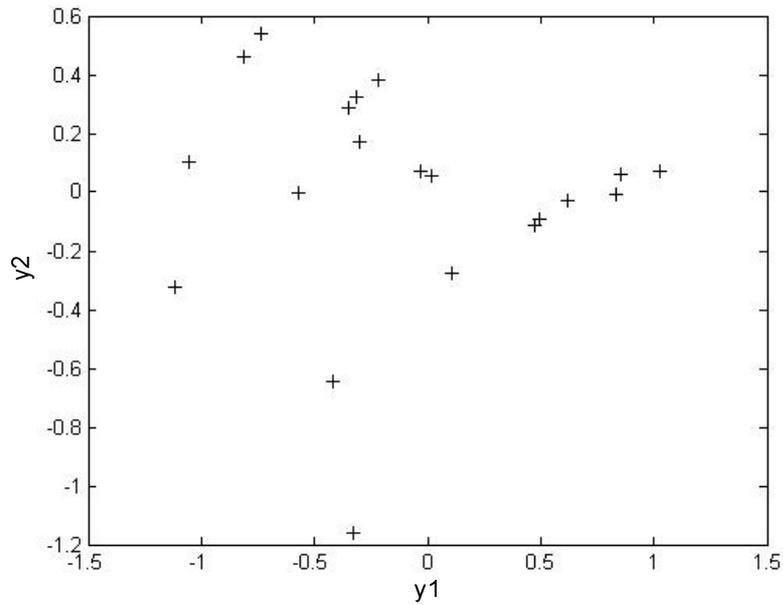


Figura 24 – Pares de atributos das duas principais variáveis transformadas normalizadas

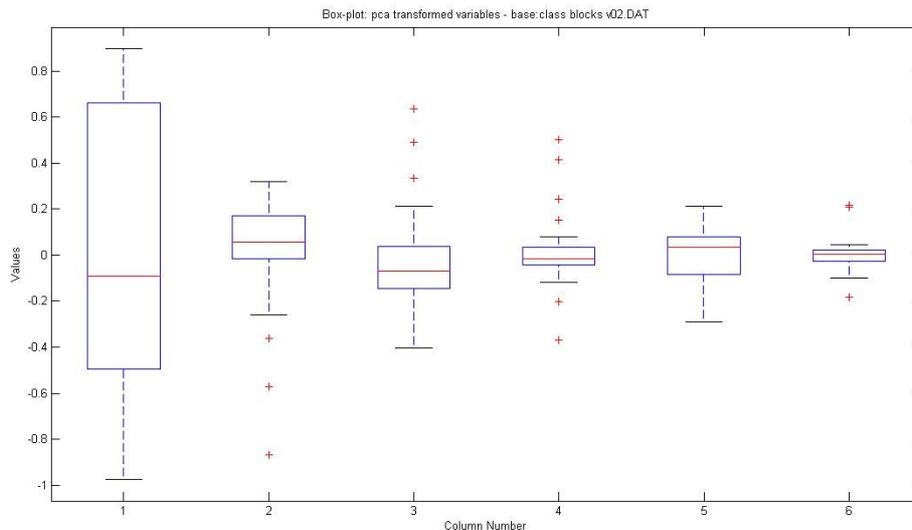


Figura 25 – Variáveis transformadas normalizadas

#### 4.2.6. Resultados

A metodologia descrita acima foi aplicada para classificar dados de blocos de um navio petroleiro Suezmax. Os códigos dos modelos k-means e de rede neural foram aplicados para dividir a base de dados em duas, três e seis classes.

As variáveis normalizadas transformadas foram utilizadas nos modelos porque representam o conjunto de dados de uma forma mais simples e efetiva.

Foi utilizada a distância Euclidiana para cálculo do modelo k-means e a tolerância para convergência foi ajustada para 0,10. O modelo de rede neural utilizado foi o MLP-BP configurado com seis neurônios na camada de entrada, uma camada

oculta com 10 neurônios e dois, três e seis neurônios na camada de saída para os modelos de duas, três e seis classes, respectivamente. Os pesos das conexões, o coeficiente de aprendizagem e a tolerância foram ajustados para 0,5; 0,01 e 0,1 respectivamente. A função de ativação utilizada foi a tangente hiperbólica e o número máximo de iterações foi ajustado para 100.

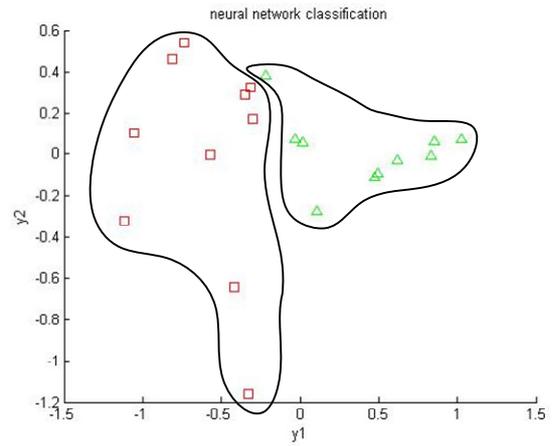
Devido a limitações no tamanho da base de dados, os dados utilizados para treinar a rede neural foram os mesmo utilizados para validação, embora o código tenha sido desenvolvido para utilizar qualquer relação treinamento/validação da base de dados. A Figura 26 apresenta os resultados finais obtidos através do modelo de rede neural.

O fato de ter sido utilizada a mesma base de dados tanto para treinamento como para validação significa, na prática, que a rede não foi realmente validada. Embora o procedimento para treinamento e validação tenha sido desenvolvido, o tamanho da base de dados não permitiu a viabilização da validação. No entanto, é possível observar que a rede desenvolvida tem capacidade de “aprender” e estimar uma função discriminante.

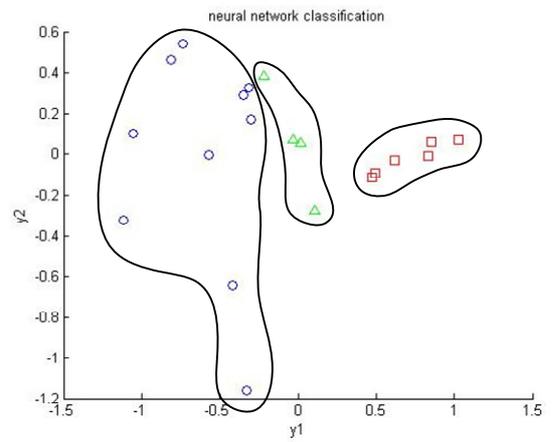
Para aplicar o mesmo RN que foi validado para um conjunto de dados específico, é necessário que sejam salvos sua topologia e seus principais parâmetros de conexão. Feito isso, é possível classificar qualquer novo conjunto de dados sem esforço adicional de treinamento e validação. Salvar a RN significa utilizar a mesma função discriminante estimada pelo algoritmo k-means.

Para testar como o sistema funciona considerando diferentes números de classe é necessário passar por todo o processo novamente: aplicar o modelo k-means e treinar e validar uma RN. O número ideal de classes está associado com o número de linhas de produção específicas planejado para implementação. A identificação do número ideal de classes é um problema diferente e não está considerado no escopo deste trabalho.

| Classes | Blocks   | Number of elements |
|---------|--|--------------------|
| 1       | 1-6-7-8-9-10-11-14-15-16-17-18-22              | 13                 |
| 2       | 2-3-4-5-12-13-19-20-21-23-24-25-26-27-28-29-30 | 17                 |



| Classes | Blocks                            | Number of elements |
|---------|-----------------------------------|--------------------|
| 1       | 1-6-7-8-9-10-11-14-15-16-17-18-22 | 13                 |
| 2       | 2-3-4-5-12-13-21                  | 7                  |
| 3       | 19-20-23-24-25-26-27-28-29-30     | 10                 |



| Classes | Blocks                  | Number of elements |
|---------|-------------------------|--------------------|
| 1       | 1-8-9-14-15-18          | 6                  |
| 2       | 2-3-4-5                 | 4                  |
| 3       | 6-7-10-11-12-13         | 6                  |
| 4       | 16-17-22                | 3                  |
| 5       | 19-20-21                | 3                  |
| 6       | 23-24-25-26-27-28-29-30 | 8                  |

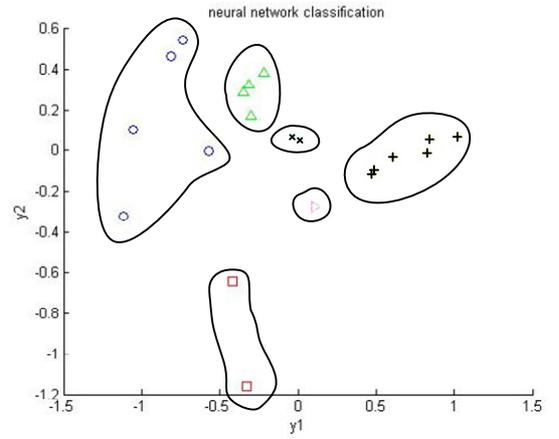


Figura 26 – Resultados dos modelos validados para duas, três e seis classes de blocos

### 4.3. Otimização da Programação para Edificação de Blocos

A edificação é o último estágio de produção, mas é o primeiro passo para o planejamento e a programação das atividades de construção naval.

Esta seção tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para identificar a sequência de edificação ótima que minimize tanto o tempo total de edificação, bem como a variação da carga de trabalho durante esse estágio da produção em um estaleiro.

Uma abordagem voltada para o ambiente PPR (produto, processos e recursos) foi utilizada para o levantamento dos elementos a serem considerados no modelo e também de suas relações. Após levantamento bibliográfico e extensa pesquisa, e considerando a natureza do problema de seqüenciamento da edificação na construção naval, definiu-se que a ferramenta mais apropriada para resolver o problema de programação abordado nesta seção é o Algoritmo Genético (SOUZA e SINGER, 2006).

O problema abordado foi simplificado para facilitar o desenvolvimento do modelo e validar a proposta. O modelo de programação é baseado em um modelo clássico na literatura de programação da produção chamado Modelo “Flow Shop”.

Foi desenvolvido para considerar problemas com dimensões reais, embora tenha sido validado para um problema que considera somente nove blocos. No entanto, a estrutura desenvolvida pode, de forma relativamente simples, acomodar problemas maiores.

A seguir serão apresentados o ambiente PPR desenvolvido, as principais hipóteses assumidas para o desenvolvimento do modelo e as soluções adotadas para permitir a utilização de um Algoritmo Genético ao problema estudado.

#### 4.3.1. Objetivo

O modelo de programação apresentado tem foco nas atividades relacionadas com o berço de construção, normalmente considerado o recurso mais crítico de um estaleiro e freqüentemente identificado como gargalo na estrutura da construção naval.

Atualmente, a grande maioria dos estaleiros utiliza o método da construção do casco em blocos (*Hull Block Construction Method* - HBCM) (STORCH and BUNCH, 1995). Esse método consiste na divisão do casco em blocos e na edificação desses blocos no berço de construção. Cada bloco é dividido em vários componentes menores, como submontagens, montagens de partes, partes fabricadas, unidades de *outfitting* e partes de *outfitting*.

No HBCM a edificação dos blocos é o último estágio produtivo relacionado à disciplina de estruturas, no entanto deve ser a primeira atividade a ser planejada e programada. No modelo desenvolvido e que será apresentado a seguir, o objetivo é identificar a melhor sequência de edificação. Com base nessa sequência, outros estágios da construção de um navio podem então ser planejados. O modelo desenvolvido conjuga informações referentes a produtos, processos e recursos com uma ferramenta de otimização baseada em Algoritmos Genéticos.

O número de blocos a ser edificado no berço de construção varia de acordo com a Política e a Estratégia de Construção (“Shipbuilding Policy” e “Shipbuilding

Strategy”) adotadas por um determinado estaleiro, conforme já discutido no Capítulo 3 desta tese. Algumas variáveis afetam a decisão pelo número de blocos a ser edificado no berço de construção como, por exemplo, a capacidade de movimentação de carga, a utilização de grandes blocos e o tipo de navio. O número de blocos edificáveis que serão posicionados no berço de construção pode ser bastante baixo se o estaleiro utilizar mega blocos e tiver capacidade de movimentação de cargas adequada. Por outro lado, o número de blocos pode ser consideravelmente alto se o estaleiro não usar grandes blocos e tiver capacidade de movimentação de carga limitada.

Considerando o exposto acima, o número de blocos a ser edificado no berço de construção varia entre 20 e 150 blocos. Também deve ser considerado, para formulação do problema a ser explorado nesta seção, que a edificação é composta, na verdade, de três ou quatro diferentes processos.

A programação de todos os blocos e todos os processos pode, então, se tornar um problema com dimensões consideráveis. Mesmo ao considerar todas as restrições envolvidas com os processos de edificação e todas as possíveis heurísticas que podem ser providenciadas por trabalhadores e engenheiros experientes, a tarefa de programar todas as atividades envolvidas na edificação torna-se um problema complexo devido ao grande número de alternativas.

Essa classe de problema é freqüentemente tratada na literatura especializada (BAKER, 1974; BAKER, 1998). São problemas onde o espaço de busca se torna tão grande que ferramentas tradicionais de otimização falham ao tentar resolver a função objetivo.

Algoritmos Genéticos (AG) têm sido utilizados com sucesso para a classe de problemas mencionada acima, e a literatura é abundante com relação a essa questão. Portanto, considerando a natureza do problema de seqüenciamento e programação das atividades de edificação, e a identificação na literatura de aplicações de AG na solução de problemas desse tipo, escolheu-se AG para identificar a melhor seqüência de edificação possível.

#### **4.3.2. Metodologia**

Uma das mais importantes funções do gerenciamento é a coordenação e controle das atividades, considerando os recursos disponíveis para a execução dessas atividades. Ferramentas de programação são utilizadas para avaliar o tempo certo para a execução de uma atividade específica considerando a alocação dos recursos necessários.

Através da utilização de ferramentas de programação, a duração das atividades pode ser coordenada com os recursos disponíveis em cada momento, e a melhor solução relacionada com o tempo e a utilização de recursos pode ser identificada. Métodos tradicionais de programação não otimizam essas relações, buscam simplesmente uma solução possível que satisfaça as restrições definidas, relacionadas a recursos e cronograma.

A pesquisa bibliográfica realizada, relacionada ao problema de programação, identificou uma grande quantidade de material. O material pesquisado apresenta desde formulações matemáticas avançadas e altamente complexas até o desenvolvimento de ferramentas simples, práticas e inovadoras.

O modelo de programação da produção identificado como mais adequado aos objetivos deste trabalho foi o “Flow Shop”. Trata-se de um modelo clássico e relativamente simples e será apresentado a seguir.

#### 4.3.2.1 Modelo de Programação

Três famílias de modelos de programação podem ser encontrados na literatura especializada (BAKER, 1974): “Flow Shop”, “Job Shop” e Programação de Projetos.

Neste trabalho, o modelo de programação é baseado na hipótese que as atividades de edificação seguem o modelo “Flow Shop” (BAKER, 1998). As principais características do modelo “Flow Shop” são:

(a) sistema de produção com “M” máquinas e um conjunto de “N” trabalhos a serem processados nessas máquinas;

(b) os “N” trabalhos são similares no sentido de terem, essencialmente, a mesma ordem de processamento na “M” máquinas; e

(c) o objetivo do problema é encontrar a seqüência com o menor tempo de processamento.

Outras hipóteses a serem consideradas em um modelo “Flow Shop”:

- Todos os “N” trabalhos estão disponíveis no tempo zero na máquina 1
- Um trabalho não pode passar outro
- Cada trabalho deve ser processado em uma única máquina de cada vez
- Os tempos de processamento para cada máquina são conhecidos

O modelo “Flow Shop” é definido com o modelo de programação onde todas as operações em cada máquina têm a mesma seqüência, como indicado na Figura 27.

Em um “Flow Shop” o trabalho é decomposto e tarefas separadas (1 e 2 na Figura 27) chamadas tecnicamente de operações. Nesse contexto, um trabalho é um conjunto de operações com uma estrutura de precedências específica. Cada trabalho requer uma seqüência específica de operações a ser realizada para ter o trabalho encerrado.

Em alguns casos, tempos são inseridos de forma deliberada entre os trabalhos com o objetivo de reduzir o tempo total de processamento, conforme pode ser observado no terceiro exemplo da Figura 27.

Observa-se nesse exemplo que a seqüência das operações na terceira máquina foi invertida resultando em um tempo total de processamento menor. Entretanto, a seqüência das máquinas para todas as operações continuou a mesma.

O modelo de programação da edificação desenvolvido para este trabalho baseia-se no modelo de programação do tipo “Flow Shop”, onde as máquinas são equivalentes aos processos de edificação e os blocos a serem edificados são equivalentes aos trabalhos.

O modelo simplificado desenvolvido para testar a abordagem apresentada considera nove blocos e quatro processos diferentes: posicionamento, colocação de andaimes, alinhamento e soldagem.

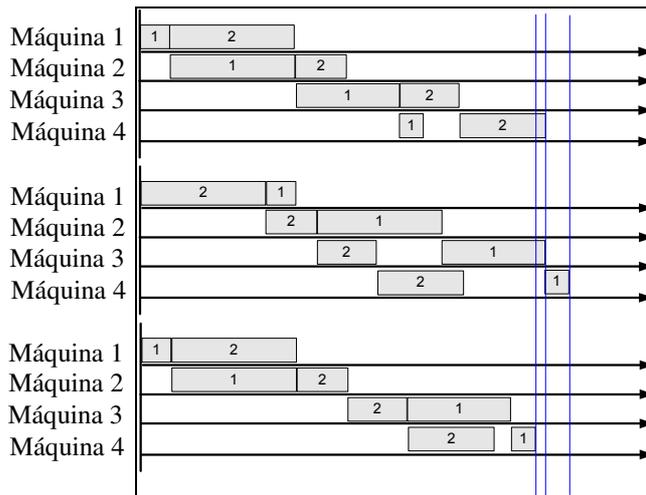


Figura 27 – Exemplo do funcionamento de um modelo “Flow Shop”

#### 4.3.2.2 Ambiente PPR

As definições realizadas para o ambiente PPR são críticas para o modelo de programação. Com base nessas definições, as horas-homem necessárias para cada atividade e as durações de cada atividade podem ser estimadas.

O ambiente PPR é dividido em três partes: definição do produto, definição de processos e definição de recursos. Depois de coletar todas as informações necessárias para cada parte do ambiente PPR, é possível estimar horas-homem e durações para cada operação considerada. Feito isso, as horas-homem e as durações para cada um dos processos considerados são definidas e, finalmente, cada etapa de montagem será então calculada.

Para o problema abordado nesta seção uma estrutura de produtos com blocos com diferentes espessuras de chapas de aço foi utilizada. As diferentes posições de solda foram também consideradas.

A definição básica dos blocos é apresentada na Figura 28. Nesse exemplo cada bloco tem exatamente as mesmas dimensões, mas o conteúdo de trabalho associado a cada etapa de montagem varia dependendo do número de conexões realizadas e também do conteúdo de trabalho associado a cada tipo de bloco.

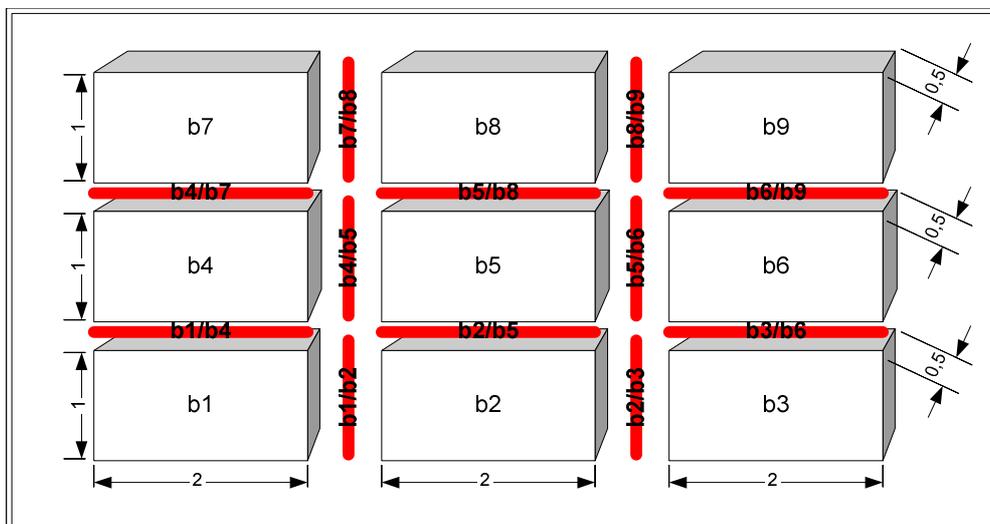


Figura 28 – Definição básica dos nove blocos considerados

A Figura 29 apresenta uma ilustração com informações sobre as interfaces de solda envolvidas nas uniões entre blocos. Nesse exemplo da Figura 29 são apresentadas as interfaces entre os Blocos 1 e 2 e os Blocos 1 e 4.

A variação das espessuras de chapas de aço também influencia os tempos de processo de soldagem. As espessuras de chapas também foram consideradas no desenvolvimento deste trabalho como pode ser observado na Figura 30.

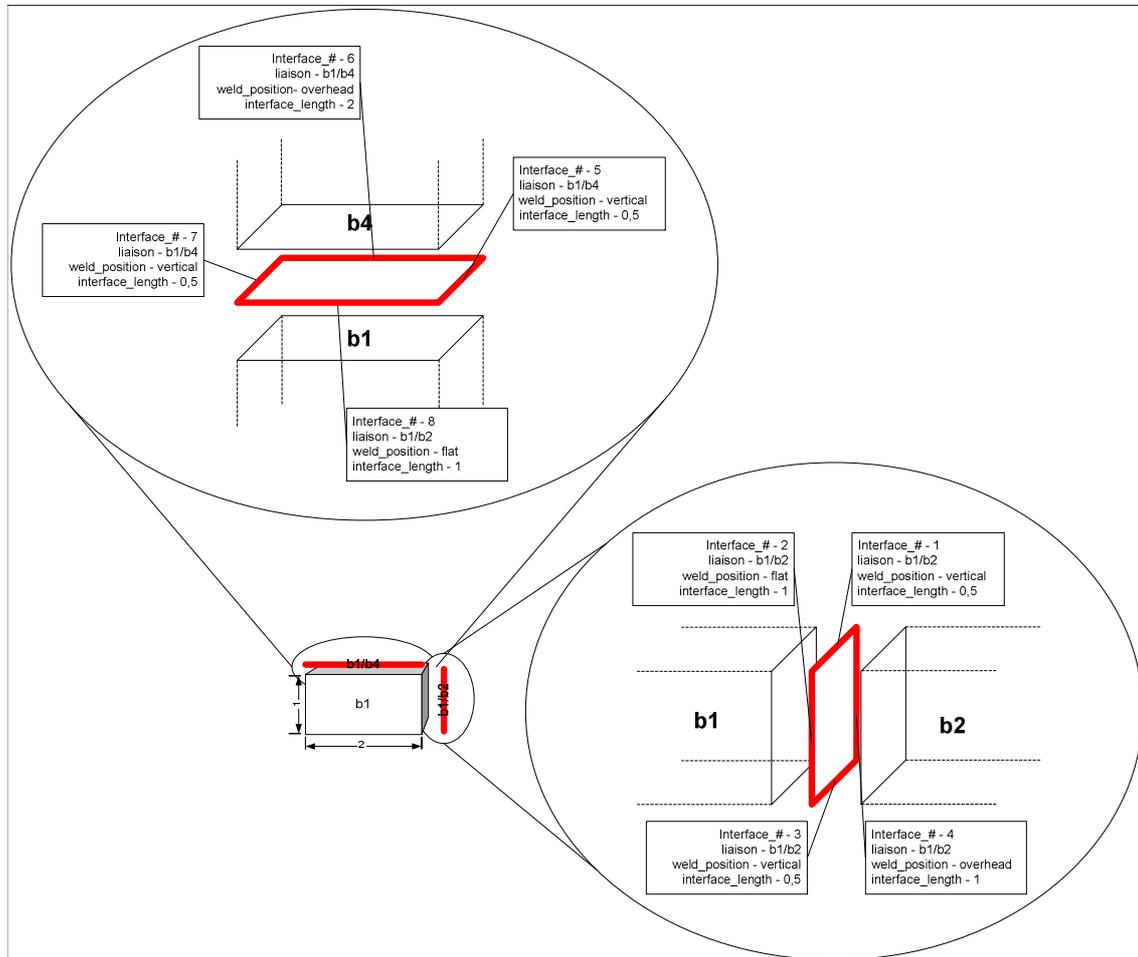


Figura 29 – Informações sobre as interfaces de solda

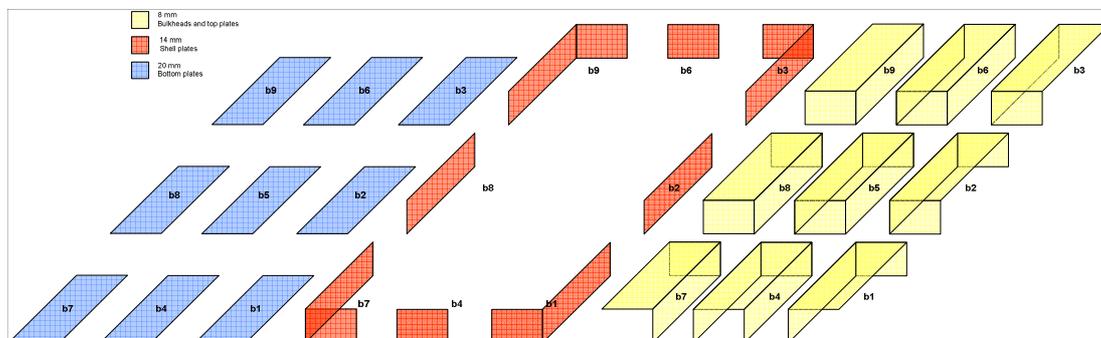


Figura 30 – Informações sobre espessuras de chapas

A informação mais crítica para o modelo desenvolvido neste trabalho é produtividade da solda. Com base nessa informação é que serão calculados todos os

tempos de processo e cargas de trabalho. A Tabela 7 apresenta exemplos das regras de soldagem utilizadas.

A definição dos recursos considera o número de equipamentos e de trabalhadores utilizados em cada processo definido para as atividades de edificação.

Tabela 7 – Regras de soldagem

| 0                  | 1            | 2               | 5                      |              |                      |                            |  |
|--------------------|--------------|-----------------|------------------------|--------------|----------------------|----------------------------|--|
| workstation        | process_code | stage           | process_description    |              |                      |                            |  |
| construction berth | 2            | erection        | weld                   |              |                      |                            |  |
| position           | weld_lenght  | plate_thickness | weld_productivity_code | weld_process | automatization_level | join_productivity_function |  |
| f                  | <=2          | >=8 and <=20    | 8                      | SAW          | automatic            | 0.83                       |  |
| v                  | <=0,5        | >=8 and <=20    | 6                      | FCAW-FLUX    | semi-automatic       | 1.05                       |  |
| o                  | >0           | >0              | 4                      | SMAW         | manual               | 2.72                       |  |

O próximo passo é a consideração da informação disponível para calcular as durações de cada operação que permitirá o cálculo do tempo total de edificação para uma dada seqüência.

A informação levantada e apresentada sobre os produtos em conjunto com as informações sobre os processos são suficientes para o cálculo do hh envolvido em cada ligação entre blocos.

A partir do hh calculado e considerando as informações sobre os recursos considerados, é possível calcular as durações para executar os processos previstos para cada ligação entre os blocos. A Tabela 8 apresenta os resultados dos cálculos do hh e das durações das ligações entre os blocos.

Uma vez que o hh e as durações para cada ligação são conhecidos, o tempo total de processamento e a carga de trabalho para uma dada seqüência de edificação podem ser calculados.

Tabela 8 – Homens-hora e duração das ligações entre os blocos

|        |   | Horas-Homem |       |      |      |       |        |   | Duração |       |      |      |       |
|--------|---|-------------|-------|------|------|-------|--------|---|---------|-------|------|------|-------|
| blocks |   | AF          | STAGE | JOIN | WELD | TOTAL | blocks |   | AF      | STAGE | JOIN | WELD | TOTAL |
| 1      | 2 | 3.1         | 3.0   | 4.6  | 15.5 | 26.2  | 1      | 2 | 0.2     | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.9   |
| 1      | 4 | 4.5         | 5.0   | 8.2  | 26.5 | 44.2  | 1      | 4 | 0.3     | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 2      | 3 | 3.1         | 3.0   | 4.6  | 15.5 | 26.2  | 2      | 3 | 0.2     | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.9   |
| 2      | 5 | 4.5         | 5.0   | 8.2  | 25.0 | 42.7  | 2      | 5 | 0.3     | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 3      | 6 | 4.5         | 5.0   | 8.2  | 25.0 | 42.7  | 3      | 6 | 0.3     | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 4      | 5 | 2.7         | 2.5   | 4.6  | 14.0 | 23.8  | 4      | 5 | 0.2     | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.8   |
| 4      | 7 | 4.5         | 5.0   | 8.2  | 26.5 | 44.2  | 4      | 7 | 0.3     | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 5      | 6 | 2.7         | 2.5   | 4.6  | 14.0 | 23.8  | 5      | 6 | 0.2     | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.8   |
| 5      | 8 | 4.5         | 5.0   | 8.2  | 25.0 | 42.7  | 5      | 8 | 0.3     | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 6      | 9 | 4.5         | 5.0   | 8.2  | 26.5 | 44.2  | 6      | 9 | 0.3     | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 7      | 8 | 2.9         | 3.0   | 4.6  | 15.5 | 26.0  | 7      | 8 | 0.2     | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.8   |
| 8      | 9 | 2.9         | 3.0   | 4.6  | 15.5 | 26.0  | 8      | 9 | 0.2     | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.8   |

#### 4.3.2.3 Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos (AG) têm sido utilizados para a solução de problemas de otimização. AG baseiam-se em conceitos biológicos relacionados à genética e evolução. Mimetizam através de formulações matemáticas relativamente simples conceitos muito conhecidos por suas aplicações na área das ciências biológicas para a solução de problemas de otimização. Esses conceitos são aplicados para buscar a soluções ótimas quando os espaços de busca se tornam tão grandes o suficiente para que técnicas tradicionais de otimização não funcionem.

Os AG funcionam através do desenvolvimento de uma população inicial e da seleção das melhores alternativas dentro dessa população. A partir do conjunto

escolhido da população inicial, são aplicados operadores genéticos que modificam essa população criando uma população de descendentes que mantém as melhores características da população inicial e incorpora modificações com o objetivo de melhorá-los ainda mais. Esse processo de geração de populações através da aplicação de operadores genéticos evolutivos se repete até que se atingida a convergência do algoritmo e uma alternativa boa seja encontrada.

Os AG são compostos, basicamente, de três operadores genéticos básicos: reprodução e seleção, “crossover” e mutação (MICHALEWICZ, 1994).

De forma geral, o operador de reprodução e seleção certifica que as melhores alternativas estão sendo mantidas e, ao mesmo tempo, evita que o algoritmo tenha uma convergência precoce apontando ótimos locais no lugar de ótimos globais; o operador “crossover” converge a busca para alternativas ótimas; e o operador de mutação introduz uma diversidade genética que impede que o algoritmo fique preso a ótimos locais.

Neste trabalho um código escrito no Matlab® foi desenvolvido incorporando um Algoritmo Genético. Foi necessário desenvolver um operador inédito de “crossover”-mutação integrado ainda não encontrado na literatura. Esse operador foi desenvolvido devido às características específicas do problema escolhido. Se fosse usado o operador “crossover” clássico seqüências de edificação impossíveis seriam consideradas pelo algoritmo. O operador “crossover”-mutação começa como se fosse um “crossover” clássico, mas se é identificada uma seqüência não factível ele provoca uma mutação nos genes da seqüência com o objetivo de torná-la factível. A necessidade de criação desse operador surgiu devido a restrições intrínsecas ao processo de edificação de um navio.

A Figura 31 mostra diferentes alternativas possíveis para a seqüência de edificação do problema abordado neste trabalho. Considerando essas alternativas e a aplicação do modelo de “Flow Shop”, diferentes tempos totais de edificação e de nivelamento de recursos serão encontrados.

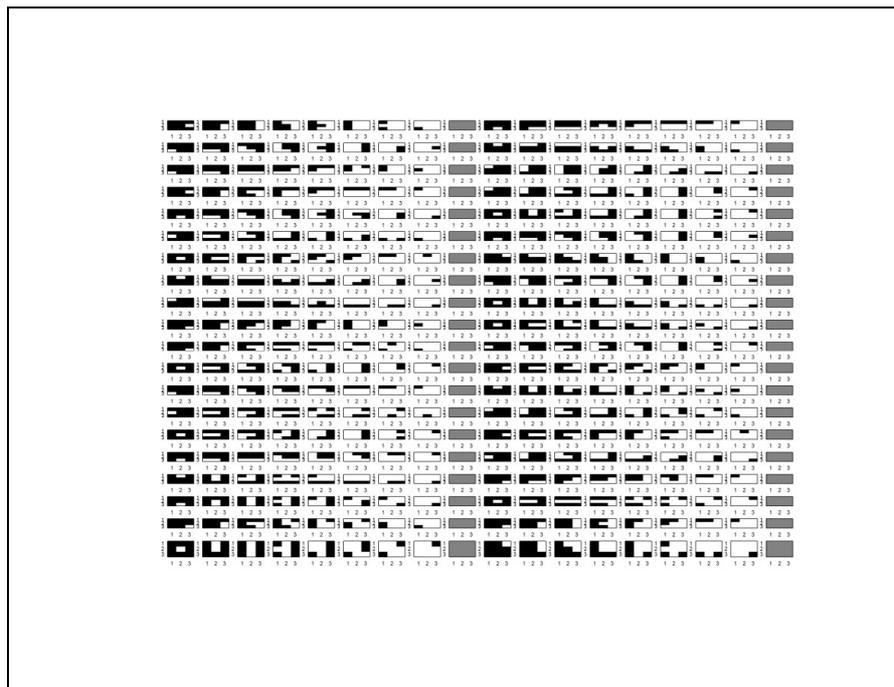


Figura 31 – Visualizador de seqüências de uma dada população

A Figura 32 mostra diferentes tempos totais de edificação calculados a partir de uma população específica gerada pelo código do Algoritmo Genético. A Figura 33 mostra um exemplo dos níveis de utilização de recursos considerando a mesma população cujos tempos totais de processamento foram apresentados na Figura 32.

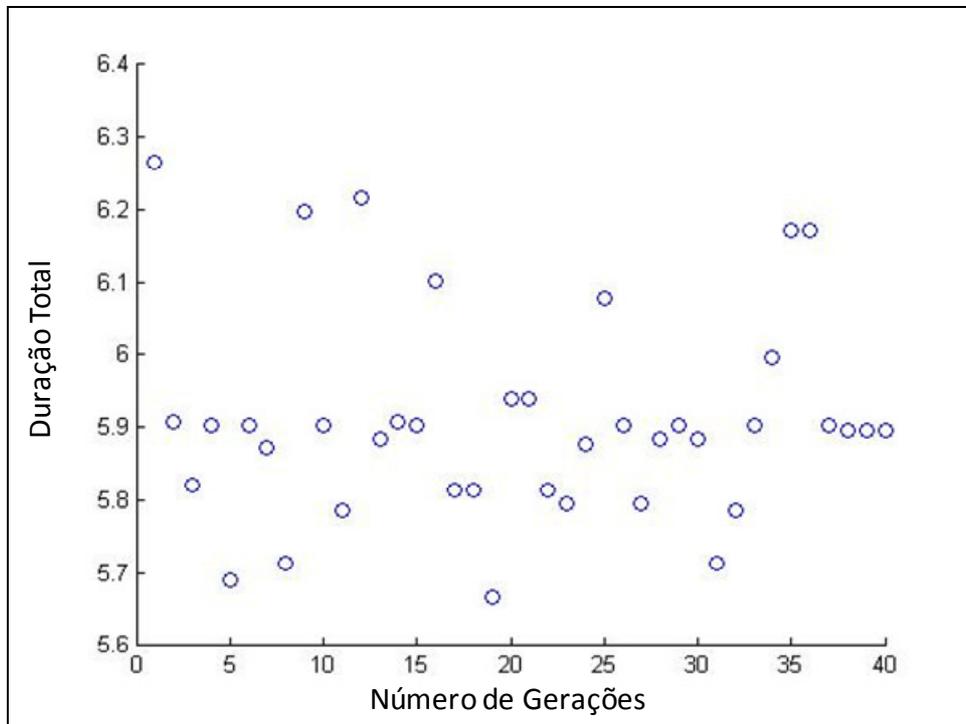


Figura 32 – Tempos totais de edificação calculados

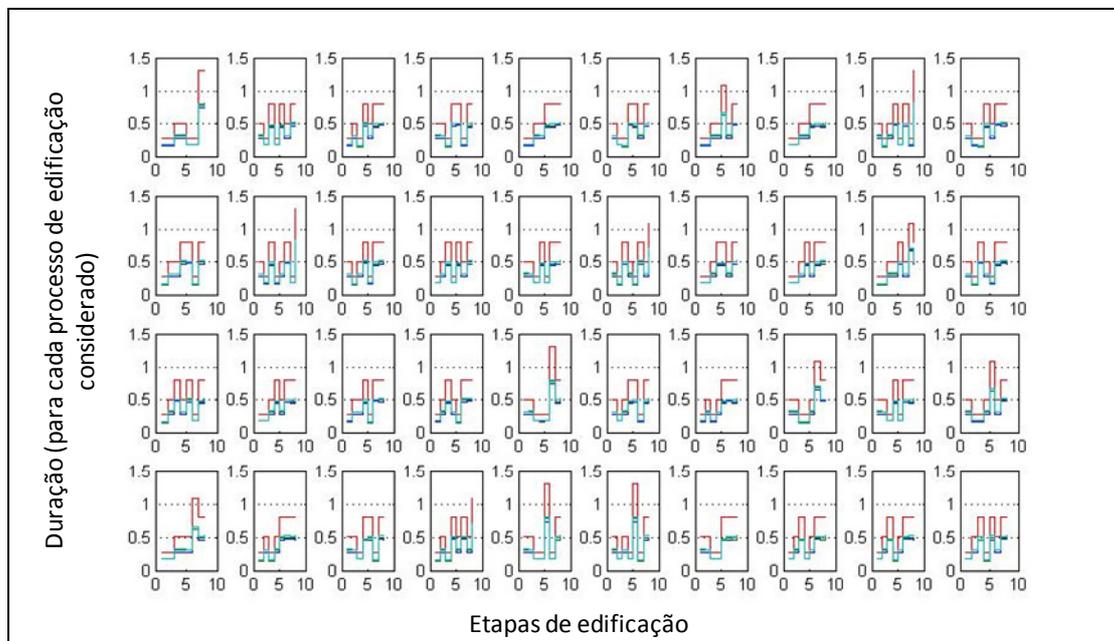


Figura 33 – Visualizador de cargas de trabalho para seqüências de uma dada população

### 4.3.3. Resultados

O código desenvolvido para a execução deste trabalho foi escrito em Matlab<sup>®</sup>. O código inicia com a geração de seqüências factíveis de edificação, conforme apresentado na Figura 31. Após a geração das sequências, o código extrai informações do ambiente PPR contidas em um arquivo Excel<sup>®</sup> e calcula, para cada etapa de edificação de cada seqüência gerada, o hh e as durações de cada etapa conforme apresentado na Tabela 9. Tabela 9 apresenta os números calculados para uma seqüência específica de edificação.

Tabela 9 – HH e durações de cada etapa da edificação para uma seqüência específica  
S1 = [9 8 7 5 6 4 2 3 1]

| MAN-HOURS AT ERECTION STAGE |       |       |      |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|------|-------|-------|
|                             | AF_S1 | ST_S1 | J_S1 | W_S1  | TOTAL |
| 1                           | 2.9   | 3.0   | 4.6  | 15.5  | 26.0  |
| 2                           | 2.9   | 3.0   | 4.6  | 15.5  | 26.0  |
| 3                           | 4.5   | 5.0   | 8.2  | 25.0  | 42.7  |
| 4                           | 7.3   | 7.5   | 12.8 | 40.5  | 68.0  |
| 5                           | 7.3   | 7.5   | 12.8 | 40.5  | 68.0  |
| 6                           | 4.5   | 5.0   | 8.2  | 25.0  | 42.7  |
| 7                           | 7.6   | 8.0   | 12.8 | 40.5  | 68.9  |
| 8                           | 7.6   | 8.0   | 12.8 | 42.0  | 70.4  |
| TOTAL                       | 44.6  | 47.0  | 76.5 | 244.6 | 412.7 |
|                             |       |       |      |       | 412.7 |

| DURATION OF ACTIVITIES AT ERECTION STAGE |       |       |      |      |       |
|--|-------|-------|------|------|-------|
|  | AF_S1 | ST_S1 | J_S1 | W_S1 | TOTAL |
| 1  | 0.18  | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.8   |
| 2  | 0.18  | 0.2   | 0.3  | 0.2  | 0.8   |
| 3  | 0.28  | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 4  | 0.45  | 0.5   | 0.8  | 0.5  | 2.2   |
| 5  | 0.45  | 0.5   | 0.8  | 0.5  | 2.2   |
| 6  | 0.28  | 0.3   | 0.5  | 0.3  | 1.4   |
| 7  | 0.48  | 0.5   | 0.8  | 0.5  | 2.3   |
| 8  | 0.48  | 0.5   | 0.8  | 0.5  | 2.3   |
| TOTAL                                    | 2.79  | 2.9   | 4.8  | 3.1  | 13.6  |
|  |       |       |      |      | 13.6  |

O tempo total de processamento para cada seqüência gerada é calculado através das informações da Tabela 9 e do modelo de “Flow Shop”. O cálculo do tempo total de processamento através do modelo “Flow Shop” utiliza o seguinte procedimento, onde  $C_{max}$  é o tempo total de processamento para cada alternativa:

$$C(J_i, j) = \max\{C(J_{i-1}, j), C(J_i, j-1)\} + p(J_i, j)$$

$$C(J_1, 1) = p(J_1, 1)$$

$$C(J_i, 1) = C(J_{i-1}, 1) + p(J_i, 1) \text{ for } i = 2, \dots, n$$

$$C(J_1, j) = C(J_1, j-1) + p(J_1, j) \text{ for } j = 2, \dots, m$$

$$C_{max} = C(J_n, m)$$

$P(i, j)$  = tempo de processamento para o trabalho  $I$  na máquina  $j$

$C(J_i, j)$  = tempo de conclusão do trabalho  $I$  na máquina  $j$

Com o objetivo de manter o problema apresentado como um problema de maximização e considerando que quanto menor o tempo total de processamento melhor é a alternativa, o inverso do tempo total de processamento foi utilizado. Então, ao invés de minimizar o tempo total de processamento, o código irá maximizar o inverso do tempo total de processamento ( $1/C_{max}$ ).

Após o cálculo do tempo total de processamento, o Algoritmo Genético inicia associando os tempos calculados às respectivas seqüências e então aplica o operador de seleção. O código foi desenvolvido para acomodar dois operadores de seleção: “Roulette Wheel” e “Tournament Selection”. Ambos os operadores são muito comuns na literatura de AG. O operador de seleção “Tournament Selection” foi melhor nos testes realizados, portanto os resultados apresentados a seguir consideram a utilização desse operador.

Após a aplicação do operador de seleção, o operador modificado “crossover”-mutação é aplicado. Um operador genético de elitismo é aplicado em seguida, com o objetivo de garantir que a melhor alternativa de cada população não seja descartada. A ordem de aplicação dos operadores também foi testada e constatou-se que aplicando primeiro o operador de seleção e depois o “crossover”-mutação produz melhores resultados. Os resultados apresentados consideram essa ordem.

Da Figura 34 a Figura 38 são apresentados resultados do modelo para diferentes tamanhos de população e números de gerações. Cada figura apresenta o valor máximo do inverso do tempo total de processamento e o valor médio para cada rodada do modelo.

Finalmente, conclui-se que a programação das atividades de edificação é um problema de considerável importância para as operações de um estaleiro. Através da utilização de técnicas de otimização no estágio de edificação dos blocos no berço de construção pode levar a importantes economias de tempo e a melhoras significativas no balanceamento dos recursos nessa atividade crítica. O trabalho também indica que a abordagem utilizada para otimização do processo de edificação é eficaz.

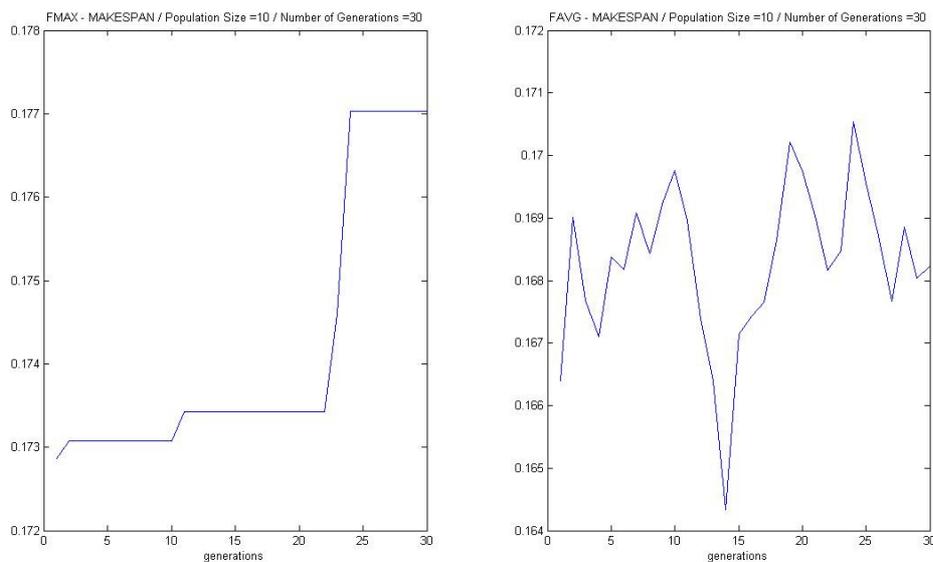


Figura 34 – Resultados com tamanho de população 10 e número de gerações 30

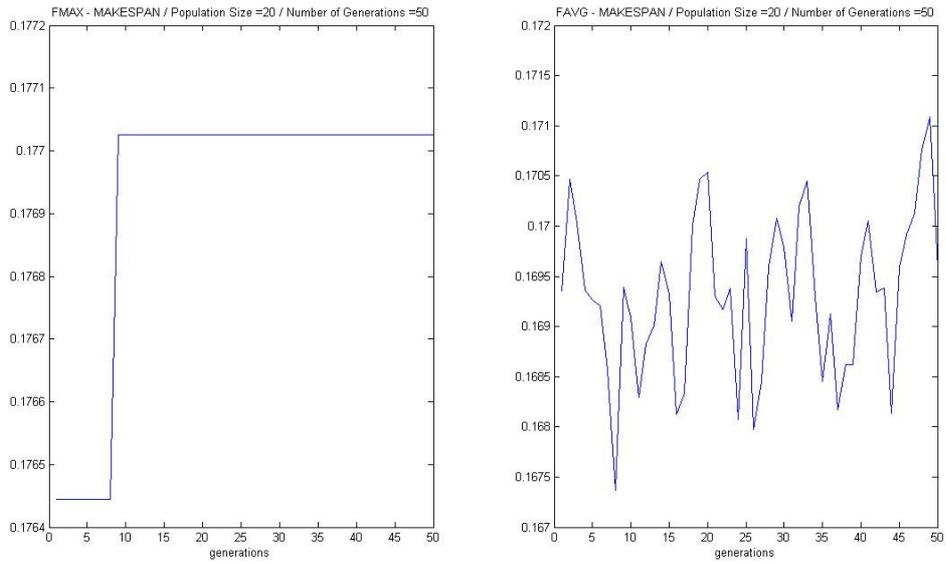


Figura 35 – Resultados com tamanho de população 20 e número de gerações 50

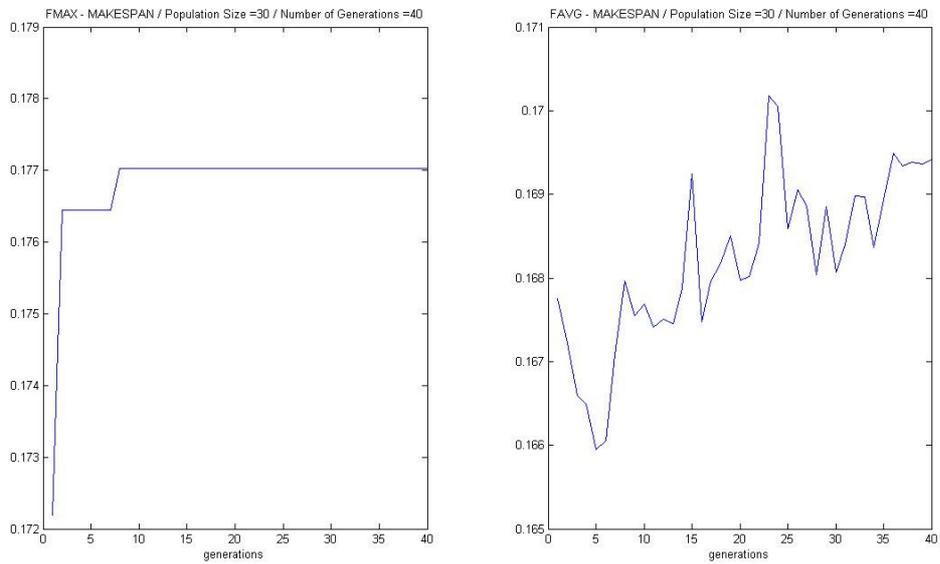


Figura 36 – Resultados com tamanho de população 30 e número de gerações 40

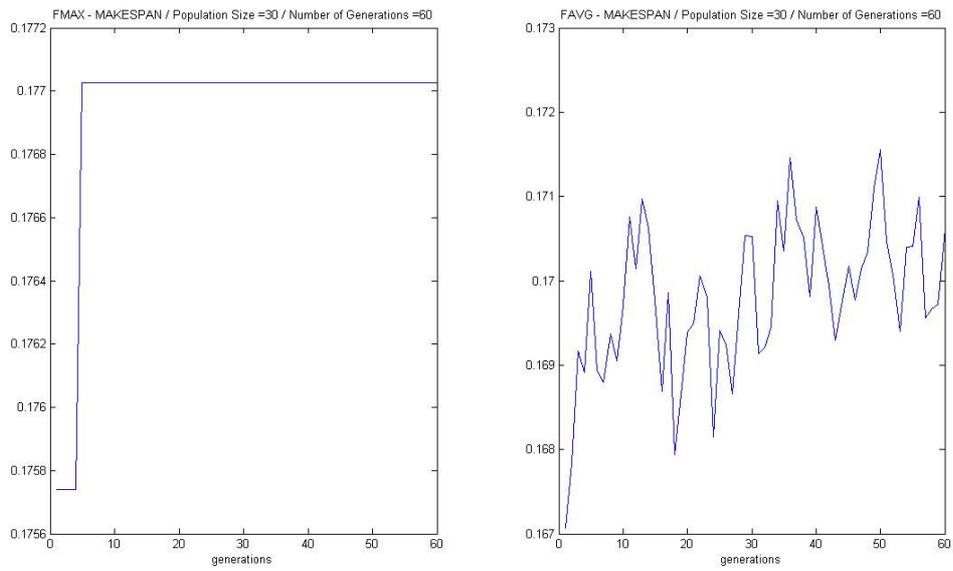


Figura 37 – Resultados com tamanho de população 30 e número de gerações 60

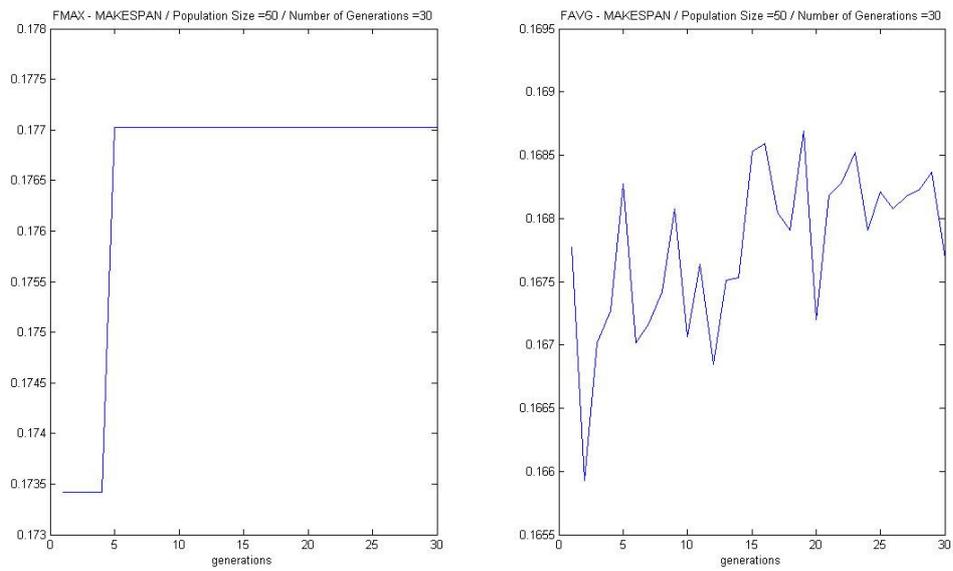


Figura 38 – Resultados com tamanho de população 50 e número de gerações 30

#### **4.4. Simulação de Processos de Construção Naval**

Com o objetivo de demonstrar a aplicação das duas técnicas apresentadas acima (Agrupamento de Produtos Intermediários e Otimização da Edificação), foi desenvolvido um modelo de Simulação de Eventos Discretos.

As três próximas seções deste Capítulo são dedicadas à descrição dos procedimentos utilizados para o desenvolvimento de modelos de simulação utilizando-se a Plataforma DELMIA; à apresentação detalhada de estimação de parâmetros e da modelagem; e finalmente à apresentação de um modelo específico para avaliação de estratégias de agrupamento de blocos e de edificação.

O trabalho a ser apresentado nesta seção foi estruturado em duas partes, cujos objetivos são descritos abaixo (COPPE, 2008):

- Delineamento geral do problema e desenvolvimento de bancos de dados relativos ao problema escolhido.
- Implantação do modelo, fazendo-se a integração dos bancos de dados e módulos da plataforma DELMIA.

A primeira parte é dedicada à apresentação das atividades desenvolvidas para delinear o problema. O objetivo principal foi definido como a modelagem de um protótipo, envolvendo os principais processos para construção da estrutura de uma embarcação, utilizando-se o sistema QUEST, que integra a plataforma DELMIA.

O trabalho realizado foi um exercício de aplicação de métodos para estudo de tempos e processos na construção naval. Os métodos foram aplicados para os produtos intermediários envolvidos na montagem de dois dos 22 blocos que compõem um anel do corpo paralelo da embarcação-tipo.

Com relação aos recursos foi realizado um levantamento de máquinas, equipamentos e de especialidades de trabalhadores normalmente empregados em processos de construção naval. Feito isso, foram associados máquinas, equipamentos e trabalhadores a áreas do estaleiro e, conseqüentemente, aos processos ali desenvolvidos.

A segunda parte deste capítulo apresenta a implantação dos modelos utilizando a plataforma DELMIA: DPM (Digital Process for Manufacturing), DPE (Delmia Process Engineer) e QUEST.

Para o desenvolvimento dos modelos na plataforma DELMIA, inicialmente, realizou-se a modelagem 3D do produto que foi definido em detalhes na etapa de delineamento geral do problema.

Em paralelo, as informações disponíveis de produtos, processos e recursos alimentaram modelos no DPE para análise de tempos de ciclo de processos e para preparar o modelo a ser construído no simulador de eventos discretos QUEST. O DPE permite que a estrutura de produtos seja modelada de forma simples e intuitiva, ampliando o conhecimento do produto a ser fabricado e facilitando a análise de processos e de dimensionamento dos recursos necessários para a produção eficiente.

Finalmente, o modelo desenvolvido no DPE foi, parcialmente, exportado para o sistema QUEST. O modelo para todo o corpo paralelo da embarcação é um modelo pesado, com um grande número de produtos intermediários e processos a serem modelados. Com o objetivo de testar as dificuldades na exportação do modelo e de

desenvolver uma metodologia eficiente para obter um modelo QUEST funcional, exportou-se apenas uma parte do modelo.

O protótipo do modelo geral do estaleiro desenvolvido, envolve a produção de dois blocos, sendo consideradas somente as oficinas de submontagem e de montagem de blocos planos, a linha de painéis planos, e as áreas de pré-edificação e de edificação. Esse procedimento facilitou o entendimento dos problemas de adequação do modelo e a geração de soluções para se obter o modelo de simulação integrando as plataformas DPE e QUEST.

Ao longo do trabalho de implantação do modelo na plataforma DELMIA, foram identificadas com clareza as atividades necessárias para acertar as lógicas de processos e de roteamento, para estabelecer corretamente os fluxos de produtos, para acertar detalhes de visualização e posicionamento de elementos, e, finalmente, para configurar sistemas de movimentação de partes e componentes encontrados em um estaleiro.

As informações referentes aos bancos de dados desenvolvidos nesta etapa do trabalho (produtos intermediários, comprimentos de solda e tempos de processo) e aproveitamento das chapas de aço se encontram em volume anexo.

A Figura 39 apresenta as etapas relativas ao desenvolvimento do protótipo do modelo geral de simulação do estaleiro.

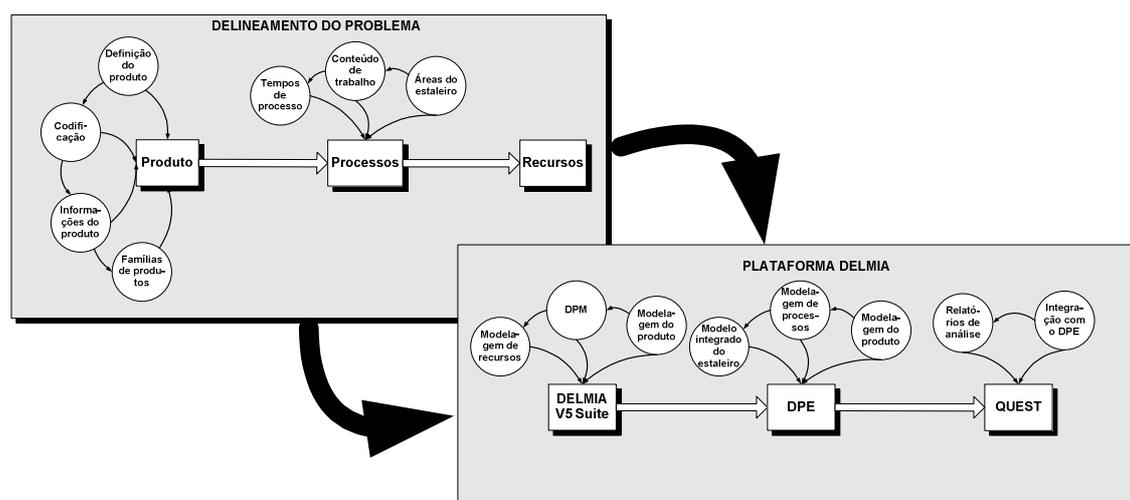


Figura 39 – Protótipo do modelo geral do estaleiro

#### 4.4.1. Produto

##### 4.4.1.1 Definição da embarcação-tipo

Uma das dificuldades encontradas no processo de modelagem do produto foi a falta de dados e informações.

Não se dispunha de um projeto de navio contendo os desenhos de produção com detalhes que seriam necessários para fazer o desenvolvimento completo do modelo de simulação.

O primeiro passo foi, portanto, definir uma embarcação-tipo que pudesse ser modelada levando em consideração a escassez de informações. A embarcação escolhida foi um navio *Suezmax*, com as seguintes características:

- Comprimento total – 270,0 m
- Comprimento entre perpendiculares – 260,0 m
- Boca – 45,5 m
- Pontal – 24 m
- Capacidade – 145.000 tpb

Foi utilizada uma seção mestra com detalhes dos elementos estruturais desse navio, suficientes para elaborar o protótipo do modelo geral do estaleiro.

A partir da seção mestra disponível foi possível realizar a contagem e a identificação de cada elemento estrutural para o corpo paralelo da embarcação em questão. Os elementos estruturais da proa e da popa também foram levantados, com base em desenhos com detalhes estruturais dessas regiões para navios semelhantes.

Para visualização preliminar do produto a ser modelado, foi gerado um plano de linhas respeitando as características principais colocadas acima. O plano de linhas foi exportado para o módulo de modelagem 3D de produto do sistema Delmia e foi gerada uma superfície para representar a embarcação. O resultado é apresentado na Figura 40.

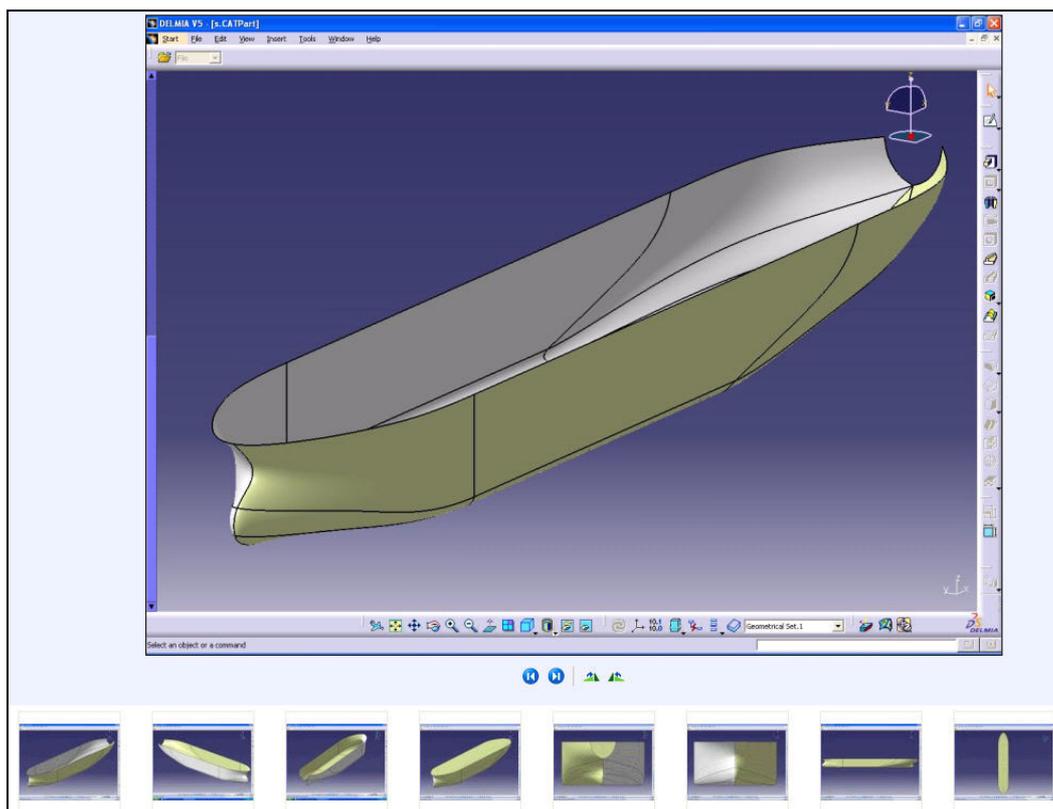


Figura 40 – Visualização da embarcação-tipo

Após a definição da embarcação a ser modelada, realizou-se a divisão da seção mestra em blocos. A Figura 41 apresenta a divisão de blocos adotada para a seqüência do trabalho objeto deste trabalho.

O protótipo do modelo de simulação que será desenvolvido na presente etapa abrange a estrutura do corpo paralelo do navio Suezmax.

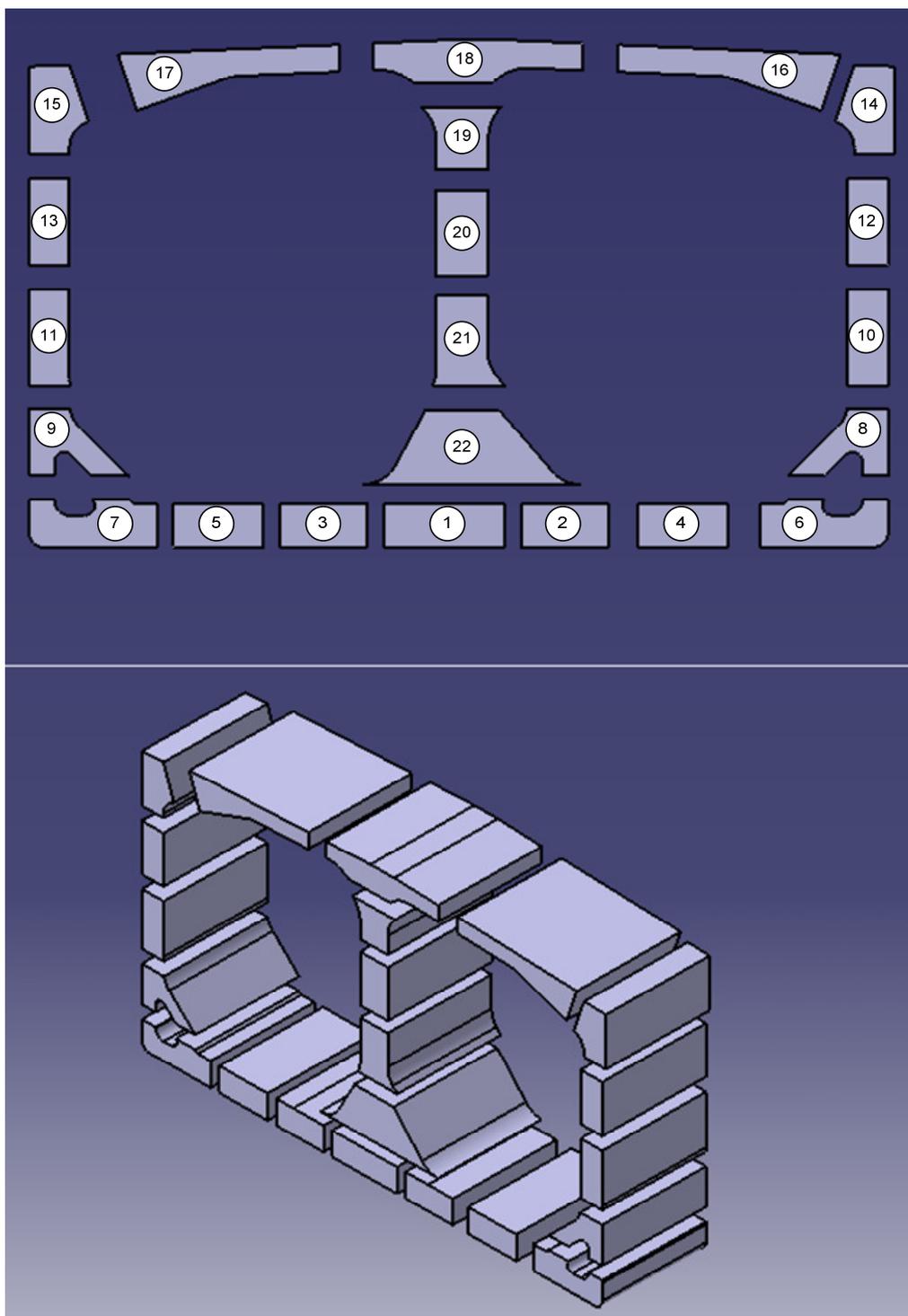


Figura 41 – Seção mestra e divisão de blocos

#### *Identificação dos Elementos do Produto*

Para desenvolvimento do modelo era necessário que cada elemento do produto a ser modelado pudesse ser classificado e as informações armazenadas

Com esse objetivo, desenvolveu-se uma Estrutura de Decomposição do Trabalho – EDT, baseada no Método de Construção por Zonas (*Zone Construction Method*).

A decomposição das atividades de construção naval orientada a produtos, com base no Método de Construção por Zonas, acomoda três diferentes métodos orientados a diferentes zonas de construção. Desse modo, atividades ligadas à construção do casco, *outfitting* e pintura podem ser planejadas de maneira coordenada, estabelecendo fluxos de trabalho mais eficientes. A integração é realizada através de quatro componentes principais: o método de construção do casco em blocos (*hull block construction method* – HBCM), o método de acabamento por zonas (*zone outfitting method* – ZOOFM), o método de pintura por zonas (*zone painting method* – ZPFM), e a fabricação por famílias, como a fabricação de famílias de peças de tubulação (*pipe piece family manufacturing* – PPFM).

Neste trabalho serão desenvolvidas a decomposição de produtos e a associação de processos e recursos referentes ao método de construção do casco em blocos. Dessa forma, os procedimentos de coleta de dados apresentados estão associados à produção de elementos estruturais, sem consideração, por enquanto, de atividades ligadas à fabricação e instalação de itens de *outfitting* e a pintura.

A Figura 42 ilustra as principais classes de produtos intermediários consideradas.

O primeiro nível corresponde ao casco completo, considerando todos os produtos intermediários que compõe a estrutura do casco de uma embarcação.

O casco é dividido em super-blocos ou anéis, que representam o segundo nível da estrutura de produtos e estão associados ao processo de edificação no berço de construção ou área de edificação.

Cada anel ou super-bloco é composto por blocos (planos, curvos, de praça de máquinas e de superestrutura) que são acomodados no terceiro nível da estrutura. Os blocos são obtidos através de processos de montagem de blocos desenvolvidos nas estações de montagem de blocos que pertencem à oficina de montagem de blocos.

Cada bloco, por sua vez, é composto por painéis (planos e curvos) e submontagens que ocupam o quarto nível da estrutura de produtos. Os produtos intermediários do quarto nível da estrutura de produtos são processados em linhas de painéis e em estações de submontagem, ambas pertencentes à oficina de submontagem.

Os perfis fabricados e partes conformadas são acomodados no quinto nível da estrutura e alimentam as linhas de painéis e estações de submontagem. A oficina de fabricação de perfis e a oficina de conformação produzem perfis fabricados e partes conformadas, respectivamente.

O sexto nível da estrutura de produtos acomoda as partes fabricadas (partes paralelas, partes não paralelas e partes internas) que compõe os painéis e as submontagens. As partes fabricadas são processadas na oficina de corte.

Finalmente, o sétimo e último nível é reservado para matérias-primas (chapas, perfis, materiais e equipamentos). O processo associado é apenas de armazenagem, realizado no pátio de armazenagem e no almoxarifado.

A Tabela 10 apresenta uma lista dos produtos intermediários considerados na Estrutura de Decomposição do Trabalho desenvolvida neste trabalho. Nos campos “input” da tabela se encontram os produtos intermediários necessários para a montagem/fabricação de cada produto.

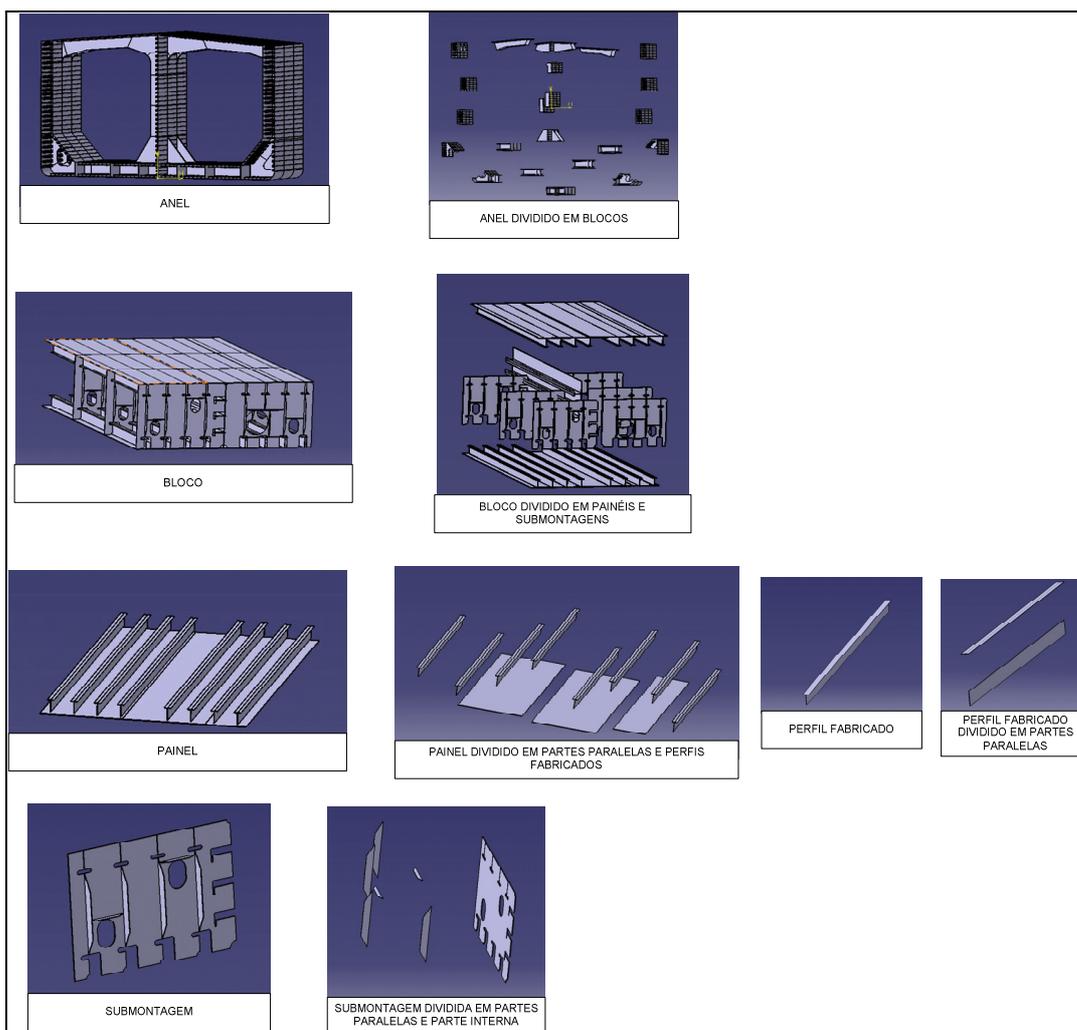


Figura 42 – Classes de produtos intermediários

Tabela 10 – Produtos intermediários

| CÓDIGO | PRODUTO                         | INPUT_1         | INPUT_2          | INPUT_3 | INPUT_4 | INPUT_5 |
|--------|---------------------------------|-----------------|------------------|---------|---------|---------|
| CHT    | chapa tratada                   | CH              |                  |         |         |         |
| PFT    | perfil tratado                  | PF              |                  |         |         |         |
| PNP    | partes não paralelas            | CHT             |                  |         |         |         |
| PP     | partes paralelas                | CHT             |                  |         |         |         |
| PI     | partes estrutuais internas      | CHT             |                  |         |         |         |
| PCC    | partes com conformação complexa | PP              |                  |         |         |         |
| PCS    | partes com conformação simples  | PP              |                  |         |         |         |
| PFCF   | perfil conformado               | PP              |                  |         |         |         |
| PFF    | perfil fabricado                | PP              |                  |         |         |         |
| PPL    | painel plano                    | PP              | PFF              |         |         |         |
| PC     | painel curvo                    | PCC OU/E<br>PCS | PFCF E/OU<br>PFF |         |         |         |
| PCR    | painel corrugado                | PP              |                  |         |         |         |

Tabela 10 (cont.)

| CÓDIGO | PRODUTO                                  | INPUT            | INPUT            | INPUT            | INPUT           | INPUT            |
|--------|--|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| SM     | submontagem                              | PI               | PP               | PCS E /OU<br>PCC | PNP             |                  |
| BP     | bloco plano                              | PPL              | SM               |                  |                 |                  |
| BC     | bloco curvo                              | PPL E/OU PC      | SM               | PCR              |                 |                  |
| BPM    | bloco de praça de máquina                | PPL E/OU PC      | SM               |                  |                 |                  |
| BSE    | bloco superestrutura                     | PPL E/OU PC      | SM               | CD/SP/CBP        |                 |                  |
| BPP    | bloco plano pintado                      | BP               |                  |                  |                 |                  |
| BCP    | bloco curvo pintado                      | BC               |                  |                  |                 |                  |
| BSEP   | bloco superestrutura pintado             | BSE              |                  |                  |                 |                  |
| BPMP   | bloco praça de máquinas pintado          | BPM              |                  |                  |                 |                  |
| BCPM   | bloco curvo pintado montado              | BCP              | MO/SP/CBP/<br>CD |                  |                 |                  |
| BPPM   | bloco plano pintado montado              | BPP              | MO/SP/CBP/<br>CD |                  |                 |                  |
| BPMPM  | bloco pç máquina pintado montado         | BPMP             | MO/SP/CBP/<br>CD |                  |                 |                  |
| BPPO   | bloco plano pintado c/ outfitting        | BPP              | SP/CBP/CD        |                  |                 |                  |
| BCPO   | bloco curvo pintado c/ outfitting        | BCP              | SP/CBP/CD        |                  |                 |                  |
| BPPMA  | bloco plano pintado montado aprovado     | BPPM             | SP/CBP/CD        |                  |                 |                  |
| BCPMA  | bloco curvo pintado montado aprovado     | BCPM             | SP/CBP/CD        |                  |                 |                  |
| BPPOA  | bloco plano pintado c/ outfitting aprov. | BPPO             | SP/CBP/CD        |                  |                 |                  |
| BCPOA  | bloco curvo pintado c/ outfitting aprov. | BCPO             | SP/CBP/CD        |                  |                 |                  |
| SBP    | super-bloco plano ou anel                | BPPMA            | MO/SP/CBP/<br>CD |                  |                 |                  |
| SBC    | super-bloco curvo                        | BCPMA            | MO/SP/CBP/<br>CD |                  |                 |                  |
| SBSE   | super-bloco superestrutura               | BSEP             | SP/CBP/CD        |                  |                 |                  |
| SBPM   | super-bloco praça maquina                | BPMPM            | MO/SP/CBP/<br>CD |                  |                 |                  |
| C      | casco                                    | SBP              | SBC              | SBSE             | BPPMA/<br>BCPMA | MO/SP/CBP/<br>CD |
| TB     | tubos                                    | TB               |                  |                  |                 |                  |
| SP     | spools                                   | TB               |                  |                  |                 |                  |
| CB     | cabos                                    | CB               |                  |                  |                 |                  |
| CBP    | cabos processados                        | CB               |                  |                  |                 |                  |
| MD     | materiais diversos                       | MD               |                  |                  |                 |                  |
| CD     | componentes diversos                     | MD               |                  |                  |                 |                  |
| ME     | máquinas e equipamentos                  | ME               |                  |                  |                 |                  |
| MO     | Módulos                                  | CD/SP/CBP/<br>ME |                  |                  |                 |                  |

#### 4.4.1.2 Codificação

Sistemas de codificação são ferramentas necessárias para o bom desempenho das atividades de planejamento e controle. O sistema de codificação desenvolvido para este trabalho segue a abordagem voltada para produtos intermediários em todos os níveis de processos.

A estrutura de decomposição do trabalho apresentada acima é a base do sistema, que agrupa por tipos de processos (realizados em áreas específicas do estaleiro) os produtos intermediários considerados.

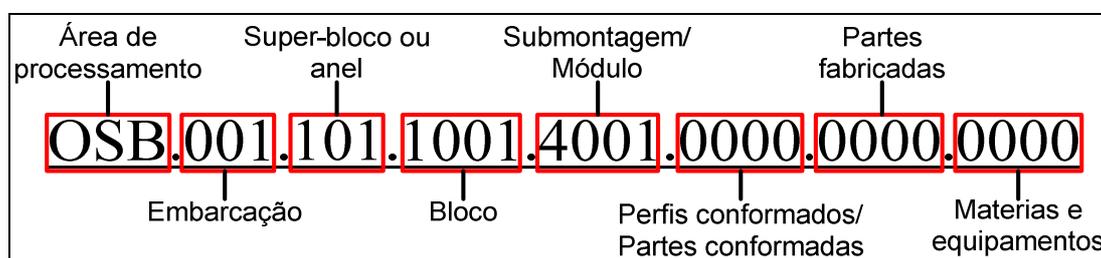
Desse modo, as três primeiras letras do código identificam o processo e a área de processamento do elemento codificado em seguida. Os números seguintes, separados por pontos, representam diferentes produtos intermediários.

A codificação da mão-de-obra, da mesma forma que a codificação de produtos e processos, é organizada de acordo com a estrutura de produtos intermediários. Assim, as estimativas e o consumo de mão-de-obra podem ser diretamente associados a produtos fabricados/montados, aos processos de fabricação/montagem e à área de processamento.

As quantidades de homens-hora estimadas ou consumidas podem, então, ser diretamente associadas a linhas de produção, oficinas e áreas de trabalho. Permitindo, assim, comparações entre homens-hora estimadas e o consumo real para a realização de atividades dentro de uma área de processamento específica.

A Tabela 11 e a Tabela 12 apresentam, respectivamente, a estrutura e as legendas das classes do sistema de codificação utilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

Os códigos são úteis para que, através de uma seqüência alfa-numérica, cada produto, suas características e a área de processamento sejam facilmente identificados. Por exemplo, o processo de submontagem de uma hastilha de um bloco plano é representado por:



No exemplo acima, os três últimos campos estão zerados, pois o código se refere a uma submontagem. Os campos posteriores estariam preenchidos se o produto/processo representado estivesse em níveis hierárquicos mais baixos. O último campo só aparece preenchido para representar matérias-primas (materiais e equipamentos).

#### *Levantamento e Armazenamento de Informações*

Uma vez definida a embarcação-tipo a ser modelada, foi iniciada a fase de levantamento de informações que dariam subsídio para a montagem dos bancos de dados.

A seção mestra foi dividida em blocos com peso médio de 38 t e peso máximo de 58,7 t. Os blocos têm pesos relativamente baixos, de forma que avaliações de alternativas de estratégias de construção que utilizem blocos maiores podem ser geradas a partir da agregação dos blocos já modelados, evitando-se o esforço de modelar novamente o produto para considerar blocos maiores.

O levantamento de informações foi realizado manualmente, e mostrou-se uma atividade extremamente trabalhosa. A partir da divisão de blocos foi realizada a contagem individual dos elementos, a classificação, codificação e, finalmente, a alimentação no banco de dados de produtos.

Também foi realizado, nessa fase, a obtenção e aferição das cotas para o desenvolvimento do modelo 3D do produto. Os desenhos foram elaborados a partir da seção mestra e das informações levantadas, utilizando-se o Delmia V5 Suite. O processo de modelagem é abordado com mais detalhes a seguir.

A armazenagem das informações geradas sobre o produto foi realizada em um banco de dados de produtos desenvolvido para este trabalho. O banco de dados de produtos é apresentado no Anexo 3 e registra todos os elementos do corpo paralelo da embarcação-tipo.

#### *Lista de Materiais*

A lista de materiais deve conter todos os produtos intermediários, suas dimensões e peso, e a área e o estágio de produção de cada produto.

Dessa forma, é possível calcular os conteúdos de trabalho associados à fabricação/montagem de cada produto intermediário e estimar as necessidades de mão-de-obra a partir de indicadores de produtividade históricos.

As listas de materiais utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidas através de consultas realizadas em banco de dados de produtos e processos.

O banco de dados (com mais de 1800 registros) é apresentado parcialmente no Anexo 3 e exemplos de consultas realizadas são apresentadas no Anexo 4.

Tabela 11 – Estrutura do sistema de codificação

| ESTÁGIO DE PRODUÇÃO |                                   | IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO |             |             |             |              |             |            |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| COD                 | PROCESSOS                         | E                        | SB          | B           | SM / MO     | PFPC         | PFCT        | M & E      |
| A                   | ARMAZENAGEM                       |                          | SBP -- 100  | BP -- 1000  | PPL -- 1000 | PCC -- 1000  | PP -- 1000  | CH -- 1000 |
| T                   | TRATAMENTO                        |                          | SBC -- 200  | BC -- 2000  | PC -- 2000  | PCS -- 2000  | PNP -- 2000 | PF -- 2000 |
| FCT                 | FABRICAÇÃO/ CORTE                 |                          | SBSE -- 300 | BPM -- 3000 | PCR -- 3000 | PFCE -- 3000 | PPF -- 3000 | TB -- 3000 |
| FPC                 | FABRICAÇÃO/ PERFIS/ CONFORMAÇÃO   |                          | SBPM -- 400 | BSE -- 4000 | SM -- 4000  | PFF -- 4000  | PI -- 4000  | CB -- 4000 |
| SM                  | SUBMONTAGEM                       |                          |             |             | MO -- 5000  |              | SP --5000   | MD -- 5000 |
| M                   | MONTAGEM                          |                          |             |             |             |              | CBP -- 6000 | ME -- 6000 |
| PED                 | PRÉ-EDIFICAÇÃO                    |                          |             |             |             |              | CD --7000   |            |
| ED                  | EDIFICAÇÃO                        |                          |             |             |             |              |             |            |
| PB                  | PINTURA DE BLOCOS                 |                          |             |             |             |              |             |            |
| OM                  | OUTFITTING NA MONTAGEM DE BLOCOS  |                          |             |             |             |              |             |            |
| OPED                | OUTFITTING NA PRÉ EDIFICAÇÃO      |                          |             |             |             |              |             |            |
| OED                 | OUTFITTING NA EDIFICAÇÃO          |                          |             |             |             |              |             |            |
| IM                  | INSTALAÇÃO DE MÓDULOS             |                          |             |             |             |              |             |            |
| AB                  | ARMAZENAGEM DE BLOCOS             |                          |             |             |             |              |             |            |
| OAA                 | OUTFITTING NA ÁREA DE ARMAZENAGEM |                          |             |             |             |              |             |            |
| IB                  | INSPEÇÃO DE BLOCOS                |                          |             |             |             |              |             |            |
| FO                  | FABRICAÇÃO DE OUTFITTING          |                          |             |             |             |              |             |            |
| MM                  | MONTAGEM DE MÓDULOS               |                          |             |             |             |              |             |            |

Tabela 12 – Legenda de classes do sistema de codificação

| <b>COD</b> | <b>PRODUTOS</b>   | <b>CLASSE</b> |
|------------|---|---------------|
| CHT        | CHAPA (10 MM)   | 1000          |
| CHT        | CHAPA (11 MM)   | 2000          |
| CHT        | CHAPA (12,5 MM)   | 3000          |
| CHT        | CHAPA (14 MM)   | 4000          |
| CHT        | CHAPA (15 MM)   | 5000          |
| CHT        | CHAPA (16 MM)   | 6000          |
| CHT        | CHAPA (19 MM)   | 7000          |
| CHT        | CHAPA (21 MM)   | 8000          |
| CHT        | CHAPA (22 MM)   | 9000          |
| CHT        | CHAPA (31,5 MM)   | 10000         |
| PP         | PARTE PARALELA (BARRA CHATA)                              | 1000          |
| PI         | PARTES ESTRUTURAIS INTERNAS (HASTILHA, PRUMOS, VAUS, ETC) | 4000          |
| PNP        | PARTE NÃO PARALELA CHAPA CORTADA                          | 2000          |
| PPF        | PERFIL FABRICADO  | 4000          |
| PCS_C      | PARTE COM CONFORMAÇÃO SIMPLES (CHAPA CONFORMADA)          | 2000          |
| PCS_F      | PARTE COM CONFORMAÇÃO SIMPLES (FLANGE)                    | 2100          |
| PPL_COD    | PAINEL PLANO DE COSTADO DUPLO                             | 1000          |
| PPL_CO     | PAINEL PLANO DE COSTADO                                   | 1100          |
| PPL_CN     | PAINEL PLANO DE CONVÉS                                    | 1200          |
| PPL_F      | PAINEL PLANO FUNDO  | 1300          |
| PPL_TDF    | PAINEL PLANO TETO DO FUNDO                                | 1400          |
| PPL_TA     | PAINEL PLANO TANQUE DE ASA                                | 1500          |
| PPL_A      | PAINEL PLANO DE ANTEPARA                                  | 1600          |
| PPL_AT     | PAINEL PLANO DE ANTEPARA TRANSVERSAL                      | 1700          |
| SM_H       | SUBMONTAGEM HASTILHA                                      | 4000          |
| SM_TA      | SUBMONTAGEM TANQUE DE ASA                                 | 4100          |
| SM_E       | SUBMONTAGEM ESCOA   | 4200          |
| SM_CG      | SUBMONTAGEM CAVERNA GIGANTE                               | 4300          |
| SM_V       | SUBMONTAGEM VAU   | 4400          |
| SM_PR      | SUBMONTAGEM PRUMO   | 4500          |
| SM_L       | SUBMONTAGEM LONGARINA                                     | 4600          |

### Famílias de Produtos

Com o objetivo de facilitar o entendimento e a modelagem do produto, foram identificadas e classificadas as famílias de produtos idênticos em cada nível da estrutura de produtos adotada para este trabalho. A cada família foi atribuído um código que identifica o tipo de produto intermediário e um número. Dessa forma, o código PP 01 significa que se trata de uma parte paralela pertencente à família 01, o código PPL 01 se refere a um painel plano da família 01, o código SM\_h 01 é uma submontagem de hastilha da família 01 e assim por diante. Uma mesma família pode conter vários elementos, mas um mesmo elemento não pode pertencer a duas famílias diferentes.

Considerando que os produtos intermediários em todos os níveis podem ser agrupados em famílias de produtos idênticos, o corpo paralelo da embarcação-tipo é composto de 15 anéis com exatamente as mesmas características.

Cada um dos 15 anéis do corpo paralelo é composto de 22 blocos que podem ser agrupados em 14 famílias, conforme pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 – Famílias de blocos de corpo paralelo

| Família | Qtde | PPL  | SM   | Blocos  |
|---------|------|------|------|---------|
|         |      | Qtde | Qtde |         |
| BP 01   | 1    | 3    | 6    | 1       |
| BP 02   | 2    | 2    | 3    | 2 e 3   |
| BP 03   | 2    | 2    | 3    | 4 e 5   |
| BP 04   | 2    | 2    | 3    | 6 e 7   |
| BP 05   | 2    | 2    | 4    | 8 e 9   |
| BP 06   | 2    | 2    | 4    | 10 e 11 |
| BP 07   | 2    | 2    | 4    | 12 e 13 |
| BP 08   | 2    | 3    | 7    | 14 e 15 |
| BP 09   | 2    | 1    | 3    | 16 e 17 |
| BP 10   | 1    | 2    | 6    | 18      |
| BP 11   | 1    | 1    | 6    | 19      |
| BP 12   | 1    | 1    | 3    | 20      |
| BP 13   | 1    | 1    | 3    | 21      |
| BP 14   | 1    | 1    | 3    | 22      |

Cada bloco é composto por painéis e submontagens. Considerando os blocos de corpo paralelo, foram levantados 49 painéis planos que podem ser agrupados em 20 famílias diferentes, e 66 submontagens agrupadas em 16 famílias. As famílias de painéis planos e de submontagens são apresentadas na Tabela 14 e na Tabela 15, respectivamente.

Tabela 14 – Famílias de painéis planos

| Família | Qtde | Identificação                                 | PP   | PFF  | Blocos |
|---------|------|---|------|------|--------|
|         |      |   | Qtde | Qtde |        |
| PPL 1   | 2    | PPL_f _ Painel Plano de Fundo Duplo           | 3    | 8    | 1      |
|         |      | PPL_tdf _ Painel Plano de Teto de Fundo Duplo |      |      |        |
| PPL 2   | 1    | PPL_1 _ Painel de Longarina                   | 1    | 1    | 1      |
| PPL 3   | 4    | PPL_f _ Painel Plano de Fundo Duplo           | 2    | 6    | 2 e 3  |
|         |      | PPL_tdf _ Painel Plano de Teto de Fundo Duplo |      |      |        |

Tabela 14 (cont.)

| Família | Qtde | Identificação                                 | PP   | PFF  | Blocos                  |
|---------|------|---|------|------|-------------------------|
|         |      |   | Qtde | Qtde |                         |
| PPL 4   | 4    | PPL_f _ Pannel Plano de Fundo Duplo           | 2    | 7    | 4 e 5                   |
|         |      | PPL_tdf _ Pannel Plano de Teto de Fundo Duplo |      |      |                         |
| PPL 5   | 2    | PPL_f _ Pannel Plano de Fundo Duplo           | 3    | 7    | 6 e 7                   |
| PPL 6   | 2    | PPL_tdf _ Pannel Plano de Teto de Fundo Duplo | 1    | 1    | 6 e 7                   |
| PPL 7   | 2    | PPL_co_Pannel Plano de Costado                | 2    | 5    | 8 e 9                   |
| PPL 8   | 8    | PPL_e _ Pannel de Escoa                       | 3    |      | 8,9,10,11,12,13,14 e 15 |
| PPL 9   | 2    | PPL_ta _ pannel Plano de Tanque de Asa        | 2    | 6    | 8 e 9                   |
| PPL 10  | 4    | PPL_co_Pannel Plano de Costado                | 2    | 6    | 10 e 11                 |
|         |      | PPL_cod _ Pannel Plano de Costado Duplo       |      |      |                         |
| PPL 11  | 4    | PPL_co_Pannel Plano de Costado                | 2    | 5    | 12 e 13                 |
|         |      | PPL_cod _ Pannel Plano de Costado Duplo       |      |      |                         |
| PPL 12  | 4    | PPL_co_Pannel Plano de Costado                | 2    | 6    | 14 e 15                 |
|         |      | PPL_cod _ Pannel Plano de Costado Duplo       |      |      |                         |
| PPL 13  | 2    | PPL_cn_ Pannel Plano de Convés                | 1    | 2    | 14 e 15                 |
| PPL 14  | 2    | PPL_cn_ Pannel Plano de Convés                | 5    | 16   | 16 e 17                 |
| PPL 15  | 1    | PPL_cn_ Pannel Plano de Convés                | 3    | 7    | 18                      |
| PPL 16  | 1    | PPL_a_ Pannel Plano de Antepara               | 2    | 5    | 18                      |
| PPL 17  | 1    | PPL_a_ Pannel Plano de Antepara               | 1    | 5    | 19                      |
| PPL 18  | 1    | PPL_a_ Pannel Plano de Antepara               | 1    | 7    | 20                      |
| PPL 19  | 1    | PPL_a_ Pannel Plano de Antepara               | 2    | 5    | 21                      |
| PPL 20  | 1    | PPL_a_ Pannel Plano de Antepara               | 2    | 5    | 22                      |

Tabela 15 – Famílias de submontagens

| Família | Qtde | Identificação                          | PP   | PI   | PCS_f | PNP  | Blocos          |
|---------|------|--|------|------|-------|------|-----------------|
|         |      |  | Qtde | Qtde | Qtde  | Qtde |                 |
| SM 1    | 3    | SM_h _ Submontagem de Hastilha         | 6    | 1    |       |      | 1               |
| SM 2    | 3    | SM_h _ Submontagem de Hastilha         | 7    | 1    |       |      | 1               |
| SM 3    | 3    | SM_h _ Submontagem de Hastilha         | 8    | 1    |       |      | 2.3             |
| SM 4    | 3    | SM_h _ Submontagem de Hastilha         | 9    | 1    |       |      | 4.5             |
| SM 5    | 6    | SM_ta _ Submontagem de Tanque de Asa   | 8    | 1    |       | 1    | 6 e 7           |
| SM 6    | 6    | SM_ta _ Submontagem de Tanque de Asa   | 8    | 2    | 1     |      | 8 e 9           |
| SM 7    | 6    | SM_cg _ Submontagem de Caverna Gigante | 5    | 1    |       |      | 10 e 11         |
| SM 8    | 6    | SM_cg _ Submontagem de Caverna Gigante | 7    | 1    |       |      | 12 , 13,14 e 15 |
| SM 9    | 6    | SM_v _ Submontagem de Vau              | 1    |      | 1     |      | 14 e 15         |
| SM 10   | 6    | SM_v _ Submontagem de Vau              | 13   | 2    |       | 1    | 16 e 17         |
| SM 11   | 3    | SM_v _ Submontagem de Vau              | 7    | 2    | 1     | 2    | 18              |
| SM 12   | 3    | SM_pr _ Submontagem de Prumo           | 9    | 2    | 1     |      | 18              |
| SM 13   | 3    | SM_pr _ Submontagem de Prumo           | 22   | 1    | 2     | 2    | 19              |
| SM 14   | 3    | SM_pr _ Submontagem de Prumo           | 8    | 1    | 2     | 2    | 20              |
| SM 15   | 3    | SM_pr _ Submontagem de Prumo           | 6    | 1    |       |      | 21              |
| SM 16   | 3    | SM_pr _ Submontagem de Prumo           | 7    | 2    | 1     | 1    | 22              |

Para cada anel do corpo paralelo foram levantadas 1.290 partes paralelas a serem fabricadas a partir de chapas de aço. O total de partes paralelas pode ser agrupado em 69 famílias diferentes, de acordo com a Tabela 16.

Tabela 16 – Famílias de partes paralelas

| Família | Partes Paralelas |              |                |            |
|---------|------------------|--------------|----------------|------------|
|         | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Espessura (mm) | Quantidade |
| PP 01   | 12000            | 3000         | 12,5/21        | 20         |
| PP 02   | 12000            | 1500         | 21             | 2          |
| PP 03   | 2400             | 200          | 21             | 2          |
| PP 04   | 1700             | 200          | 12.5           | 138        |
| PP 05   | 850              | 100          | 10             | 36         |
| PP 06   | 1700             | 100          | 11             | 3          |
| PP 07   | 12000            | 1380         | 21             | 2          |
| PP 08   | 12000            | 450          | 12.5           | 263        |
| PP 09   | 12000            | 250          | 12.5           | 263        |
| PP 10   | 2200             | 200          | 12.5           | 24         |
| PP 11   | 2000             | 150          | 12.5           | 6          |
| PP 12   | 2400             | 200          | 12.5           | 6          |
| PP 13   | 12000            | 2650         | 12.5           | 2          |
| PP 14   | 12000            | 2400         | 12.5           | 8          |
| PP 15   | 12000            | 100          | 11             | 16         |
| PP 16   | 12000            | 972          | 12.5           | 2          |
| PP 17   | 950              | 200          | 12.5           | 12         |
| PP 18   | 800              | 200          | 12.5           | 15         |
| PP 19   | 2500             | 200          | 12.5           | 9          |
| PP 20   | 1000             | 200          | 12.5           | 6          |
| PP 21   | 12000            | 2660         | 12.5           | 4          |
| PP 22   | 5660             | 200          | 11             | 12         |
| PP 23   | 12000            | 2460         | 12.5           | 5          |
| PP 24   | 2300             | 200          | 11             | 24         |
| PP 25   | 2800             | 200          | 11             | 51         |
| PP 26   | 12000            | 2580         | 12.5           | 4          |
| PP 27   | 4800             | 1300         | 12.5           | 3          |
| PP 28   | 850              | 100          | 11             | 60         |
| PP 29   | 12000            | 1410         | 12.5           | 3          |
| PP 30   | 1300             | 200          | 12.5           | 9          |
| PP 31   | 1450             | 200          | 12.5           | 9          |
| PP 32   | 1500             | 200          | 12.5           | 9          |
| PP 33   | 1750             | 200          | 12.5           | 9          |
| PP 34   | 1800             | 200          | 12.5           | 9          |
| PP 35   | 2600             | 200          | 12.5           | 30         |
| PP 36   | 2700             | 200          | 12.5           | 18         |
| PP 37   | 3400             | 200          | 12.5           | 9          |
| PP 38   | 12000            | 495          | 12.5           | 2          |
| PP 39   | 1400             | 200          | 12.5           | 3          |
| PP 40   | 1500             | 150          | 12.5           | 3          |
| PP 41   | 2900             | 200          | 12.5           | 3          |
| PP 42   | 1500             | 200          | 11             | 24         |
| PP 43   | 1700             | 150          | 11             | 3          |
| PP 44   | 5100             | 200          | 12.5           | 3          |
| PP 45   | 1900             | 200          | 12.5           | 3          |
| PP 46   | 4850             | 200          | 12.5           | 3          |
| PP 47   | 12000            | 960          | 12.5           | 1          |

Tabela 16 (cont.)

| Família | Partes Paralelas |              |                |            |
|---------|------------------|--------------|----------------|------------|
|         | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Espessura (mm) | Quantidade |
| PP 48   | 3400             | 200          | 11             | 9          |
| PP 49   | 12000            | 5660         | 12.5           | 1          |
| PP 50   | 2500             | 200          | 11             | 9          |
| PP 51   | 1650             | 200          | 11             | 9          |
| PP 52   | 2700             | 200          | 11             | 9          |
| PP 53   | 12000            | 4680         | 12.5           | 1          |
| PP 54   | 1700             | 200          | 11             | 24         |
| PP 55   | 4000             | 200          | 11             | 3          |
| PP 56   | 1250             | 200          | 11             | 3          |
| PP 57   | 1300             | 200          | 11             | 3          |
| PP 58   | 2200             | 200          | 11             | 3          |
| PP 59   | 3350             | 200          | 11             | 6          |
| PP 60   | 1900             | 200          | 11             | 3          |
| PP 61   | 1000             | 200          | 11             | 3          |
| PP 62   | 2900             | 200          | 11             | 3          |
| PP 63   | 800              | 200          | 11             | 3          |
| PP 64   | 450              | 200          | 11             | 3          |
| PP 65   | 3250             | 700          | 12.5           | 3          |
| PP 66   | 12000            | 3000         | 12.5           | 38         |
| PP 67   | 12000            | 950          | 12.5           | 2          |
| PP 68   | 12000            | 2504         | 12.5           | 2          |
| PP 69   | 12000            | 2720         | 12.5           | 1          |

#### Matéria-Prima

Uma vez conhecidos os elementos estruturais que compõem o casco da embarcação-tipo no nível das partes fabricadas, foi definida a forma como esses elementos se agrupariam para conhecer a necessidade de chapas de aço.

A definição das partes a serem obtidas de uma chapa de aço através de um plano de corte é denominada *nesting*. O *nesting* realizado neste trabalho foi obtido através de uma versão demonstração do *software CutLogic*, obtido no site da empresa desenvolvedora do aplicativo<sup>12</sup>. O aplicativo otimiza os planos de corte a partir de informações sobre as partes a serem fabricadas e do tamanho da chapa.

O *nesting* foi realizado para o conjunto de partes necessárias para a montagem de um anel da embarcação-tipo. As partes são divididas em: partes paralelas, partes não-paralelas e partes internas. O tamanho de chapa padrão considerado é de 3 m x 12 m, com espessuras de 10 mm, 11 mm, 12,5 mm, 14 mm, 15 mm, 16 mm, 19 mm, 21 mm e 31,5 mm. Os relatórios com detalhes sobre os planos de corte obtidos estão no Anexo I.

É necessário, conforme o *nesting* realizado, um total de 268 chapas de aço para cortar todas as partes referentes a um anel da embarcação-tipo, das quais 221 para o corte de partes paralelas, 6 para partes não paralelas e 41 para partes internas.

Os planos de corte obtidos e a quantidade de vezes que cada um se repete, para a obtenção das partes fabricadas necessárias para a montagem de um anel do corpo paralelo da embarcação-tipo, são apresentados na Tabela 17, na Tabela 18 e na Tabela 19.

<sup>12</sup> <http://tmachines.com/index.htm>

Tabela 17 – Planos de corte para partes paralelas

| Plano de Corte | Repetições do Plano de Corte | Plano de Corte | Repetições do Plano de Corte |
|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| PC 1           | 1                            | PC 20          | 1                            |
| PC 2           | 1                            | PC 21          | 1                            |
| PC 3           | 1                            | PC 22          | 1                            |
| PC 4           | 1                            | PC 23          | 1                            |
| PC 5           | 1                            | PC 24          | 1                            |
| PC 6           | 36                           | PC 25          | 1                            |
| PC 7           | 8                            | PC 26          | 1                            |
| PC 8           | 1                            | PC 27          | 1                            |
| PC 9           | 4                            | PC 28          | 1                            |
| PC 10          | 1                            | PC 29          | 20                           |
| PC 11          | 1                            | PC 30          | 2                            |
| PC 12          | 1                            | PC 31          | 1                            |
| PC 13          | 48                           | PC 32          | 12                           |
| PC 14          | 1                            | PC 33          | 25                           |
| PC 15          | 5                            | PC 34          | 12                           |
| PC 16          | 1                            | PC 35          | 3                            |
| PC 17          | 1                            | PC 36          | 3                            |
| PC 18          | 4                            | PC 37          | 10                           |
| PC 19          | 6                            | PC 38          | 1                            |

Tabela 18 – Planos de corte para partes não-paralelas

| Plano de Corte | Repetições do Plano de Corte |
|----------------|------------------------------|
| PCN 1          | 1                            |
| PCN 2          | 3                            |
| PCN 3          | 3                            |
| PCN 4          | 1                            |

Tabela 19 – Planos de corte para partes internas

| Plano de Corte | Repetições do Plano de Corte | Plano de Corte | Repetições do Plano de Corte |
|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| PCI 1          | 1                            | PCI 11         | 1                            |
| PCI 2          | 2                            | PCI 12         | 1                            |
| PCI 3          | 3                            | PCI 13         | 6                            |
| PCI 4          | 6                            | PCI 14         | 1                            |
| PCI 5          | 1                            | PCI 15         | 1                            |
| PCI 6          | 3                            | PCI 16         | 1                            |
| PCI 7          | 1                            | PCI 17         | 1                            |
| PCI 8          | 1                            | PCI 18         | 1                            |
| PCI 9          | 3                            | PCI 19         | 1                            |
| PCI 10         | 3                            | PCI 20         | 1                            |

#### 4.4.2. Processos

##### *Áreas do Estaleiro*

O mapeamento dos processos encontrados em um estaleiro partiu da identificação das áreas de trabalho do estaleiro e da associação de cada área com os respectivos produtos intermediários.

A Tabela 20 apresenta as áreas, as linhas de produção e oficinas de trabalho identificadas neste trabalho. Nessas áreas do estaleiro são desenvolvidos os processos de fabricação/montagem de todos os produtos intermediários e são alocados recursos

necessários para a execução das atividades. A Figura 43 mostra a associação entre os produtos intermediários e as áreas do estaleiro.

Tabela 20 – Áreas, linhas de produção e oficinas de trabalho

|              |                              |
|--------------|------------------------------|
| <b>PA</b>    | PÁTIO DE AÇO                 |
| <b>LT</b>    | LINHA DE TRATAMENTO          |
| <b>OCT</b>   | OFICINA DE CORTE             |
| <b>OCN</b>   | OFICINA DE CONFORMAÇÃO       |
| <b>OFF</b>   | OFICI. FAB. PERFIS           |
| <b>LPP</b>   | LINHA DE PAINÉIS PLANOS      |
| <b>LPC</b>   | LINHA DE PAINÉIS CURVOS      |
| <b>OSB</b>   | OFICINA DE SUBMONTAGEM       |
| <b>OMT</b>   | OFICINA DE MONTAGEM          |
| <b>OMTSE</b> | OFIC. MONT. SUPER ESTRUTURA  |
| <b>OFT</b>   | OFICINA TUBULAÇÃO            |
| <b>OEL</b>   | OFICINA ELÉTRICA             |
| <b>ODV</b>   | OFICINA MATERIAIS DIVERSOS   |
| <b>OMM</b>   | OFICINA MONTAGEM MÓDULOS     |
| <b>OPB</b>   | OFICINA DE PINTURA           |
| <b>OIM</b>   | OFICINA INSTALAÇÃO MÓDULOS   |
| <b>AAB</b>   | ÁREA ARMAZENAGEM BLOCOS      |
| <b>AOB</b>   | ÁREA DE OUTFITTING DE BLOCOS |
| <b>AIB</b>   | ÁREA DE INSPEÇÃO DE BLOCOS   |
| <b>PED</b>   | ÁREA DE PRÉ-EDIFICAÇÃO       |
| <b>AED</b>   | ÁREA DE EDIFICAÇÃO           |
| <b>CACB</b>  | CAIS DE ACABAMENTO           |

#### 4.4.2.1 Conteúdo de Trabalho

Uma vez definidas as estações de trabalho e os produtos intermediários associados a cada estação, é necessário conhecer o conteúdo de trabalho associado aos processos de fabricação/montagem.

O peso de cada elemento estrutural foi a primeira informação extraída do banco de dados do produto relacionada ao conteúdo de trabalho nas estações de trabalho. Funções de tempo de processo adotadas neste trabalho consideram o peso dos elementos como uma variável, como será visto no próximo capítulo. Além disso, é uma informação importante para que, posteriormente, indicadores de produtividade baseados no peso dos produtos intermediários (hh/tonelada) possam ser estimados e validados a partir de dados reais de produção para um estaleiro específico. Tal informação só será utilizada após a obtenção, através de modelo de simulação, do tempo total de produção e da quantidade de trabalhadores alocada para a produção de um conjunto de produtos intermediários em cada área do estaleiro considerada. Dessa forma, será possível obter o total de horas-homem necessárias para a produção de um conjunto definido de produtos intermediários e, por consequência, o indicador de produtividade (hh/tonelada).

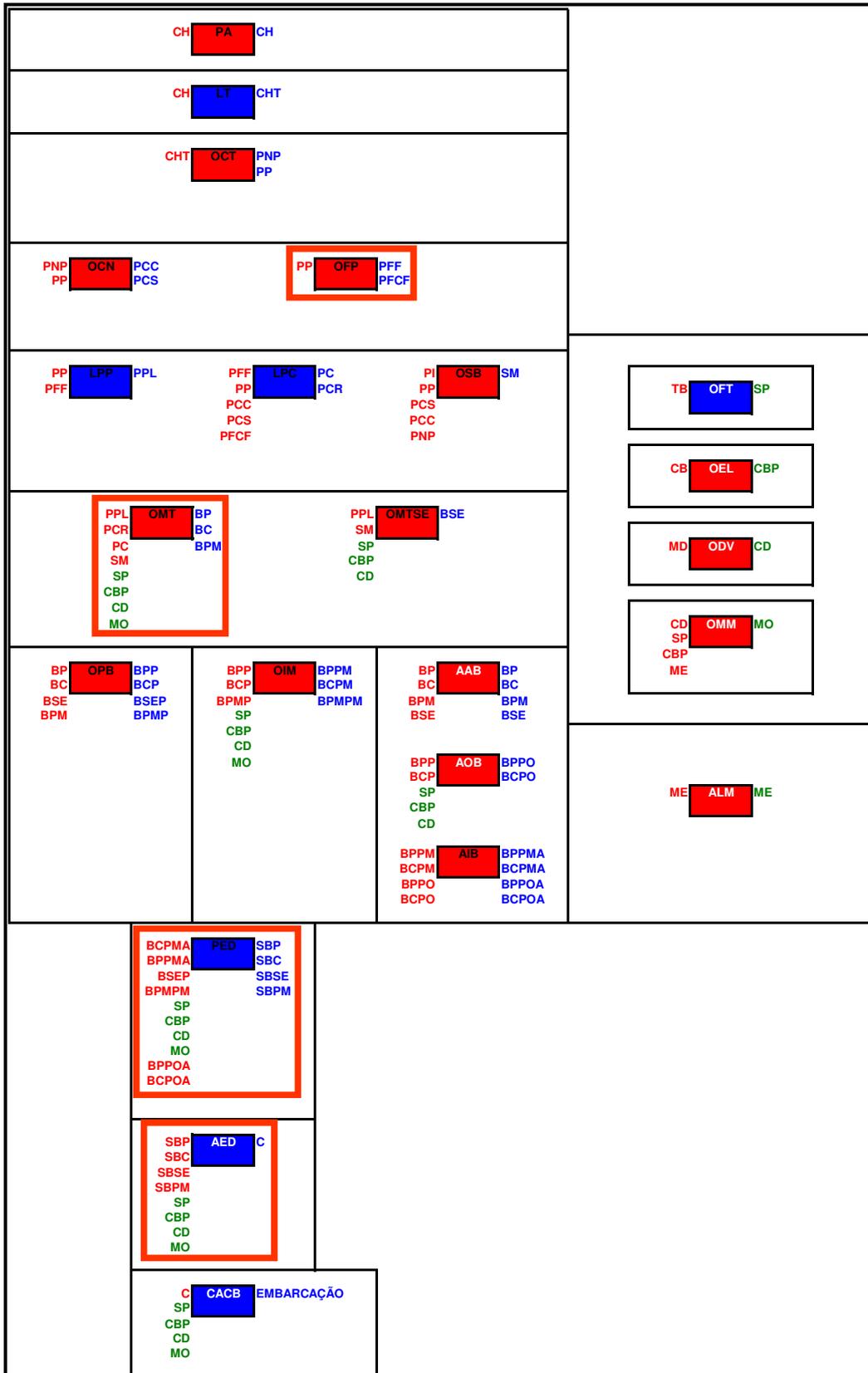


Figura 43 – Diagrama de áreas, linhas de produção e oficinas de trabalho

Outras informações sobre o conteúdo de trabalho se referem ao comprimento de corte em áreas associadas a processos de fabricação de partes e ao comprimento de solda nas áreas do estaleiro relacionadas a processos de montagem. Os comprimentos de corte e de solda foram obtidos manualmente, a partir dos planos de corte gerados e da identificação de cada linha de solda, do comprimento e da posição de solda.

A Tabela 21 mostra os pesos dos blocos definidos a partir da seção mestra adotada para o desenvolvimento deste trabalho. Os blocos são processados na área de montagem de blocos (OMT).

Tabela 21 – Peso de blocos

| Bloco | Peso (t) | Bloco        | Peso (t)    |
|-------|----------|--------------|-------------|
| 1001  | 58.7     | 1013         | 33.6        |
| 1002  | 44       | 1014         | 36.8        |
| 1003  | 44       | 1015         | 36.8        |
| 1004  | 39.9     | 1016         | 40.3        |
| 1005  | 39.9     | 1017         | 40.3        |
| 1006  | 35.6     | 1018         | 48.3        |
| 1007  | 35.6     | 1019         | 15.8        |
| 1008  | 38.3     | 1020         | 28.3        |
| 1009  | 38.3     | 1021         | 32.5        |
| 1010  | 39.4     | 1022         | 38.2        |
| 1011  | 39.4     | <b>Média</b> | <b>39,5</b> |
| 1012  | 33.6     |              |             |

A Tabela 22 mostra os pesos dos painéis planos definidos a partir dos blocos adotados para o desenvolvimento deste trabalho. Os painéis planos são processados na linha de painéis planos (LPP).

Tabela 22 – Peso de painéis planos

| Bloco | Painel Plano | Código  | Peso (t) |
|-------|--------------|---------|----------|
| 1001  | 1301         | PPL_f   | 21.4     |
| 1001  | 1401         | PPL_tdf | 21.4     |
| 1002  | 1301         | PPL_f   | 16.8     |
| 1002  | 1401         | PPL_tdf | 16.8     |
| 1003  | 1301         | PPL_f   | 16.8     |
| 1003  | 1401         | PPL_tdf | 16.8     |
| 1004  | 1301         | PPL_f   | 17.7     |
| 1004  | 1401         | PPL_tdf | 17.7     |
| 1005  | 1301         | PPL_f   | 17.7     |
| 1005  | 1401         | PPL_tdf | 17.7     |
| 1006  | 1301         | PPL_f   | 13.9     |
| 1006  | 1401         | PPL_tdf | 3.5      |
| 1007  | 1301         | PPL_f   | 13.9     |
| 1007  | 1401         | PPL_tdf | 3.5      |
| 1008  | 1100         | PPL_co  | 10.8     |
| 1008  | 1601         | PPL_ta  | 9.6      |
| 1009  | 1100         | PPL_co  | 10.8     |
| 1009  | 1601         | PPL_ta  | 9.6      |
| 1010  | 1001         | PPL_cod | 11.6     |

Tabela 22 (cont.)

| Bloco        | Painel Plano | Código  | Peso (t)     |
|--------------|--------------|---------|--------------|
| 1010         | 1101         | PPL_co  | 11.6         |
| 1011         | 1001         | PPL_cod | 11.6         |
| 1011         | 1101         | PPL_co  | 11.6         |
| 1012         | 1001         | PPL_cod | 10.6         |
| 1012         | 1101         | PPL_co  | 10.6         |
| 1013         | 1001         | PPL_cod | 10.6         |
| 1013         | 1101         | PPL_co  | 10.6         |
| 1014         | 1001         | PPL_cod | 11.5         |
| 1014         | 1101         | PPL_co  | 11.5         |
| 1014         | 1201         | PPL_cn  | 4.5          |
| 1015         | 1001         | PPL_cod | 11.5         |
| 1015         | 1101         | PPL_co  | 11.5         |
| 1015         | 1201         | PPL_cn  | 4.5          |
| 1016         | 1201         | PPL_cn  | 29.0         |
| 1017         | 1201         | PPL_cn  | 29.0         |
| 1018         | 1701         | PPL_v   | 13.4         |
| 1018         | 1800         | PPL_pr  | 13.4         |
| 1019         | 1501         | PPL_a   | 8.8          |
| 1020         | 1601         | PPL_a   | 10.6         |
| 1021         | 1601         | PPL_a   | 12.4         |
| 1022         | 1601         | PPL_a   | 9.6          |
| <b>Média</b> |              |         | <b>16,76</b> |

A Tabela 23 mostra os pesos das submontagens definidas a partir dos blocos adotados para o desenvolvimento deste trabalho. As submontagens são processadas na oficina de submontagem (OSM).

Tabela 23 – Peso de submontagens

| Bloco | Submontagem | Código | Peso (t) |
|-------|-------------|--------|----------|
| 1001  | 4001        | SM_h   | 1.6      |
| 1001  | 4002        | SM_h   | 1.6      |
| 1001  | 4003        | SM_h   | 1.6      |
| 1001  | 4004        | SM_h   | 1.5      |
| 1001  | 4005        | SM_h   | 1.5      |
| 1001  | 4006        | SM_h   | 1.5      |
| 1001  | 4601        | SM_l   | 7.9      |
| 1002  | 4001        | SM_h   | 2.2      |
| 1002  | 4002        | SM_h   | 2.2      |
| 1002  | 4003        | SM_h   | 2.2      |
| 1003  | 4001        | SM_h   | 2.2      |
| 1003  | 4002        | SM_h   | 2.2      |
| 1003  | 4003        | SM_h   | 2.2      |
| 1004  | 4001        | SM_h   | 2.0      |
| 1004  | 4002        | SM_h   | 2.0      |
| 1004  | 4003        | SM_h   | 2.0      |
| 1005  | 4001        | SM_h   | 2.0      |
| 1005  | 4002        | SM_h   | 2.0      |
| 1005  | 4003        | SM_h   | 2.0      |
| 1006  | 4101        | SM_ta  | 3.3      |
| 1006  | 4102        | SM_ta  | 3.3      |
| 1006  | 4103        | SM_ta  | 3.3      |
| 1007  | 4101        | SM_ta  | 3.3      |

| Bloco | Submontagem | Código | Peso (t) |
|-------|-------------|--------|----------|
| 1007  | 4102        | SM_ta  | 3.3      |
| 1007  | 4103        | SM_ta  | 3.3      |
| 1008  | 4201        | SM_e   | 3.0      |
| 1008  | 4101        | SM_ta  | 3.6      |
| 1008  | 4102        | SM_ta  | 4.2      |
| 1008  | 4103        | SM_ta  | 4.2      |
| 1009  | 4201        | SM_e   | 3.0      |
| 1009  | 4101        | SM_ta  | 3.6      |
| 1009  | 4102        | SM_ta  | 4.2      |
| 1009  | 4103        | SM_ta  | 4.2      |
| 1010  | 4201        | SM_e   | 2.9      |
| 1010  | 4301        | SM_cg  | 1.9      |
| 1010  | 4302        | SM_cg  | 1.9      |
| 1010  | 4303        | SM_cg  | 1.9      |
| 1011  | 4201        | SM_e   | 3.0      |
| 1011  | 4301        | SM_cg  | 1.9      |
| 1011  | 4302        | SM_cg  | 1.9      |
| 1011  | 4303        | SM_cg  | 1.9      |
| 1012  | 4201        | SM_e   | 3.0      |
| 1012  | 4301        | SM_cg  | 1.4      |
| 1012  | 4302        | SM_cg  | 1.4      |

Tabela 23 (cont.)

| <b>Bloco</b> | <b>Submontagem</b> | <b>Código</b> | <b>Peso (t)</b> |
|--------------|--------------------|---------------|-----------------|
| 1012         | 4303               | SM_cg         | 1.4             |
| 1013         | 4201               | SM_e          | 3.0             |
| 1013         | 4301               | SM_cg         | 1.4             |
| 1013         | 4302               | SM_cg         | 1.4             |
| 1013         | 4303               | SM_cg         | 1.4             |
| 1014         | 4201               | SM_e          | 3.0             |
| 1014         | 4401               | SM_v          | 0.9             |
| 1014         | 4402               | SM_v          | 0.9             |
| 1014         | 4403               | SM_v          | 0.9             |
| 1014         | 4301               | SM_cg         | 1.4             |
| 1014         | 4302               | SM_cg         | 1.4             |
| 1014         | 4303               | SM_cg         | 1.4             |
| 1015         | 4201               | SM_e          | 3.0             |
| 1015         | 4401               | SM_v          | 0.9             |
| 1015         | 4402               | SM_v          | 0.9             |
| 1015         | 4403               | SM_v          | 0.9             |
| 1015         | 4301               | SM_cg         | 1.4             |
| 1015         | 4302               | SM_cg         | 1.4             |
| 1015         | 4303               | SM_cg         | 1.4             |
| 1016         | 4401               | SM_v          | 2.9             |
| 1016         | 4402               | SM_v          | 2.9             |
| 1016         | 4403               | SM_v          | 2.9             |
| 1017         | 4401               | SM_v          | 2.9             |
| 1017         | 4402               | SM_v          | 2.9             |
| 1017         | 4403               | SM_v          | 2.9             |
| 1018         | 4401               | SM_v          | 3.0             |
| 1018         | 4402               | SM_v          | 3.0             |
| 1018         | 4403               | SM_v          | 3.0             |
| 1018         | 4501               | SM_pr         | 1.5             |
| 1018         | 4502               | SM_pr         | 1.5             |
| 1018         | 4503               | SM_pr         | 1.5             |
| 1019         | 4501               | SM_pr         | 4.0             |
| 1019         | 4502               | SM_pr         | 4.2             |
| 1019         | 4503               | SM_pr         | 4.2             |
| 1019         | 4401               | SM_v          | 0.7             |
| 1019         | 4402               | SM_v          | 0.7             |
| 1019         | 4403               | SM_v          | 0.7             |
| 1020         | 4501               | SM_pr         | 2.2             |
| 1020         | 4502               | SM_pr         | 2.2             |
| 1020         | 4503               | SM_pr         | 2.2             |
| 1021         | 4501               | SM_pr         | 3.2             |
| 1021         | 4501               | SM_pr         | 3.2             |
| 1021         | 4501               | SM_pr         | 3.2             |
| 1022         | 4501               | SM_pr         | 8.3             |
| 1022         | 4502               | SM_pr         | 8.3             |
| 1022         | 4503               | SM_pr         | 8.3             |
| <b>Média</b> |                    |               | <b>2.55</b>     |

Os comprimentos de corte foram obtidos a partir da identificação das partes a serem obtidas de cada plano de corte. Considerando então as dimensões das partes foi possível obter o comprimento de corte total para os planos de corte definidos através do *nesting*.

A Tabela 24, Tabela 25 e a Tabela 26 mostram os comprimentos de corte associados a cada plano de corte. Os planos de corte são processados na oficina de corte (OCT). Os comprimentos de corte igual a zero significam que a chapa será utilizada inteira, sem recortes. O processo na oficina de corte se resume, então, à preparação de quinas para soldagem.

Tabela 24 – Comprimento de corte de partes paralelas

| <b>Plano de Corte</b> | <b>Comp. Corte (mm)</b> |
|-----------------------|-------------------------|
| PC 1                  | 34.200                  |
| PC 2                  | 292.250                 |
| PC 3                  | 198.820                 |
| PC 4                  | 199.610                 |
| PC 5                  | 79.540                  |
| PC 6*                 | 0                       |
| PC 7                  | 39.600                  |
| PC 8                  | 25.600                  |
| PC 9                  | 27.950                  |
| PC 10                 | 49.200                  |
| PC 11                 | 63.400                  |
| PC 12                 | 62.800                  |
| PC 13                 | 84.000                  |
| PC 14                 | 51.400                  |
| PC 15                 | 36.000                  |
| PC 16                 | 74.800                  |
| PC 17                 | 124.200                 |
| PC 18                 | 24.000                  |
| PC 19                 | 132.000                 |
| PC 20                 | 25.800                  |
| PC 21                 | 137.550                 |
| PC 22                 | 17.900                  |
| PC 23                 | 12.000                  |
| PC 24                 | 12.000                  |
| PC 25                 | 62.130                  |
| PC 26                 | 14.700                  |
| PC 27                 | 18.950                  |
| PC 28                 | 1.800                   |
| PC 29*                | 0                       |
| PC 30                 | 24.000                  |
| PC 31                 | 12.000                  |
| PC 32                 | 11.000                  |
| PC 33                 | 33.752                  |
| PC 34*                | 0                       |
| PC 35                 | 51.930                  |

Tabela 24 (cont.)

| <b>Plano de Corte</b> | <b>Comp. Corte (mm)</b> |
|-----------------------|-------------------------|
| PC 36                 | 9.740                   |
| PC 37                 | 97.056                  |
| PC 38                 | 64.704                  |
| <b>Média</b>          | <b>57.166,67</b>        |

Tabela 25 – Comprimento de corte de partes não-paralelas

| <b>Plano de Corte</b> | <b>Comp. Corte (mm)</b> |
|-----------------------|-------------------------|
| PCN 1                 | 11.500                  |
| PCN 2                 | 40.900                  |
| PCN 3                 | 34.500                  |
| PCN 4                 | 18.200                  |
| <b>Média</b>          | <b>26.275</b>           |

Tabela 26 – Comprimento de corte de partes internas

| <b>Plano de Corte</b> | <b>Comp. Corte (mm)</b> |
|-----------------------|-------------------------|
| PCI 1                 | 14.000                  |
| PCI 2                 | 13.200                  |
| PCI 3                 | 14.920                  |
| PCI 4                 | 13.500                  |
| PCI 5                 | 14.400                  |
| PCI 6                 | 14.920                  |
| PCI 7                 | 17.100                  |
| PCI 8                 | 16.600                  |
| PCI 9                 | 6.000                   |
| PCI 10                | 5.400                   |
| PCI 11                | 4.800                   |
| PCI 12                | 2.400                   |
| PCI 13                | 16.630                  |
| PCI 14                | 6.000                   |
| PCI 15                | 9.800                   |
| PCI 16                | 6.800                   |
| PCI 17                | 62.130                  |
| PCI 18                | 5.700                   |
| PCI 19                | 68.502                  |
| PCI 20                | 33.303                  |
| <b>Média</b>          | <b>17.305,25</b>        |

Os comprimentos de solda foram obtidos a partir da identificação de cada linha individual de solda e do estágio de produção. Foram, então, levantados os comprimentos associados a cada linha e as respectivas posições de solda. As informações levantadas foram consolidadas em um banco de dados apresentado no Anexo III. Consultas realizadas nesse banco de dados permitiram a agregação dos dados para geração das tabelas apresentadas nesta tese.

A Tabela 27 apresenta os comprimentos e as posições de solda das interfaces entre blocos na área de edificação. Como exposto anteriormente, o corpo paralelo da embarcação-tipo é composto de 15 anéis, e cada anel é composto de 22 blocos. Os

valores apresentados abaixo se referem às interfaces entre dois blocos iguais pertencentes a dois anéis diferentes. A estratégia de edificação adotada neste trabalho é por anéis, ou seja, o comprimento total da Tabela 27 deve ser considerado como o conteúdo de trabalho presente no processo de edificação de cada anel. No entanto, a informação como está apresentada permite que alternativas de estratégias de edificação sejam avaliadas sem a necessidade de levantamento adicional de informações.

Tabela 27 – Comprimento de solda na área de edificação

(em metros)

| Interface de Edificação | Flat          | Horizontal    | Overhead     | Vertical      | Total         |
|-------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| 1001A-1001B             | 15            | 8.5           |              | 18.87         | 42.42         |
| 1002A-1002B             | 10.9          | 5.4           |              | 10.2          | 26.52         |
| 1003A-1003B             | 10.9          | 5.4           |              | 10.2          | 26.52         |
| 1004A-1004B             | 11.2          | 5.4           |              | 10.2          | 26.76         |
| 1005A-1005B             | 11.2          | 5.4           |              | 10.2          | 26.76         |
| 1006A-1006B             |               | 17.5          |              | 11.22         | 28.69         |
| 1007A-1007B             | 10.2          | 4.5           |              | 14.03         | 28.69         |
| 1008A-1008B             | 2.5           | 10.6          |              | 13.32         | 26.42         |
| 1009A-1009B             | 2.5           | 10.6          |              | 13.32         | 26.42         |
| 1010A-1010B             | 2.5           | 16.7          |              | 10.2          | 29.42         |
| 1011A-1011B             | 2.5           | 16.7          |              | 10.2          | 29.42         |
| 1012A-1012B             | 2.5           | 15.4          |              | 8.5           | 26.42         |
| 1013A-1013B             |               | 15.4          | 2.5          | 8.5           | 26.42         |
| 1014A-1014B             |               | 5.4           | 5.1          | 21.36         | 31.86         |
| 1015A-1015B             |               | 5.4           | 5.1          | 21.36         | 31.86         |
| 1016A-1016-B            | 13.8          |               | 19.5         |               | 33.27         |
| 1017A-1017-B            | 13.8          |               | 19.5         |               | 33.27         |
| 1018A-1018B             | 13.0          | 1.7           | 19.5         | 3.22          | 37.41         |
| 1019A-1019-B            |               | 3.4           |              | 5.76          | 9.16          |
| 1020A-1020-B            |               | 5.1           |              | 8.16          | 13.26         |
| 1021A-1021-B            |               | 5.9           |              | 8.61          | 14.56         |
| 1022A-1022-B            |               | 4.2           |              | 6.93          | 11.18         |
| <b>Média</b>            | <b>8.75</b>   | <b>8.43</b>   | <b>11.86</b> | <b>11.22</b>  | <b>26.67</b>  |
| <b>Total geral</b>      | <b>122.35</b> | <b>168.80</b> | <b>71.21</b> | <b>224.36</b> | <b>586.72</b> |

Os comprimentos de solda das interfaces de pré-edificação de um anel são apresentados na Tabela 28. As interfaces foram mapeadas de forma a permitir que diferentes seqüências de pré-edificação de um anel pudessem ser avaliadas. Para uma seqüência específica devem ser agregadas as respectivas interfaces apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Comprimento de solda na área de pré-edificação

(em metros)

| Interface de Pré-Edificação | Posição |            |          | Total |
|-----------------------------|---------|------------|----------|-------|
|                             | Flat    | Horizontal | Vertical |       |
| 1001-1002                   | 24      |            | 8.16     | 32.16 |
| 1001-1003                   | 24      |            | 8.16     | 32.16 |
| 1002-1004                   | 24      |            | 8.16     | 32.16 |
| 1003-1005                   | 24      |            | 8.16     | 32.16 |
| 1004-1006                   | 24      |            | 8.16     | 32.16 |

Tabela 28 (cont.)

| Interface de Pré-Edificação | Posição      |              |               | Total         |
|-----------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                             | Flat         | Horizontal   | Vertical      |               |
| 1005-1007                   | 24           |              | 8.16          | 32.16         |
| 1006-1008                   |              | 33.6         |               | 33.6          |
| 1007-1009                   |              | 33.6         |               | 33.6          |
| 1008-1010                   | 24           |              | 7.2           | 31.2          |
| 1009-1011                   | 24           |              | 7.2           | 31.2          |
| 1010-1012                   | 24           |              | 7.2           | 31.2          |
| 1011-1013                   | 24           |              | 7.2           | 31.2          |
| 1012-1014                   | 24           |              | 7.2           | 31.2          |
| 1013-1015                   | 24           |              | 7.2           | 31.2          |
| 1014-1016                   | 24           |              | 9             | 33            |
| 1015-1017                   | 12           |              | 9             | 21            |
| 1016-1018                   | 12           |              | 5.1           | 17.1          |
| 1017-1018                   | 17.1         |              |               | 17.1          |
| 1018-1019                   | 21           |              |               | 21            |
| 1019-1020                   | 21           |              |               | 21            |
| 1020-1021                   | 21           |              |               | 21            |
| 1001-1022                   | 53.1         |              |               | 53.1          |
| 1021-1022                   |              | 21           |               | 21            |
| <b>Média</b>                | <b>23.46</b> | <b>29.40</b> | <b>7.68</b>   | <b>29.25</b>  |
| <b>Total geral</b>          | <b>469.2</b> | <b>88.2</b>  | <b>115.26</b> | <b>672.66</b> |

Os dados agregados de comprimento de solda na oficina de montagem de blocos são apresentados na Tabela 29 para cada um dos 22 blocos considerados neste trabalho.

Tabela 29 – Comprimento de solda na oficina de montagem de blocos  
(em metros)

| Bloco | Posição |          | Total  |
|-------|---------|----------|--------|
|       | Flat    | Vertical |        |
| 1001  | 78      | 50.85    | 128.85 |
| 1002  | 44.65   | 16.8     | 61.45  |
| 1003  | 44.65   | 16.8     | 61.45  |
| 1004  | 40.74   | 20.25    | 60.99  |
| 1005  | 40.74   | 20.25    | 60.99  |
| 1006  | 23.25   | 18.9     | 42.15  |
| 1007  | 23.25   | 18.9     | 42.15  |
| 1008  | 64.5    | 52.95    | 117.45 |
| 1009  | 64.5    | 52.95    | 117.45 |
| 1010  | 69.95   | 31.5     | 101.45 |
| 1011  | 62.75   | 38.7     | 101.45 |
| 1012  | 70.8    | 31.5     | 102.3  |
| 1013  | 70.8    | 31.5     | 102.3  |
| 1014  | 141.75  | 27.9     | 169.65 |
| 1015  | 126     | 43.65    | 169.65 |
| 1016  | 57.75   | 50.4     | 108.15 |
| 1017  | 57.75   | 50.4     | 108.15 |
| 1018  | 79.2    | 56.7     | 135.9  |
| 1019  | 26.55   | 9        | 35.55  |
| 1020  | 26.55   | 9        | 35.55  |

Tabela 29 (cont.)

| Bloco              | Posição        |              | Total          |
|--------------------|----------------|--------------|----------------|
|                    | Flat           | Vertical     |                |
| 1021               | 35.25          | 12.6         | 47.85          |
| 1022               | 25.35          | 21.6         | 46.95          |
| <b>Média</b>       | <b>57.94</b>   | <b>31.05</b> | <b>88.99</b>   |
| <b>Total geral</b> | <b>1274.73</b> | <b>683.1</b> | <b>1957.83</b> |

Os comprimentos de solda necessários para produzir todos os perfis, painéis e submontagens dos 22 blocos que compõem cada anel do corpo paralelo da embarcação-tipo são apresentados na Tabela 30. Tais produtos são processados na oficina de fabricação de perfis (OFP), na linha de painéis planos (LPP) e oficina de submontagem (OSB), respectivamente.

Tabela 30 – Comprimento de solda na linha de painéis planos, na oficina de fabricação de partes e na oficina de submontagem

(em metros)

| Bloco              | LPP           | OFP           | OSB            | Total          |
|--------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| 1001               | 276           | 228           | 65.64          | 569.64         |
| 1002               | 168           | 144           | 36.3           | 348.3          |
| 1003               | 168           | 144           | 36.3           | 348.3          |
| 1004               | 192           | 168           | 41.4           | 401.4          |
| 1005               | 192           | 168           | 41.4           | 401.4          |
| 1006               | 120           | 96            | 52.53          | 268.53         |
| 1007               | 120           | 96            | 52.53          | 268.53         |
| 1008               | 84            | 132           | 69.9           | 285.9          |
| 1009               | 84            | 132           | 69.9           | 285.9          |
| 1010               | 168           | 144           | 66.51          | 378.51         |
| 1011               | 168           | 144           | 66.51          | 378.51         |
| 1012               | 144           | 120           | 63.15          | 327.15         |
| 1013               | 144           | 120           | 63.15          | 327.15         |
| 1014               | 192           | 168           | 65.25          | 425.25         |
| 1015               | 192           | 168           | 65.25          | 425.25         |
| 1016               | 252           | 192           | 104.1          | 548.1          |
| 1017               | 252           | 192           | 104.1          | 548.1          |
| 1018               | 240           | 192           | 143.25         | 575.25         |
| 1019               | 72            | 60            | 61.8           | 193.8          |
| 1020               | 72            | 60            | 45.9           | 177.9          |
| 1021               | 96            | 84            | 72.45          | 252.45         |
| 1022               | 72            | 60            | 201.6          | 333.6          |
| <b>Média</b>       | <b>157.64</b> | <b>136.91</b> | <b>72.22</b>   | <b>366.77</b>  |
| <b>Total geral</b> | <b>3468</b>   | <b>3012</b>   | <b>1588.92</b> | <b>8068.92</b> |

#### 4.4.2.2 Tempos de Processo

Além do conhecimento de todos os produtos a serem fabricados/montados, das áreas do estaleiro onde cada produto será processado, e do conteúdo de trabalho associado a cada processo, é preciso conhecer os tempos de processo. Conhecidos os tempos de processo, os modelos de simulação e manufatura digital podem ser alimentados.

No entanto, os modelos são sensíveis à qualidade das estimativas dos tempos de processo adotadas. A obtenção de dados de tempos de processo exige um esforço considerável de coleta e armazenagem de dados estruturadas, seja qual for o nível de detalhe de processos dos modelos.

Dados de produção como os requeridos são de difícil acesso e altamente estratégicos. No entanto, o acesso a esses dados para o desenvolvimento de protótipos de modelos não é estritamente necessário. Portanto, optou-se por desenvolver uma metodologia para coleta e análise de dados de tempos de processos, e calcular os tempos com base em funções encontradas em referências disponíveis.

Não foi realizado nenhum esforço de coleta direta de dados de produção. A elaboração de modelo de simulação específico para um determinado estaleiro demandará obtenção e análise de dados de tempos de processos daquela unidade.

A metodologia adotada é composta de duas linhas diferentes: a primeira é voltada para a obtenção de estimativas detalhadas do tempo de ciclo de produção de produtos selecionados, e a segunda tem o foco na relação entre as várias áreas do estaleiro utilizando-se as estimativas obtidas para os produtos selecionados.

As estimativas detalhadas foram realizadas através do mapeamento de cada atividade relacionada com a fabricação/montagem de um determinado produto. A cada atividade mapeada estão associados parâmetros de conteúdo de trabalho, que são substituídos nas funções de tempo adotadas para o cálculo do tempo estimado.

Tais estimativas são extremamente trabalhosas de serem obtidas devido ao minucioso detalhamento das atividades. Por exemplo, a estimativa do tempo de ciclo na oficina de montagem de bloco, para a montagem do bloco 1001 da embarcação-tipo, envolve mais de 500 registros de atividades distintas.

Realizou-se esse tipo de estimativa para todos os produtos intermediários relacionados à montagem dos blocos 1001 e 1002. Os registros foram armazenados em um banco de dados apresentado no Anexo V. Apesar de trabalhosa, a estimativa detalhada dos tempos dos processos foi uma atividade importante no processo de conhecimento do problema.

A seguir serão apresentados uma série de dados utilizados para a elaboração das estimativas detalhadas dos tempos de processos.

A Tabela 31 apresenta as funções de tempo adotadas para atividades ligadas diretamente ao trabalhador.

Tabela 31 – Parâmetros de tempo associados ao trabalhador

| <b>Descrição</b>                          | <b>Tempo</b> | <b>Unidade</b> |
|---|--------------|----------------|
| Caminhar                                  | 60           | m/min          |
| Pegar/soltar controle ponte rolante       | 0.1          | min            |
| Ajuste para início operação ponte rolante | 2            | min            |
| Alinhamento e fixação                     | 2            | min            |
| Inspeção de solda                         | 1            | min/m          |
| Liberação de peça                         | 2            | min            |

A função de tempo adotada para movimentação das pontes rolantes é a seguinte:

$$T_{total} = [d/(V_h - \alpha * P)] + [h/(V_v - \beta * P)]$$

Onde:

d = distância horizontal a ser percorrida

h = altura da ponte rolante

Vh = velocidade horizontal

Vv = velocidade vertical

$\alpha$  = fator de desempenho horizontal carregado

$\beta$  = fator de desempenho vertical carregado

P = peso do elemento a ser movimentado

Os parâmetros adotados foram Vh igual a 18 m/min e Vv igual a 50 m/min, com  $\alpha$  e  $\beta$  iguais a 0,1.

A Tabela 32 apresenta os parâmetros adotados para os processos de soldagem. As velocidades de soldagem na posição flat e vertical são representadas pelas siglas Vwf e Vwv, respectivamente.

Tabela 32 – Parâmetros de tempo associados aos processos de soldagem

| Localização | Processo           | Vwf (m/min) | Vwv (m/min) | Set up (min) | Pós processamento (min/m) |
|-------------|--------------------|-------------|-------------|--------------|---------------------------|
| OFP         | MIG                | 0.6         | 0           | 3            | 0.5                       |
| LPP         | MIG                | 0.6         | 0           | 3            | 0.5                       |
| OSM         | FCAW               | 0.45        | 0           | 3            | 0.5                       |
| OMT         | FCAW               | 0.45        | 0.4         | 3            | 0.5                       |
| LPP         | Eletrodo Revestido | 1.5         | 1.4         | 3            | 0.5                       |
| OSM         | Eletrodo Revestido | 0.6         | 0.55        | 3            | 0.5                       |

Da Tabela 33 até a Tabela 36 são resumidos os registros do banco de dados de tempos de processo para a oficina de fabricação de perfis, a linha de painéis planos, a oficina de submontagem e a oficina de montagem de bloco, respectivamente.

Tabela 33 – Tempos de processo na oficina de fabricação de perfis

| Produto | Descrição             | Total (min) |
|---------|-----------------------|-------------|
| PPF 1   | Posicionamento Flange | 6.6         |
| PPF 1   | Posicionamento Alma   | 6.9         |
| PPF 1   | Soldagem              | 31.1        |
| PPF 1   | Transporte            | 4.7         |
| PPF 1   | Inspeção              | 14.7        |
|         | <b>PPF 1 Total</b>    | <b>64.0</b> |

Tabela 34 – Tempos de processo na linha de painéis planos

| Produto   | Descrição                      | Total (min) |
|-----------|--------------------------------|-------------|
| PPL1- BL1 | Posicionamento PP (Chapa) 1    | 6.9         |
| PPL1      | Posicionamento PP (Chapa) 2    | 6.9         |
| PPL1      | Ponteamto PP's (1001 e 1002)   | 17.1        |
| PPL1      | Posicionamento PP (Chapa) 3    | 6.9         |
| PPL1      | Ponteamto PP's (1001/2 e 1003) | 17.1        |
| PPL1      | Soldagem PP's (1001 e 1002)    | 31.1        |
| PPL1      | Soldagem PP's (1001/2 e 1003)  | 31.1        |

Tabela 34 (cont.)

| <b>Produto</b> | <b>Descrição</b>               | <b>Total (min)</b> |
|----------------|--------------------------------|--------------------|
| PPL1           | Posicionamento PFF's (Perfis)  | 55.3               |
| PPL1           | Ponteamento PFF (Perfil)       | 138.1              |
| PPL1           | Soldagem PFF's (Perfis)        | 111.9              |
| PPL1           | Inspeção                       | 122.7              |
| PPL1           | Transporte                     | 3.7                |
|                | <b>PPL1- BL1 Total</b>         | <b>548.8</b>       |
| PPL2- BL1      | Posicionamento PP (Chapa) 1    | 6.9                |
| PPL2- BL1      | Posicionamento PFF's (Perfis)  | 20.8               |
| PPL2           | Ponteamento PFF(Perfil)        | 53.1               |
| PPL2           | Soldagem PFF's (Perfis)        | 35.7               |
| PPL2           | Inspeção                       | 38.7               |
| PPL2           | Transporte                     | 3.7                |
|                | <b>PPL2- BL1 Total</b>         | <b>158.8</b>       |
| PPL3- BL2      | Posicionamento PP (Chapa) 1    | 6.9                |
| PPL3           | Posicionamento PP (Chapa) 2    | 6.9                |
| PPL3           | Ponteamento PP's (1001 e 1002) | 19.1               |
| PPL3           | Soldagem PP's (1001 e 1002)    | 31.1               |
| PPL3           | Posicionamento PFF's (Perfis)  | 41.5               |
| PPL3           | Ponteamento PFF (Perfil)       | 104.1              |
| PPL3           | Soldagem PFF's (Perfis)        | 84.5               |
| PPL3           | Inspeção                       | 74.7               |
| PPL3           | Transporte                     | 4.0                |
|                | <b>PPL3- BL2 Total</b>         | <b>372.8</b>       |

Tabela 35 – Tempos de processo na oficina de submontagem

| <b>Produto</b> | <b>Descrição</b>                 | <b>Total (min)</b> |
|----------------|----------------------------------|--------------------|
| SM_h1-BL1      | Posicionamento PI (Hastilha)     | 6.9                |
| SM_h1          | Posicionamento PP 1001 (b chata) | 6.9                |
| SM_h1          | Ponteamento PP 1001              | 5.0                |
| SM_h1          | Posicionamento PP 1002           | 6.9                |
| SM_h1          | Ponteamento PP 1002              | 4.9                |
| SM_h1          | Posicionamento PP 1003           | 6.9                |
| SM_h1          | Ponteamento PP 1003              | 4.9                |
| SM_h1          | Posicionamento PP 1004           | 6.9                |
| SM_h1          | Ponteamento PP 1004              | 6.7                |
| SM_h1          | Posicionamento PP 1005           | 6.8                |
| SM_h1          | Ponteamento PP 1005              | 4.8                |
| SM_h1          | Posicionamento PP 1006           | 6.9                |
| SM_h1          | Ponteamento PP 1006              | 6.8                |
| SM_h1          | Soldagem PP 1001                 | 11.7               |
| SM_h1          | Soldagem PP 1002                 | 6.7                |
| SM_h1          | Soldagem PP 1003                 | 6.7                |
| SM_h1          | Soldagem PP 1004                 | 6.7                |
| SM_h1          | Soldagem PP 1005                 | 4.8                |
| SM_h1          | Soldagem PP 1006                 | 6.8                |
| SM_h1          | Inspeção                         | 14.7               |
| SM_h1          | Transporte                       | 4.2                |
|                | <b>SM_h1-BL1 Total</b>           | <b>143.7</b>       |
| SM_h2-BL1      | Posicionamento PI (Hastilha)     | 6.9                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1001           | 6.9                |

Tabela 35 (cont.)

| <b>Produto</b> | <b>Descrição</b>             | <b>Total (min)</b> |
|----------------|------------------------------|--------------------|
| SM_h2          | Ponteamento PP 1001          | 5.1                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1002       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1002          | 5.0                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1003       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1003          | 5.0                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1004       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1004          | 5.0                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1005       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1005          | 5.0                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1006       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1006          | 4.0                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1007       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1007          | 4.0                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1008       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1008          | 4.0                |
| SM_h2          | Posicionamento PP 1009       | 6.9                |
| SM_h2          | Ponteamento PP 1009          | 6.2                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1001             | 6.8                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1002             | 6.7                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1003             | 6.7                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1004             | 6.7                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1005             | 6.7                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1006             | 4.8                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1007             | 4.8                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1008             | 4.8                |
| SM_h2          | Soldagem PP 1009             | 7.2                |
| SM_h2          | Inspeção                     | 14.7               |
| SM_h2          | Transporte                   | 4.2                |
|                | <b>SM_h2-BL1 Total</b>       | <b>186.6</b>       |
| SM_h3-BL2      | Posicionamento PI (Hastilha) | 6.9                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1001       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1001          | 5.1                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1002       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1002          | 5.0                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1003       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1003          | 5.0                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1004       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1004          | 5.0                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1005       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1005          | 5.0                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1006       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1006          | 5.0                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1007       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1007          | 4.0                |
| SM_h3          | Posicionamento PP 1008       | 6.9                |
| SM_h3          | Ponteamento PP 1008          | 6.0                |
| SM_h3          | Soldagem PP 1001             | 6.8                |
| SM_h3          | Soldagem PP 1002             | 6.7                |
| SM_h3          | Soldagem PP 1003             | 6.7                |
| SM_h3          | Soldagem PP 1004             | 6.7                |

Tabela 35 (cont.)

| Produto | Descrição              | Total (min)  |
|---------|------------------------|--------------|
| SM_h3   | Soldagem PP 1005       | 6.7          |
| SM_h3   | Soldagem PP 1006       | 6.7          |
| SM_h3   | Soldagem PP 1007       | 4.8          |
| SM_h3   | Soldagem PP 1008       | 6.8          |
| SM_h3   | Inspeção               | 14.6         |
| SM_h3   | Transporte             | 4.3          |
|         | <b>SM_h3-BL2 Total</b> | <b>173.0</b> |

Tabela 36 – Tempos de processo na oficina de montagem de blocos

| Produto | Descrição                                | Total (min) |
|---------|--|-------------|
| BL1     | Posicionamento SM_l 4601 (Long)          | 5.7         |
| BL1     | Posicionamento SM_h 4001 (Hastilha)      | 10.1        |
| BL1     | Ponteamto L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 8.3         |
| BL1     | Ponteamto SM_h + chapa PPL               | 3.4         |
| BL1     | Soldagem L (SM_h + perfil/ chapa PPL)    | 10.4        |
| BL1     | Soldagem SM_h + chapa PPL                | 4.1         |
| BL1     | Movimentação dos CPs                     | 7.3         |
| BL1     | Ponteamto U (CP_Long)1                   | 4.0         |
| BL1     | Ponteamto U (CP_long)2                   | 1.0         |
| BL1     | Ponteamto U (CP_long)3                   | 1.0         |
| BL1     | Soldagem U (CP_Long)1                    | 6.2         |
| BL1     | Soldagem U (CP_Long)2                    | 6.1         |
| BL1     | Soldagem U (CP_Long)3                    | 5.9         |
| BL1     | Virar SM_l 4601                          | 12.4        |
| BL1     | Posicionar SM_h 4001 (Hastilha)          | 14.5        |
| BL1     | Ponteamto SM_h 4001 + chapa PPL          | 6.4         |
| BL1     | Posicionar SM_h 4002 (Hastilha)          | 14.5        |
| BL1     | Ponteamto SM_h 4002 + chapa PPL          | 6.3         |
| BL1     | Posicionar SM_h 4003 (Hastilha)          | 14.5        |
| BL1     | Ponteamto SM_h 4003 + chapa PPL          | 6.3         |
| BL1     | Soldagem SM_h 4001 + chapa PPL           | 9.4         |
| BL1     | Soldagem SM_h 4002 + chapa PPL           | 9.3         |
| BL1     | Soldagem SM_h 4003 + chapa PPL           | 9.3         |
| BL1     | Posicionar PPL 1401 (teto do fundo)      | 14.5        |
| BL1     | Deslizamento EGG BOX                     | 14.5        |
| BL1     | Soldagem 1 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 13.9        |
| BL1     | Soldagem 2 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 3 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 4 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 5 SM_h + chapa PPL              | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 6 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 16.8        |
| BL1     | Soldagem 7 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 8 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 9 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 10 SM_h + chapa PPL             | 5.9         |
| BL1     | Soldagem 11 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) | 16.8        |
| BL1     | Soldagem 12 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 13 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 14 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 15 SM_h + chapa PPL             | 8.9         |

Tabela 36 (cont.)

| Produto | Descrição                                  | Total (min) |
|---------|--|-------------|
| BL1     | Soldagem 16 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 18.4        |
| BL1     | Soldagem 17 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 18 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 19 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 6.3         |
| BL1     | Soldagem 20 SM_h + chapa PPL               | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 21 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 22 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 23 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 24 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 25 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 26 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 27 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 28 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 29 L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 30 SM_h + chapa PPL               | 8.9         |
| BL1     | Posicionamento PPL fundo                   | 14.5        |
| BL1     | Inversão Bloco                             | 12.4        |
| BL1     | Soldagem 1 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 12.6        |
| BL1     | Soldagem 2 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 3 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 12.5        |
| BL1     | Soldagem 4 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 5 SM_h + chapa PPL b              | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 6 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 7 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 8 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 9 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b  | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 10 SM_h + chapa PPL b             | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 11 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 12 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 13 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 14 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 7.9         |
| BL1     | Soldagem 14 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 5.9         |
| BL1     | Soldagem 15 SM_h + chapa PPL b             | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 16 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 17 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 18 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 19 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 20 SM_h + chapa PPL b             | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 21 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 22 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 23 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 24 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 25 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 8.9         |
| BL1     | Soldagem 26 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 27 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 28 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 29 L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 13.8        |
| BL1     | Soldagem 30 SM_h + chapa PPL b             | 8.9         |
| BL1     | Posicionar CP 1                            | 9.3         |

Tabela 36 (cont.)

| Produto | Descrição                               | Total (min)   |
|---------|---|---------------|
| BL1     | Ponteamto U (CP)1                       | 4.0           |
| BL1     | Posicionar CP 2                         | 9.3           |
| BL1     | Ponteamto U (CP)2                       | 1.0           |
| BL1     | Posicionar CP 3                         | 9.3           |
| BL1     | Ponteamto U (CP)3                       | 1.0           |
| BL1     | Posicionar CP 4                         | 9.3           |
| BL1     | Ponteamto U (CP)4                       | 4.0           |
| BL1     | Posicionar CP 5                         | 9.3           |
| BL1     | Ponteamto U (CP)5                       | 1.0           |
| BL1     | Posicionar CP 6                         | 9.3           |
| BL1     | Ponteamto U (CP)6                       | 4.0           |
| BL1     | Posicionar CP 7                         | 9.3           |
| BL1     | Ponteamto U (CP)7                       | 1.0           |
| BL1     | Posicionar CP 8                         | 9.3           |
| BL1     | Ponteamto U (CP)8                       | 1.0           |
| BL1     | Soldagem U (CP)1                        | 6.2           |
| BL1     | Soldagem U (CP)2                        | 6.1           |
| BL1     | Soldagem U (CP)3                        | 5.9           |
| BL1     | Soldagem U (CP)4                        | 6.1           |
| BL1     | Soldagem U (CP)5                        | 5.9           |
| BL1     | Soldagem U (CP)6                        | 6.1           |
| BL1     | Soldagem U (CP)7                        | 5.9           |
| BL1     | Soldagem U (CP)8                        | 5.9           |
|         | <b>BL1 Total</b>                        | <b>1147.7</b> |
| BL2     | Posicionamento PPL_tdf                  | 9.3           |
| BL2     | Deslizamento SM_h 4001 (Hastilha)       | 9.3           |
| BL2     | Ponteamto L (SM_h + perfil/ chapa PPL)  | 22.8          |
| BL2     | Ponteamto SM_h + chapa PPL              | 3.4           |
| BL2     | Soldagem L (SM_h + perfil/ chapa PPL)   | 31.3          |
| BL2     | Soldagem SM_h + chapa PPL               | 4.1           |
| BL2     | Posicionamento PPL fundo                | 14.5          |
| BL2     | Inversão Bloco                          | 7.5           |
| BL2     | Soldagem L (SM_h + perfil/ chapa PPL) b | 83.1          |
| BL2     | Soldagem SM_h + chapa PPL b             | 8.9           |
| BL2     | Posicionar CP 1                         | 9.3           |
| BL2     | Ponteamto U (CP)1                       | 4.0           |
| BL2     | Posicionar CP 2                         | 10.0          |
| BL2     | Ponteamto U (CP)2                       | 1.0           |
| BL2     | Posicionar CP 3                         | 9.3           |
| BL2     | Ponteamto U (CP)3                       | 1.0           |
| BL2     | Posicionar CP 4                         | 9.3           |
| BL2     | Ponteamto U (CP)4                       | 4.0           |
| BL2     | Posicionar CP 5                         | 9.3           |
| BL2     | Ponteamto U (CP)5                       | 1.0           |
| BL2     | Posicionar CP 6                         | 9.3           |
| BL2     | Ponteamto U (CP)6                       | 1.0           |
| BL2     | Soldagem U (CP)1                        | 6.2           |
| BL2     | Soldagem U (CP)2                        | 6.1           |
| BL2     | Soldagem U (CP)3                        | 5.9           |

Tabela 36 (cont.)

| Produto | Descrição        | Total (min)  |
|---------|------------------|--------------|
| BL2     | Soldagem U (CP)4 | 6.1          |
| BL2     | Soldagem U (CP)5 | 6.1          |
| BL2     | Soldagem U (CP)6 | 5.9          |
|         | <b>BL2 Total</b> | <b>299.0</b> |

Os tempos de ciclo de produção para os produtos apresentados nas tabelas acima serão utilizados para alimentar os modelos de simulação e manufatura digital. Os tempos de ciclo de todos os produtos levantados para o corpo paralelo da embarcação-tipo serão calculados a partir dos tempos acima estimados e da geração de indicadores de produtividade. Serão considerados os dados de conteúdo de trabalho associados a cada produto intermediário, e a obtenção dos tempos será realizada através da aplicação dos indicadores de produtividade estimados.

#### 4.4.3. Recursos

Com relação aos recursos, foi realizado um levantamento, para cada área do estaleiro, de máquinas, equipamentos e recursos humanos necessários para o desenvolvimento dos processos associados.

A Tabela 37 apresenta as áreas do estaleiro e os respectivos recursos associados.

Tabela 37 – Áreas do estaleiro e recursos

| ÁREA DO ESTALEIRO      | EQUIPAMENTOS / MÁQUINAS  | TRABALHADORES  |
|------------------------|--|--|
| PÁTIO DE AÇO           | Empilhadeira<br>Esteira<br>Ponte Rolante<br>Guindaste  | Operador de Empilhadeira<br>Auxiliar Geral<br>Operador de Ponte Rolante<br>Operador de guindaste<br>Inspetor<br>Supervisor   |
| LINHA DE TRATAMENTO    | Calandra<br>Linha de Jateamento (granalha)<br>Cabine de Pintura<br>Ponte Rolante<br>Esteira  | Operador de Calandra<br>Operador linha de tratamento<br>Auxiliar Geral<br>Operador de Ponte Rolante<br>Auxiliar Geral<br>Inspetor<br>Supervisor  |
| OFICINA DE CORTE       | Equipamento de Oxicorte<br>Equipamento de corte a plasma<br>Equipamento de corte a laser<br>Equipamento de corte manual<br>Ponte Rolante | Operador de equipamento - Oxicorte<br>Operador de equipamento - Corte a plasma<br>Operador de equipamento - Corte a laser<br>Operador de equipamento - Corte manual<br>Operador de Ponte Rolante<br>Inspetor<br>Supervisor |
| OFICINA DE CONFORMAÇÃO | Calandra<br>Prensa<br>Equipamento conformação a quente (linha de calor)<br>Gabarito para aferição da curvatura<br>Ponte Rolante          | Operador de Calandra<br>Operador de prensa<br>Auxiliar Geral<br>Operador de Ponte Rolante  |

Tabela 37 (cont.)

| <b>ÁREA DO ESTALEIRO</b>               | <b>EQUIPAMENTOS / MÁQUINAS</b>   | <b>TRABALHADORES</b>  |
|--|--|---|
| OFICINA DE FABRICAÇÃO DE PERFIS        | Equipamento de soldagem de perfis (automático)<br>Dispositivo de soldagem de filete (manual)<br>Ponte Rolante.   | Soldador<br>Auxiliar Geral<br>Operador de Ponte Rolante<br>Inspetor<br>Supervisor                                     |
| LINHA DE PAINÉIS PLANOS                | Linha de painéis<br>Ponte Rolante<br>Esteira Rolante   | Operador da linha de painéis<br>Soldador<br>Operador Ponte Rolante<br>Auxiliar Geral                                  |
| LINHA DE PAINÉIS CURVOS                | Piquetes para apoio<br>Equipamento de soldagem<br>Equipamento para desempenho<br>Ponte Rolante<br>Esteira Rolante  | Soldador<br>Operador Ponte Rolante<br>Auxiliar Geral  |
| OFICINA DE SUBMONTAGEM                 | Equipamento de soldagem<br>Ponte Rolante<br>Esteira Rolante  | Auxiliar Geral<br>Soldador<br>Operador Ponte Rolante<br>Auxiliar Geral  |
| OFICINA DE MONTAGEM                    | Equipamento de soldagem<br>Ponte Rolante   | Soldador<br>Operador Ponte Rolante  |
| OFICINA DE MONTAGEM DE SUPER-ESTRUTURA | Equipamento de soldagem<br>Ponte Rolante   | Soldador<br>Operador Ponte Rolante  |
| OFICINA TUBULAÇÃO                      | Equipamento para conformação de tubulação<br>Equipamento para fabricação de flanges<br>Equipamento para corte de tubos<br>Equipamento para tratamento de tubos<br>Equipamento para soldagem<br>Ponte Rolante | Operador<br>Soldador<br>Operador Ponte Rolante  |
| OFICINA ELÉTRICA                       | Equip. diversos<br>Carrinho transportador<br>Ponte Rolante   | Eletricista<br>Técnico eletrônico<br>Auxiliar Geral<br>Operador Ponte Rolante   |
| OFICINA MATERIAIS DIVERSOS             | Equipamento para montagem painéis elétricos<br>Equipamento para preparar o isolamento das cabines<br>Carrinho transportador  | Eletricista<br>Técnico eletrônico<br>Carpinteiro<br>Auxiliar Geral<br>Técnico em isolamento cabines<br>Auxiliar Geral |

Tabela 37 (cont.)

| <b>ÁREA DO ESTALEIRO</b>     | <b>EQUIPAMENTOS / MÁQUINAS</b>   | <b>TRABALHADORES</b>                                 |
|------------------------------|--|--|
| OFICINA MONTAGEM MÓDULOS     | Piquetes para apoio<br>Equipamento para Soldagem<br>Ponte Rolante  | Auxiliar Geral<br>Soldador<br>Operador Ponte Rolante |
| OFICINA DE PINTURA           | Piquetes para apoio<br>Equipamento para jateamento (granalha)<br>Equipamento para pintura<br>Ponte Rolante | Auxiliar Geral<br>Pintor<br>Operador Ponte Rolante   |
| OFICINA INSTALAÇÃO MÓDULOS   | Equipamento para Soldagem<br>Guindaste   | Soldador<br>Operador de guindaste                    |
| ÁREA ARMAZENAGEM BLOCOS      | Piquetes para apoio<br>Guindaste   | Auxiliar Geral<br>Operador de guindaste              |
| ÁREA DE OUTFITTING DE BLOCOS | Piquetes para apoio<br>Guindaste   | Auxiliar Geral<br>Operador de guindaste<br>Inspetor  |
| ÁREA DE INSPEÇÃO DE BLOCOS   | Guindaste  | Inspetor<br>Operador de guindaste                    |
| ÁREA DE PRÉ-EDIFICAÇÃO       | Piquetes para apoio<br>Equipamento para soldagem<br>Andaimes<br>Ponte Rolante                              | Auxiliar Geral<br>Soldador<br>Operador Ponte Rolante |
| ÁREA DE EDIFICAÇÃO           | Piquetes para apoio<br>Equipamento para soldagem<br>Andaimes<br>Ponte Rolante                              | Auxiliar Geral<br>Soldador<br>Operador Ponte Rolante |

#### **4.5. Implantação do Modelo - Plataforma DELMIA**

##### **4.5.1. Modelagem 3D do Produto**

Como exposto nos capítulos anteriores, a partir de um desenho 2D com detalhes estruturais de uma seção mestra foram levantadas as informações referentes a cada elemento estrutural da embarcação a ser modelada.

Com essas informações disponíveis, foi possível realizar a modelagem 3D do corpo paralelo da embarcação-tipo.

Tanto na elaboração do desenho 2D, com os detalhes estruturais, como na modelagem 3D do corpo paralelo, empregou-se o DELMIA V5 Suite.

O resultado da modelagem realizada pode ser observado na Figura 44, que apresenta a estrutura de um anel completo. Ressalte-se que a seção mestra foi modelada considerando a divisão em 22 blocos, conforme apresentado na Figura 41.

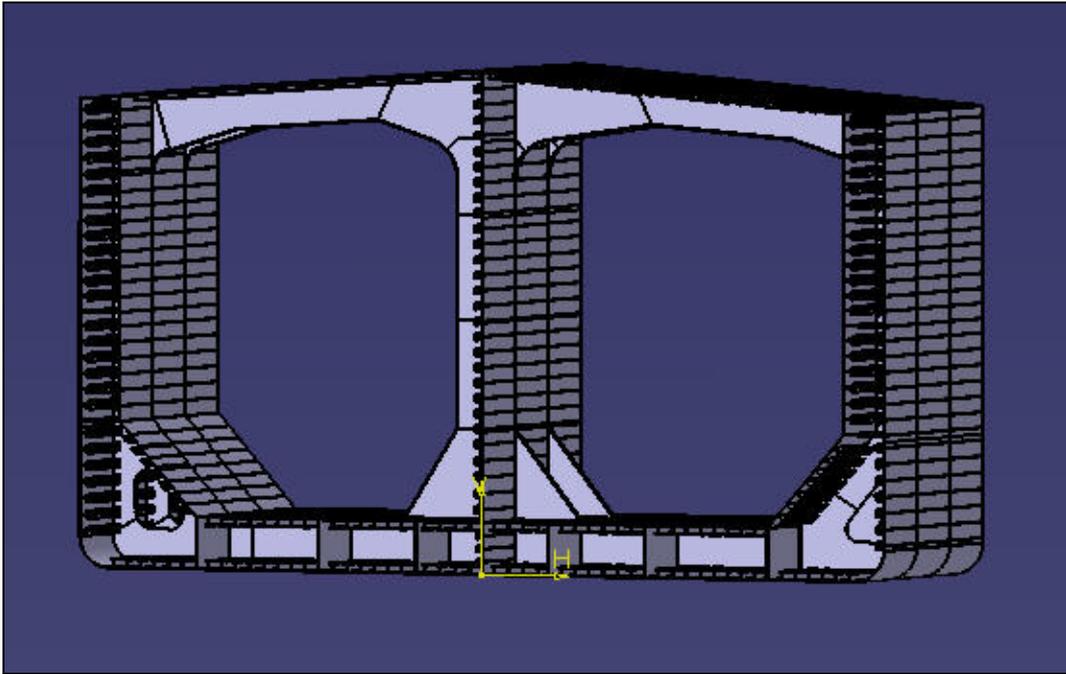


Figura 44 – Modelagem 3D da seção mestra da embarcação-tipo

O anel apresentado acima se repete 15 vezes para formar todo o corpo paralelo da embarcação. O resultado da modelagem do corpo paralelo completo, após a união dos 15 anéis que o compõe, pode ser observado na Figura 45, na Figura 46 e na Figura 47.

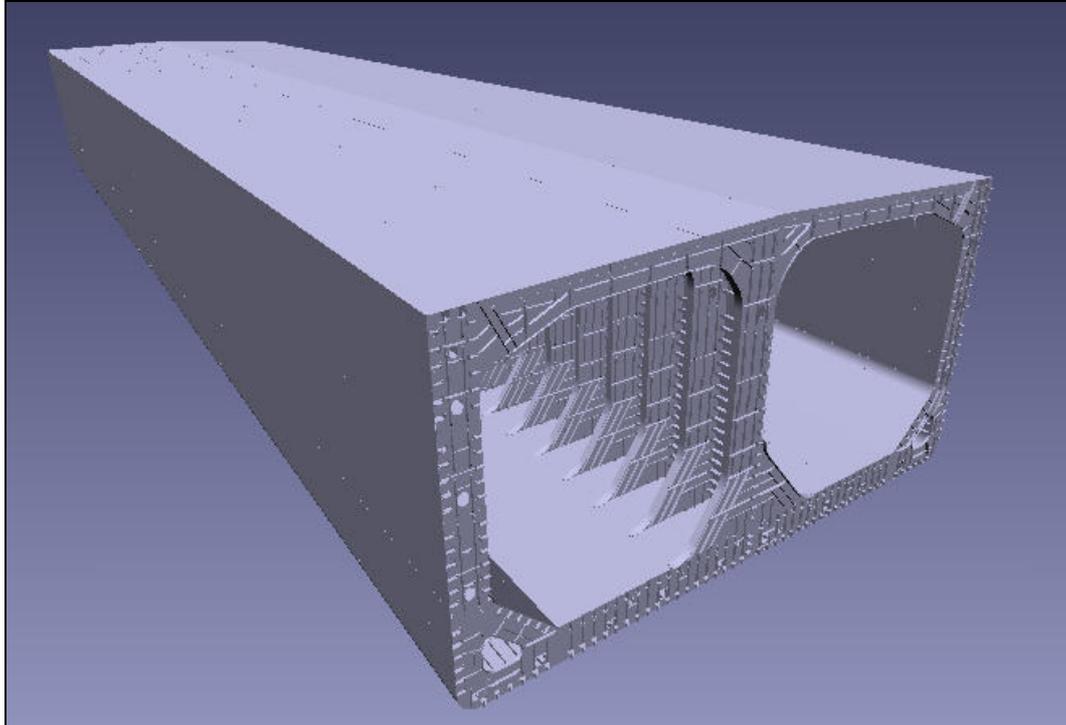


Figura 45 – Perspectiva (bombordo) do corpo paralelo da embarcação-tipo

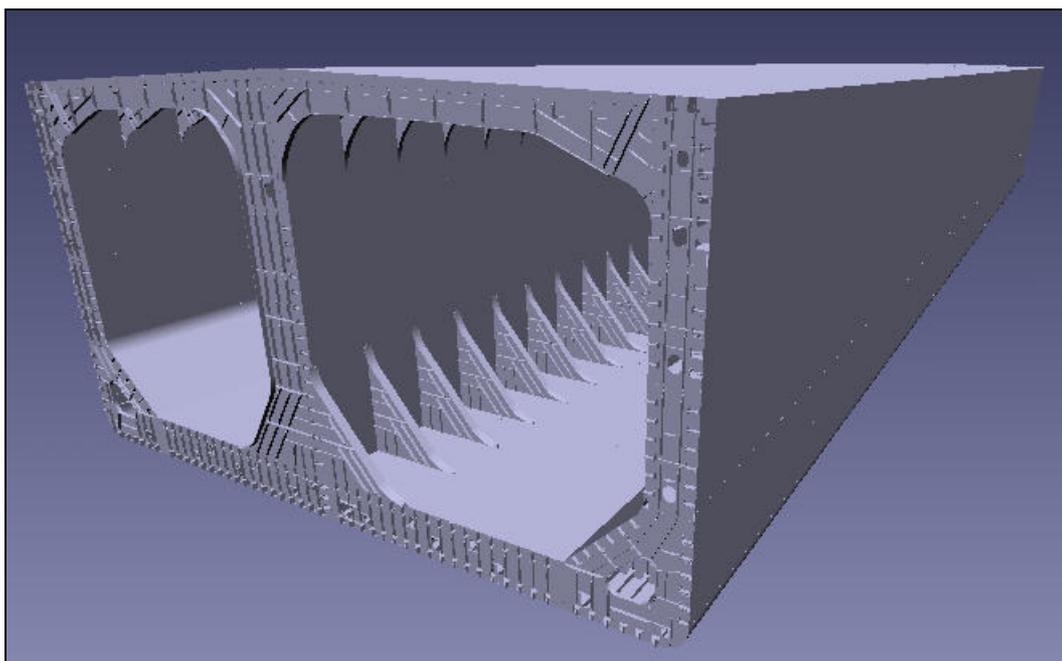


Figura 46 – Perspectiva (de boreste) do corpo paralelo da embarcação-tipo

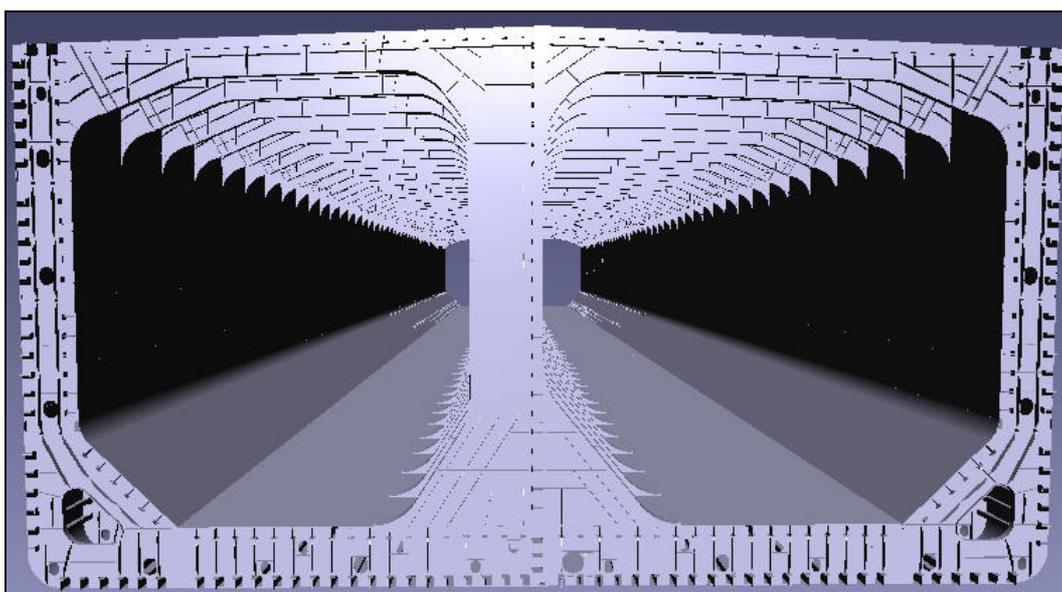


Figura 47 – Perspectiva frontal do corpo paralelo da embarcação-tipo

#### 4.5.2. Modelagem da Estrutura de Produtos

O módulo DPM do sistema DELMIA permite que simulações de montagem de elementos e a validação dos processos adotados sejam realizadas. É possível desenvolver modelos com recursos avançados de visualização para validar tempos de ciclo e da seqüência de montagem.

A explosão dos blocos em seus produtos intermediários foi realizada, permitindo a validação da consistência do modelo do produto desenvolvido com relação à estrutura de produtos adotada. No Anexo 1, da Figura 95 a Figura 106, são apresentados os blocos da seção mestra decompostos em produtos intermediários.

A partir dos dados de produtos, processos e recursos obtidos na fase de delineamento geral do problema e de modelagem 3D do produto, o Delmia Process Engineer (DPE) foi utilizado para alimentar a Plataforma DELMIA.

A estrutura PPR (Produtos-Processos-Recursos) do DPE permite a organização desses elementos de forma simples e intuitiva. A organização da estrutura de produtos no DPE desenvolvida para este trabalho é apresentada no Anexo, na Figura 107, na Figura 108 e na Figura 109.

Após a definição da estrutura de produtos foram associadas imagens geradas no sistema DELMIA a cada produto do modelo DPE. Entre a Figura 110 e a Figura 123, no Anexo 1, encontram-se imagens de telas do DPE que apresentam os produtos intermediários que compõem cada um dos 22 blocos e as respectivas visualizações 3D.

#### **4.5.3. Modelagem da Estrutura de Processos**

Os processos para a montagem de dois blocos da seção mestra da embarcação-tipo foram estudados em detalhes para a obtenção de estimativas de tempo de ciclo e para a análise de processos.

Uma estrutura de processos foi, então, desenvolvida para cada área do estaleiro e cada produto intermediário envolvido na produção dos blocos 1 e 2. As árvores de processo e cada um dos níveis considerados são apresentados entre a Figura 124 e a Figura 140, No Anexo 1. Observa-se que no último nível, que considera as operações efetivamente realizadas no chão-de-fábrica, também são apresentados os gráficos de processos - GPs (*process graphs*) que foram desenvolvidos para o modelo em questão.

Os GPs são rascunhos de análises de processos utilizados para definir, preliminarmente, a seqüência de operações necessárias para processar um determinado produto intermediário. Dessa forma, são definidas as operações, as precedências, e a possibilidade de se realizar atividades em paralelo. Os GPs podem ser exportados para validação da seqüência de operações através de modelos desenvolvidos no módulo DPM, que agregam análise de interferências entre os elementos considerados e capacidade de visualização 3D.

#### **4.5.4. Modelo Integrado de Áreas do Estaleiro**

Utilizando-se os tempos de ciclo obtidos através das análises de processos apresentadas no item anterior, passou-se para o desenvolvimento de um modelo mais simplificado com o objetivo de exportar produtos, processos e recursos para o ambiente do sistema QUEST.

Foram então considerados ciclos de processos que representam um conjunto de outros ciclos e também operações. Dessa forma, o ciclo de montagem de um bloco é composto pelos ciclos de produção de submontagens e de painéis, além da operação destinada à montagem do bloco propriamente dita. Os ciclos de produção de submontagens e painéis são compostos de operações que representam a produção de cada produto intermediário necessário.

O gráfico de processos (GP) é definido a partir das operações associadas à produção do bloco e a seqüência de operações é determinada. Finalmente, são associados os produtos intermediários aos respectivos processos a partir da árvore de produtos e o GP está pronto para gerar o *Manufacturing Concept* (MC), que permite a

associação de recursos aos processos e é a plataforma de exportação para o sistema QUEST.

As estruturas de processos para os ciclos de montagem dos blocos 1 e 2 e os respectivos GP são apresentados na Figura 48 e na Figura 49, respectivamente.

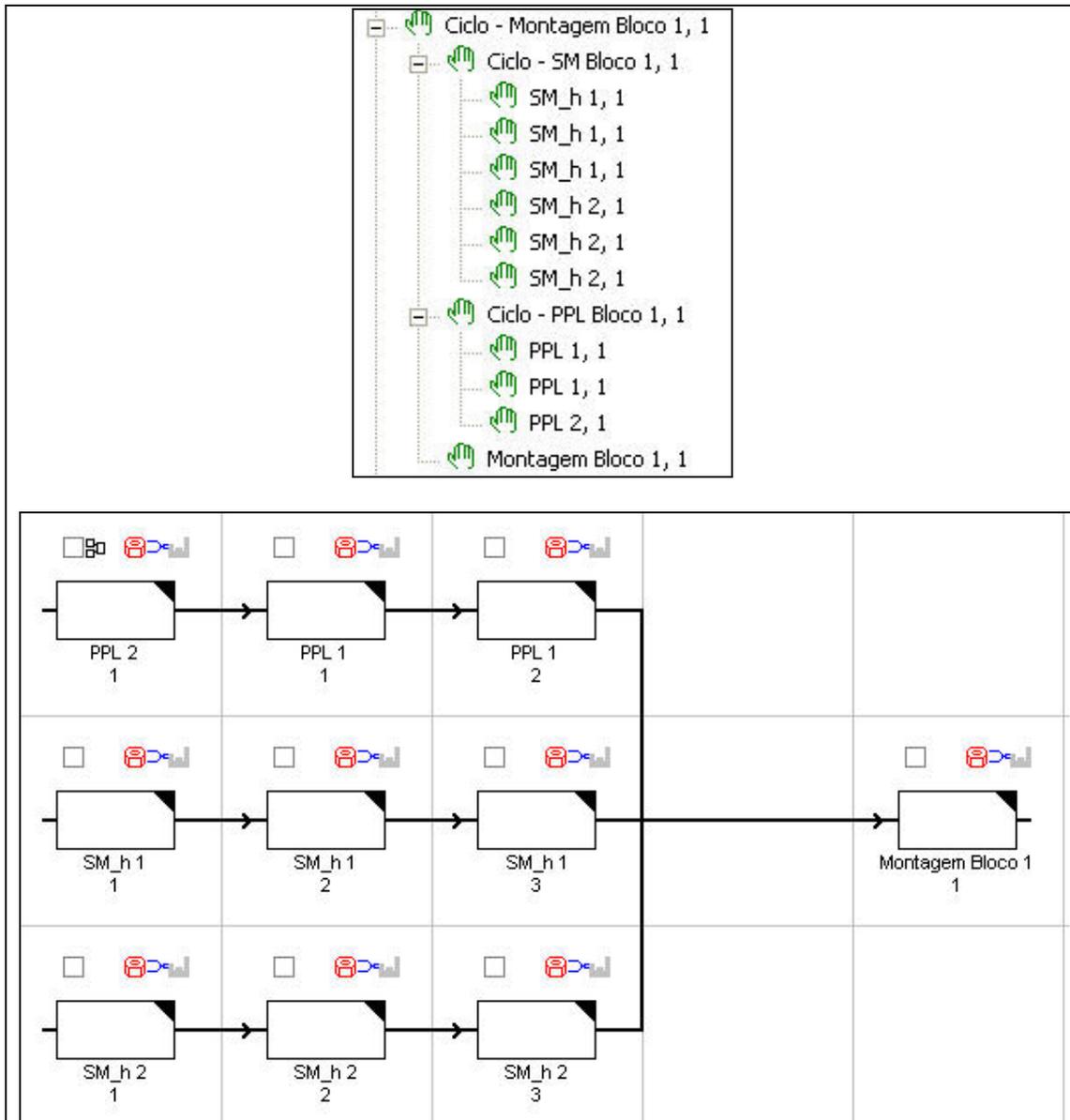


Figura 48 – Estrutura de processos para o ciclo de montagem do bloco 1 e o GP associado

O *Manufacturing Concept* (MC) gerado para o modelo de simulação da produção dos blocos 1 e 2 é apresentado na Figura 50. No modelo, os processos foram agrupados em quatro máquinas que representam a oficina de submontagem, a linha de painéis planos, a oficina de montagem de blocos e a área de pré-edificação. A partir desse MC o modelo foi exportado para o sistema QUEST.

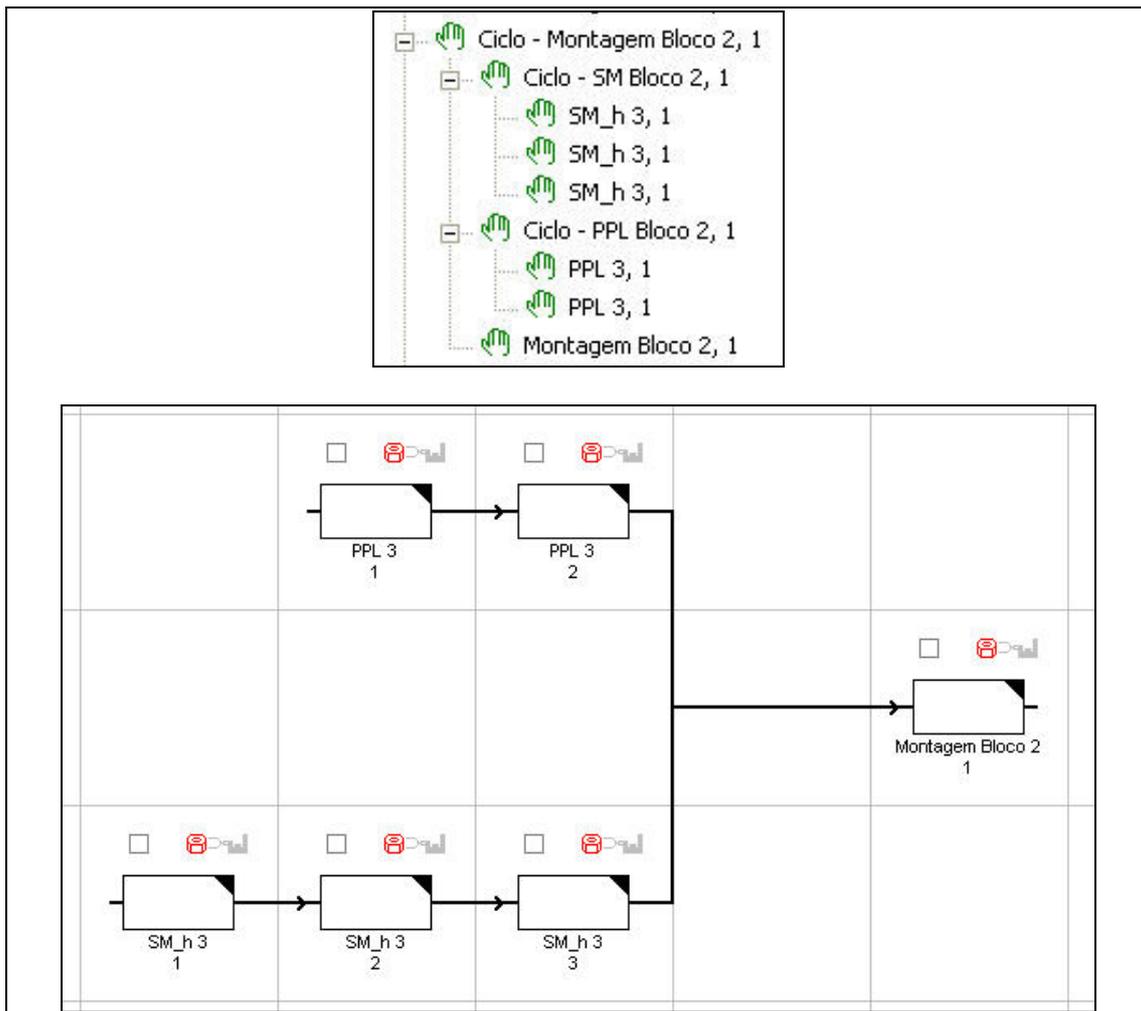


Figura 49 – Estrutura de processos para o ciclo de montagem do bloco 2 e o GP associado

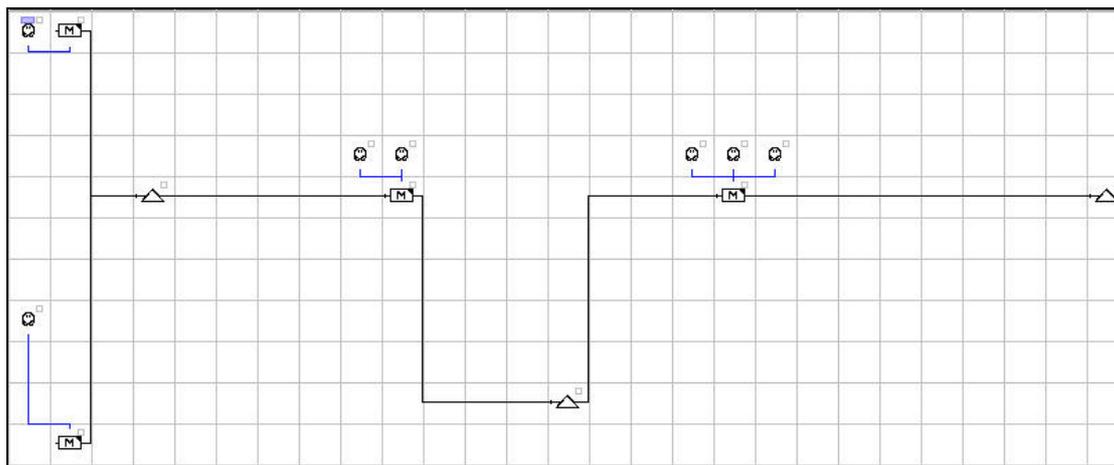


Figura 50 – Manufacturing Concept para a produção dos blocos 1 e 2

#### 4.5.5. Protótipo do Modelo Geral do Estaleiro no Quest

##### 4.5.5.1 Elementos do sistema QUEST

A simulação pode ser aplicada na análise de cenários produtivos considerando diferentes produtos e processos, desenvolvidos em diferentes arranjos físicos, para identificar e avaliar gargalos na produção, utilização de recursos e níveis de estoques intermediários. Dessa forma, é possível observar o comportamento de todo o sistema de manufatura e montagem a partir de diversos cenários.

A ferramenta de simulação de eventos discretos utilizado neste estudo foi o sistema QUEST. O QUEST é um pacote de simulação de eventos discretos orientado ao objeto, com visualização e facilidades tridimensionais. Alguns dos elementos que compõem o sistema são apresentados abaixo:

- **Recursos:** Máquinas, Fontes, Dissipadores, Armazenadores, Operadores, Controladores, Transportadores, etc.
- **Produto:** Peça (elemento).
- **Localização de peças e operadores:** Especificação do local (ponto) onde os elementos (peças) e operadores devem permanecer em um determinado momento.
- **Lógica utilizada em processos:** Envio de peças e recebimento (máquinas, fontes, etc.), distribuições, estipulação de elementos que chegam simultaneamente etc.
- **Lógica de roteamento:** Determinação das rotas das peças, especificação de proporções e prioridades.
- **Requisitos do operador:** Estabelecimento da necessidade do recurso estar associado a um operador.
- **Requisitos de partida:** Estabelecimento das necessidades dos transportadores ou operadores para realizarem seus respectivos movimentos.
- **Requisitos de destino e de parada:** Estabelece parâmetros para as rotas dos transportadores e dos operadores, bem como para o “estacionamento” destes ao final da simulação.
- **Utilização de sub-recursos:** Ferramentas associadas a operadores (empilhadeira), elementos (embalagem), ou diretamente a simulação (uma única ferramenta sendo utilizada por dois recursos).

##### 4.5.5.2 Integração com o DPE

O DPE é uma ferramenta para gerenciamento de processos, onde é possível definir e analisar qualquer tipo de informação relacionada ao produto, processos e recursos. O DPE pode ser utilizado desde a fase de definição de conceito do produto até o detalhamento do processo de manufatura, disponibilizando diversas informações gerenciais e operacionais.

O modelo integrado de áreas do estaleiro foi estruturado no DPE, começando com o desenvolvimento da árvore PPR, contendo o produto final (embarcação) com todos os elementos que o compõem (partes e componentes), os processos para produzi-los e os recursos necessários para realizar os processos.

A integração do DPE com o QUEST representa ganhos com relação ao tempo de modelagem e o tempo de coleta de dados. O modelo QUEST é carregado a partir das informações definidas no DPE. A seguir será apresentada a integração do modelo do DPE com o QUEST e as facilidades que advêm dessa integração.

A Figura 51 apresenta o procedimento realizado no DPE (*Manufacturing Concept*) para carregar o modelo do QUEST.

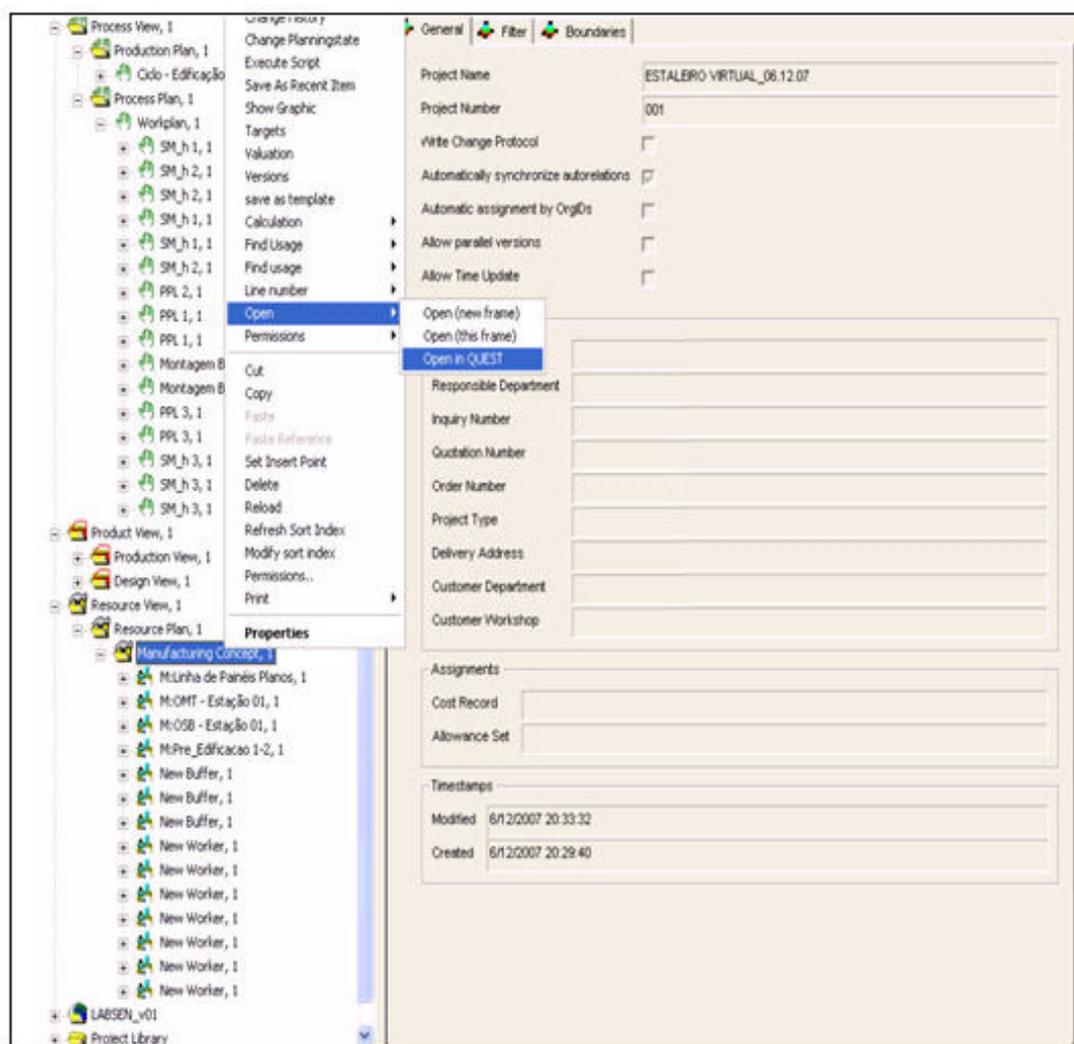


Figura 51 - Exemplo de carregamento do modelo QUEST a partir da árvore de recursos do DPE

Os gráficos de processos definidos no DPE fornecem ao modelo QUEST as relações de precedências entre os processos. O *Manufacturing Concept* do DPE adiciona informações sobre as conexões entre os elementos do modelo QUEST e a disposição física dessas entidades. A partir do *Manufacturing Concept* desenvolvido (Figura 50), foi obtido o modelo QUEST. Detalhes do modelo são apresentados na Figura 52, na Figura 53, na Figura 54 e na Figura 55. É importante observar que o modelo QUEST apresenta todas as informações que estavam disponíveis no DPE com relação a produtos, processos e recursos.

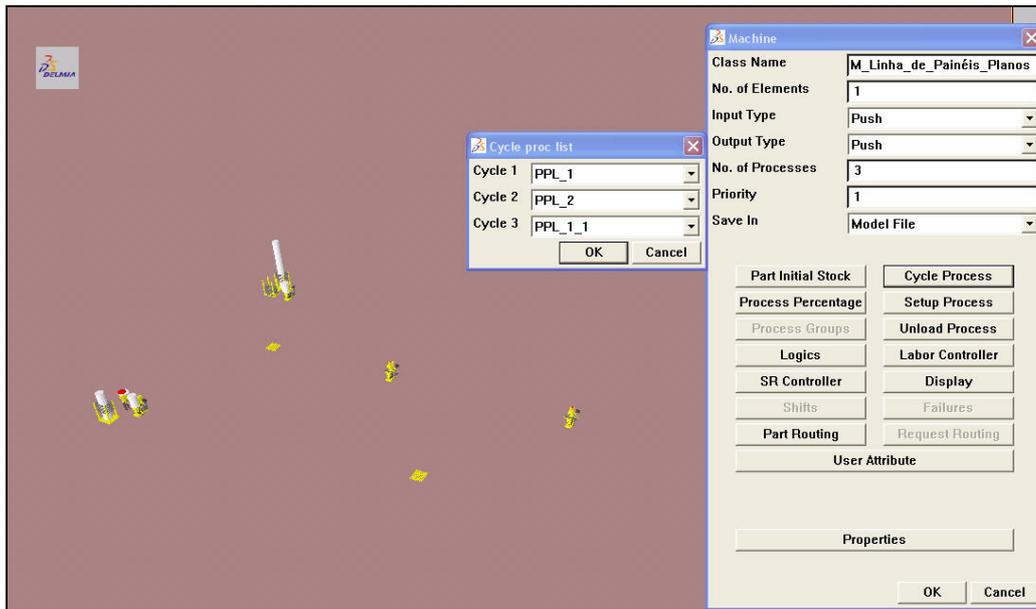


Figura 52 – Exemplo de processo no modelo integrado de áreas do estaleiro

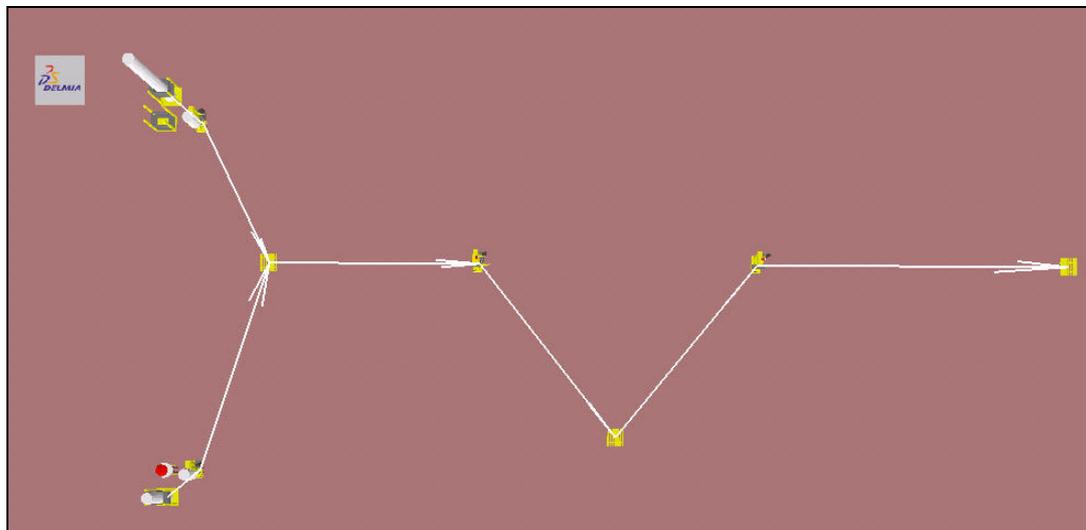


Figura 53 – Exemplo de conexões no modelo integrado de áreas do estaleiro



Figura 54 – Exemplo de produtos/componentes no modelo integrado de áreas do estaleiro

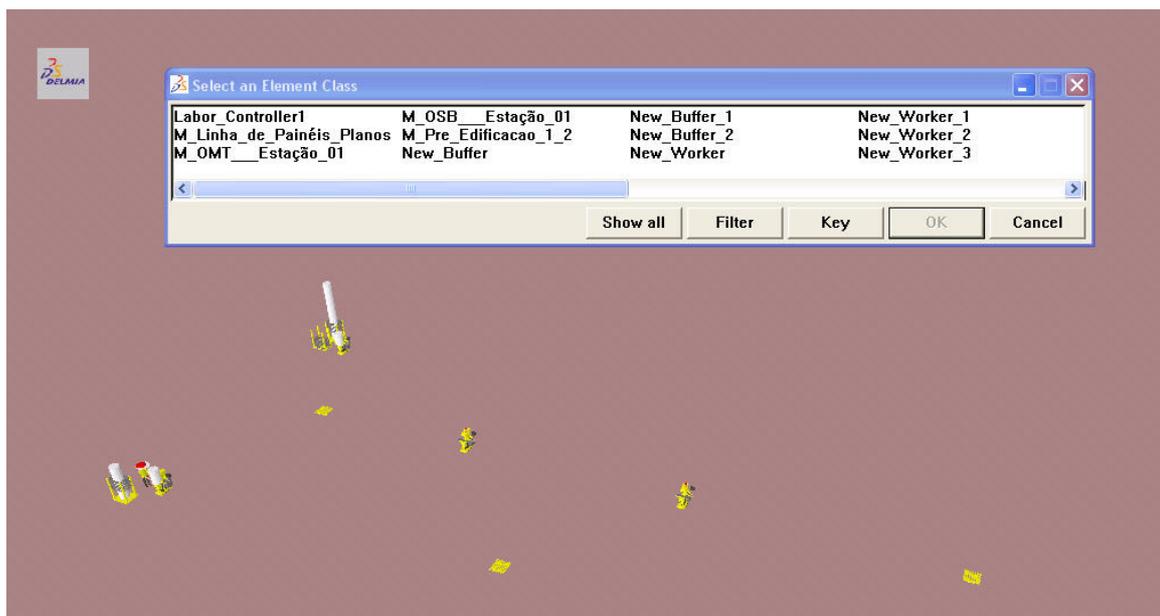


Figura 55 – Exemplo de elementos no modelo integrado de áreas do estaleiro

O modelo carregado do DPE para o QUEST facilita muito o trabalho de desenvolvimento do modelo de simulação, uma vez que produtos, processos e recursos são configurados ainda no DPE, juntamente com conexões, precedências, seqüências de processos e disposição física preliminar dos elementos do sistema.

No entanto, ainda é necessário algum trabalho no QUEST para que os modelos de simulação fiquem plenamente funcionais. O trabalho se refere, principalmente, a elementos de visualização que precisam ser carregados e configurados, ou então modificados em relação ao que originalmente foi definido no DPE. Além disso, como não é possível configurar sistema de movimentação de cargas no DPE, a configuração

de pontes rolantes foi integralmente realizada no QUEST, e que se mostrou uma atividade que demanda considerável esforço para ser realizada.

Partindo-se do modelo recém exportado para QUEST apresentado acima, chegou-se ao modelo apresentado na Figura 56.

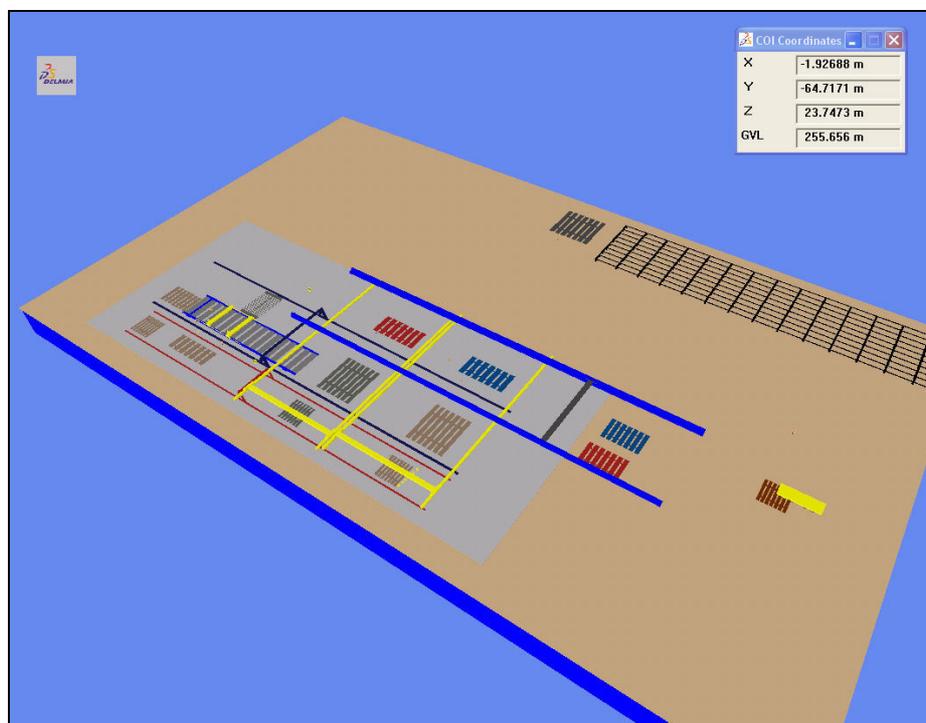


Figura 56 – Modelo QUEST de áreas do estaleiro integradas

Com o modelo QUEST configurado corretamente, foi possível realizar a simulação da produção de dois blocos da embarcação-tipo adotada para este trabalho. Os resultados gerados pelo modelo são apresentados na Tabela 37 a Tabela 54, no Anexo 2. As tabelas apresentam detalhes sobre a utilização e o desempenho de cada elemento do sistema e da produção de partes e componentes para o período de simulação considerado.

A partir dessas tabelas é possível avaliar a utilização de recursos e níveis de estoques intermediários, e verificar a produção efetiva de produtos intermediários e do produto final.

O modelo apresentado neste trabalho é apenas um protótipo para testar as etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação a partir do DPE. Não serão realizadas análises sobre o sistema de produção modelado, pois não acrescentaria nenhuma informação relevante com relação ao objetivo colocado neste trabalho.

#### **4.6. Uso da Simulação para Análise Integrada de Estratégias de Construção**

Utilizando como base o trabalho desenvolvido e apresentado acima, referente à criação de um protótipo do modelo geral do estaleiro, desenvolveu-se uma aplicação da simulação no planejamento e organização de estações de trabalho e na análise integrada de processos críticos como a montagem de blocos e edificação.

A aplicação desenvolvida busca validar o conceito de Tecnologia de Grupo, mencionado diversas vezes ao longo desta Tese, através da análise de diferen

alternativas de agrupamento de produtos intermediários. Também procura validar a otimização do processo de edificação ao avaliar diferentes estratégias de edificação (SOUZA *et al.*, 2008).

Nesta aplicação, os modelos representam oficinas de um estaleiro hipotético dedicado à fabricação de navios tanque *Suezmax*.

A metodologia desenvolvida pode fornecer suporte à tomada de decisões no que se refere ao planejamento da produção, dimensionamento de recursos e estabelecimento de regras de trabalho.

Como visto anteriormente, a estrutura do corpo paralelo de um navio *Suezmax* típico foi modelada tridimensionalmente. Para cada peça da estrutura foi determinada identificação própria, permitindo o entendimento de suas necessidades e processos inerentes.

Dois frentes de análise foram estabelecidas de forma independente. A primeira corresponde a modelos com diferentes configurações para a montagem de blocos e a segunda corresponde ao processo de edificação.

O modelo de montagem de blocos avalia problemas de agrupamento de blocos em estações de trabalho específicas e de dimensionamento de estações de trabalho.

No modelo de edificação foram avaliadas diferentes estratégias (anel, camada e piramidal), avaliando-se a utilização de recursos e tempos de produção.

Em seguida, os modelos foram integrados. A integração permitiu verificar como as interferências entre as duas áreas consideradas podem alterar de forma relevante os cenários de produção.

O conceito de Tecnologia de Grupo aplicado à construção naval subdivide as embarcações em produtos intermediários ou famílias de produtos baseado nas características similares dos processos produtivos. Dessa forma, os processos podem ser racionalizados com a eliminação de atividades que não agregam valor.

As famílias de produtos classificadas a partir de processos similares precisam compartilhar as mesmas facilidades, o que pode gerar ineficiência, atrasos, estoques, e altos custos. Assim, o gerenciamento de operações precisa estar de acordo com as restrições de recursos, caminho críticos, marcos do contrato, prazos e especificações da demanda (SPICKNALL, 1995).

A formação de células de trabalho especializadas ou linhas de produção podem incrementar a utilização de recursos; gerar economias de escala; e reduzir o tempo total de ciclo de produção para diferentes famílias com a produção em paralelo.

A estratégia de edificação incorpora e comunica todo o planejamento da produção para uma embarcação específica, série de contratos ou estaleiro específico (LAMB e CLARK, 1995).

São diversas as razões para o estudo de diferentes estratégias de edificação, entre elas: (a) assegurar que os processos irão respeitar as restrições e requisitos do estaleiro, do cliente final, e do ambiente de negócios; e (b) permitir o planejamento de operações táticas a partir de ordens de produção, fluxo de materiais, programação da produção.

A simulação é utilizada no presente estudo como ferramenta para avaliar diferentes agrupamentos de produtos intermediários e seqüências de produção

adotadas em diferentes áreas de produção, com relação aos impactos no volume de produção e na produtividade de um estaleiro hipotético.

Após a definição da forma mais adequada de classificação de produtos foram estabelecidas diferentes alternativas de configurações de recursos.

O dimensionamento das estações de trabalho da oficina de montagem de blocos foi realizado em etapa posterior.

Os resultados obtidos indicam, para o estaleiro hipotético modelado, a melhor estratégia de classificação de produtos intermediários e as quantidades de cada tipo de estação de trabalho.

A edificação é o último estágio da produção de estruturas, mas é a primeira atividade a ser considerada para o planejamento e programação de atividades.

O processo de edificação também é considerado crítico uma vez que o ciclo de produção no berço de construção determina, normalmente, a capacidade de produção de um estaleiro.

No entanto, nem sempre a melhor seqüência de edificação é, também, a melhor seqüência a ser adotada em outras oficinas da área de estruturas de um estaleiro.

Uma vez avaliada a melhor estratégia de edificação, em função dos tempos de produção e utilização de recursos, pode-se avaliar a melhor seqüência de chegada dos blocos para atender à estratégia selecionada.

Cada tipo de agrupamento corresponde a um conjunto de estações de trabalho, especializadas na produção de um grupo de produtos intermediários.

A árvore de produtos, processos e recursos definida no DPE foi exportada para o sistema QUEST (simulação de eventos discretos) para realização da simulação e avaliação dos volumes e tempos de produção.

Os modelos básicos para avaliação de estratégias de agrupamento possuem apenas uma estação de trabalho de cada tipo. Dessa forma, selecionou-se a estratégia de classificação que apresentou o melhor desempenho.

Para análise da melhor estratégia de edificação fixou-se, inicialmente, uma seqüência de chegada dos blocos na área de edificação. Definida essa seqüência, os processos de edificação foram modelados considerando-se as restrições específicas associadas a cada estratégia de edificação.

#### **4.6.1. Metodologia**

Os modelos desenvolvidos são baseados em uma estrutura que relaciona estações de trabalho, produtos, processos e recursos. Os produtos, processos e recursos necessários para a realização de atividades específicas são reunidos em estações de trabalho destinadas a essas atividades.

Os modelos têm característica modular baseada nas estações de trabalho, que poderão ser incluídas, retiradas ou modificadas no sentido de considerar alternativas de processos e recursos disponíveis.

Os modelos têm capacidade para avaliar diferentes estratégias de construção (considerando o *mix* de produção e as instalações), e os respectivos tempos de produção, produtividade global e ocupação das estações de trabalho.

Também é possível identificar gargalos e avaliar o impacto de mudanças no fluxo de materiais e no aumento da produtividade de processos específicos.

Como parte do delineamento geral do problema, selecionou-se um tipo de embarcação, e definiu-se o mapeamento e classificação de todos os elementos estruturais.

A embarcação selecionada foi do tipo *Suezmax* e todos os elementos do corpo paralelo, proa e popa foram levantados. Utilizou-se o mesmo modelo 3D desenvolvido e apresentado nas seções anteriores.

No entanto, nesta primeira fase, devido a dificuldades de modelagem 3D das seções do navio com curvaturas complexas, optou-se por considerar apenas o corpo paralelo da embarcação.

Também faz parte do delineamento do problema a obtenção de informações sobre processos e recursos. Com relação aos processos foram definidas áreas do estaleiro, e associados os respectivos produtos intermediários.

Informações referentes ao conteúdo de trabalho necessário para processar cada um dos produtos intermediários foram levantadas e armazenadas em banco de dados. Com as informações de produto e de conteúdos de trabalho foram obtidos os tempos de processos. Desenvolveu-se uma metodologia para o cálculo dos tempos, uma vez que dados reais de produção não estavam disponíveis. O cálculo dos tempos de ciclo de processos exigiu esforço considerável devido ao nível de detalhamento de processos adotado. Os conteúdos de trabalho e os cálculos de tempo de ciclo de processos para a estrutura de produtos considerada já foram apresentados nas seções anteriores.

Com relação aos recursos foi realizado um levantamento de facilidades e especialidades de trabalhadores normalmente requisitadas para os processos de construção naval.

Os modelos demonstram o potencial da ferramenta de simulação, tanto em relação à visualização do produto, como em relação à capacidade de geração de informações e realização de análises.

Os dados referentes aos produtos, processos e recursos alimentaram modelos no DPE para análise de tempos de ciclo de processos e para preparar o modelo a ser construído no simulador de eventos discretos QUEST.

O DPE permite que a estrutura de produtos seja modelada de forma simples e intuitiva, ampliando o conhecimento do produto a ser fabricado e facilitando a análise de processos e de dimensionamento dos recursos necessários para a produção eficiente.

Ao longo do trabalho de implantação do modelo na plataforma Delmia, foram estabelecidos: os fluxos de materiais, as lógicas de processos e de roteamento, detalhes de visualização e posicionamento de elementos, e configurações para sistemas de movimentação de partes e componentes encontrados em um estaleiro.

#### **4.6.2. Estratégias de Edificação**

A Figura 57, a Figura 58 e a Figura 59 a seguir ilustram cada uma das estratégias de edificação adotadas neste trabalho.

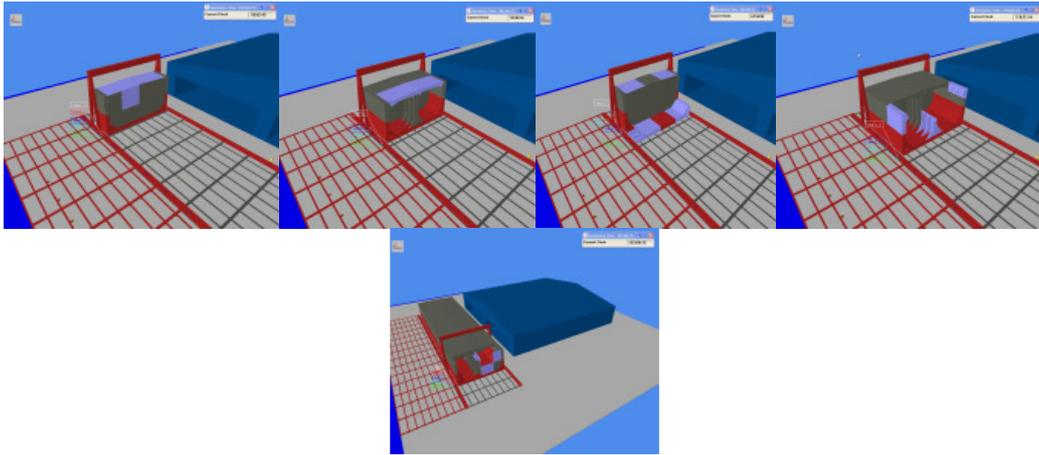


Figura 57 – Estratégia de edificação por anéis

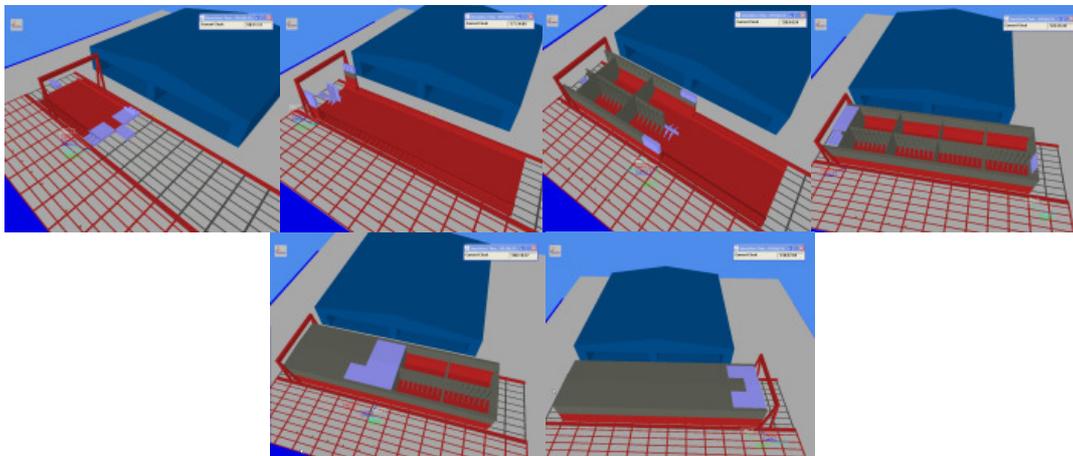


Figura 58 – Estratégia de edificação por camadas

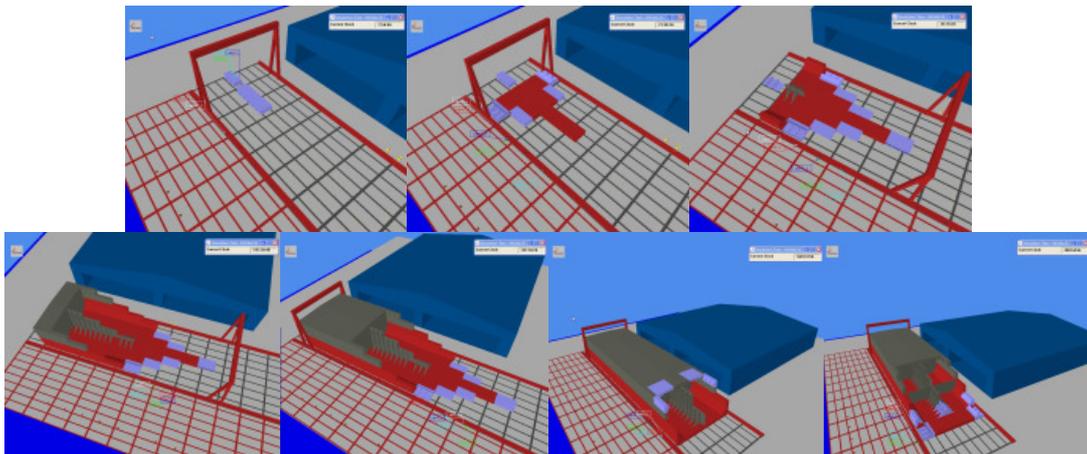


Figura 59 – Estratégia de edificação piramidal

#### 4.6.3. Agrupamento de Blocos

Cada configuração adotada, segundo a estratégia de agrupamento, corresponde a um conjunto de estações de trabalho especializadas na produção de cada grupo de produtos intermediários assumidos.

Para cada agrupamento foi gerado um modelo DPE o qual, posteriormente, foi exportado para o sistema QUEST para simulação e avaliação dos volumes e tempos de produção.

Na Figura 60 são apresentadas imagens dos blocos utilizados no modelo de oficina de montagem de blocos e na área de edificação.

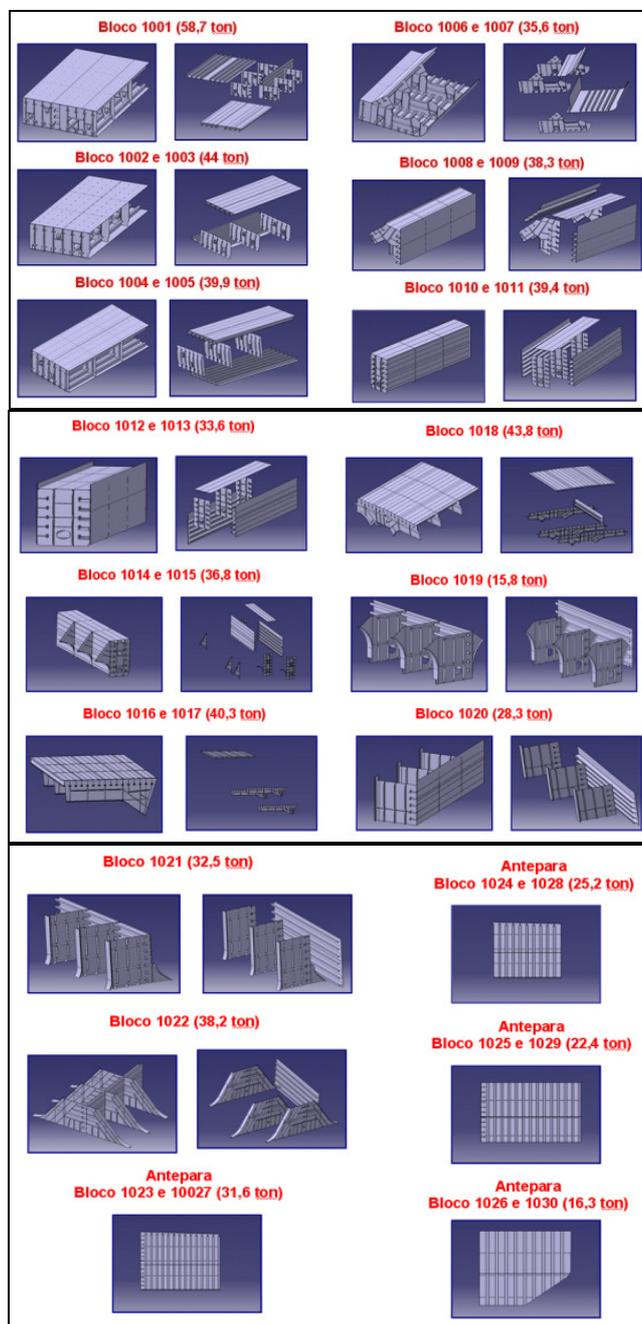


Figura 60 – Blocos modelados

Inicialmente, foram identificadas e classificadas as famílias de produtos intermediários (blocos planos) a partir de determinados atributos como: características físicas, comprimentos de solda na posição horizontal (*flat*), peso dos blocos e número de elementos (submontagens e painéis).

A Figura 61, a Figura 62, a Figura 63 e a Figura 64 com as classificações citadas, são apresentadas a seguir.

|                              |   |
|------------------------------|---|
| CLASSE 1<br>Blocos Complexos | 1001, 1006, 1007,<br>1008, 1009, 1022   |
| CLASSE 2<br>Blocos Fechados  | 1002, 1003, 1004, 1010,<br>1011, 1012, 1013, 1014,<br>1015                                  |
| CLASSE 3<br>Blocos Abertos   | 1021, 1020, 1019, 1026,<br>1025, 1024, 1023, 1030,<br>1029, 1028, 1027, 1018,<br>1016, 1017 |

Figura 61 – Agrupamentos 1 (Características Físicas)

|   |   |
|---|---|
| CLASSE 1<br>Comprimento de Solda Flat:<br>de 70 à 141,8 m.  | 1001, 1010, 1012,<br>1013, 1014, 1015,<br>1018  |
| CLASSE 2<br>Comprimento de Solda Flat:<br>de 35,3 à 64,5 m. | 1002, 1003, 1004,<br>1005, 1008, 1009,<br>1011, 1016, 1017,<br>1021                   |
| CLASSE 3<br>Comprimento de Solda Flat:<br>de 8,4 à 26,6 m.  | 1006, 1007, 1019, 1020,<br>1022, 1023, 1024, 1025,<br>1026, 1027, 1028, 1029,<br>1030 |

Figura 62 – Agrupamentos 2 (Comprimento de solda na posição horizontal)

|   |  |
|---|--|
| CLASSE 1<br>Peso dos Blocos:<br>de 38,3 à 58,7 toneladas. | 1001, 1002, 1003, 1004,<br>1005, 1008, 1009, 1010,<br>1011, 1016, 1017, 1018 |
| CLASSE 2<br>Peso dos Blocos:<br>de 33,6 à 38,2 toneladas. | 1006, 1007, 1012, 1013,<br>1014, 1015, 1022                                  |
| CLASSE 3<br>Peso dos Blocos:<br>de 15,8 à 32,5 toneladas. | 1019, 1020, 1021, 1023,<br>1024, 1025, 1026, 1027,<br>1028, 1029, 1030       |

Figura 63 – Agrupamentos 3 (Peso dos Blocos)

|  |  |
|--|--|
| CLASSE 1 –<br>Conjunto de elementos<br>Blocos formados por:<br>3 Painéis e 6 Submontagens,<br>4 Painéis e 6 Submontagens                                 | 1001, 1006, 1007, 1014,<br>1015, 1018  |
| CLASSE 2 –<br>Conjunto de elementos<br>Blocos formados por:<br>2 Painéis e 3 Submontagens,<br>3 Painéis e 3 Submontagens                                 | 1002, 1003, 1004,<br>1005, 1008, 1009,<br>1010, 1011, 1012,<br>1013                            |
| CLASSE 3 –<br>Conjunto de elementos<br>Blocos formados por:<br>1 Painéis e 3 Submontagens,<br>1 Painéis e 6 Submontagens,<br>1 Painéis e 0 Submontagens, | 1016, 1017, 1019,<br>1020, 1021, 1022,<br>1023, 1024, 1025,<br>1026, 1027, 1028,<br>1029, 1030 |

Figura 64 – Agrupamento 4 (Número de Painéis e Submontagens)

#### 4.6.4. Procedimento Geral de Análise

O processo de análise se inicia com a consideração de uma estratégia de edificação que define uma seqüência. Essa seqüência passa a ser adotada também na fase de montagem de blocos.

A partir da seqüência de edificação e de montagem de blocos são testados diferentes agrupamentos de estações de trabalho na oficina de montagem de blocos, e é realizado um dimensionamento de estações de trabalho nessa mesma oficina onde são levantadas informações sobre a produção e estoques.

Em seguida o modelo de edificação usa essas informações para calcular o tempo integrado de produção, considerando-se as atividades na oficina de montagem de blocos e na área de edificação. Para cada uma das três estratégias de edificação um ciclo de análise como o descrito é realizado.

A Figura 66 apresenta um esquema do procedimento geral da análise.

#### 4.6.5. Descrição geral dos modelos de montagem de blocos

Os modelos foram configurados para a produção do corpo paralelo de um navio tipo *Suezmax*. Considerou-se para a simulação o tempo de 2086 horas que correspondem a 40 horas semanais de trabalho.

Devido ao fato de não haver dados operacionais disponíveis que pudessem representar falhas no modelo, foram adicionadas taxas de falhas a todas as estações de trabalho estimadas com uma distribuição normal ocorrendo de 8 em 8 horas (desvio padrão de 2 horas) e tempo de reparo/retrabalho de 20 minutos, apenas para fins ilustrativos.

Os tempos de montagem de blocos apresentam distribuição triangular e foram calculados segundo o comprimento de solda e ao fator de complexidade de cada tipo de bloco.

O modelo desenvolvido para a oficina de montagem de blocos é apresentado na Figura 65.

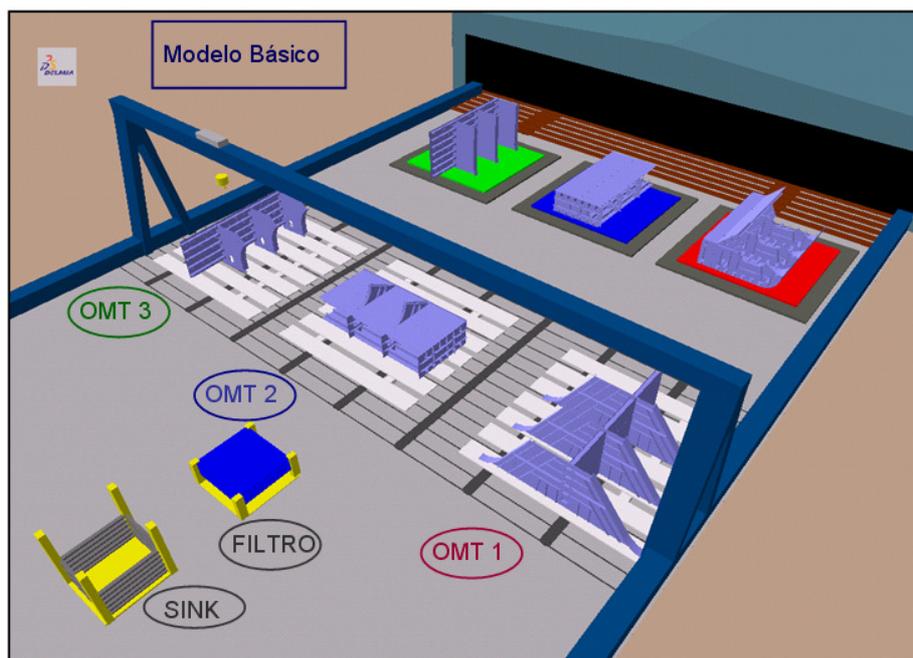


Figura 65 – Modelo da oficina de montagem de blocos

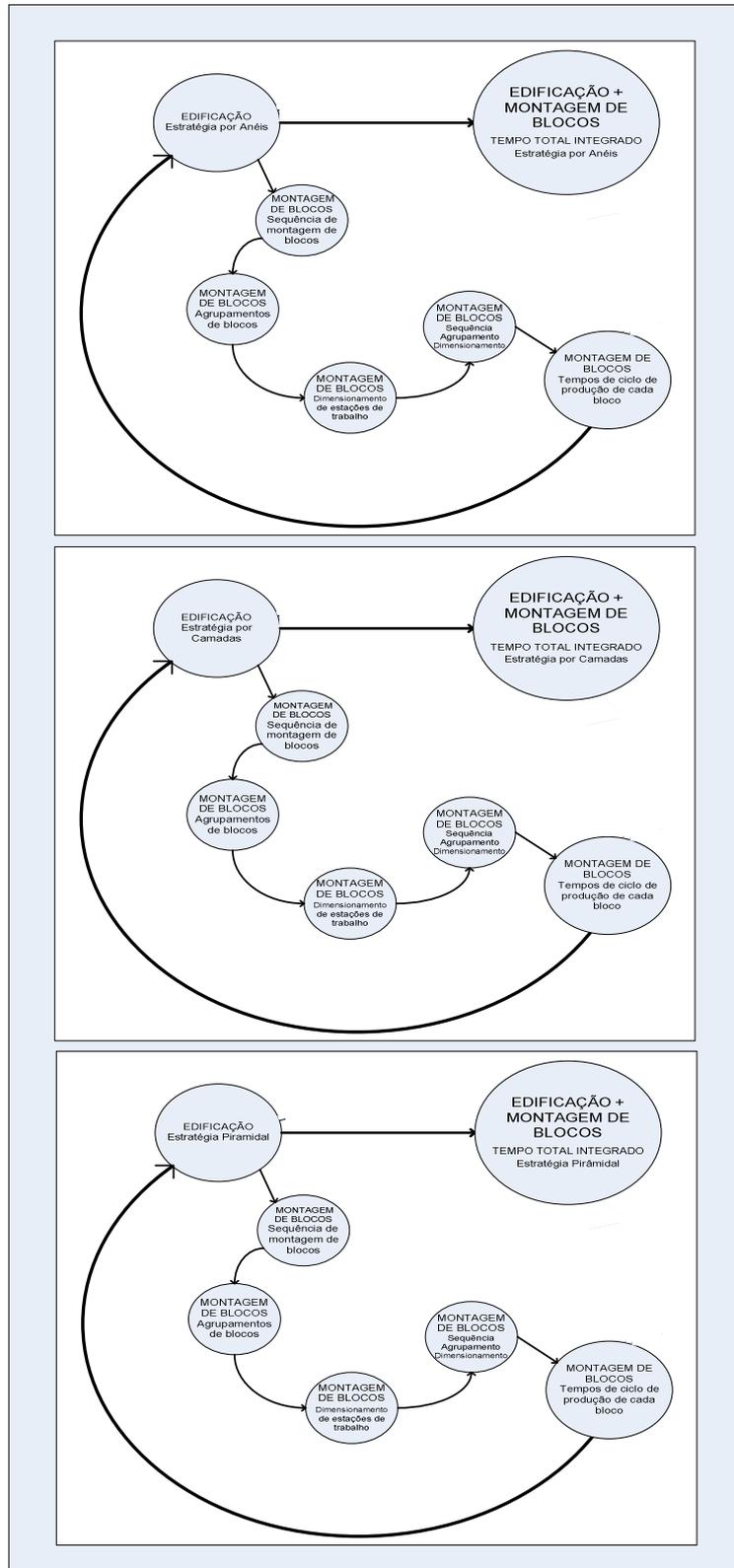


Figura 66 – Procedimento geral de análise

O processo se inicia com uma fonte que realiza a leitura de uma tabela com peças (componentes dos blocos) e com seus respectivos roteiros, ou seja, define-se para quais oficinas o grupo de componentes deve ser encaminhado.

A lógica de roteamento utilizada na fonte impede que peças de um mesmo bloco sejam distribuídas aleatoriamente pelas estações, garantindo que as estações recebam sempre as peças necessárias para a montagem de um determinado bloco.

Realizada a etapa de montagem, os blocos são movimentados por uma única ponte rolante que os deixa em áreas de acumulação (*buffers*) específicas para cada classe de bloco.

Dos *buffers* os blocos são enviados para uma máquina filtro. Essa máquina permite que os blocos montados sejam requisitados na ordem adequada de forma a considerar a estratégia de edificação previamente escolhida.

A máquina filtro envia os blocos na seqüência correta para um *sink* (dissipador). O *sink* possui uma lógica de processo, onde os tipos de blocos e seus tempos de chegada são armazenados em uma tabela que será usada na integração do modelo de edificação. Essa tabela representa a disponibilidade dos blocos produzidos para aproveitamento na análise da edificação integrada.

#### 4.6.6. Análise de agrupamentos

Os modelos de simulação desenvolvidos de acordo com a estratégia de edificação foram testados para cada tipo de agrupamento. O tempo de simulação foi de 2086 horas. Realizaram-se diversas replicações (20) e efetuou-se o cálculo das médias dos valores encontrados.

A produção foi avaliada no seu estado de equilíbrio (contínuo), estabelecendo-se tempo de aquecimento do sistema (*warm up*) de 600 horas.

Os resultados do modelo de simulação são apresentados na Tabela 38 e na Tabela 39.

Foram avaliadas as utilizações de cada oficina de montagem de blocos presente nos modelos de simulação onde cada agrupamento apresentou diferentes taxas de utilização dependendo da estação (OMT) avaliada, como observado na Figura 67.

Tabela 38 – Estoques para seqüência de montagem por anéis

| Agrupamento | Cascos produzidos | Nº. de Blocos para edificação | Total de blocos produzidos |
|-------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1           | 1,27              | 414,25                        | 490,50                     |
| 2           | 1,28              | 416,00                        | 524,95                     |
| 3           | 1,06              | 345,10                        | 415,55                     |
| 4           | 1,56              | 507,00                        | 604,00                     |

Tabela 39 – Estoques para seqüência de montagem por anéis

| Agrupamento | Estoques |       |       |        |
|-------------|----------|-------|-------|--------|
|             | OMT 1    | OMT 2 | OMT 3 | TOTAL  |
| 1           | 8,60     | 36,65 | 31,00 | 76,25  |
| 2           | 8,10     | 54,00 | 46,85 | 108,95 |
| 3           | 10,90    | 31,65 | 27,90 | 70,45  |
| 4           | 36,00    | 10,00 | 51,00 | 97,00  |

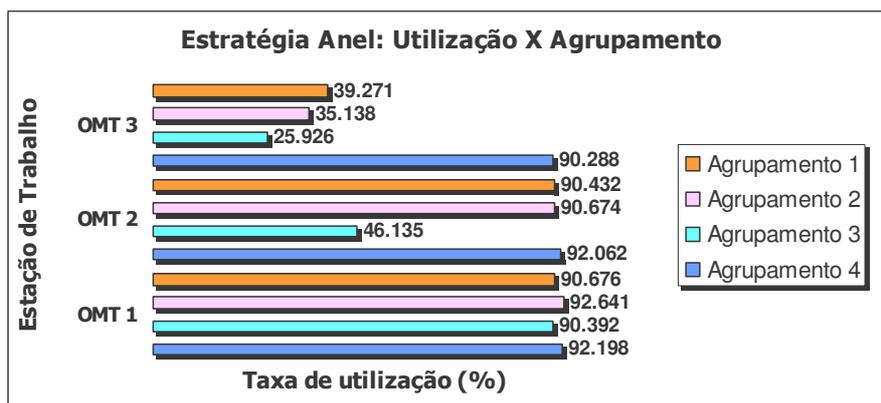


Figura 67 – Agrupamentos (Anel) – Taxas de utilização x Estações de trabalho (OMT)

Com base nos resultados obtidos, optou-se pelo agrupamento 4 para a estratégia de edificação por Anel. Esse agrupamento apresentou maior produção de cascos em um ano (1,56), produziu mais blocos e teve produção mais adequada à estratégia escolhida.

O agrupamento mais adequado para estratégia de edificação por Camada também foi o agrupamento 4, ou seja, com blocos agrupados por número de painéis e submontagens (Os resultados são apresentados na Tabela 40 e na Tabela 41 e no Figura 68). Neste caso, o agrupamento do tipo 4 apresentou maior produção de cascos em um ano (1,61), produziu mais blocos e teve produção mais adequada a estratégia escolhida. A média das taxas de utilização por estações de trabalho também obtiveram melhor desempenho.

Tabela 40 – Produção para seqüência de montagem por camadas

| Agrupamento | Cascos produzidos | Nº. de Blocos para edificação | Total de blocos produzidos |
|-------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1           | 0,92              | 301,00                        | 301,00                     |
| 2           | 1,40              | 456,85                        | 488,80                     |
| 3           | 1,14              | 372,60                        | 386,90                     |
| 4           | 1,61              | 526,00                        | 564,00                     |

Tabela 41 – Estoques para seqüência de montagem por camadas

| Agrupamento | Estoques |       |       |       |
|-------------|----------|-------|-------|-------|
|             | OMT 1    | OMT 2 | OMT 3 | TOTAL |
| 1           | 0,00     | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 2           | 0,05     | 17,15 | 14,75 | 31,95 |
| 3           | 0,05     | 13,50 | 0,75  | 14,30 |
| 4           | 10,00    | 0,00  | 28,00 | 38,00 |

Em relação à estratégia de edificação por pirâmide (ver Tabela 42, Tabela 43 e Figura 69), o agrupamento 4 também mostrou-se como o mais adequado. Apresentou melhores resultados com relação à produção de cascos número de blocos produzidos e nivelamento das taxas de utilização de cada oficina.

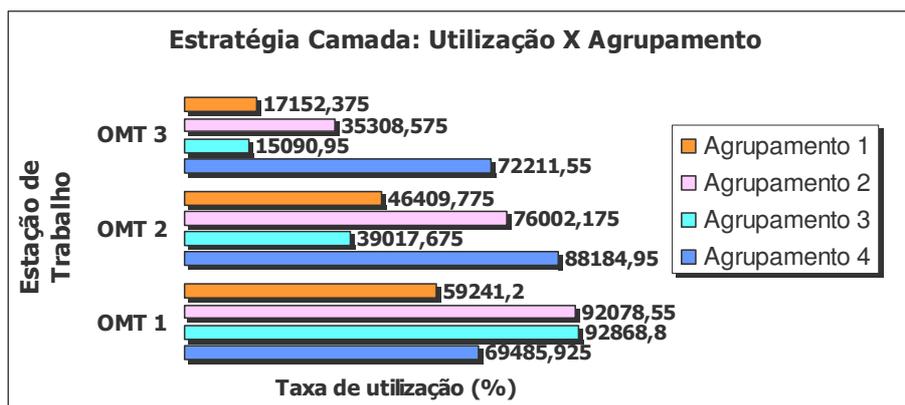


Figura 68 – Agrupamentos (Camada) – Taxas de utilização x Estações de trabalho (OMT)

Tabela 42 – Produção para seqüência de montagem piramidal

| Agrupamento | Cascos produzidos | Nº. de Blocos para edificação | Total de blocos produzidos |
|-------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1           | 1,46              | 477,00                        | 523,00                     |
| 2           | 1,49              | 487,00                        | 544,00                     |
| 3           | 1,18              | 384,85                        | 421,75                     |
| 4           | 1,68              | 547,00                        | 597,00                     |

Tabela 43 – Estoques para seqüência de montagem piramidal

| Agrupamento | Estoques |       |       |       |
|-------------|----------|-------|-------|-------|
|             | OMT 1    | OMT 2 | OMT 3 | TOTAL |
| 1           | 0,00     | 29,00 | 17,00 | 46,00 |
| 2           | 0,00     | 30,00 | 27,00 | 57,00 |
| 3           | 0,10     | 20,20 | 16,60 | 36,90 |
| 4           | 18,00    | 0,00  | 32,00 | 50,00 |

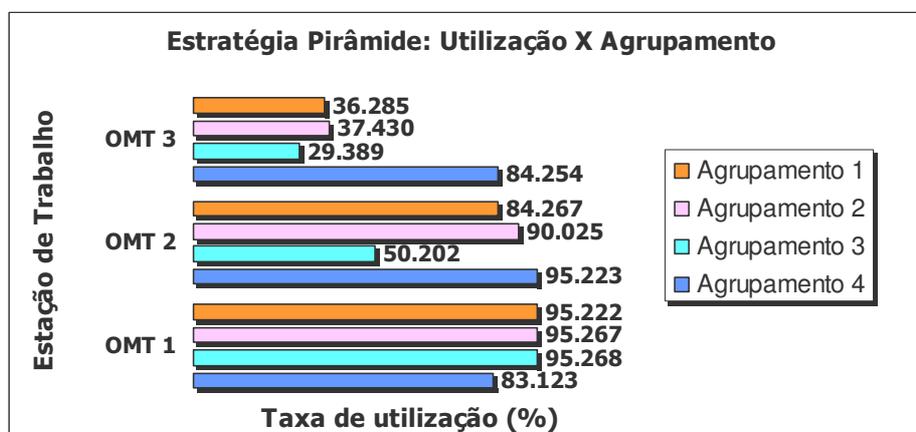


Figura 69 – Agrupamentos (Pirâmide) – Taxas de utilização x Estações de trabalho (OMT)

#### 4.6.7. Dimensionamentos de estações de trabalho

Como visto anteriormente, os modelos foram desenvolvidos de acordo com cada estratégia de edificação e selecionados a partir do melhor agrupamento. No caso, o agrupamento 4, blocos foram classificados por número de elementos, foi o melhor para todas as estratégias.

Posteriormente os modelos para cada uma das estratégias de edificação, considerando-se o agrupamento de melhor desempenho, foram dimensionados para fazer a comparação entre níveis de produtividade e de estoques.

Nesse sentido, foram testadas algumas configurações de dimensionamento tendo em vista o volume de produção, a utilização das estações de trabalho e a capacidade de absorção dos blocos produzidos pelo modelo de edificação.

O tempo de simulação foi novamente considerado como 2086 horas. Realizaram-se 20 replicações e calcularam-se as médias de todos os valores encontrados. A produção foi avaliada em estado de equilíbrio (adotou-se tempo de *warm up* de 600 horas).

Os modelos de dimensionamento foram, inicialmente, definidos por 4 estações de trabalho contendo:

- Uma estação de montagens de blocos do tipo 1 (OMT 1)
- Duas estações de montagem de bloco do tipo 2 (OMT 2)
- Uma estação de montagem de bloco do tipo 3 (OMT 3)

A segunda configuração de dimensionamento com 7 estações de trabalho foi definida contendo:

- Duas estações de montagens de blocos do tipo 1 (OMT 1)
- Três estações de montagens de blocos do tipo 2 (OMT 2)
- Duas estações de montagens de blocos do tipo 3 (OMT 3)

A seguir serão apresentados gráficos com os resultados das simulações para configurações com 4 estações de trabalho (dimensionamento 1) e com 7 estações de trabalho (dimensionamento 2), e para cada seqüência de montagem.

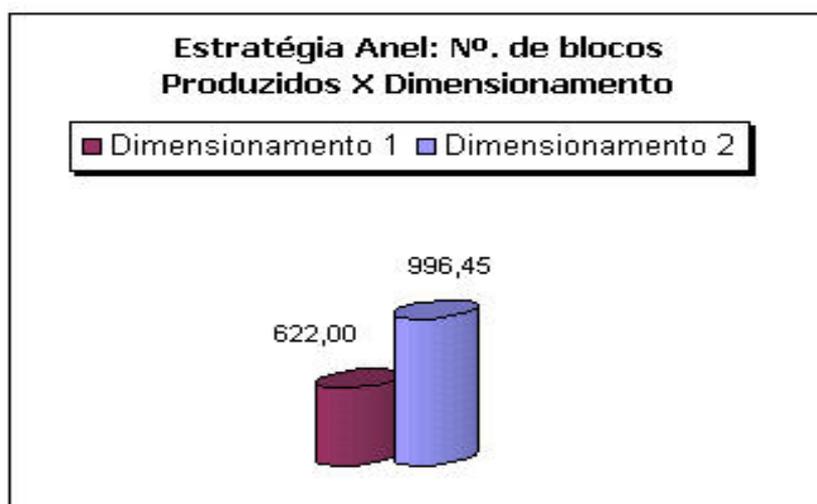


Figura 70 – Estratégia Anel - Nº. de blocos Produzidos vs. Dimensionamentos (1 e 2)

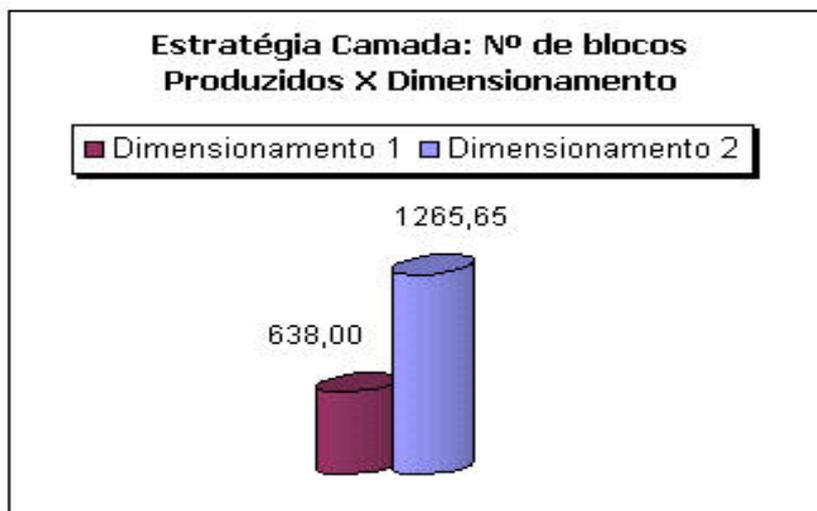


Figura 71 – Estratégia Camada - Nº. de blocos Produzidos vs. Dimensionamentos (1 e 2)

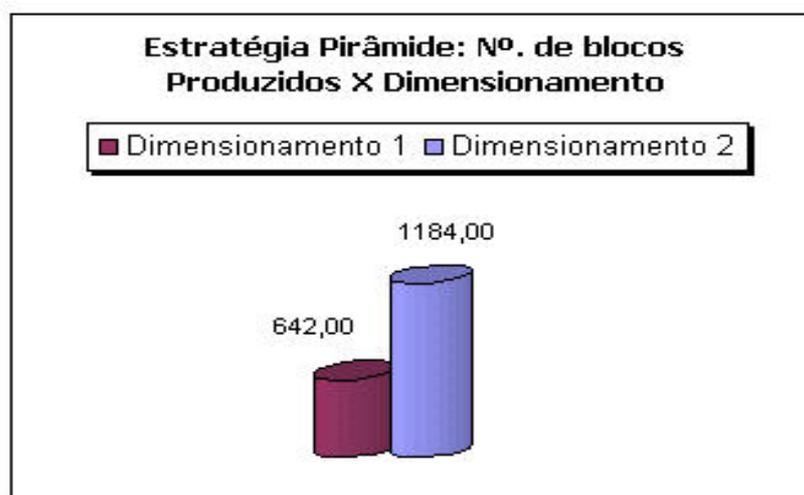


Figura 72 – Estratégia Pirâmide - Nº. de blocos Produzidos vs. Dimensionamentos (1 e 2)

Nos modelos que continham apenas uma estação de trabalho de cada tipo (OMT 1, OMT 2, e OMT 3), o agrupamento por número de elementos apresentou melhor desempenho nos modelos de simulação desenvolvidos para todas as estratégias de edificação.

Vale ressaltar que o agrupamento por número de elementos utilizou uma classificação de blocos a serem produzidos por estações de trabalho básicas. Assim cada estação de trabalho (OMT 1, OMT 2, e OMT 3) produziu um grupo específico de blocos.

As configurações com o tipo de agrupamento escolhido (agrupamento 4) demonstraram maior volume de produção (porcentagem de casco de uma embarcação tipo *Suezmax* produzidos), maior número de blocos montados, e taxas de utilização niveladas.

O dimensionamento dos modelos selecionados para cada estratégia de edificação foi estabelecido determinando o incremento de uma estação de trabalho do tipo OMT 2, tornando assim, o modelo com o total de quatro estações. E em seguida o

modelo foi configurado para conter duas estações do tipo OMT 1 e OMT 3 e três estações do tipo OMT 2.

Foram testadas outras configurações de dimensionamento (maior número de estações de trabalho) em função do fato de que o espaço reservado para a área de montagem de blocos comporta mais estações, contudo houve o acúmulo considerável de estoques de blocos, já que os equipamentos de movimentação não suportariam a maior demanda.

#### 4.6.8. Análise de estratégias de edificação

Os modelos de edificação foram inicialmente avaliados de forma independente, ou seja, sem integração com o modelo de montagem de blocos.

O objetivo principal foi identificar diferenças entre as estratégias consideradas e o impacto da mudança da velocidade do guindaste de pórtico em cada estratégia.

Assumiu-se, neste caso, que há sempre blocos no estoque pronto para serem edificados, implicando que não há esperas para o processo de edificação.

Os tempos de soldagem foram calculados a partir do comprimento de solda. Para efeito da análise realizada considerou-se que quanto maior o número de interfaces, maior variação dos tempos de solda. Assim, adotou-se uma distribuição triangular simétrica para o tempo de solda, com variações de 10%, 20% e 30% em relação à moda dependendo do tipo de bloco.

Foram consideradas duas velocidades para o guindaste de pórtico da área de edificação: 360 m/h (dado padrão do sistema Quest) e 1800 m/h (KIM *et. al.*, 2002).

O número de trabalhadores (onde cada trabalhador representa, no modelo, equipes de trabalho), foi alterado de 1 até 10.

Observou-se que em todas as estratégias, o tempo de edificação se estabiliza a partir de 5 grupos de soldadores (Figura 73 e Figura 74).

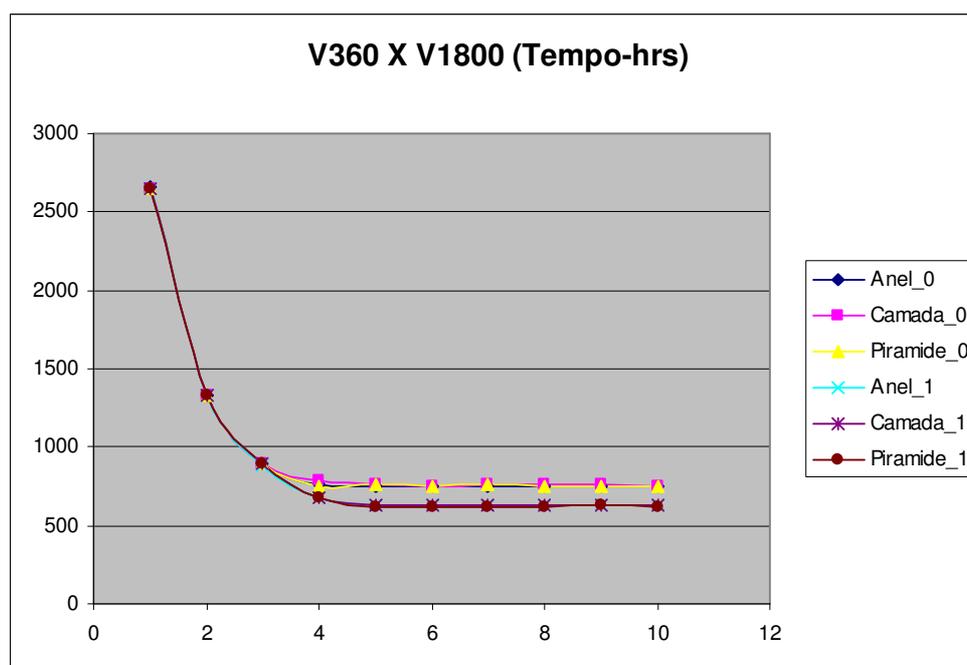


Figura 73 – Tempo de edificação vs. Número de trabalhadores

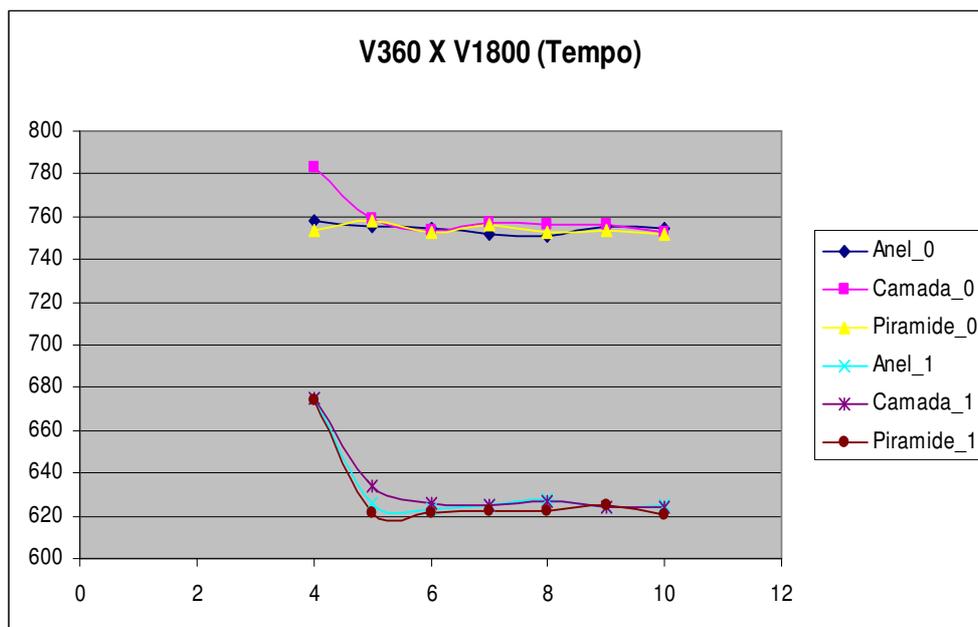


Figura 74 – Tempo de edificação vs. Número de trabalhadores (Detalhe)

As quantidades ótimas de trabalhadores, quatro para a velocidade 360 m/h, e cinco para a velocidade de 1800 m/h, (conforme ilustrado na Figura 73 e na Figura 74), são observadas quando a utilização do pórtico fica maior que a dos trabalhadores.

Além disso, quando se diminui a quantidade de trabalhadores, a utilização do pórtico também é reduzida, pois os processos de solda são interrompidos por mais tempo.

A segunda etapa do modelo foi realizada utilizando os dados de saída do modelo de montagem de blocos. Esses dados de saída consideraram o melhor agrupamento e dimensionamento.

Nesse estudo, a simulação foi realizada considerando-se apenas a quantidade ótima de trabalhadores para a velocidade de 1800 m/h. Os tempos totais de edificação, utilização das equipes de solda e utilização do pórtico foram obtidos para 20 replicações do modelo integrado.

A Figura 75 e a Figura 76 mostram os resultados obtidos.

Observa-se que o dimensionamento das estações de trabalho da oficina de montagem de blocos e a seqüência de montagem de blocos influenciam diretamente os resultados do modelo integrado.

Da análise do modelo integrado pode-se concluir que a estratégia de edificação por anéis é a mais eficiente em termos de tempo total de produção para quatro estações de montagem de blocos. No entanto, se o número de estações aumenta, a melhor estratégia passa a ser a piramidal.

Observou-se também que a melhor seqüência de edificação não é a melhor seqüência a ser disparada na oficina de montagem de blocos. Devido às diferenças de tempo de ciclo de produção entre os blocos considerados, a seqüência disparada para montagem de blocos é diferente da seqüência de chegada dos blocos na área de edificação.

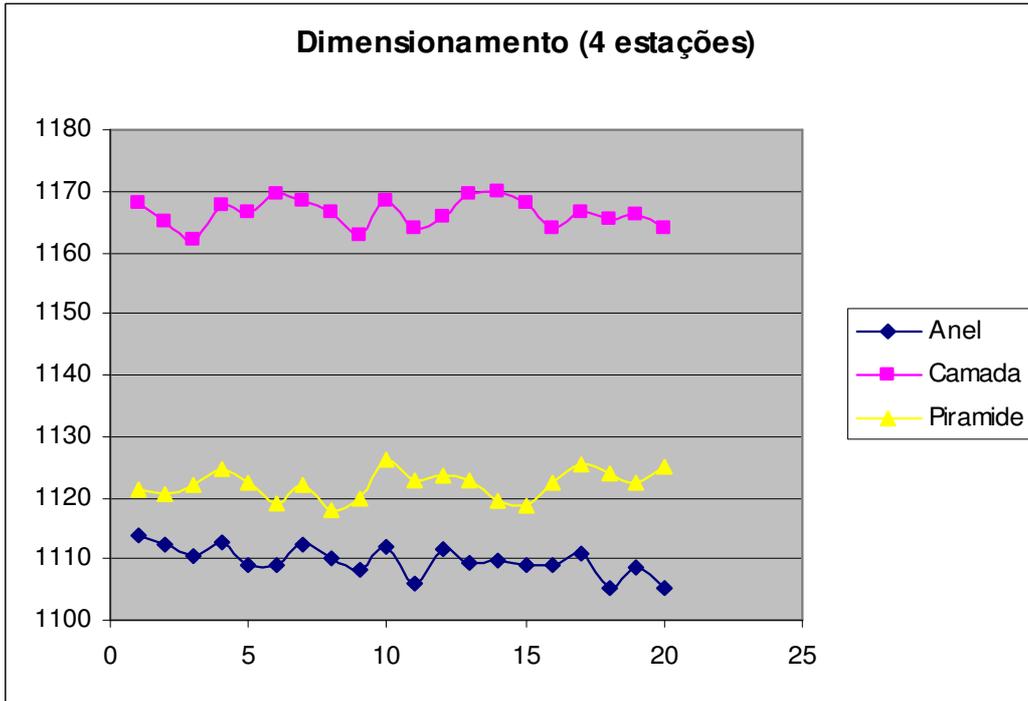


Figura 75 – Tempo total integrado com quatro estações de montagem de blocos

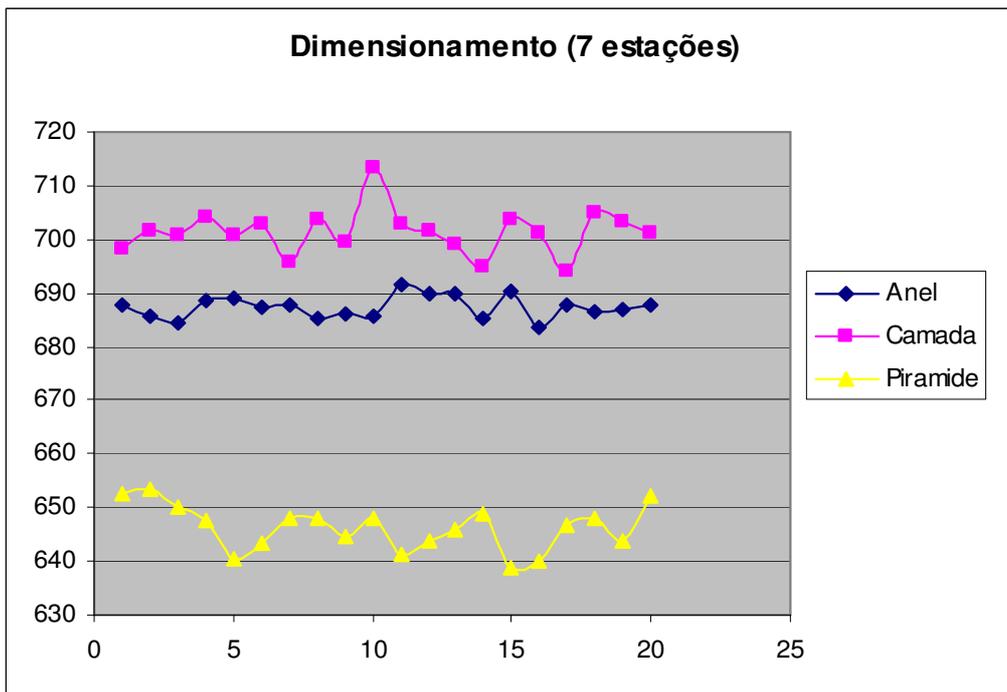


Figura 76– Tempo total integrado com sete estações de montagem de blocos

## 5. SISTEMA DE CONTROLE DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO NAVAL

### 5.1. Introdução

Este Capítulo tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema para aferição criteriosa dos níveis de produtividade. A utilização de um sistema que permita o monitoramento de indicadores críticos permitirá que conceitos, métodos e ferramentas possam ser efetivamente avaliados com relação a seus impactos nos níveis de produtividade praticados por um determinado estaleiro.

A necessidade de comparação entre o que foi planejado e o que está sendo executado é fundamental para a avaliação do desempenho de qualquer organização industrial. O controle envolve a avaliação de aspectos referentes a custo, prazo e qualidade. As ferramentas de controle são desenvolvidas para permitir que problemas relacionados a esses aspectos sejam detectados e que os ajustes necessários no planejamento e na programação das atividades possam ser analisados.

O sistema proposto neste Capítulo considera as produtividades em diferentes áreas do estaleiro e, dentro dessas áreas, em diferentes famílias de produtos. Quanto mais homogêneas as famílias de produtos com relação ao conteúdo de trabalho, mais fácil de acertar o ritmo de cada linha de produção. A produção ideal é aquela onde todas as estações de trabalho e linhas de produção funcionam em sincronia, evitando tempos de espera e estoques de produtos intermediários. Os capítulos acima apresentaram em detalhes esse conceito. O sistema proposto neste Capítulo servirá como um “marcapasso”, permitindo que a leitura dos indicadores indique se o ritmo da produção está muito lento ou rápido demais em cada área do estaleiro.

Conforme explorado no Capítulo 4, quando o trabalho é separado por famílias, utilizando-se princípios de Tecnologia de Grupo, a distribuição estatística da produtividade para cada família terá um comportamento mais estável, portanto estimativas para o planejamento e programação das atividades podem ser obtidos com um grau muito maior de certeza. O controle do desempenho do projeto é também facilitado se os indicadores das operações são mais previsíveis.

O trabalho proposto nesta seção também tem como objetivo aprimorar a capacitação para o gerenciamento de projetos de construção naval permitindo que:

- o risco de construção dos estaleiros brasileiros seja diminuído com a utilização de um sistema de controle e acompanhamento que possa ser empregado tanto pelo estaleiro quanto por armadores, órgãos de governo (como o Departamento do Fundo da Marinha Mercante) e instituições seguradoras ou financeiras (como é o caso do BNDES);
- parâmetros para o planejamento e replanejamento de projetos de construção naval possam ser estimados com base em modelos de análise de dados no estado da arte;
- problemas de desempenho do projeto possam ser antecipados e medidas para a correção dos desvios possam ser tomadas a tempo e de forma adequada.

O sistema é voltado para o acompanhamento do projeto por *stakeholders* (armadores, instituições financeiras, seguradores, órgãos do governo e agências de fomento), com o objetivo de aumentar a confiabilidade da indústria e diminuir o risco construção. No entanto, um sistema de acompanhamento projetado para usuários

externos só tem sentido se também for utilizado dentro do estaleiro, como um módulo de sistemas mais abrangentes. Somente o uso efetivo pelo estaleiro trará a confiança necessária ao sistema proposto. Dessa forma, o sistema é concebido para também ser uma eficiente ferramenta de controle e gestão da produção.

Como ferramenta de controle e gestão da produção utilizada pelo estaleiro, tem o objetivo de estimular a melhoria da produtividade, com redução do tempo de entrega e redução do custo. Esses benefícios seriam atingidos através do controle mais rígido dos processos, da maior transparência na utilização dos recursos, da melhor visão do planejamento e da melhoria na disponibilização dos materiais necessários na produção. Sistemas como o proposto têm a característica de melhorar a comunicação entre os departamentos e a qualidade dos dados, contribuindo para a maior eficiência no projeto do navio e na engenharia de planejamento e construção.

Neste capítulo da tese são apresentados a estrutura padrão de decomposição utilizada, os indicadores e as métricas de para medição do desempenho e os modelos para acompanhamento do comportamento dos indicadores sobre a situação de custo e cronograma do projeto.

Os principais aspectos envolvendo o desenvolvimento de uma estrutura padrão de decomposição do trabalho são discutidos, envolvendo modelos mais agregados e adequados para o acompanhamento por *stakeholders* e modelos mais detalhados e específicos para o controle da produção em projetos de construção naval. Também são abordados aspectos referentes ao papel da estrutura de decomposição do trabalho como indutor do uso de novos conceitos de organização da produção. A prática atual nos estaleiros brasileiros e as vantagens e desvantagens do uso de um modelo padrão também são avaliadas. No final da seção são propostas diretrizes para o desenvolvimento de uma estrutura padrão para ser utilizada de forma efetiva tanto para o acompanhamento pelos *stakeholders*, como para o controle da produção no estaleiro.

Alternativas para os indicadores e as métricas de medição do desempenho são levantadas e avaliadas em função da capacidade de representar de forma simples, adequada e precisa o progresso de um projeto de construção naval. A técnica de parâmetros principais (*leading parameter*), a técnica das taxas baseadas em atividades (*activity based ratios*), o método das diferenças (*variances method*) e a análise do valor adquirido (*earned value analysis*) utilizam indicadores que são considerados na análise. As métricas são avaliadas em função de sua adequação à atividade monitorada. Nesse sentido, são avaliados marcos com valores ponderados (*weighted milestones*), fórmula fixa por atividade (*fixed formula by tasks*), percentual de execução (*percent-complete estimates*), unidades equivalentes (*equivalent completed units*), atividades com características compartilhadas (*apportioned relationships*), nível de esforço (*level of effort*), e combinações dessas métricas. Também são avaliadas métricas objetivas, como o peso de aço, *lightship weight, displacement and gross tonnage*, tanto em função de sua adequação quanto à aplicabilidade na produção. Finalmente, serão indicados os critérios de escolha dos indicadores e das métricas de acordo com as atividades definidas nas diretrizes da estrutura de decomposição do trabalho.

O objetivo deste capítulo é apresentar uma metodologia de controle da produtividade específica para estaleiros, com funções e conceitos que incorporem a melhor prática dos estaleiros líderes, com interfaces específicas para utilização por *stakeholders* (armadores, BNDES, FMM, seguradoras) e que permita a integração

com *softwares* de gerenciamento de projetos, *softwares* de simulação de processos e manufatura digital e sistemas ERP.

Entre os objetivos a serem atingidos com destacam-se os seguintes:

- permitir a obtenção consistente de indicadores de desempenho;
- melhorar a capacidade de estimar projetos;
- melhorar a capacidade de gerenciar projetos;
- melhorar a comunicação entre estaleiros, armadores e demais agentes;
- permitir a comparação com as práticas do mercado;
- avaliar o impacto da introdução de novas tecnologias;
- prover a alta direção do estaleiro, dos armadores e de outras instituições participantes com informações gerenciais.

## **5.2. Modelo padronizado de estruturas analíticas de projetos (Work Breakdown Structure – WBS) na construção naval**

No começo dos anos 60 foi criada a ferramenta conhecida como *Work Breakdown Structure* – WBS para definir o escopo de um projeto e dar a ele elementos para permitir o seu gerenciamento como um esforço único, uma unidade transitória de trabalho passando pela estrutura permanente de uma organização (FLEMING e KOPPELMAN, 2000). Com base na WBS, além da definição do escopo do projeto, são realizadas as estimativas de tempo e custo do projeto que auxiliam na definição de estratégias de alocação de recursos. Projetos bem-sucedidos normalmente usam essa ferramenta para definir os objetivos em um nível de detalhamento compatível com as limitações encontradas para o seu gerenciamento efetivo.

As WBS, ou Estruturas Analíticas de Projetos (EAP), segundo PMI (2001), dão suporte para a definição do trabalho em função dos objetivos do projeto e estabelecem as estruturas para o gerenciamento do trabalho até a sua conclusão. A WBS é utilizada de maneira geral para definir os produtos intermediários de um projeto e decompô-los em subprodutos. Também é a base para o estabelecimento dos recursos/custos a serem empregados nos processos de execução das atividades, e para a definição das responsabilidades pelo acompanhamento e coordenação dos serviços.

PMI (2000) descreve a WBS como sendo agrupamento de elementos do projeto orientados ao resultado principal que organiza e define o escopo total do trabalho do projeto. É composta de níveis hierárquicos onde cada nível descendente representa uma definição cada vez mais detalhada do trabalho do projeto. Os elementos contidos nos níveis mais baixos são chamados pacotes de trabalho, que podem ser decompostos em outras estruturas como subprojetos. Dessa forma, o escopo do projeto é dividido em pacotes de trabalho hierárquicos, gerenciáveis e mensuráveis que balanceiam as necessidades de controle no gerenciamento com os níveis apropriados de dados de projeto.

Cada elemento da WBS possui um identificador que facilita a agregação das informações sobre custos e os recursos utilizados. A codificação dos produtos intermediários, subprodutos e pacotes de trabalho de um projeto é fundamental para que o fluxo de informações referentes ao desempenho desses elementos possa ser adequadamente armazenado, permitindo que sistemas de informações sejam

desenvolvidos. Portanto, a codificação dos elementos do projeto viabiliza a utilização das informações, em qualquer nível de agregação que seja necessário, para atividades de controle do desempenho e de planejamento e replanejamento do projeto.

O gerenciamento de projetos é baseado fundamentalmente na WBS. O desenvolvimento de uma estrutura adequada é a base para que as técnicas e ferramentas de gerenciamento de projetos sejam aplicadas de forma efetiva e bem sucedida. CHASE e AQUILANO (1995) sugerem que o desenvolvimento de uma WBS adequada deve considerar os seguintes pontos:

- os elementos devem ser trabalhados de forma independente;
- desenvolvimento dos elementos com tamanhos gerenciáveis;
- definição de responsabilidades e autoridade para que o programa planejado seja executado;
- facilitação do acompanhamento e medição dos elementos do projeto; e
- facilitação do planejamento dos recursos necessários.

Em projetos de grande porte e de complexidade técnica considerável, como é o caso da construção de navios oceânicos e de estruturas offshore para exploração e produção de petróleo, o uso de uma WBS padrão tem a função adicional de unificar a linguagem referente aos produtos do projeto entre os diversos agentes envolvidos.

Há inúmeras maneiras de se desenvolver uma WBS e a literatura disponível é abundante. Nesta seção serão abordadas as principais aspectos relacionados com o desenvolvimento de uma WBS e avaliadas estruturas já desenvolvidas especificamente para projetos de construção naval. As estruturas atualmente utilizadas na construção naval brasileira, a OS-5 e a EAP (Estrutura Analítica do Projeto), são apresentadas e uma discussão crítica da adequação em relação à prática consolidada é realizada.

### **5.2.1. Decomposição do projeto em pacotes de trabalho**

Cada organização tem uma maneira própria de definir um projeto e sua estrutura de atividades. Não há regras específicas para desenvolver uma WBS, no entanto, a observação de conceitos e recomendações gerais pode auxiliar no desenvolvimento de estruturas bem sucedidas.

Alguns conceitos, além dos daqueles encontrados em PMI (2000) e PMI (2001) e já colocados acima, são apresentados abaixo com o objetivo de destacar as principais idéias.

“...representação gráfica de um projeto, explodindo-o nível por nível, até o grau de detalhamento necessário para o planejamento e controle efetivos. Deve incluir todos os produtos intermediários e itens...e também todas as principais tarefas funcionais que devem ser desenvolvidas...” (ARCHIBALD, 1976 in FLEMING e KOPPELMAN, 2000)

“Um projeto consiste da soma de todos os elementos da WBS. Conseqüentemente, um elemento que não faz parte da WBS, não é parte do projeto. Qualquer trabalho que não pode ser identificado na WBS requer uma autorização específica para ser desenvolvido, seja uma omissão reconhecida ou uma mudança de escopo.” (OLDE CURMUDGEON, 1994 in FLEMING e KOPPELMAN, 2000)

“Qualquer abordagem gerencial deve especificar o que deve ser feito, quando deve ser feito e quais recursos devem ser aplicados. Essa especificação normalmente divide o processo total em partes componentes. O sistema que divide esses componentes com o objetivo de controlar o processo é chamado de WBS.” (STORCH et alii., 1995)

“Uma WBS é um conjunto de elementos orientados ao produto composto de hardware, software, serviços, dados e facilidades que resultam do esforço de engenharia durante a aquisição de itens de materiais de defesa. A WBS mostra e define os produtos a serem desenvolvidos ou produzidos e relaciona as atividades entre si e entre os produtos finais” (DEPARTMENT OF DEFENSE, 1992 in KOENIG e CHRISTENSEN, 1999)

“A WBS simplifica o problema de resumir o desempenho do projeto e estabelece a estrutura de apresentação das informações para o controle e gerenciamento, no mínimo sob o ponto de vista da forma como o estaleiro deseja gerenciar seu negócio.” (DESCHAMPS, undated)

Conclui-se, portanto, que a WBS é a ferramenta básica, entre aquelas utilizadas em gerenciamento de projetos, para, principalmente, definir e decompor o escopo do trabalho, estabelecendo uma estrutura hierárquica entre os elementos definidos. Essa estrutura é a base para a execução de outras atividades ligadas ao gerenciamento de projetos, como planejar o uso dos recursos, estimar custos e tempos, planejar riscos do projeto, comunicação do projeto e controlar o desempenho do projeto.

Uma vez definida o que é uma WBS e quais são os seus principais objetivos, são observadas características importantes que devem ser consideradas para que os objetivos pretendidos através do desenvolvimento de uma WBS sejam atendidos.

Os elementos que compõe a WBS, os produtos intermediários ou *deliverables*, podem ser definidos, segundo PMI (2000), como “qualquer resultado, item ou atividade que seja tangível, mensurável e verificável, e que deve ser produzido para completar um projeto ou parte de um projeto”. Os produtos intermediários são integrados através da estrutura da WBS, e no nível mais baixo da estrutura são chamados pacotes de trabalho. Os pacotes de trabalho são atividades e podem ser decompostos em outras atividades como parte de um subprojeto, a ser desenvolvido por outras equipes de trabalho. Os pacotes de trabalho podem ser uma atividade ou um conjunto de atividades executadas dentro das contas de controle, onde são baseadas as estimativas de custos e tempo e onde são acumulados os dados de desempenho do projeto. A partir das contas de controle (que representam um pacote de trabalho ou um conjunto de pacotes de trabalho) são calculados os indicadores de desempenho do projeto. Portanto, é a partir da definição dos pacotes de trabalho, ou seja, dos elementos do nível mais baixo da WBS, que o projeto é planejado e controlado.

Um aspecto importante a ser destacado no desenvolvimento de uma WBS é a relação hierárquica entre os elementos. Os elementos que a compõe devem ser desenvolvidos preservando uma relação hierárquica que represente uma visão clara do produto final e dos processos que o criarão. Os níveis mais altos devem representar os principais itens de trabalho do projeto, ou seja, elementos chave que resumem o trabalho do projeto para facilitar o acompanhamento e o controle de desempenho. A Figura 77 ilustra a representação de uma WBS, seus elementos e sua estrutura básica.

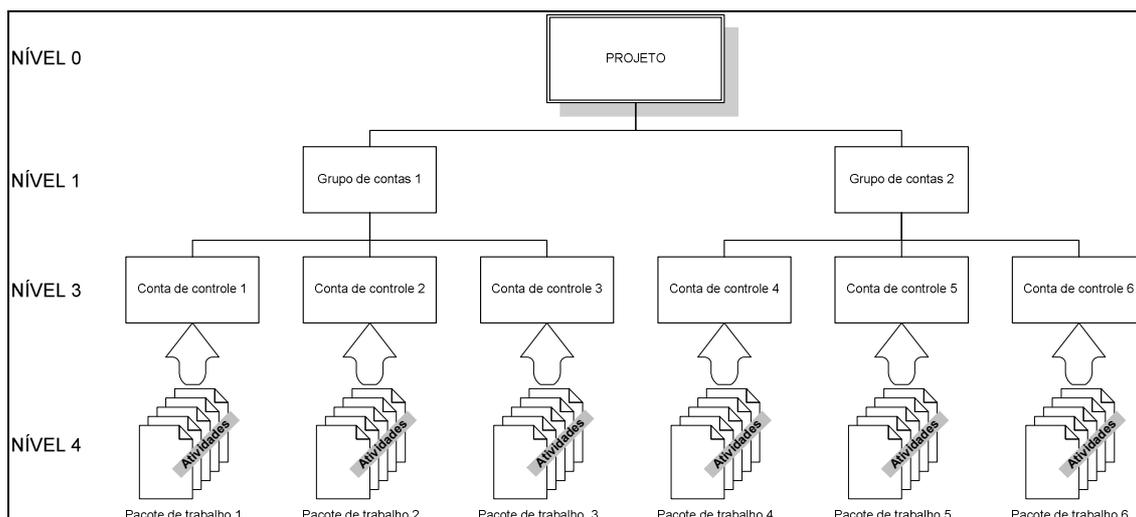


Figura 77 – Estrutura básica da WBS (pacotes de trabalho, contas de controle e níveis hierárquicos)

O nível de detalhamento e a estrutura da WBS devem ser adequados à compreensão de todos os envolvidos, desde os trabalhadores no chão de fábrica até os investidores. Também devem permitir que as atividades desenvolvidas sejam gerenciadas através dos produtos intermediários, definindo claramente as responsabilidades pelos elementos da WBS. Cada elemento da WBS deve ter um responsável identificado na Estrutura de Decomposição da Organização (*Organizational Breakdown Structure – OBS*). A matriz de responsabilidades (*Responsibility Assignment Matrix – RAM*) é a estrutura que descreve o relacionamento entre a WBS e a OBS. Portanto, considerando a estrutura hierárquica, a OBS e a RAM, é possível identificar problemas de desempenho do projeto no nível dos pacotes de trabalho, assim como o tipo de problema que está ocorrendo e também o responsável pela atividade, ou conjunto de atividades, problemática.

O balanceamento entre aspectos de definição do projeto e as necessidades e limitações de coleta de dados e publicação de relatórios é uma questão crítica no desenvolvimento de uma WBS. O detalhamento em excesso do projeto, ou seja, uma quantidade excessiva de níveis pode levar a dificuldades para a manutenção e atualização das bases de dados de progresso do projeto e os relatórios de desempenho. O número de níveis deve ser suficiente para representar de forma adequada o escopo do projeto, atendendo as necessidades de planejamento, controle e acompanhamento e permitindo que o gerenciamento possa ser efetivamente realizado. O detalhamento excessivo pode levar a uma crise de confiança no planejamento e controle, uma vez percebido que o esforço para a manutenção das bases de dados não é possível de ser realizado.

### 5.2.2. WBS moderna e padronizada

O uso de uma estrutura moderna e padronizada de divisão do trabalho em projetos de construção naval pode trazer uma série de vantagens para os estaleiros e para possíveis interessados nos projetos. Principalmente no caso da construção naval no Brasil, onde a maioria dos estaleiros mantém uma filosofia de organização da produção voltada a sistemas e onde órgãos do governo federal têm papel relevante no financiamento e, por consequência, no acompanhamento de projetos dessa natureza.

Nesse caso, o uso de uma WBS padrão traria vantagens semelhantes às apresentadas em KOENIG e CHRISTENSEN (1999), que, embora de natureza diferente das vantagens percebidas para a construção naval de modo mais geral, não são excludentes e sim complementares. Tais vantagens incluem, por exemplo: coletar dados de custo e de produção em bases que permitam o subsequente tratamento analítico; permitir análises de projetos para a produção e de alternativas de projeto e de cenários de produção; melhorar a transferência de dados entre o projeto, as estimativas de custos, os procedimentos de aquisição de materiais e contratação de fornecedores e a produção através de uma estrutura comum; e organizar as bases de dados de modelos de produtos. No trabalho citado é descrito o esforço empreendido por um grupo de arquitetos navais, engenheiros, estimadores e planejadores dos principais estaleiros americanos, um instituto de pesquisa, uma universidade e uma empresa também americanos e um grande estaleiro europeu para desenvolver uma estrutura genérica para a construção naval, chamada de *Generic Production-Oriented Work Breakdown Structure* (GPWBS).

No entanto, o esforço de padronização de uma moderna WBS voltada a produtos na construção naval apresentado por KOENIG e CHRISTENSEN (1999) não foi pioneiro. Uma série de trabalhos publicados na década de 80 pela *National Research Shipbuilding Program – NRSP*, descreve o progresso no desenvolvimento e implantação de uma WBS padrão voltada a produtos e baseada em conceitos de Tecnologia de Grupos (*Group Technology*). Os progressos relatados nos estudos se referem à implantação da estrutura no estaleiro japonês *Ishikawajima-Harima Heavy Industries - IHI* na década de 70. Essa estrutura, conhecida como PWBS (*Product Work Breakdown Structure*), representa o início da implantação de técnicas modernas de produção na construção naval, como observado em CHIRILLO (1989). A PWBS será comentada mais detalhadamente na seção seguinte.

No trabalho apresentado por VOVEDICH *et al.* (2001) é descrito o processo de desenvolvimento de uma WBS padrão para aplicação em projetos de construção de plataformas *offshore*. A motivação principal indicada no trabalho para o desenvolvimento de uma estrutura padrão é a utilização de uma linguagem padrão para discutir os produtos de um projeto. A WBS padrão é desenvolvida e implantada para integrar as atividades de engenharia e fabricação, além de integrar as operações, a contabilidade, o cronograma e os sistemas de gerenciamento de materiais em um único sistema de gerenciamento de projetos.

Entre as questões abordadas nesta Tese para o desenvolvimento da WBS padrão, destacam-se a questão do dilema entre estruturas voltadas a sistemas e a produtos, e a dificuldade aproveitar dados históricos para a preparação de novas estimativas de custo e cronograma.

O dilema sistemas vs. produtos se refere à necessidade de entregar o produto final ao cliente por sistemas e ao fato que nas fases de detalhamento do projeto e construção normalmente o trabalho é descrito em termos de produtos, ou componentes. Vovedich *et al.* (2001) resolvem esse dilema definindo que a partir de um determinado nível da WBS a descrição dos componentes por áreas funcionais e estruturas é flexibilizada para acomodar os sistemas como atividades que podem ser descritas, gerenciadas e entregues ao cliente como um pacote de trabalho.

Já o problema de aproveitamento de dados históricos se refere ao fato que a nova estrutura padrão não acomoda o formato dos dados já coletados. No entanto, como a maioria dos dados históricos é referente aos níveis mais baixos da WBS

desenvolvida, eles foram aproveitados sem maiores problemas. Os dados que armazenados em níveis mais altos foram alocados em categorias definidas com base na experiência de gerentes de projeto, e o acompanhamento foi realizado no nível em que o custo foi definido. O uso da WBS padrão, no entanto, permite que um novo banco de dados com maior consistência e homogeneidade seja construído. Conclui-se, através da experiência relatada, que o desenvolvimento de uma WBS padrão não implica necessariamente no abandono da divisão do trabalho por sistemas, já que pode ser útil em algumas situações e, também, que é possível aproveitar dados armazenados de acordo com outras estruturas anteriormente utilizadas.

O uso de uma WBS moderna e, no caso específico da construção naval no Brasil, padronizada, pode representar um grande estímulo ao aprimoramento dos modelos de organização da produção e, ao mesmo, permitir que indústria ganhe maior confiabilidade através do uso de sistemas de acompanhamento que se baseiam no uso dessa estrutura. O conjunto de agentes externos aos estaleiros no Brasil, que desempenham um papel de relevância, principalmente em um momento de retomada, poderiam adquirir maior confiança nos construtores,

A WBS padronizada tornaria-se, portanto, a base para o desenvolvimento da estratégia de construção (CLARK e LAMB, 1996), e passaria a ser analisada em bases mais transparentes.

Sistemas de controle de produção também se baseiam fundamentalmente na WBS (DE LA FUENTE e MANZANARES, 1996), e estruturas padronizadas viabilizam o uso de sistemas integrados de acompanhamento pelos *stakeholders* (VOVEDICH *et al.*, 2001).

### **5.2.3. Product Work Breakdown Structure – PWBS**

Os documentos da NSRP da década de 80, conforme colocado acima, apresentam uma estrutura de divisão do trabalho essencialmente voltada a família de produtos intermediários e com forte influência do conceito de organização da produção conhecido por Tecnologia de Grupo (*Group Technology*). O uso dessa estrutura pode significar redução significativa do esforço de detalhamento do projeto através da padronização intensiva de componentes intermediários, e ganhos significativos de produtividade através da aprendizagem contínua e independente de tipos e séries de navios. SPICKNALL *et al.* (1995) descreve que altos níveis de produtividade são alcançados por estaleiros líderes através da padronização de produtos intermediários, sem que seja necessária a aprendizagem através de numerosas séries de navios.

No trabalho apresentado por OKAYAMA e CHIRILLO (1982) observa-se que a abordagem IHI que deu início ao desenvolvimento da PWBS tem uma orientação fortemente voltada para a descrição dos processos de fabricação de elementos estruturais e submontagens, explicitando a relação entre esses processos e a montagem final do navio.

Em STORCH *et alli.* (1995) a PWBS é apresentada como um sistema de classificação que facilita a integração de diferentes tipos de trabalho através da definição e classificação de produtos intermediários. Desse modo, atividades ligadas à construção do casco, *outfitting* e pintura podem ser estabelecidas de maneira coordenada, estabelecendo fluxos de trabalho mais eficientes. A integração, idealizada sob a forte influência do conceito de Tecnologia de Grupo, como colocado acima, é realizada através de quatro componentes principais: o método de construção do casco

em blocos (*hull block construction method* – HBCM), o método de acabamento por zonas (*zone outfitting method* – ZOFM), o método de pintura por zonas (*zone outfitting method* – ZOFM), e a fabricação por famílias, como a fabricação de famílias de peças de tubulação (*pipe piece family manufacturing* – PPFM).

A PWBS tem uma estrutura tri-dimensional que relaciona as informações associadas aos três eixos da estrutura. Normalmente, a base desenvolvida pelo IHI e apresentada nos trabalhos da NSRP (OKAYAMA e CHIRILLO, 1982; CHIRILLO, 1989), pela inovação em relação aos conceitos de organização da produção até então adotados pelos estaleiros, é uma referência quando se pensa no desenvolvimento de uma estrutura de decomposição do trabalho na construção naval.

A PWBS desenvolvida pelo IHI acomoda as seguintes informações:

- (a) tipo de trabalho (fabricação ou montagem: casco, *outfitting* ou pintura);
- (b) recursos para os produtos (materiais, mão-de-obra, facilidades, despesas); e
- (c) aspectos dos produtos (sistema, zona, área, estágio).

Desenvolvimentos posteriores são encontrados na literatura, no entanto mantêm a estrutura tri-dimensional e a filosofia geral descrita acima. As mudanças se referem ao conjunto de informações considerado em cada eixo da estrutura.

DE LA FUENTE e MANZANARES (1996), por exemplo, relatam o desenvolvimento de um sistema de controle baseado fundamentalmente em uma PWBS. O sistema tinha como um dos objetivos a implantação de novos processos de organização da produção em um grande estaleiro espanhol.

As informações consideradas na PWBS desse sistema são:

- (a) estrutura de produtos (navio, grandes blocos, blocos, *outfitting*, produtos intermediários e peças básicas para montagem dos produtos);
- (b) estrutura de processos (processo de construção do navio, grupos de processos e famílias tecnológicas); e
- (c) estrutura organizacional (descreve a forma como normalmente são organizados os estaleiros, dividindo o gerenciamento da produção, no nível mais alto, em engenharia de produção, estrutura e *outfitting*)

Já a estrutura adaptada por KOENIG e CHRISTENSEN (1999), chamada de *Generic Production-Oriented Work Breakdown Structure* – GPWBS, considera as seguintes informações, com o claro objetivo de oferecer uma estrutura que seja compatível com qualquer estaleiro americano e que seja verificável a partir de dados existentes:

- (a) estrutura de produtos (navio, zona de edificação, zona de pré-edificação/*outfitting*, bloco/unidade, montagem, sub-montagem, parte e componente/matéria-prima);
- (b) estrutura de processos ou de estágios de produção (projeto, planejamento, *procurement*, gerenciamento de materiais, lançamento, testes, entrega, garantia, fabricação, sub-montagem, montagem, unidade/bloco, grandes blocos, edificação, acabamento após o lançamento); e
- (c) tipo de trabalho (administração, engenharia, manuseio de materiais, materiais, controle de operações, serviços de produção, garantia da qualidade, testes,

elétrico, *outfitting*, HVAC, soldagem, instalação de equipamentos, pintura, tubulação e estrutura).

A Figura 78 ilustra as três estruturas descritas acima de forma esquemática.

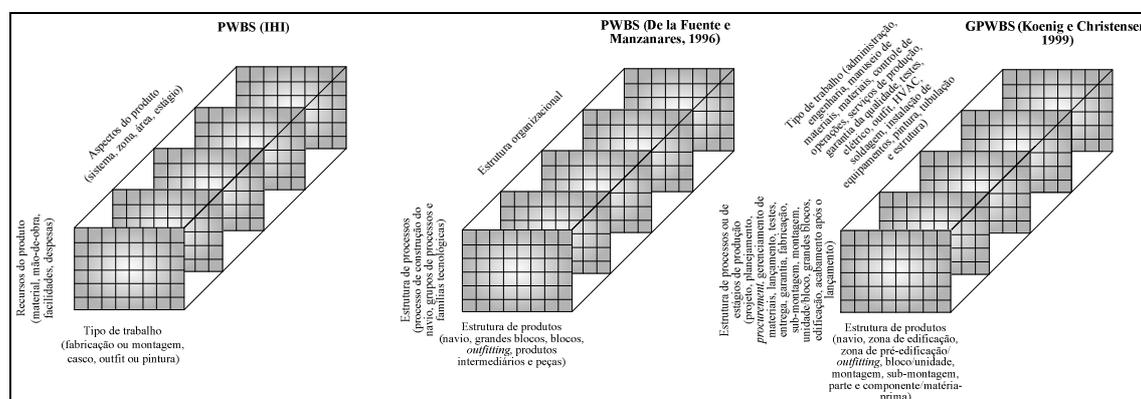


Figura 78 – Estruturas de decomposição do trabalho na construção naval orientadas ao produto

Observa-se que a PWBS tem sido referência na construção naval moderna como indutora da adoção de modelos de organização da produção baseados em tecnologia de grupo. Como colocado anteriormente, a decomposição do trabalho de um projeto, quando bem desenvolvida, permite que atividades relacionadas ao gerenciamento do projeto sejam bem executadas.

Desse modo, uma WBS pode significar o sucesso de um empreendimento, uma vez que o reflexo da decomposição do trabalho, e por conseqüência, da organização da produção, será percebido a execução do projeto, e de forma mais abrangente, durante o ciclo de vida do projeto.

Portanto, além do estímulo à adoção de conceitos modernos de organização da produção, os objetivos do desenvolvimento de uma WBS moderna (voltada a produtos) e padronizada (para permitir o uso em qualquer estaleiro) para a construção naval brasileira, estão associados ao aprimoramento do planejamento o uso dos recursos, das estimativas de custos e tempos, do planejamento dos riscos do projeto, da comunicação interna do estaleiro e com agentes externos e do controle do desempenho do projeto.

#### 5.2.4. Estruturas de decomposição do trabalho da construção naval brasileira: OS-5 e EAP

A prática atual na construção naval brasileira envolve a utilização de uma estrutura de orçamentação padrão, denominada OS-5 (Ordem de Serviço nº 5). Essa estrutura é utilizada para apresentação de projetos de construção naval candidatos a financiamento através do sistema Fundo da Marinha Mercante – FMM. Com base nessa estrutura foram desenvolvidos o Quadro de Usos e Fontes – QUF e a Estrutura Analítica do Projeto – EAP, que também devem constar do conjunto de documentos a serem apresentados ao pleitear-se o financiamento pelo sistema FMM. Com base nesses documentos são realizadas as análises do preço de venda da embarcação e do fluxo de desembolsos para a execução da obra, e o acompanhamento físico-financeiro pelo agente financeiro. Em alguns estaleiros essas estruturas não são efetivamente utilizadas, assumindo um papel meramente figurativo para encaminhamento do

pedido de financiamento aos órgãos competentes. Em outros estaleiros elas também são utilizadas para levantar os custos de fabricação do navio e para acompanhamento da evolução da obra.

A OS-5, o QUF e a EAP são estruturas desenvolvidas com base em sistemas que compõem uma embarcação, ou seja, são estruturas de decomposição do trabalho orientadas a sistemas.

As estimativas de custos diretos de produção são realizadas com base nas estimativas de uso de mão-de-obra direta e materiais divididas em oito grupos: A – Estrutura, B – Máquinas e Equipamentos, C – Redes e Tubulações, D – Eletricidade, E – Acessórios de Casco e Convés, F – Acabamento, G – Tratamento e Pintura, e H – Risco e Apoio. Cada grupo possui sub-grupos que representam os sub-sistemas associados. Além desses grupos, também há, representando parte dos custos diretos, o grupo de Despesas Diretas de Produção, onde são considerados materiais diretos de fabricação e itens de serviços, como projeto, classificação, seguro, etc.

Após a consolidação dos valores referentes à mão-de-obra direta e materiais desses grupos como custos diretos de produção, parte-se para o cálculo do preço de venda da embarcação fazendo-se incidir, sobre esse total, os custos indiretos, o lucro e os impostos. No QUF esses custos estão distribuídos durante o período do projeto de acordo com as relativas demandas de mão-de-obra direta, materiais e itens de despesas diretas de produção.

Na EAP, atribui-se um percentual relativo ao peso de cada item de material direto descrito na OS-5, e com base nos percentuais estabelecidos no QUF, são calculados os pesos relativos de cada item do projeto durante o período de execução da obra.

O acompanhamento da obra pelos órgãos financiadores do sistema FMM e por armadores, no caso de alguns estaleiros, é realizado através da comparação dos indicadores de evolução da obra com os valores estabelecidos na EAP. Esses indicadores são apurados, normalmente, com base na apresentação de notas fiscais de compra de materiais, na folha de pagamento de mão-de-obra direta do estaleiro e na observação da evolução física da obra.

Como colocado anteriormente, normalmente a divisão do trabalho por sistemas não é adequada, pois normalmente devem ser considerados produtos ou componentes como elementos de uma WBS. Além disso, a forma como são considerados os custos indiretos, o lucro e os impostos podem levar a distorções significativas na contabilidade de custos do navio. A WBS orientada a produtos está bem mais alinhada com técnicas modernas de custeio e apropriação de custos indiretos, como o custeio baseado em atividades (ABC).

No entanto, apesar dos problemas associados à OS-5, ao QUF e a EAP, acredita-se que essas estruturas não precisam ser completamente abandonadas, mas precisam ser reformuladas de modo a se inserir em estruturas mais modernas.

A PWBS, ou mais especificamente, a GPWBS, apresentadas acima, podem ser um bom ponto de partida para o desenvolvimento de uma WBS moderna e padronizada para a construção naval brasileira. Como visto anteriormente, tais estruturas não estão prontas para qualquer uso e necessitam de algumas adaptações para se adequarem ao contexto brasileiro. No entanto, considerando o histórico de sucesso dessas estruturas para dividir o trabalho de construção de um navio –

comprovado pelas inúmeras citações em diversas publicações específicas da indústria naval – a discussão da WBS neste trabalho as considerará como ponto de partida.

### 5.2.5. Ambiente Produtos-Processos-Recursos (PPR)

A outra abordagem conhecida para o desenvolvimento de um sistema de classificação de produtos é o *Interim Product Catalog* – IPC. O IPC é uma biblioteca de produtos intermediários a partir da qual é possível montar qualquer produto do estaleiro, como por exemplo: peças, componentes, submontagens, montagens, blocos, grandes blocos, *outfitting* e, finalmente, navios completos.

Cada produto intermediário identificado no sistema de produção é catalogado e colocado em uma biblioteca estruturada, contendo todas as informações detalhadas sobre as dimensões, pesos, necessidades de materiais, de utilização de recursos (mão-de-obra, infra-estrutura e equipamentos), processos de produção e tempos de produção. Uma estrutura hierárquica é utilizada para facilitar o mapeamento dos processos e recursos necessários para cada produto.

A literatura recente aponta para o desenvolvimento de estruturas mais adequadas a ambientes de modelagem orientada a objetos. O IPC reúne características de integração de informações em um ambiente de produtos, processos e recursos, que são adequadas para a utilização de ferramentas modernas de planejamento, como a modelagem orientada a objetos e a simulação.

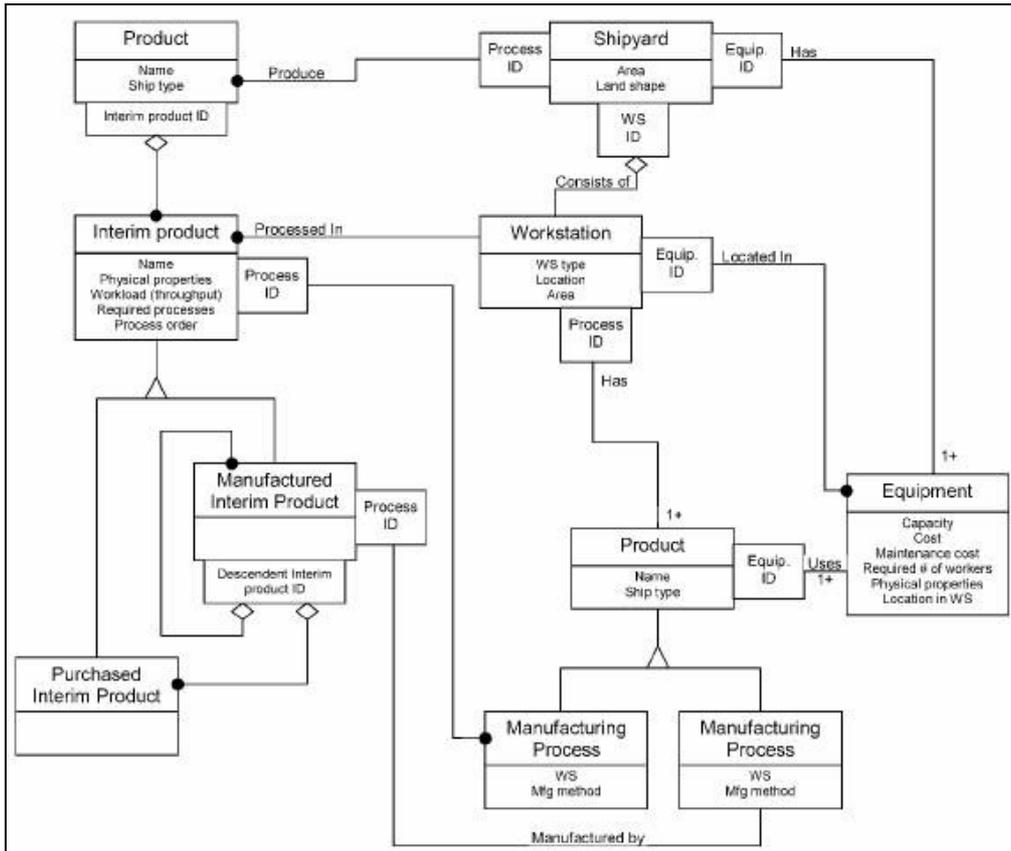
LAMB *et al.* (2003), WHITFIELD *et alii.* (2003) e LAMB *et al.* (2000) apresentam estruturas orientadas a objetos para o desenvolvimento de modelos de processos de construção naval. Tais modelos incluem o estaleiro, estações de trabalho, produtos, equipamentos, processos, processos de fabricação, processos de manuseio de materiais e produtos intermediários.

A Figura 79 apresenta um diagrama que ilustra a abordagem orientada a objetos para o modelo de um estaleiro genérico. Com o modelo do estaleiro, que representa em detalhes os prédios e galpões (disposição e tamanho), os equipamentos, capacidades e fluxos, é possível investigar alternativas de produção de um determinado produto com o objetivo de alcançar a melhor produtividade possível.

A abordagem orientada a objetos para a modelagem do estaleiro está alinhada com o IPC, que integra em sua estrutura a abordagem integrada de produtos, processos e recursos.

No contexto desta Tese, conforme apresentado e descrito no Capítulo 4, um ambiente integrado de produtos, processos e recursos (PPR) foi desenvolvido e utilizado como uma estrutura de decomposição das atividades. A vantagem desta abordagem é que o ambiente PPR é capaz de integrar todas as informações que são necessárias para a definição do conteúdo de trabalho, da duração e do custo de cada produto intermediário definido.

A estrutura do ambiente PPR pode ser desenvolvida com bancos de dados alimentados com informações sobre os produtos intermediários extraídas diretamente de *software* de modelagem do produto, e as informações sobre processos e recursos obtidas através da estratégia de construção ou do levantamento direto *in loco*. O ambiente PPR desenvolvido para este trabalho foi apresentado com detalhes no Capítulo 4.



Fonte: Lamb et alii. (2003)

Figura 79 – Modelo genérico orientado a objetos de um estaleiro

O Sistema de Controle utilizará as informações do ambiente PPR e do planejamento e da programação para monitorar o ritmo da produção. As ferramentas permitirão que se verifique se a produção está mantendo o ritmo planejado ou se algum problema está acontecendo. No caso da detecção de um problema de custo ou cronograma, os recursos do ambiente PPR poderão ser alterados para a avaliação do replanejamento das atividades, fornecendo um importante suporte no gerenciamento das atividades do estaleiro.

As definições do ambiente PPR serão o núcleo do Sistema de Controle. Baseando-se nessas definições é possível calcular o conteúdo de trabalho associado a cada produto intermediário e, por consequência, as durações e os custos das atividades. As três principais partes do ambiente PPR (definição da estrutura de produtos intermediários, definição dos processos e dos recursos para cada estação de trabalho) se relacionam entre si para as informações relevantes sejam extraídas e utilizadas no Sistema de Controle.

### 5.3. Sistema de informações

O controle dos processos de produção deve ser realizado junto às estações de trabalho, às linhas de processamento e às equipes de trabalho especializadas, através da coleta sistemática de dados relacionados a custo e tempo dos processos de produção. Os sistemas de coleta e recuperação dos dados de produção monitoram continuamente o custo e tempo na produção de cada produto intermediário, através de

estruturas de armazenagem de dados que permitam a associação de cada produto intermediário a categorias, estações de trabalho e equipes de trabalho.

O custo e o cronograma são os principais indicadores que normalmente determinam se um projeto atende ou não aos seus objetivos. Para que o controle desses elementos fundamentais do projeto seja efetivo, é necessário que seja estabelecido um plano do projeto que seja factível e também efetivo. O plano do projeto, também conhecido como linha de base do projeto, detalha os custos e o cronograma das atividades do projeto até o seu nível mais detalhado na WBS, ou seja, os pacotes de trabalho. Com base no cronograma também é realizado o planejamento da utilização de recursos, ou seja, para quando serão necessários os materiais especificados na lista de materiais (*bill of materials* – BOM) e o número de trabalhadores e as respectivas qualificações para cada período do projeto.

Durante o processo de controle, as informações são recebidas da produção – que executa os pacotes de trabalho definidos na WBS –, são transformadas em indicadores de monitoração e os indicadores são comparados com os valores definidos na linha de base do projeto. Realizadas as comparações, ações corretivas são tomadas para que o projeto retorne ao estado desejado, ou para minimizar as perdas. Portanto, pode-se resumir um ciclo clássico de controle em três estágios principais (AL-JIBOURI, 2003):

- medição,
- comparação, e
- ações corretivas

Segundo LONGWORTH (2002), para controlar um projeto são necessários, além da linha de base do projeto, o planejamento detalhado para os elementos da WBS, um sistema de codificação, estimativas de tempo e custo, um relatório sumário de custos, e um cronograma geral do projeto. Ou seja, o sistema de informações deve estar articulado de maneira a permitir que dados do projeto, estruturados pela WBS e um sistema de codificação, possam ser reunidos para a realização de estimativas, elaboração de relatórios e acompanhamento nos níveis mais elevados da WBS.

O controle do desempenho do custo e cronograma estabelecidos no plano do projeto dependerá, portanto, de um conjunto de informações geradas durante a execução das atividades do projeto. Assim, a coleta de dados na produção deve estar estruturada para que as informações possam ser agregadas e tratadas, permitindo que as comparações possam ser realizadas.

A Figura 80 ilustra a articulação entre o sistema de informações, a WBS, o planejamento, a produção, e os modelos de análise do sistema de controle. Observa-se que o sistema de informações é o coração do sistema de controle, e toda a troca de informações é baseada na estrutura de decomposição do trabalho (WBS) adotada.

A definição do conjunto de informações a ser coletado, a forma como a informação será coletada e armazenada e a forma de recuperação da informação para uso em modelos de análise é o objetivo principal desta seção.

O sistema de informações tem, portanto, o objetivo de medir elementos do projeto que permitam a comparação e, posteriormente, a tomada de decisões sobre as ações corretivas a serem implementadas. Dessa forma, serão necessários métricas e indicadores que possam representar de forma adequada a evolução do trabalho e da utilização de recursos nos pacotes de trabalho. Técnicas encontradas para a definição

de métricas são comentadas e metodologias de acompanhamento e análise de desempenho de projetos, como por exemplo, técnica de parâmetros principais, método das diferenças, técnica das taxas baseadas em atividades e análise de valor agregado – ou valor adquirido – (*earned value analysis*), são avaliadas. Indicadores associados às metodologias serão apresentados e comentados.

Além das métricas e indicadores, procedimentos de aquisição e estruturas de armazenagem de dados também são abordados. O objetivo é reunir os elementos necessários para a estruturação de um sistema flexível, com possibilidade de emprego tanto em estaleiros de grande como de pequeno porte.

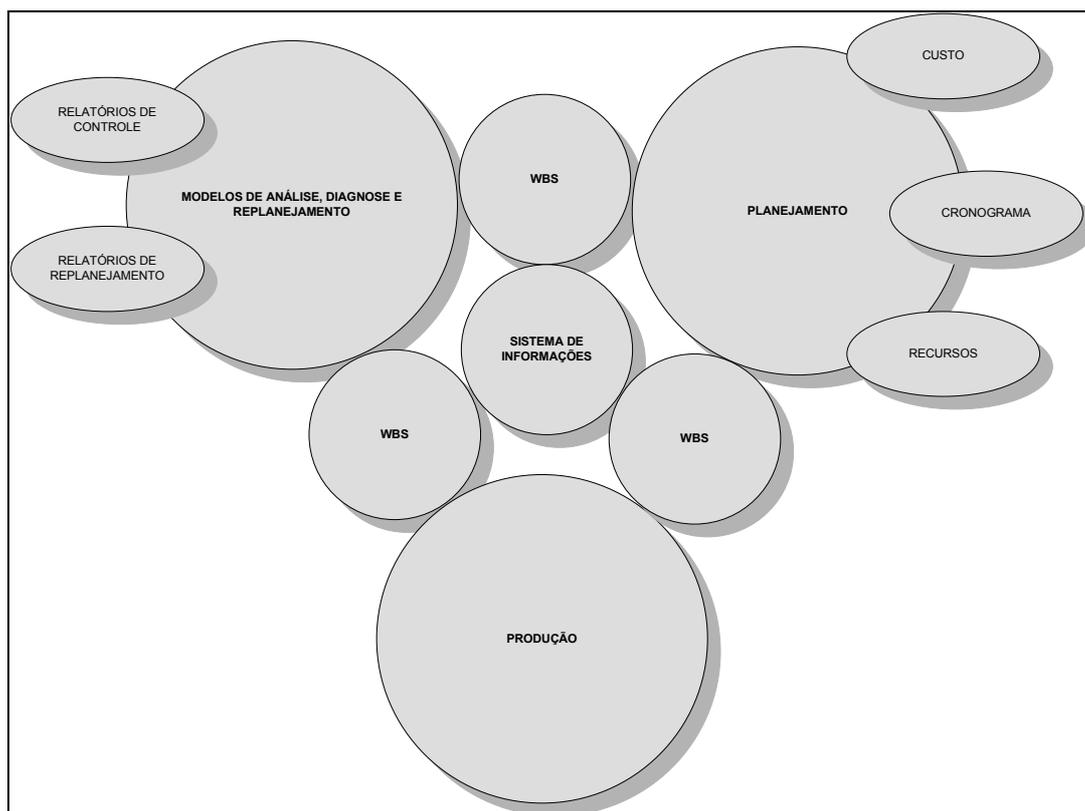


Figura 80 – Modelo básico de integração do sistema de controle de custo e cronograma

### 5.3.1. Acompanhamento e análise de desempenho de projetos

O sistema de informações, embora interagindo – através da WBS – com o planejamento, a produção e a análise dos dados, tem funções delimitadas: a coleta de dados através das métricas, a integração dos dados para geração dos indicadores e a armazenagem dos dados. A Figura 81 apresenta os limites do sistema de informações considerando o fluxo de dados dentro do sistema de controle.

No entanto, analisando-se o diagrama da Figura 81, pode-se observar que o sistema de informações é a base fundamental para a geração de relatórios de controle e de replanejamento, que são os produtos finais do sistema de controle. Portanto, a definição cuidadosa e adequada do conjunto de elementos do sistema de informações é imprescindível para o funcionamento efetivo do sistema de controle.

O primeiro passo é a definição de uma metodologia de acompanhamento e análise de desempenho de custo e cronograma em projetos. A forma como será

realizado o controle de custo e cronograma do projeto dependerá da metodologia escolhida, portanto algumas metodologias normalmente encontradas na literatura especializada serão comentadas a seguir, com o objetivo de reunir elementos para análise.

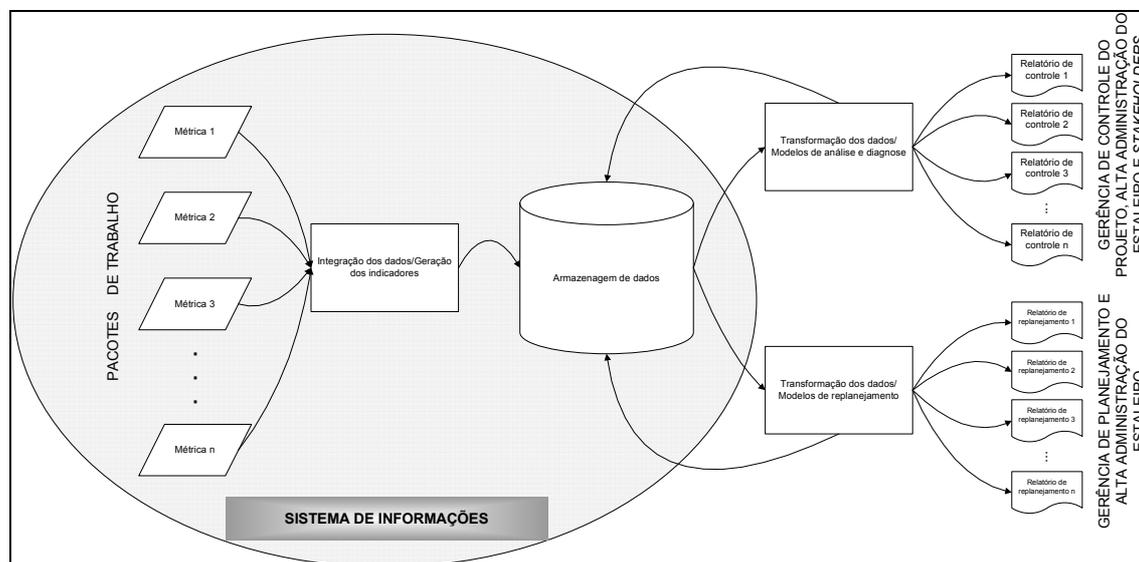


Figura 81 – Delimitação das funções do sistema de informações no contexto do sistema de controle

Como colocado acima, o acompanhamento do desempenho do projeto envolve a medição da evolução do projeto e a comparação com a linha de base. A medição do desempenho de projetos complexos, como é o caso de projetos de construção naval, envolve um *trade-off* entre os custos e o tempo de coleta e o nível de agregação dos indicadores.

Ou seja, quanto maior o detalhamento dos níveis de controle, com o objetivo de representar o projeto de maneira mais abrangente, maiores os custos e os tempos de resposta do sistema. Dessa forma, o nível de detalhe do controle deve ser escolhido de modo a ser compatível com o orçamento do sistema de controle e com tempo de resposta exigido da gerência para a tomada de decisões.

Por outro lado, o nível de detalhamento deve ser suficiente para representar o projeto de forma adequada, tendo em mente que a representação é sempre parcial, podendo ser adequada ou não aos propósitos de controlar o custo e o cronograma de um projeto.

As técnicas disponíveis para controlar projetos envolvem, normalmente, parâmetros que podem ser facilmente coletados e interpretados. A simplicidade dos indicadores é fundamental para que os principais usuários dos sistemas de controle – ou seja, os gerentes de projeto, clientes, investidores e contratantes – possam realizar as análises necessárias de forma intuitiva, simples e objetiva.

AL-JIBOURI (2003) descreve brevemente quatro técnicas apresentadas como principais e normalmente utilizadas: a técnica de parâmetros principais (*leading parameter*), a técnica das taxas baseadas em atividades (*activity based ratios*), o método das diferenças (*variances method*) e a análise do valor adquirido (*earned value analysis*).

A técnica de parâmetros principais (*leading parameter technique*) se baseia na hipótese que um – ou mais – dos principais tipos de trabalho do projeto representam o desempenho global do projeto. No caso da construção naval, por exemplo, a soldagem de elementos, representada em metros lineares de solda executada, em determinado período do projeto poderia medir a evolução do trabalho da construção de um navio.

A solda seria, portanto, um “parâmetro principal”, e os custos reais desse parâmetro seriam comparados com os planejados durante o mesmo período de tempo. A técnica também permite que sejam definidas seções para acompanhamento de diferentes tipos de trabalho dentro de um mesmo projeto. Novamente, para a construção naval, por exemplo, pode-se separar a estrutura do *outfitting*, e definir um parâmetro para cada seção definida.

Dessa forma, além da solda, utilizada como parâmetro para a seção estrutura, a quantidade de tubulações processadas – medida em metros lineares de tubulações prontas para a instalação – poderia ser o parâmetro para a seção *outfitting*. Assim, cada seção teria um parâmetro diferente para representar melhor a evolução do trabalho.

A principal crítica com relação a essa técnica é que normalmente projetos complexos envolvem muitos tipos de trabalho relevantes, o que corresponderia a inúmeros parâmetros principais em diferentes fases do projeto. Isso introduz uma dificuldade no acompanhamento relacionada à mudança de um parâmetro para outro. Além disso, critica-se o fato de que, apesar da técnica indicar desvios em relação à linha de base, não aponta as razões para os desvios identificados.

A técnica das taxas baseadas em atividades (*activity based ratios technique*) é uma técnica de controle financeiro que emprega taxas calculadas a partir dos valores agregados e dos gastos reais de atividades em execução.

As taxas são calculadas com base nos valores planejados para tais atividades. Em qualquer momento do projeto as taxas podem ser calculadas e o desempenho (eficiência) do projeto pode ser estimado através dos seguintes indicadores:

$$\text{Desempenho planejado} = \left( \frac{\text{Valor agregado planejado}}{\text{Despesa planejada}} \right)$$

$$\text{Desempenho real} = \left( \frac{\text{Valor agregado real}}{\text{Despesa real}} \right)$$

$$\text{Eficiência} = \left( \frac{\text{Desempenho real}}{\text{Desempenho planejado}} \right)$$

As medidas de desempenho calculadas dessa forma são muito simples e objetivas. Podem ser usadas com poucos dados e podem ser aplicadas em diferentes níveis no projeto, desde atividades em um pacote de trabalho e até no nível que representa todo o projeto.

A técnica de taxas baseadas em atividades é muito adequada para a comunicação de desempenho de atividades e do projeto para aplicações de curto-prazo.

O método das diferenças (*variances method*) consiste, basicamente, na diferença entre as despesas planejadas e as realmente sofridas. Assim como na técnica

das taxas baseadas em atividades, é possível aplicá-lo no nível de detalhamento que for desejado.

O método trabalha, principalmente, com dois tipos de diferenças, a “Diferença de Revisão do Orçamento” (*Budget Revision Variance*) e a “Diferença de Revisão do Custo Total” (*Total Cost Review Variance*). Essas diferenças indicam o aumento dos custos do projeto em comparação com as despesas orçadas, entretanto não indicam as causas para o aumento. Essas diferenças principais podem ser subdivididas na tentativa de buscar as causas do aumento de custos no projeto. A “Diferença de Revisão do Custo Total” pode, por exemplo, ser quebrada em diferenças do “Orçamento Corrente” e do “Orçamento Futuro”. A diferença do “Orçamento Corrente” pode ainda ser subdividida em “Diferença de Desempenho” e “Diferença de Eficiência”, como colocado abaixo:

$$\text{Diferença de Desempenho} = (\text{Valor orçado do trabalho realizado} - \text{Despesas orçadas no período})$$
$$\text{Diferença de eficiência} = (\text{Custos incorridos} - \text{Valor orçado do trabalho realizado})$$

A análise de valor agregado é um aprimoramento do método das diferenças e, por sua importância e destaque na literatura de gerenciamento de projetos (KERZNER, 2003; PMI, 2000; FLEMING e KOPPELMAN, 2000; VARGAS, 2003; EIA STANDARD, 2002), de engenharia de custos (LONGWORTH, 2002) e (HOLLMANN, 2003), de gerência de operações (CHASE e AQUILANO, 1995) e (GAITHER e FRAZIER, 2002) e de controle da produção na construção naval (DE LA FUENTE e MANZANARES, 1996; DWIVEDI e CRISP, 2003), será apresentada com maiores detalhes.

### 5.3.2. Análise do valor agregado

A técnica atualmente conhecida como Análise – ou Gerenciamento – do Valor Agregado (*Earned Value Management*) é a evolução de um conjunto de critérios adotado pelo governo dos EUA para acompanhamento de projetos. Inicialmente chamado de Sistema de Critérios de Controle de Custo e Cronograma (*Cost/Schedule Control System Criteria – C/SCSC*), era imposto por agências governamentais sempre que contratos para desenvolvimento de novos projetos eram estabelecidos com base no reembolso de custos ou eram contratos de incentivo.

O C/SCSC foi inicialmente implantado pelo Departamento de Defesa (DoD) americano em 1967, e desde então, seu uso cresceu e foi disseminado entre agências governamentais diversas do próprio governo americano e até mesmo de outros países. O C/SCSC é composto de 35 critérios que representam uma abordagem sofisticada e eficiente para o controle do desempenho de um projeto.

O sistema se baseia fundamentalmente no conceito de o valor agregado (*earned value*), ou valor adquirido.

Segundo FLEMING e KOPPELMAN (2000), o valor agregado (*earned value*), ou valor adquirido, que faz parte do conjunto de critérios do C/SCSC, tem origem remota, sendo idealizado por engenheiros industriais das fábricas americanas do final do século XIX.

Basicamente, o conceito de valor adquirido é explicado através do entendimento de três elementos fundamentais: os padrões planejados, os padrões realizados e os custos reais. Portanto, a comparação entre o que foi planejado de custo

e de tempo, com o estágio atual do trabalho e com os custos reais incorridos é a forma mais básica de gerenciar o valor adquirido.

Apesar do sucesso do uso do valor adquirido através do C/SCSC, sempre houve duras críticas em relação à complexidade envolvida com o uso do C/SCSC. Dessa forma, em 1995, empreendeu-se um esforço de revisão dos 35 critérios do C/SCSC com o objetivo de simplificá-los e torná-los acessíveis para uso mais geral pela indústria privada, independente dos contratos do governo americano. Dentro desse contexto, foram desenvolvidos os 32 critérios do Sistema de Gerenciamento do Valor Adquirido (*Earned Value Management System – EVMS*).

Em 1998, o EVMS foi aprovado como um documento oficial do Instituto Nacional Americano de Padronização/Associação da Indústria Eletrônica (*American National Standard Institute/Electronic Industry Association – ANSI/EIA*), podendo ser obtido como ANSI/EIA 748 *Guide* (EIA STANDARD, 2002). Isso representa que o EVMS deixou de ser um complicado conjunto de critérios imposto pelo governo americano, para passar a ser um conjunto de critérios simplificados, com grande acessibilidade e alcance, para uso geral na indústria.

De fato, o interesse e o uso do EVMS têm crescido muito nos últimos anos, e o sistema tem sido adotado pela indústria privada por ser uma ferramenta viável e eficiente, que gerentes de projeto podem usar em qualquer situação que requeira o controle de custo e cronograma de um projeto.

A principal diferença entre o EVM e os métodos tradicionais de gerenciamento de custos é que o EVM introduz o conceito de valor adquirido, trazendo uma terceira dimensão para a análise da evolução do desempenho de projetos, conforme ilustrado na Figura 82.

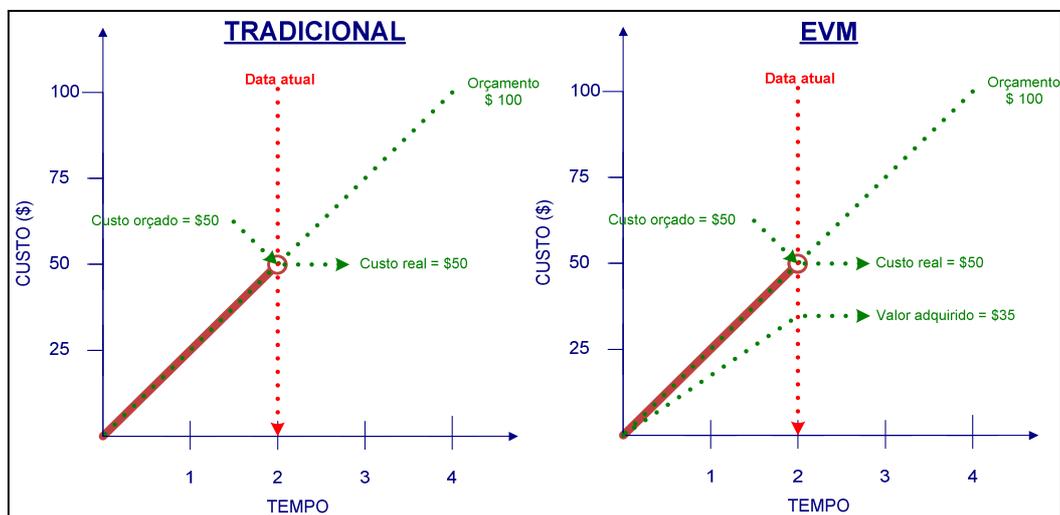


Figura 82 – Gerenciamento tradicional de custos e EVM

Portanto, além dos elementos tradicionalmente conhecidos, referentes ao valor planejado para o trabalho (custo orçado) e aos custos reais incorridos para a execução do trabalho realizado (custo real), acrescenta-se o valor adquirido pelo trabalho realizado (valor adquirido).

Dessa forma, podem ser apuradas duas diferenças fundamentais para o projeto:

- I) A diferença entre o valor adquirido pelo trabalho realizado (valor adquirido) e o valor planejado para o trabalho (custo orçado). Essa diferença representa o desvio de cronograma do projeto. Se for negativa significa que o projeto está atrasado em relação ao originalmente planejado.
- II) A diferença entre o valor adquirido pelo trabalho realizado (valor adquirido) e os custos reais incorridos para a execução do trabalho realizado (custo real). Essa diferença, de grande importância para o projeto representa o desvio de custo do projeto. Se for negativa significa que a previsão de custos realizada por ocasião do plano do projeto foi ultrapassada.

Com base nos elementos acima podem ser calculados dois importantes índices, que transformam os dados do plano do projeto e os dados coletados de custo real e valor adquirido em valiosa fonte de informação sobre o desempenho do projeto. São os índices de desempenho de custo e de cronograma.

O índice de desempenho de cronograma (IDCR) é a relação entre o valor adquirido e o valor planejado, que indica a quantidade de trabalho efetivamente realizado em relação ao trabalho planejado. Ou seja, tomando como exemplo a situação da Figura 82, onde o valor adquirido é de \$ 35 e o valor orçado é de \$ 50, o IDCR é de 0,70. Isso significa que para cada \$ 1 planejado para ser realizado, somente \$ 0,70 foi efetivamente realizado.

O índice de desempenho do custo (IDCT) é a relação entre o valor adquirido e o custo real, que indica a quantidade de trabalho efetivamente realizado em relação aos custos incorridos para realizá-lo. Novamente utilizando a situação delineada na Figura 82, onde o valor adquirido é de \$ 35 e o custo real é de \$ 50, o IDCT é de 0,70. Isso significa que para cada \$ 1 efetivamente gasto no projeto, somente \$ 0,70 foram transformados em trabalho realizado.

A Figura 83 ilustra os elementos do EVM comentados acima e o IDCR e o IDCT. O IDCR e o IDCT são ferramentas muito úteis para realizar estimativas do comportamento futuro de um projeto.

Para que os elementos do EVM estejam disponíveis, é necessário que sejam definidos os procedimentos para o levantamento do valor planejado, do valor adquirido e do custo real para as atividades no nível em que o controle será estabelecido.

É preciso que as informações sejam coletadas de forma a servir tanto como uma ferramenta de controle da produção para o estaleiro, como ferramenta de controle para investidores, clientes e outros interessados.

É lógico que se os procedimentos definidos para o uso do sistema forem adotados como procedimentos internos de controle do estaleiro, o sistema ganha em confiabilidade junto aos usuários externos e, conseqüentemente, toda a indústria de construção naval aumenta a sua credibilidade.

Dessa forma, as contas de controle para a implementação do EVM serão definidas no nível mais baixo da decomposição do trabalho, ou seja, nos pacotes de trabalho básicos a serem definidos no desenvolvimento da WBS.

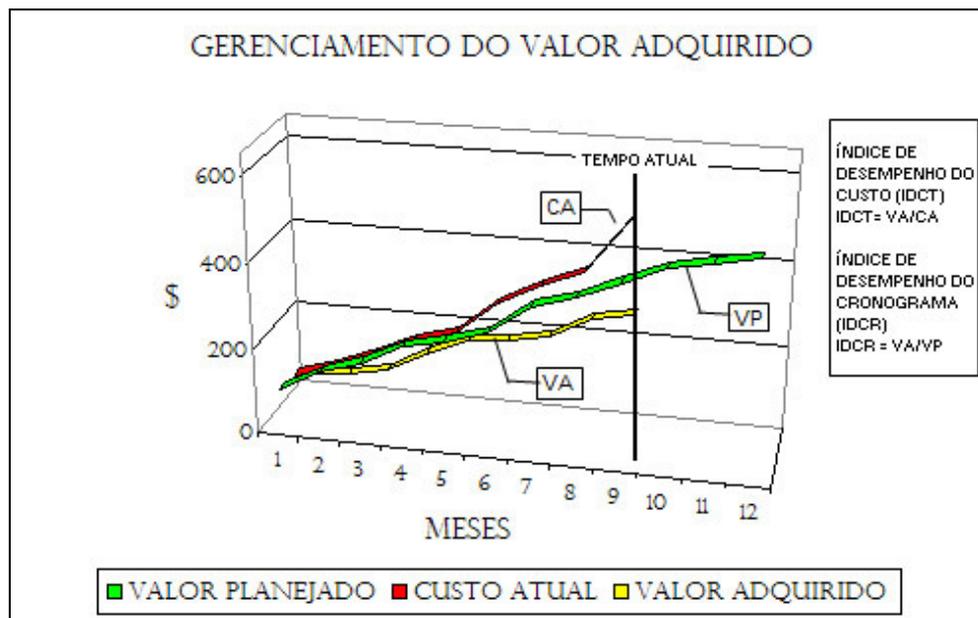


Figura 83 – Elementos do EVM

### 5.3.3. Métricas para a medição de desempenho

Observa-se das seções anteriores que há diversas maneiras de realizar o acompanhamento do desempenho de um projeto qualquer. O gerenciamento do valor adquirido tem recebido destaque entre as técnicas de monitoração de desempenho, sendo cada vez mais aceito pela indústria como uma ferramenta útil para controle de custo e cronograma. (PMI, 2000; EIA STANDARD, 2002; FLEMING e KOPPELMAN, 2000)

No entanto, não importa qual seja o método escolhido para controlar um projeto, é fundamental que os indicadores em que se baseia o método sejam mensuráveis, e, além disso, que possam ser obtidos através de métricas simples e objetivas. Assim se conclui que, tão importante quanto a ferramenta de acompanhamento do desempenho, são os procedimentos para a obtenção dos dados que constituem os indicadores básicos de desempenho.

Nesta seção, após uma rápida introdução sobre métricas, serão brevemente discutidas métricas encontradas na literatura de gerenciamento de projetos para medição do valor agregado e dos custos reais (FLEMING e KOPPELMAN, 2000; VARGAS, 2003), e encontradas na literatura de construção naval para a medição da produtividade de processos, da evolução física na fabricação de produtos e da utilização de recursos encontrados em um estaleiro (STORCH *et alii.*, 1995; e DE LA FUENTE e MANZANARES, 1996).

A definição de métricas adequadas é fundamental quando se parte do princípio que não se pode controlar aquilo que não se consegue medir. Portanto, segundo IEEE (1990) uma métrica nada mais é do que uma medida quantitativa do grau que um sistema, componente ou processo possui um determinado atributo.

Qualquer sistema de controle é fundamentalmente dependente da qualidade da informação obtida através das métricas. Portanto, a formalização de um programa de métricas é essencial para garantir o bom funcionamento do sistema. Marco (1999), explica que um programa de métricas bem-sucedido depende de inúmeros fatores, entre eles:

- comprometimento da organização;
- consistência na coleta das métricas;
- definição de papéis e responsabilidades;
- definição de padrões e procedimentos; e
- alocação apropriada de recursos para atividade

Qualquer projeto deve estar preparado para a coleta de um conjunto básico de métricas, chamado de métricas primitivas. A decisão sobre as métricas primitivas que devem ser utilizadas deve antecipar o início de um projeto. Em indústrias que trabalham com projetos contínuos e produtos similares, as métricas primitivas devem ser escolhidas de maneira a possibilitar a ampla aplicação em todos os projetos, portanto a sua definição independe da discussão sobre um determinado projeto e deve ser estabelecida no momento da definição do sistema de controle a ser utilizado pela organização.

MARCO (1999) recomenda as seguintes métricas primitivas:

- tamanho;
- esforço;
- duração;
- equipe;
- mudanças;
- defeitos;
- recursos computacionais; e
- características ambientais

Com relação às métricas específicas para a medição do valor agregado, FLEMING e KOPPELMAN (2000) e VARGAS (2003) recomendam as seguintes:

- marcos com valores ponderados (*weighted milestones*);
- fórmula fixa por atividade;
- percentual de execução;
- percentual de execução com marcos de controle;
- unidades equivalentes;
- atividades com características compartilhadas; e
- nível de esforço

Os marcos com valores ponderados (*weighted milestones*) são utilizados quando o período do pacote de trabalho excede em uma ou duas vezes o período utilizado para o planejamento e controle das atividades, chamado de período de controle (p. ex. semanas ou meses). O pacote de trabalho é então dividido em um número de marcos (*milestones*) igual ou superior ao número de períodos de controle, e para cada marco estabelecido é atribuído um orçamento, calculado com base em pesos definidos para os marcos em relação ao orçamento total do pacote de trabalho. O valor adquirido é então calculado avaliando-se a execução física de cada evento definido pelos marcos estabelecidos. É uma métrica muito utilizada para medição de desempenho, no entanto é a mais difícil de planejar e administrar. O maior problema

com essa métrica é o estabelecimento de marcos que representem de forma adequada as relações entre o pacote de trabalho, o cronograma e os recursos estimados para utilização.

A fórmula fixa por atividade foi muito utilizada no passado, entretanto, atualmente seu uso tem diminuído. Essa métrica, utilizada normalmente em atividades que demandam um ou dois períodos de controle para sua conclusão, divide o pacote de trabalho em duas partes, que somadas representam a conclusão da atividade. Qualquer divisão pode ser utilizada, no entanto as mais populares são 25/75, 50/50 e 75/25. Quando a atividade é iniciada atribui-se o valor especificado na primeira divisão, e quando o trabalho é concluído o valor da segunda divisão é atribuído. Assim, tomando como exemplo a divisão 25/75, normalmente utilizada para representar a compra de materiais, quando é realizado o pedido de compra do material considera-se 25% do valor adquirido correspondente, e quando o material é utilizado, atribui-se os 75% restantes.

As estimativas de percentuais de execução se baseiam na atribuição de percentuais de conclusão pelo responsável por determinado pacote de trabalho. É a forma mais fácil de medir o valor adquirido e, embora muito sujeito a julgamentos individuais e subjetividade que eventualmente distorcem as medições, se utilizado em conjunto com alguns procedimentos para evitar os problemas citados, pode ser uma excelente métrica. Um dos procedimentos normalmente adotados para conferir maior confiabilidade à métrica é a utilização de medidas objetivas de evolução da atividade, como, por exemplo, peso de aço, metros lineares de solda e área de pintura. Algumas medidas objetivas específicas da construção naval serão discutidas mais detalhadamente abaixo. Outro procedimento utilizado é a definição de um teto para a medição do valor adquirido. Dessa forma, as medidas subjetivas da evolução da atividade estariam limitadas a 80% ou 90% do valor total, restando alguma margem para acertos nos valores na conclusão do pacote de trabalho.

Com o objetivo de contornar os principais problemas ligados à subjetividade das estimativas de percentuais de execução, desenvolveu-se uma métrica que combina o percentual de execução com marcos de controle ponderados. Assim, a facilidade de uso dos percentuais de execução e a capacidade de controle dos marcos ponderados foram reunidas para o surgimento de uma métrica muito eficiente. Assim, são definidos marcos fisicamente e visualmente identificáveis dentro das atividades, associados a percentuais de execução, que funcionam como “portais de controle” do projeto. Isso significa que quando um “portal de controle” é alcançado, realiza-se uma análise para ajustar os valores adquiridos até o momento. O avanço para a nova fase dentro da atividade, delimitada pelo próximo marco (“portal de controle”), é então realizada calibrando-se as medidas subjetivas do valor adquirido através de uma medida objetiva.

Já as unidades equivalentes, por sua vez, permitem que o valor planejado para uma determinada atividade seja adquirido ao final do trabalho realizado, ou em frações do trabalho total a ser realizado. É uma métrica que funciona bem em atividades de longa duração e com trabalhos repetitivos, como os encontrados com frequência na indústria de construção. É uma forma simples e fácil de atribuir valor ao trabalho realizado através do progresso físico de uma atividade. Pode, em alguns casos, distorcer a análise de desempenho em projetos mais complexos, pois o avanço físico nem sempre corresponde ao trabalho efetivamente realizado. No entanto, em

projetos onde produtos são facilmente identificáveis, e possuem estreita correlação entre os custos e o progresso físico, trata-se de uma métrica extremamente útil.

Na métrica de atribuição de valor adquirido por atividades com características compartilhadas, são definidas atividades que compartilham diretamente relações de desempenho com outras. Define-se uma “base de controle”, normalmente uma atividade que apropria o valor adquirido conforme qualquer uma das métricas expostas acima, e as atividades similares apropriam o valor adquirido na mesma proporção que a atividade base.

Finalmente, encontra-se a métrica conhecida como nível de esforço. É normalmente utilizada para apropriar o valor adquirido de atividades que não possuem um produto definido, como serviços de planejamento, orçamentação, compras, etc. Tem uma relação direta com os itens de custo indireto na terminologia utilizada na administração de custos. O valor adquirido de atividades dessa natureza é apropriado integralmente sempre que for autorizado no plano do projeto, não importa se há ou não há avanço físico da obra. Devido a distorções que advêm do uso dessa métrica, não é mais recomendada para uso.

Entre as métricas descritas acima para a medição do valor adquirido, destaca-se neste trabalho a métrica das estimativas de percentuais de execução. Em especial, destaca-se o problema da subjetividade e do esforço para tornar a medição do valor adquirido através dessa métrica mais objetiva. Comentou-se acima que um dos procedimentos para resolver o problema da subjetividade é o uso de medidas objetivas de evolução da atividade. Aproveita-se, nesse contexto, as referências STORCH *et alii.*(1995) e DE LA FUENTE e MANZANARES (1996) para levantar algumas medidas objetivas específicas da construção naval. A Tabela 44 apresenta os índices normalmente utilizados para a medição da evolução do trabalho nos pacotes de trabalho e da produtividade.

Conclui-se da análise das métricas acima que não existe uma métrica universal para a medição de desempenho em projetos. Diferentes mecanismos de medição devem ser considerados conforme sua melhor adequação aos tipos de trabalho existentes no projeto. No entanto, é importante ressaltar que cada pacote de trabalho, cada conta de controle deverá ter sua métrica previamente e cuidadosamente estabelecida, de modo a permitir o planejamento da coleta e da análise dos dados de maneira consistente e confiável. No desenvolvimento dos elementos do Sistema de Controle de Projetos de Construção Naval, sempre que for possível, será feita a opção pela objetividade e confiabilidade dos procedimentos de medição. Dessa forma, o método das estimativas de percentuais de execução com “portais de controle” e medidas objetivas da evolução do trabalho (Tabela 44), terá preferência como métrica de medição do valor adquirido.

Além das métricas descritas acima para a medição da evolução do valor adquirido, existem métricas para a apropriação e cálculo dos custos reais do projeto, que é outro importante elemento do EVM. A apropriação de custos diretos e de materiais aplicados em um projeto deve obedecer às metodologias contábeis atualmente existentes, respeitando as contas de controle definidas a partir do confronto entre as estruturas organizacional e de decomposição do trabalho. Já os custos indiretos poderão ser apropriados conforme o método de departamentalização ou do método ABC. Portanto, resumidamente, os custos diretos e de aplicação direta nas atividades serão monitorados nas contas de controle estabelecidas para o projeto. Já a apropriação dos custos indiretos será definida após uma análise entre as

diferenças no custo final do projeto considerando a atual forma de apropriação utilizada na construção naval brasileira, através do documento de orçamento padrão OS-5, e os dois métodos citados acima.

Tabela 44 – Índices para a medição do progresso da produção e da produtividade

|                  |            |            |                            | ÍNDICES DE<br>DESPESAS<br>COM MÃO-<br>DE-OBRA | ÍNDICES DE<br>PROGRESSO DA<br>PRODUÇÃO (IPP)                               | ÍNDICES DE<br>PRODUTIVIDADE<br>(IPDT)                                  |
|------------------|------------|------------|----------------------------|---|--|--|
| Tipo de trabalho | Estrutura  | Fabricação | Peças                      | → HH/UT                                       | → (PESO DE PEÇAS<br>FABRICADAS)/UT   | → HH/(PESO DE<br>PEÇAS<br>FABRICADAS)                                  |
|                  |            | Montagem   | Submontagem                | → HH/UT                                       | → (PESO DE<br>SUBMONTAGENS)/<br>UT<br>→ (SOLDA NAS<br>SUBMONTAGENS)/<br>UT | → HH/(PESO DE<br>SUBMONTAGENS)<br>→ (SOLDA NAS<br>SUBMONTAGENS)/<br>HH |
|                  |            |            | Montagem                   | → HH/UT                                       | → (PESO DE<br>MONTAGENS)/UT<br>→ (SOLDA NAS<br>MONTAGENS)/UT               | → HH/(PESO DE<br>MONTAGENS)<br>→ (SOLDA NAS<br>MONTAGENS)/HH           |
|                  |            |            | Edificação                 | → HH/UT                                       | → (PESO<br>EDIFICADO)/UT<br>→ (SOLDA NA<br>EDIFICAÇÃO)/UT                  | → HH/(PESO<br>EDIFICADO)<br>→ (SOLDA NA<br>EDIFICAÇÃO)/HH              |
| Tipo de trabalho | Outfitting | Fabricação | PPFM                       | → HH/UT                                       | → (PESO<br>MANUFATURADO)/<br>UT<br>→ (PEÇAS<br>MANUFATURADAS)<br>/UT       | → HH/(PESO<br>MANUFATURADO)<br>→ HH/(PEÇAS<br>MANUFATURADAS<br>)       |
|                  |            | Montagem   | Convés                     | → HH/UT                                       | → (COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO)/UT                                | → HH/(COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO)                            |
|                  |            |            | Máquinas e<br>equipamentos | → HH/UT                                       | → (COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO)/UT                                | → HH/(COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO)                            |

Tabela 44 (cont.)

|                  |                   |          |             | ÍNDICES DE<br>DESPESAS<br>COM MÃO-<br>DE-OBRA | ÍNDICES DE<br>PROGRESSO DA<br>PRODUÇÃO (IPP)   | ÍNDICES DE<br>PRODUTIVIDADE<br>(IPDT)  |
|------------------|-------------------|----------|-------------|---|--|--|
|                  |                   |          | Acomodações | → HH/UT                                       | → (COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO)/UT  | → HH/(COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO)  |
| Tipo de trabalho | <i>Outfitting</i> | Montagem | Elétrica    | → HH/UT                                       | → (COMPRIMENTO DE<br>CABOS<br>COLOCADOS)/UT<br>→ (PARTES DE CABOS<br>CONECTADOS)/UT<br>→ (COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO)/UT | → HH/(COMPRIMENTO<br>DE CABOS<br>COLOCADOS)<br>→ HH/(PARTES DE<br>CABOS CONECTADOS)<br>→ HH/(COMPONENTE<br>PARAMÉTRICO DE<br>PESO) |
|                  | <i>Pintura</i>    | ::       | ::          | → HH/UT                                       | → (M <sup>2</sup> REVESTIDOS)/UT   | → HH/(M <sup>2</sup> REVESTIDOS)   |

HH: horas-homem; UT: unit-time; SOLDA: indicador do comprimento de solda considerando o tipo, o tamanho e a posição da solda

Fonte: STORCH *et alii.* (1995)

#### 5.3.4. Procedimentos de aquisição de dados

Uma vez definidos a WBS, a técnica para o controle de custo e cronograma do projeto, e os indicadores e as métricas para a medição de desempenho, é necessário definir procedimentos gerais de aquisição e a estrutura de armazenagem dos dados.

A Figura 84 ilustra de forma esquemática como será feita a aquisição de dados para a medição do valor agregado (VA) e dos custos reais (CR). Ressalta-se que o valor planejado (VP) é obtido da linha de base do projeto estabelecida na fase de planejamento.

O VA será obtido através do uso das métricas apresentadas acima, considerando medidas objetivas como o IPP (Índice de Progresso da Produção) e o IPDT (Índice de Produtividade).

O IPP e o IPDT também serão utilizados para as atividades de replanejamento e para o estabelecimento de parâmetros para o planejamento de novos projetos. Os modelos de replanejamento e os parâmetros para o planejamento serão abordados na seção dedicada aos modelos de análise e diagnose.

A medição do VA será realizada diretamente na produção, nos níveis mais baixos da WBS, ou seja, nos pacotes de trabalho, permitindo a rastreabilidade dos problemas com o cronograma.

No mesmo nível de detalhamento será medido o CT das atividades, permitindo o mesmo nível de rastreabilidade. A medição do CT depende, além de dados da produção, de dados a serem fornecidos pela administração. Assim, com base nos valores levantados para o VP, VA e CR, calculam-se os indicadores de desempenho do projeto, IDCR e IDCT.

O trabalho de CHAU *et alii.* (2002) apresenta uma aplicação da tecnologia de “*data warehouse*” para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão. A tecnologia de “*data warehouse*” se refere a um repositório global de dados que armazena consultas pré-processadas, hospedadas em uma consulta-base operacional múltipla e heterogênea.

Bancos de dados com essas características são normalmente desenvolvidos sobre uma estrutura simples e não-relacional, sendo a fonte principal de informação a capacidade de execução de consultas. A estrutura pode consistir em uma única grande tabela composta de inúmeras sub-tabelas, bastando conhecer a localização do conjunto de dados para poder recuperá-los através de consultas estruturadas. A estrutura de armazenagem será idealizada com a preocupação de preservar a abordagem PPR (processos-produtos-recursos) e o caráter tri-dimensional da WBS.

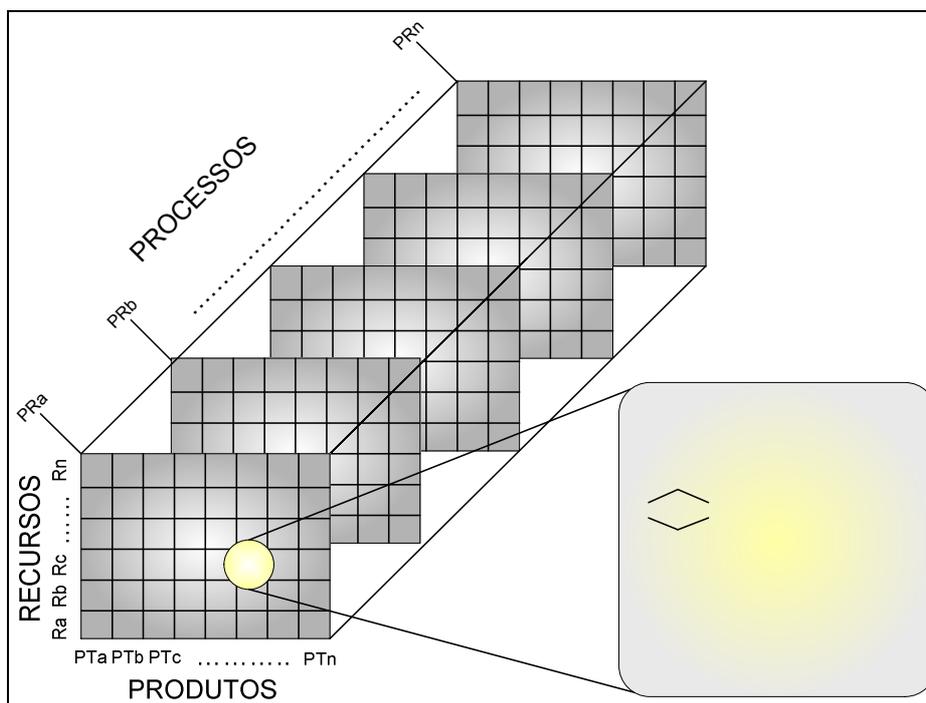


Figura 84 – Aquisição de dados para a cálculo do IDCR e IDCT

#### 5.4. Proposição de uma Estrutura de Decomposição do Trabalho

A Estrutura de Decomposição do Trabalho – EDT (ou *Work Breakdown Structure* – WBS) desenvolvida para este trabalho é baseada no Método de Construção por Zonas (*Zone Construction Method*), que se baseia na decomposição das atividades de construção naval orientada a produtos (PWBS) (STORCH *et alii.*, 1995).

Considerando os diferentes tipos de trabalho para a construção de uma embarcação, a PWBS, no Método de Construção por Zonas, acomoda três diferentes métodos orientados a diferentes zonas de construção. Desse modo, atividades ligadas à construção do casco, *outfitting* e pintura podem ser planejadas de maneira coordenada, estabelecendo fluxos de trabalho mais eficientes. A integração é realizada através de quatro componentes principais: o método de construção do casco em blocos (*hull block construction method* – HBCM), o método de acabamento por zonas (*zone outfitting method* – ZOFM), o método de pintura por zonas (*zone painting*

*method* – ZPFM), e a fabricação por famílias, como a fabricação de famílias de peças de tubulação (*pipe piece family manufacturing* – PPFM).

Neste trabalho serão utilizadas as mesmas estruturas de decomposição de produtos, e a associação de processos e recursos referentes ao método de construção do casco em blocos, que foram utilizadas no Capítulo 4. Dessa forma, os indicadores, métricas e procedimentos de coleta de dados apresentados estão associados à produção de elementos estruturais, sem consideração de atividades ligadas a fabricação e instalação de itens de *outfitting* e a pintura.

A codificação desenvolvida e apresentada no Capítulo 4 acima também foi utilizada para o desenvolvimento do trabalho apresentado neste Capítulo.

## **5.5. Definição dos indicadores, métricas e procedimentos de coleta de dados**

O Sistema de Controle de Projetos de Construção Naval (SCPCN) é composto de indicadores, métricas e procedimentos de coleta de dados. Neste capítulo serão apresentados esses elementos. Serão consideradas apenas as atividades desenvolvidas no Departamento de Estruturas (DEST) de um estaleiro hipotético.

As oficinas e áreas do DEST consideradas são: a Oficina de Fabricação de Partes (OFP), a Oficina de Montagem de Blocos (OMT), a Área de Pré-Edificação (APE) e a Área de Edificação (AED). Na Figura 43, tais oficinas e áreas estão identificadas por um retângulo vermelho.

### **5.5.1. Banco de dados de produção**

Um banco de dados bem estruturado, com coleta de dados sistemática e ferramentas de análise é fundamental para a realização de estimativas, orçamentação e programação de atividades.

Tais características permitem que uma linha de base seja definida e comparações sejam realizadas para monitorar o consumo de mão-de-obra e do progresso da produção, bem como avaliar a produtividade de atividades específicas.

Os elementos necessários para a montagem do banco de dados para o SCPCN serão apresentados neste capítulo.

### **5.5.2. Coleta de dados**

Os dados coletados para o SCPCN-DEST são referentes à fabricação de partes, submontagem, montagem de blocos, pré-edificação e edificação e têm o objetivo de monitorar a produção atual e projetar níveis futuros de produção para as respectivas oficinas e áreas.

Os consumos de mão-de-obra e material direto de produção devem ser classificados e coletados de acordo com a codificação definida no item 4.4.1.2 (Codificação) deste documento.

Antes de o projeto ser completamente definido para uma determinada embarcação, dados coletados em projetos passados são utilizados para estimar o conteúdo de trabalho e a necessidade de homens-hora. No caso da produção no DEST serão utilizados como indicadores do conteúdo de trabalho o peso dos elementos, o comprimento de corte na oficina de fabricação de partes e o comprimento de solda na oficina de montagem.

### 5.5.3. Estimativa do conteúdo de trabalho

A principal função da estimativa do conteúdo de trabalho é a determinação de homens-hora necessários para completar um pacote de trabalho. Estimativas detalhadas são necessárias para a definição da ocupação das facilidades e da utilização de recursos para os principais produtos intermediários. Também são utilizadas para estimar os custos do produto final ou de produtos intermediários, com base nas estações de trabalho envolvidas e no tipo de produto intermediário.

Os métodos tradicionais de estimação do conteúdo de trabalho em determinada atividade envolvem a construção de um modelo simples, que liga um ou mais atributos físicos do produto a processos e às respectivas homens-hora necessárias. A complexidade do modelo de estimação do trabalho em uma atividade é assunto de discussão entre duas linhas principais.

Uma das linhas baseia-se em um modelo fundamentado na decomposição das atividades em operações elementares. São então atribuídos indicadores de produtividade pré-estabelecidos e posteriormente é realizada a agregação para conhecer a necessidade de horas-homem em qualquer nível de atividade.

A segunda linha encontrada baseia-se na atribuição de parâmetros a produtos intermediários principais que são utilizados para a estimativa do conteúdo do trabalho. Por exemplo, o peso de um determinado bloco e um parâmetro que classifique a complexidade de sua montagem podem ser utilizados para a obtenção das horas-homem necessárias para a sua montagem.

Ambas as linhas dependem, fundamentalmente, de dados confiáveis sobre a produção passada.

A análise estatística de consumo de mão-de-obra em projetos passados é a melhor alternativa para estimar horas-homem em um novo projeto. No entanto, como o consumo de mão-de-obra pode variar de forma significativa de um projeto para outro, as curvas de consumo médio devem ser analisadas com cuidado, identificando e classificando potenciais diferenças.

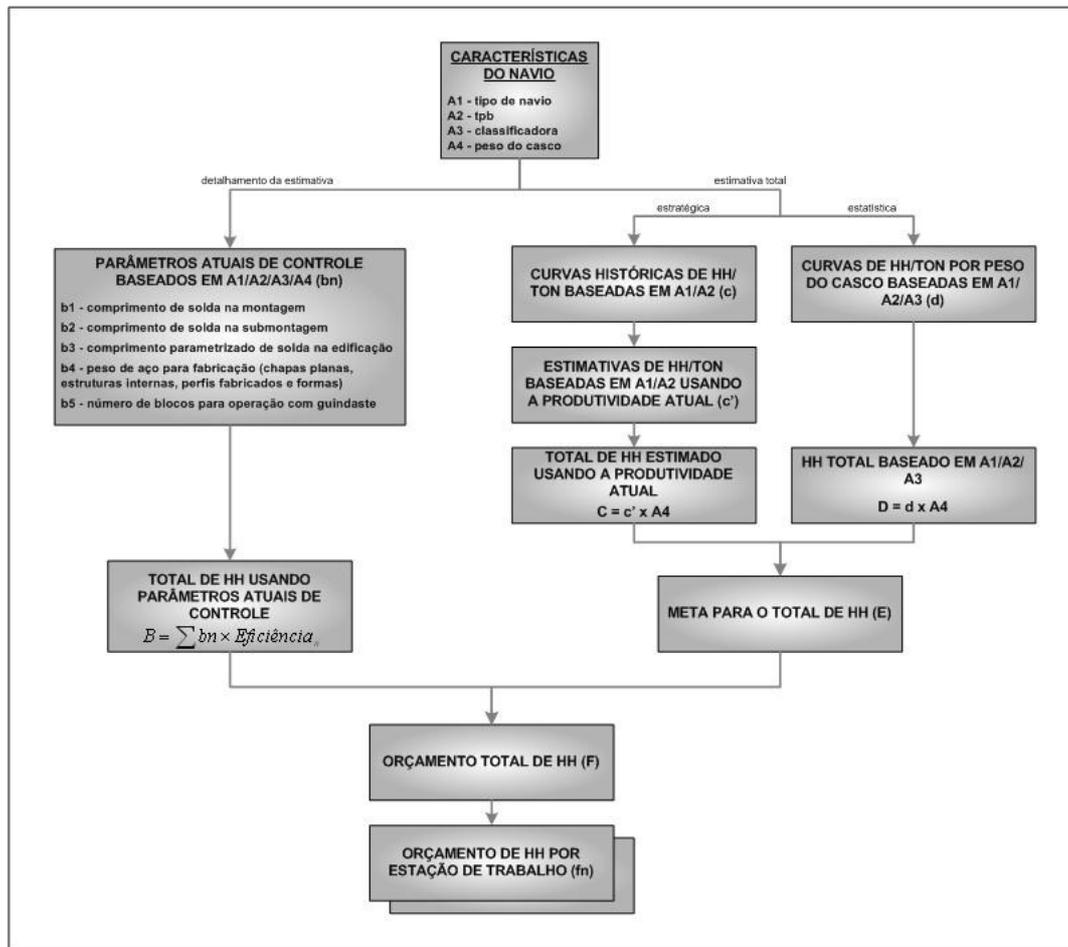
O processo de coleta de dados estatísticos de consumo de mão-de-obra deve, portanto, considerar que os dados possam ser classificados de acordo o tipo de estação de trabalho, e também conforme o tamanho e o tipo de navio.

Em alguns estaleiros são utilizados gráficos que apresentam a quantidade de trabalho estimada para uma determinada estação de trabalho e as tendências, a média recente e a faixa considerada adequada para a produtividade. São consideradas importantes ferramentas de controle para os trabalhadores encontrarem o ritmo certo das atividades nas estações de trabalho, e também para o estabelecimento de sistemas de incentivo ao aumento da produtividade.

A Figura 85 apresenta, de forma esquemática, as etapas do processo de estimação do conteúdo de trabalho. STORCH *et alii*. (1995) apresenta um sistema de determinação das necessidades de homens-hora com as características comentadas acima. A Figura 86 ilustra os principais elementos desse sistema.



Figura 85 – Processo de estimação do conteúdo de trabalho



Fonte: STORCH *et alii* (1995)

Figura 86 – Sistema de orçamentação de mão-de-obra

#### 5.5.4. Consumo de mão-de-obra

O gasto de mão-de-obra deve ser continuamente monitorado para a verificação de desvios em relação às quantidades estimadas. O controle é realizado através da apropriação de consumo de horas-homem às atividades executadas ou em execução. Normalmente um engenheiro supervisiona a apropriação de horas-homem realizada diariamente por encarregados na produção.

Sistemas mais avançados de apropriação de mão-de-obra podem ser encontrados em alguns estaleiros, onde os encarregados supervisionam a utilização de pontos eletrônicos posicionados em cada estação de trabalho. Os dados de consumo de mão-de-obra são automaticamente enviados ao sistema de informações que calcula o consumo diário de horas-homem em cada estação de trabalho, e os desvios em relação ao planejado.

Os Indicadores de Consumo de Mão-de-Obra (ICMDO) do SCPCN-DEST são ligados ao consumo de mão-de-obra na construção do casco e às seguintes áreas do estaleiro: a OFP, a OMT, a APED e a AED. O ICMDO relaciona o consumo de mão-de-obra com o tempo de execução das atividades (horas-homem vs. tempo). A Figura 87 ilustra o ICMDO.

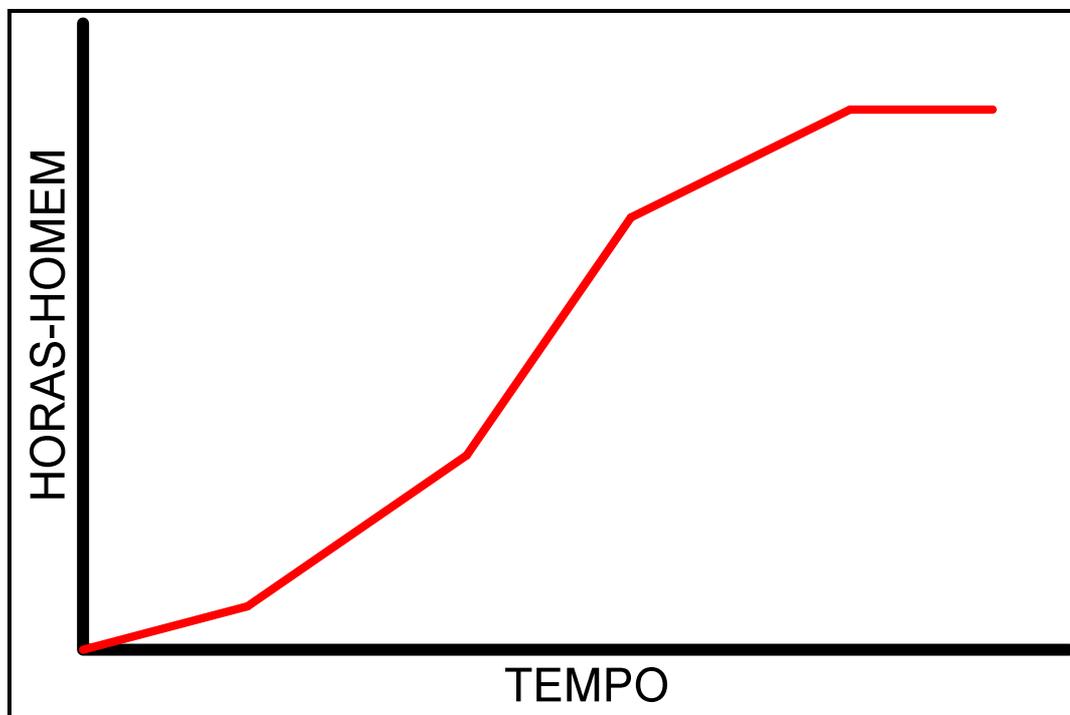


Figura 87 – Consumo de mão-de-obra

#### 5.5.5. Progresso da produção

O progresso da produção é um importante indicador do desempenho do projeto. O Indicador de Progresso da Produção (IPP) e o ICMDO são os elementos fundamentais para o controle da produção.

Com base nas informações da lista de materiais é possível saber a quantidade de material e o conteúdo de trabalho associados a uma determinada atividade. Portanto, é necessário que o controle do progresso da produção seja realizado peça por peça, produto intermediário por produto intermediário, de forma a ter-se uma medida precisa.

Cada produto intermediário possui uma identificação e deve estar devidamente identificado no chão de fábrica. Dessa forma, é possível lançar no sistema de informações os produtos processados e os respectivos conteúdos de trabalho em cada estação de trabalho.

Da mesma forma que o ICMDO, os IPP do SCPCN-DEST são ligados ao progresso da produção na construção do casco e a OFP, a OMT, a APED e a AED. O IPP relaciona o progresso da produção (medido em peso para todas as áreas consideradas, comprimento de corte para a OFP e comprimento de solda para a OMT, APED e AED) com o tempo de execução das atividades (peso/comprimento de corte/comprimento de solda vs. tempo). A Figura 88 ilustra o IPP.

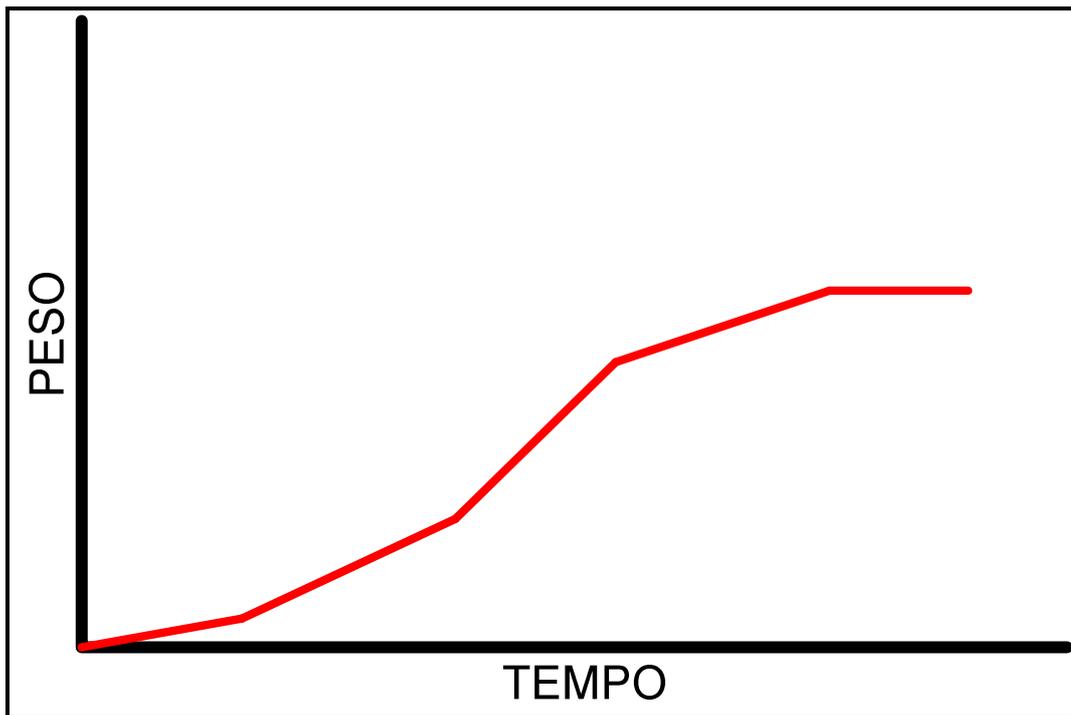


Figura 88 – Progresso da produção

#### 5.5.6. Produtividade

O Indicador de Produtividade (IPT) é a relação entre o ICMDO e o IPP.

O controle da produtividade consiste na monitoração do ICMDO e do IPP levantados com base em diferentes medidas (peso, comprimento de corte e comprimento de solda). Eventualmente é necessário mais de um indicador para o controle de um grupo de pacotes de trabalho.

A acumulação dos indicadores de produtividade permite que, além da produtividade nos processos, também seja analisado o progresso da produção no processo em questão. A comparação com as respectivas programações serve de base para ajustes de curto prazo na produção, como a mudança de operários ou a utilização de horas extras.

Em alguns estaleiros são encontrados gráficos que apresentam a quantidade de trabalho estimada para uma determinada estação de trabalho e as tendências, a média recente e a faixa considerada adequada para a produtividade. Esses gráficos são considerados importantes ferramentas de controle para os trabalhadores encontrarem o ritmo certo das atividades nas estações de trabalho, e também para o estabelecimento de sistemas de incentivo ao aumento da produtividade.

Alguns indicadores de produtividade são apresentados abaixo:

- Produtividade na fabricação de partes (horas-homen vs. peso, horas-homem vs. comprimento de corte)
- Produtividade na submontagem e montagem de blocos (horas-homen vs. peso, horas-homem vs. comprimento de solda)
- Produtividade na pré-edificação e edificação (horas-homen vs. peso, horas-homem vs. comprimento de solda)

A Figura 89 ilustra o IPT.

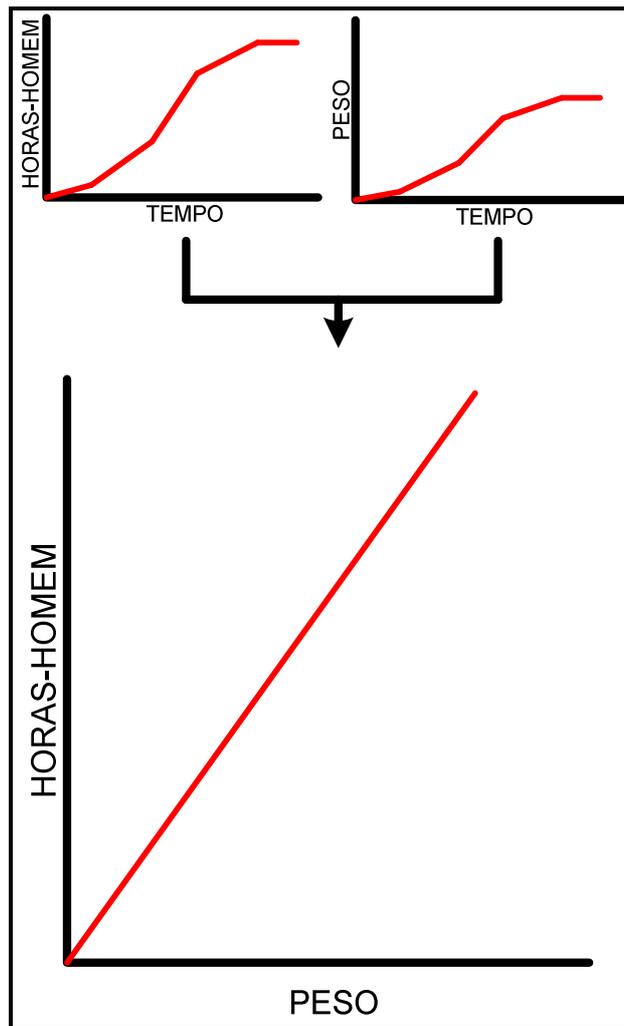


Figura 89 – Produtividade

### 5.5.7. Controle de custo e tempo

Para controlar um projeto são necessários, além da linha de base do projeto, o planejamento detalhado para os elementos da WBS, um sistema de codificação, estimativas de tempo e custo, um relatório sumário de custos, e um cronograma geral do projeto. Ou seja, o sistema de informações deve estar articulado de maneira a permitir que dados do projeto, estruturados pela WBS e um sistema de codificação, possam ser reunidos para a realização de estimativas, elaboração de relatórios e acompanhamento nos níveis mais elevados da WBS.

O controle do desempenho do custo e cronograma estabelecidos no plano do projeto dependerá, portanto, de um conjunto de informações gerado durante a execução das atividades do projeto. Assim, a coleta de dados na produção deve estar estruturada para que as informações possam ser agregadas e tratadas, permitindo que as comparações possam ser realizadas.

Alguns estaleiros têm utilizado para controlar aspectos referentes a custo e tempo a técnica conhecida como Análise do Valor Adquirido (*Earned Value Management* – EVM), também conhecida como Sistema de Controle de Custo-Cronograma (*Cost-Schedule Control System* – CS 2).

Essa abordagem do controle, com o foco no projeto, pode deixar de lado importantes questões relacionadas ao desempenho das operações no contexto do

Planejamento Agregado da Produção. No entanto, o EVM pode ser uma ferramenta de grande utilidade para o controle do custo e do cronograma na construção naval.

A técnica de EVM é a evolução de um conjunto de critérios adotado pelo governo dos EUA para acompanhamento de projetos. Inicialmente chamado de Sistema de Critérios de Controle de Custo e Cronograma (*Cost/Schedule Control System Criteria – C/SCSC*), era imposto por agências governamentais sempre que contratos para desenvolvimento de novos projetos eram estabelecidos com base no reembolso de custos ou eram contratos de incentivo.

A aplicação da técnica de EVM está associada à relação entre estimativas de produtividade (IPT) utilizadas para a elaboração da linha de base do projeto (com base do Indicador de Produtividade – IPT) e dados de consumo de mão-de-obra (ICMDO) e de progresso da produção (IPP) coletados diretamente no chão de fábrica. Os principais elementos do EVM são: o Valor Planejado (VP), o Valor Adquirido (VA) e o Custo Real (CR).

A técnica de EVM aplicada ao SCPCN associa o VP à quantidade estimada de mão-de-obra (hh) para a realização de uma quantidade de trabalho medida em peso, comprimento de corte e comprimento de solda<sup>13</sup>.

O VA representa a quantidade de mão-de-obra, calculada através do IPT utilizado para a elaboração da linha de base, para o trabalho realizado.

O CR é a quantidade de mão-de-obra efetivamente gasta para o trabalho realizado.

Dessa forma, a dimensão de custo do EVM, no ambiente do SCPCN, está associada ao consumo de mão-de-obra e ao progresso da produção e, conseqüentemente, à produtividade. Portanto, os custos não estão associados, de forma direta, a unidades monetárias e sim a quantidade de homens-hora necessárias/consumidas para uma determinada atividade.

Relações entre os principais elementos do EVM fornecem indicadores de desempenho de custo e cronograma do projeto.

A relação VA/VP fornece o Indicador de Desempenho de Cronograma (IDCR), ou SPI – *Schedule Performance Index*.

A relação VA/CR fornece o Indicador de Desempenho de Custo (IDCT), ou CPI – *Cost Performance Index*.

Esses dois indicadores, quando obtidos através de dados confiáveis e coletados através de procedimentos claros e transparentes, fornecem valiosas informações sobre o desempenho de um projeto.

Através da análise do IDCR e IDCT, desvios – em relação à linha de base estabelecida – podem ser identificados e ajustes em ambas as dimensões do projeto, de custo e cronograma, podem ser realizados.

As combinações entre o desempenho do SPI e CPI levam a nove diferentes situações de desempenho do projeto, cujos riscos de atraso ou aumento de custos são distintos. A Figura 90 apresenta um matriz de riscos para o desempenho de custo e cronograma do projeto.

---

<sup>13</sup> O SCPCN inclui apenas as atividades desenvolvidas no DEST e nas OFP, OMT, APED, AED.

Os riscos de ocorrência de problemas de custo e cronograma do projeto podem ser classificados em três grupos diferentes:

- risco baixo
  - SPI=1 e CPI=1
  - SPI>1 e CPI=1
  - SPI=1 e CPI>1
  - SPI>1 e CPI>1
- risco moderado
  - SPI>1 e CPI<1
  - SPI<1 e CPI>1
- risco elevado
  - SPI<1 e CPI>1
  - SPI=1 e CPI<1
  - SPI<1 e CPI=1

As diferentes áreas estão relacionadas com atrasos no cronograma e de aumento de custos.

As ações corretivas devem ser estudadas de forma a considerar os perfis de risco associados às diferentes situações do projeto.

As situações de risco baixo para o projeto (ver Figura 90) estão associadas a SPIs e CPIs maiores ou igual a um, o que significa que o projeto está com desempenho melhor que o planejado ou de acordo com a linha de base. Portanto, não há necessidade de ações corretivas nessas situações.

Se um dos indicadores SPI ou CPI é negativo e o outro positivo o desempenho do projeto é classificado como de risco moderado. Essas situações podem ser consideradas, até certo ponto, normais, pois se há um desempenho fraco no SPI, por exemplo, é natural que o CPI tenha um desempenho bom. Ou seja, se o projeto apresenta um atraso em relação à linha de base, pode-se considerar normal que, em contrapartida, o custo seja menor que o inicialmente planejado. Da mesma forma, se o CPI é menor do que um e o SPI maior do que um, significa que o custo é maior que o estipulado na linha de base, no entanto, o projeto se encontra adiantado em relação ao cronograma estabelecido. Nessas situações o SPI e o CPI devem ser monitorados com bastante atenção e ações corretivas devem ser realizadas no sentido de ajustar o projeto para que seu desempenho se aproxime daquele utilizado para a elaboração da linha de base.

Na terceira e mais grave situação há pelo menos um indicador com valor menor que um e não há valores maiores que um. Essas situações indicam riscos elevados de problemas com custo e cronograma. Ações corretivas nesses casos devem ser tomadas imediatamente, no sentido de replanejar o projeto para trazê-lo de volta aos trilhos. Como não há margem de custo e cronograma para ajustes, qualquer ação nesse tipo de situação implica em aumentar os custos do projeto, seja acelerando o projeto ou arcando com os custos decorrentes de um atraso no cronograma. Em situações como a descrita acima, quanto mais rápido forem identificados os problemas, menores os custos com as ações corretivas. Portanto, caso o desempenho

do projeto se enquadre na área de maior risco (Figura 90), é importante um esforço rápido e preciso de replanejamento para evitar custos crescentes decorrentes de ajustes no orçamento e no prazo inicialmente contratados.

|                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| SPI < 1<br>CPI > 1 | SPI = 1<br>CPI < 1 | SPI > 1<br>CPI < 1 |
| SPI < 1<br>CPI = 1 | SPI = 1<br>CPI = 1 | SPI > 1<br>CPI = 1 |
| SPI < 1<br>CPI > 1 | SPI = 1<br>CPI > 1 | SPI > 1<br>CPI > 1 |

Figura 90 – Matriz de riscos de desempenho do projeto

### 5.6. Planejamento da necessidade de homens-hora e do tempo em projetos de construção naval

Com o objetivo de ilustrar o funcionamento do SCPCN-DEST foi realizado um exercício de planejamento da necessidade de homens-hora e dos tempos de construção em um estaleiro hipotético.

Inicialmente foi determinada a produção anual do estaleiro com base nos tempos de fabricação de partes, de edificação e de acabamento no cais. A Tabela 45 mostra como foi calculada a produção anual. Considerando os tempos da Tabela 45 verifica-se que a produção agregada em um período de cinco anos seria de 13 navios, resultando em uma produção média anual de 2,6 navios.

O projeto a ser planejado, para posterior controle utilizando-se o SCPCN-DEST, é composto de um único contrato para a construção de quatro navios idênticos. Cada embarcação possui as seguintes características:

- 10.800 cgt
- 5.000 t de aço
- 4.500 t de chapas de aço
- 500 t de perfis laminados

Não serão considerados ganhos de produtividade da mão-de-obra devido ao aprendizado para o projeto em questão. A Tabela 45 simula a produção do estaleiro em cinco anos. Após o término do projeto em questão, os tempos de fabricação,

edificação e acabamento foram ajustados para representar ganhos de produtividade oriundos do aprendizado, de investimentos em infra-estrutura, em projeto e em processos.

Tabela 45 – Determinação de tempos de construção e da produção anual

| navio | IF | K  | L  | E  | TF | TEDIF | TACAB | TCONST | TOTAL | CONTADOR |
|-------|----|----|----|----|----|-------|-------|--------|-------|----------|
| 1     | 1  | 5  | 10 | 15 | 5  | 5     | 5     | 10     | 14    | 1        |
| 2     | 8  | 10 | 15 | 20 | 5  | 5     | 5     | 10     | 12    | 1        |
| 3     | 13 | 15 | 20 | 25 | 5  | 5     | 5     | 10     | 12    | 1        |
| 4     | 18 | 20 | 25 | 30 | 5  | 5     | 5     | 10     | 12    | 1        |
| 5     | 22 | 25 | 28 | 31 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 6     | 25 | 28 | 31 | 34 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 7     | 28 | 31 | 34 | 37 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 8     | 31 | 34 | 37 | 40 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 9     | 34 | 37 | 40 | 43 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 10    | 37 | 40 | 43 | 46 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 11    | 40 | 43 | 46 | 49 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 12    | 43 | 46 | 49 | 52 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |
| 13    | 46 | 49 | 52 | 55 | 4  | 3     | 3     | 6      | 9     | 1        |

IF = Início da fabricação, K = Batimento de quilha, L = Lançamento, E = Entrega, TF = Tempo de fabricação de partes, TEDIF = Tempo de edificação, TACAB = Tempo de acabamento, TCONST = Tempo de construção (TEDIF + TACAB)

Considerando o exposto acima, a seguir são apresentados os dados e informações adotados para a determinação do conteúdo de trabalho. Apenas os dados, informações e indicadores relevantes para este trabalho serão apresentados, ou seja, aqueles referentes ao Departamento de Estrutura – DEST e às seguintes áreas do estaleiro: Área de Edificação, Área de Pré-Edificação, Oficina de Montagem de Blocos e Oficina de Fabricação de Partes. No Anexo 5 estão reunidos os dados, informações e indicadores referentes a outras áreas do estaleiro.

### 5.6.1. Determinação do conteúdo de trabalho

#### *Tempos de produção*

A Tabela 46 apresenta os tempos de produção adotados.

Tabela 46 – Tempos de produção adotados

| processos            | meses | semanas | horas | dias |
|----------------------|-------|---------|-------|------|
| processamento de aço | 5     | 21,7    | 953   | 108  |
| montagem de blocos   | 5     | 21,7    | 953   | 108  |
| edificação           | 5     | 21,7    | 953   | 108  |
| acabamento           | 5     | 21,7    | 953   | 108  |

#### *Informações gerais sobre produtos, processos e recursos*

As seguintes informações foram adotadas para estimar as necessidades de homens-hora e de conteúdo de trabalho.

→ Horas trabalhadas

- 44 horas por semana de operação em 1 turno
- 8,8 horas de trabalho por dia
- Blocos e super-blocos
  - 300 t peso médio de super-bloco
  - 40 t peso médio de bloco
- Fabricação de partes
  - 80% do peso em aço passa pelo processo de fabricação de partes
  - 60% das partes fabricadas são de partes paralelas
  - 75 m de linha de corte e marcação por chapa para partes paralelas
  - 40% das partes fabricadas são de partes não-paralelas
  - 90 m de linha de corte e marcação por chapa para partes não-paralelas
- Chapas e perfis
  - 15% relação chapas/perfis
  - 12 m x 3 m x 12,7 mm chapa padrão
  - 3,4 t por chapa
  - 30.000 mm de perímetro da chapa

#### *Conteúdo de trabalho*

#### → **ÁREA DE EDIFICAÇÃO (AED)**

- Número de super-blocos = 17 (Peso total em aço/Peso médio super bloco)
- 65% são blocos de corpo paralelo
- Número de blocos de corpo paralelo = 11 (0,65 x Número de super blocos)
- 35% são blocos de proa/popa
- Número de blocos de proa/popa = 6 (0,35 x Número de super blocos)
- Tempo de processo = 108 dias

**IPP\_AED1** → Peso de blocos de corpo paralelo = **3250 t** (Peso médio super bloco X Número de Blocos do Corpo Paralelo)

**IPP\_AED2** → Peso de blocos proa/popa = **1750 t** (Peso médio super bloco x Número de blocos de proa/popa)

**IPT\_AED1** → Produtividade da mão-de-obra = **40 hh/t**

**ICMDO\_AED1** → mdo para edificação de blocos do corpo paralelo = **130.000 hh** (Peso de blocos de corpo paralelo x Produtividade da mdo)

**ICMDO\_AED2** → mdo para edificação de blocos de proa/popa = **70.000 hh** (Peso de blocos de proa/popa x Produtividade da mdo)

- Número de trabalhadores = 210 (ICMDO\_AED1 + ICMDO\_AED2/Tempo de processo)

#### → **ÁREA DE PRÉ-EDIFICAÇÃO (APED)**

- Número de blocos = 125 (Peso total em aço/Peso médio super bloco)
- 65% são blocos planos (corpo paralelo)
- Número de blocos planos = 81 (0,65 x Número de super blocos)
- 35% são blocos curvos (proa/popa)

- Número de blocos curvos = 44 (0,35 x Número de super blocos)
- Tempo de processo = 108 dias
- IPP\_APED1** → Peso de blocos de corpo paralelo = **3250 t** (Peso médio super bloco X Número de Blocos do Corpo Paralelo)
- IPP\_APED2** → Peso de blocos proa/popa = **1750 t** (Peso médio super bloco x Número de blocos de proa/popa)
- IPT\_APED1** → Produtividade da mão-de-obra = **28,8 hh/t**
- ICMDO\_APED1** → mdo para edificação de blocos do corpo paralelo = **93.600 hh** (Peso de blocos de corpo paralelo x Produtividade da mdo)
- ICMDO\_APED2** → mdo para edificação de blocos de proa/popa = **50.400 hh** (Peso de blocos de proa/popa x Produtividade da mdo)
- Número de trabalhadores = 151 (ICMDO\_APED1 + ICMDO\_APED2/Tempo de processo)

#### → OFICINA DE MONTAGEM DE BLOCOS/ESTRUTURA (OMT)

- Número de blocos = 125 (Peso total em aço/Peso médio super bloco)
- 65% são blocos planos (corpo paralelo )
- Número de blocos planos = 81 (0,65 x Número de super blocos)
- 35% são blocos curvos (proa/popa)
- Número de blocos curvos = 44 (0,35 x Número de super blocos)
- Tempo de processo = 108 dias
- IPP\_OMT1** → Peso de blocos de corpo paralelo = **3250 t** (Peso médio super bloco X Número de Blocos do Corpo Paralelo)
- IPP\_OMT2** → Peso de blocos proa/popa = **1750 t** (Peso médio super bloco x Número de blocos de proa/popa)
- IPT\_OMT1** → Produtividade da mão-de-obra – blocos de corpo paralelo= **21 hh/t**
- IPT\_OMT2** → Produtividade da mão-de-obra – blocos de proa/popa = **45 hh/t**
- ICMDO\_OMT1** → mdo para edificação de blocos do corpo paralelo = **68.250 hh** (Peso de blocos de corpo paralelo x Produtividade da mdo)
- ICMDO\_OMT2** → mdo para edificação de blocos de proa/popa = **78.750 hh** (Peso de blocos de proa/popa x Produtividade da mdo)
- Número de trabalhadores = 154 (ICMDO\_OMT1 + ICMDO\_OMT2/Tempo de processo)

#### → OFICINA DE FABRICAÇÃO DE PARTES/CORTE (OFP)

- Peso total de partes fabricadas = 3.600 t (% chapas que passam pela OFP x Peso total de chapas de aço)
- Número de chapas para fabricação = 1.059 (Peso total de partes fabricadas/Peso médio da chapa)
- IPP\_OFP1** → Peso total de partes paralelas = 2.160 t (% partes paralelas do total de partes fabricadas x Peso total de partes fabricadas)
- Número de chapas para partes paralelas = 635 (Peso total de partes paralelas/Peso médio da chapa)
- IPP\_OFP2** → Peso total de partes não paralelas = 1.440 t (% partes não paralelas do total de partes fabricadas x Peso total de partes fabricadas)

- Número de chapas para partes não paralelas = 424 (Peso total de partes paralelas/Peso médio da chapa)
- IPP\_OFP2** → Peso total de perfis laminados = 500 t
- Produtividade do recurso - máquina de corte a plasma
  - 2,4 m/min
  - 5 min/chapa de set-up da máquina
  - 10 min/chapa para limpeza e remoção de rebarbas
  - 53 min/chapa
- Produtividade do recurso - máquina de corte paralelo
  - 0,66 m/min por bico
  - 6 bicos
  - 4 m/min
  - 5 min/chapa de set-up da máquina
  - 10 min/chapa para limpeza e remoção de rebarba
  - 34 min/chapa
- Tempo de processo para fabricação de partes não-paralelas = 371 horas ou 8 semanas
- Tempo de processo para fabricação de partes paralelas = 359 horas ou 8 semanas
- IPT\_OFP1** → Produtividade da mão-de-obra para corte não-paralelo = **2,5 hh/t**
- IPT\_OFP2** → Produtividade da mão-de-obra para corte paralelo = **2,5 hh/t**
- IPT\_OFP3** → Produtividade da mão-de-obra para corte de perfis laminados = **10 hh/t**
- ICMDO\_OFP1** → mdo para corte não-paralelo = **3.600 hh** (Peso de partes paralelas x Produtividade da mdo)
- ICMDO\_OFP2** → mdo para para corte paralelo = **5.400 hh** (Peso de partes não paralelas x Produtividade da mdo)
- ICMDO\_OFP3** → mdo para para corte de perfis = **5.000 hh** (Peso de perfis laminados x Produtividade da mdo)
- Número de trabalhadores = 15 (ICMDO\_OFP1 + ICMDO\_OFP2 + ICMDO\_OFP3/Tempo de processo)

A Tabela 47 e a Tabela 48 resumem as informações acima.

Tabela 47 – Conteúdo de trabalho (hh) por área do estaleiro

| Áreas do Estaleiro                         | Horas-homem    | Peso (t)     |
|--|----------------|--------------|
| <b>Área de Edificação/estrutura</b>        | <b>200.000</b> | <b>4.500</b> |
| edificação de blocos do corpo paralelo     | 130.000        | 3.250        |
| edificação de blocos de proa/popa          | 70.000         | 1.750        |
| <b>Área de Pré-edificação</b>              | <b>144.000</b> | <b>4.500</b> |
| pré-edificação de blocos do corpo paralelo | 93.600         | 3.250        |
| pré-edificação de blocos de proa/popa      | 50.400         | 1.750        |

Tabela 47 (cont.)

| Áreas do Estaleiro                             | Horas-homem       | Peso (t)      |
|--|-------------------|---------------|
| <b>Oficina de Montagem de Blocos/estrutura</b> | <b>147.000</b>    | <b>4.500</b>  |
| montagem de blocos planos                      | 68.250            | 3.250         |
| montagem de blocos curvos                      | 78.750            | 1.750         |
| <b>Oficina de Fabricação de Partes/corte</b>   | <b>14.000</b>     | <b>4.100</b>  |
| corte não-paralelo                             | 3.600             | 1.440         |
| corte paralelo                                 | 5.400             | 2.160         |
| corte de perfis                                | 5.000             | 500           |
| <b>TOTAL</b>                                   | <b>505.000 hh</b> | <b>17.600</b> |

Tabela 48 – Número de trabalhadores por área do estaleiro

| Área do estaleiro                      | Número de trabalhadores |
|--|-------------------------|
| Área de Edificação/estrutura           | 210                     |
| Área de Pré-Edificação                 | 151                     |
| Oficina de Montagem de Bloco/estrutura | 154                     |
| Oficina de Fabricação de Partes/corte  | 15                      |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>530</b>              |

### 5.7. Sistema de Controle de Projetos de Construção Naval – Departamento de Estrutura (SCPCN-DEST)

Nas seções anteriores foram discutidos e apresentados os elementos que compõem o SCPCN-DEST. São eles:

- DEST – Departamento de Estrutura
- OFP – Oficina de Fabricação de Partes
- OMT – Oficina de Montagem de Blocos
- APED – Área de Pré-Edificação
- AED – Área de Edificação
- ICMDO – Indicador de Consumo de Mão-de-Obra
- IPP – Indicador de Progresso da Produção
- IPT – Indicador de Produtividade
- VP – Valor Planejado
- VA – Valor Adquirido
- CR – Custo Real
- IDCR (SPI) – Indicador de Desempenho de Cronograma
- IDCT (CPI) – Indicador de Desempenho de Custo

Além desses, há outros dois principais componentes do sistema: a Linha de Base do Projeto (LBP) e o Painel de Controle (PC). A LBP é gerada a partir dos elementos acima, do Cronograma Mestre de Produção (CMP) e de curvas-S (KS) estimadas para cada área do estaleiro considerada. O PC é composto de gráficos que comparam a LBP com as medições do ICMDO e IPP ao longo da execução do projeto, permitindo a identificação e classificação de problemas de desempenho, e também avaliar ações corretivas a serem tomadas.

### 5.7.1. Linha de Base do Projeto (LBP)

Considerando o capítulo anterior a Tabela 49 pode ser montada, que organiza o ICMDO, o IPP e o IPT adotados para a OFP, a OMT, a APED e a AED.

Tabela 49 – Indicadores do SCPCN-DEST

| ÁREA | ICMDO (hh) | IPP-PESO (t) | IPP-COMP (m) | IPT (hh/t) <sup>1</sup> |
|------|------------|--------------|--------------|-------------------------|
| OFP  | 14.000     | 3.600        | 137          | 3,88                    |
| OMT  | 147.000    | 5.000        | 89           | 29,4                    |
| APED | 144.000    | 5.000        | 30           | 28,8                    |
| AED  | 200.000    | 5.000        | 72           | 40,0                    |

<sup>1</sup>Valores médios são adotados para o IPT quando há linhas de produção com diferentes produtividades em uma mesma área do estaleiro.

O Cronograma Mestre de Produção – CMP deve ser definido para as áreas de estaleiro consideradas no SCPCN-DEST. A Figura 91 apresenta o CMP para o projeto em questão.

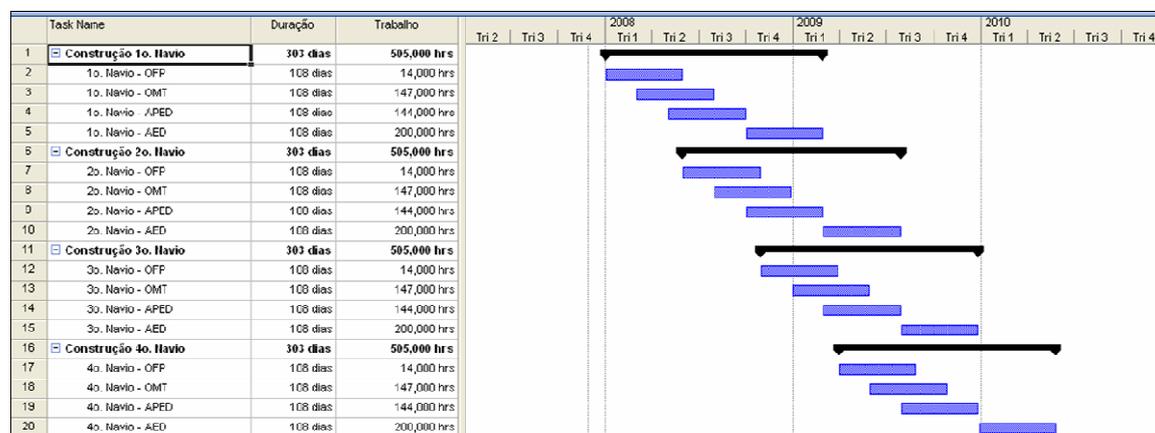


Figura 91 – Cronograma Mestre de Produção

Com base no CMP, nos ICMDO e em curvas-S estimadas para a produção nas áreas do estaleiro, é definida a Linha de Base do Projeto para o consumo de mão-de-obra.

A LBP estimada para o projeto em questão é apresentada na Tabela 50. A Figura 92, a Figura 93 e a Figura 94 mostram o consumo de mão-de-obra mensal e acumulado, definidos para a LBP.

Tabela 50 – Linha de Base do Projeto para o consumo de mão-de-obra

| LPG - curva-t v02            | 1        | 2        | 3         | 4         | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13         | 14         | 15         | 16           | 17           | 18           |  |
|------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Meses                        | 1/1/2008 | 1/2/2008 | 1/3/2008  | 1/4/2008  | 1/5/2008   | 1/6/2008   | 1/7/2008   | 1/8/2008   | 1/9/2008   | 1/10/2008  | 1/11/2008  | 1/12/2008  | 1/1/2009   | 1/2/2009   | 1/3/2009   | 1/4/2009     | 1/5/2009     | 1/8/2009     |  |
| <b>Construção 1o. Na Vlo</b> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem acumuladas</i> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <b>1o. Na Vlo - OFP</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 2.981,48 | 2.722,22 | 2.722,22  | 2.851,85  | 2.722,22   | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <b>1o. Na Vlo - OMT</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 1.361,11 | 28.583,33 | 29.944,44 | 29.944,44  | 28.583,33  | 28.583,33  | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 1.361,11 | 29.944,44 | 59.888,89 | 89.833,33  | 118.416,67 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00   | 147.000,00   | 147.000,00   |  |
| <b>1o. Na Vlo - APED</b>     |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 29.333,33  | 27.999,10  | 30.666,67  | 27.999,10  | 27.999,10  | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 29.333,33  | 57.333,33  | 87.999,10  | 116.000,00 | 143.999,10 | 144.000,00 | 144.000,00 | 144.000,00 | 144.000,00 | 144.000,00 | 144.000,00 | 144.000,00   | 144.000,00   | 144.000,00   |  |
| <b>1o. Na Vlo - AED</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.851,85   | 42.592,59  | 37.037,04  | 42.592,59  | 40.740,74  | 35.185,19  | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.851,85   | 44.444,44  | 81.481,48  | 124.074,07 | 164.814,81 | 200.000,00 | 200.000,00 | 200.000,00   | 200.000,00   | 200.000,00   |  |
| <b>Construção 2o. Na Vlo</b> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem acumuladas</i> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <b>2o. Na Vlo - OFP</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 129,63     | 2.722,22   | 2.981,48   | 2.722,22   | 2.851,85   | 2.592,59   | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 129,63     | 2.851,85   | 5.833,33   | 8.555,56   | 11.407,41  | 14.000,00  | 14.000,00  | 14.000,00  | 14.000,00  | 14.000,00  | 14.000,00  | 14.000,00    | 14.000,00    | 14.000,00    |  |
| <b>2o. Na Vlo - OMT</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 2.722,22   | 28.583,33  | 29.944,44  | 31.305,56  | 27.222,22  | 27.222,22  | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 2.722,22   | 31.305,56  | 61.250,00  | 92.555,56  | 119.777,78 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00 | 147.000,00   | 147.000,00   | 147.000,00   |  |
| <b>2o. Na Vlo - APED</b>     |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.333,33   | 30.666,67  | 26.666,67  | 30.666,67  | 29.333,33  | 25.333,33  | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.333,33   | 31.999,10  | 58.666,67  | 89.333,33  | 118.666,67 | 144.000,00 | 144.000,00 | 144.000,00   | 144.000,00   | 144.000,00   |  |
| <b>2o. Na Vlo - AED</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.851,85   | 40.740,74  | 40.740,74    | 38.888,89    | 40.740,74    |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.851,85   | 42.592,59  | 83.333,33    | 122.222,22   | 162.962,96   |  |
| <b>Construção 3o. Na Vlo</b> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem acumuladas</i> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <b>3o. Na Vlo - OFP</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 388,89     | 2.592,59   | 2.981,48   | 2.851,85   | 2.592,59   | 2.592,59   | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 388,89     | 2.981,48   | 5.962,96   | 8.814,81   | 11.407,41  | 14.000,00  | 14.000,00    | 14.000,00    | 14.000,00    |  |
| <b>3o. Na Vlo - OMT</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 4.083,33   | 29.944,44  | 27.222,22  | 29.944,44  | 29.944,44  | 29.944,44    | 25.861,11    | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 4.083,33   | 34.027,78  | 61.250,00  | 91.194,44  | 121.138,89 | 147.000,00   | 147.000,00   | 147.000,00   |  |
| <b>3o. Na Vlo - APED</b>     |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.333,33   | 29.333,33  | 29.333,33    | 27.999,10    | 29.333,33    |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1.333,33   | 30.666,67  | 59.999,10    | 87.999,10    | 117.333,33   |  |
| <b>3o. Na Vlo - AED</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <b>Construção 4o. Na Vlo</b> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem acumuladas</i> |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <b>4o. Na Vlo - OFP</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 259,26     | 2.851,85     | 2.722,22     | 2.851,85     |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 259,26     | 3.111,11     | 5.833,33     | 8.685,19     |  |
| <b>4o. Na Vlo - OMT</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 2.722,22     |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 2.722,22     |  |
| <b>4o. Na Vlo - APED</b>     |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <b>4o. Na Vlo - AED</b>      |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00         | 0,00         | 0,00         |  |
| <b>Total</b>                 |          |          |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |              |              |  |
| <i>homs-homem</i>            | 2.981,48 | 4.083,33 | 31.305,56 | 32.796,30 | 62.129,63  | 59.304,66  | 64.953,70  | 59.304,66  | 63.980,58  | 107.546,30 | 93.518,52  | 107.546,30 | 102.870,37 | 93.518,52  | 102.870,37 | 102.870,37   | 98.193,54    | 102.870,37   |  |
| <i>homs-homem acum</i>       | 2.981,48 | 7.064,81 | 38.370,37 | 71.166,67 | 133.296,30 | 192.601,85 | 257.554,66 | 316.861,11 | 380.844,69 | 488.387,99 | 581.907,41 | 689.453,70 | 792.324,07 | 885.842,59 | 988.712,96 | 1.091.582,43 | 1.189.776,88 | 1.292.648,15 |  |

Tabela 50 (cont.)

| 19            | 20            | 21            | 22            | 23            | 24            | 25            | 26            | 27            | 28            | 29            | 30            |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1/7/2009      | 1/8/2009      | 1/9/2009      | 1/10/2009     | 1/11/2009     | 1/12/2009     | 1/1/2010      | 1/2/2010      | 1/3/2010      | 1/4/2010      | 1/5/2010      | 2/5/2010      |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   |
| 37.037,044    | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   |
| 26.666,671    | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   |
| 5.555,561     | 38.888,891    | 40.740,741    | 40.740,741    | 38.888,891    | 35.185,191    | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 5.555,561     | 44.444,441    | 85.185,191    | 125.925,931   | 164.814,811   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   | 200.000,001   |
| 2.981,481     | 2.333,331     | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 11.666,671    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    | 14.000,001    |
| 31.305,561    | 28.583,331    | 29.944,441    | 24.500,001    | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 63.972,221    | 92.555,561    | 122.500,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   | 147.000,001   |
| 3.999,101     | 27.999,101    | 29.333,331    | 29.333,331    | 27.999,101    | 25.333,331    | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         |
| 3.999,101     | 31.999,101    | 61.333,331    | 90.666,671    | 118.666,671   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   | 144.000,001   |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 7.407,411     | 38.888,891    | 37.037,041    | 42.592,591    | 40.740,741    | 33.333,331    | 33.333,331    |
| 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 0,001         | 7.407,411     | 46.296,301    | 83.333,331    | 125.925,931   | 166.666,671   | 200.000,001   | 200.000,001   |
| 107.545,401   | 97.804,661    | 100.018,821   | 94.574,071    | 66.887,991    | 67.925,931    | 38.888,891    | 37.037,041    | 42.592,591    | 40.740,741    | 33.333,331    | 33.333,331    |
| 1.400.193,541 | 1.497.999,101 | 1.598.018,821 | 1.692.592,591 | 1.759.481,481 | 1.827.407,411 | 1.866.296,301 | 1.903.333,331 | 1.945.925,931 | 1.986.666,671 | 2.020.000,001 | 2.020.000,001 |

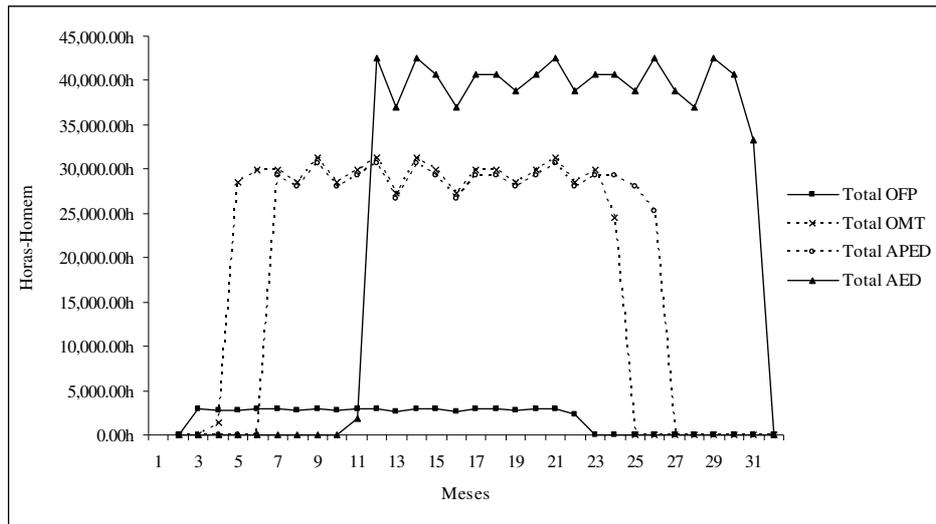


Figura 92 – Consumo mensal de mão-de-obra (OFP, OMT, APED, AED)

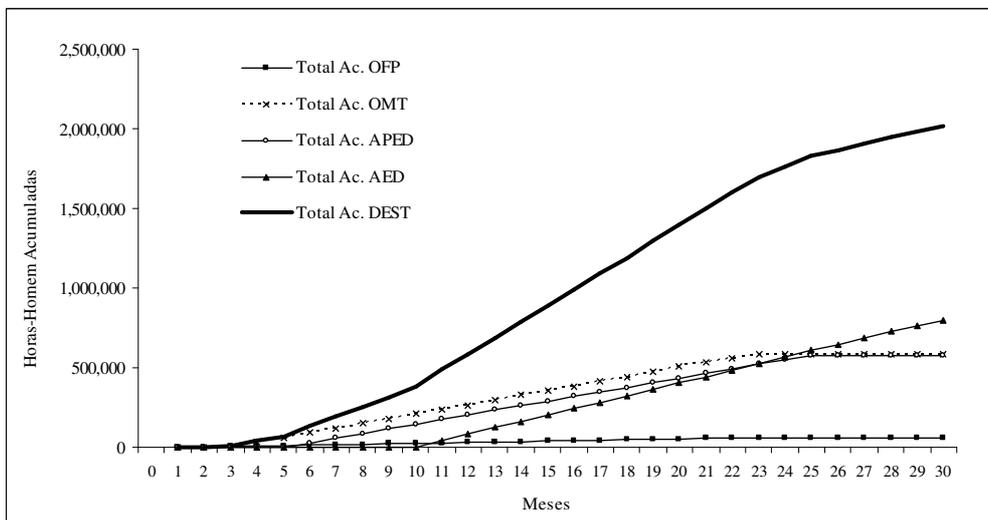


Figura 93 – ICMDO (DEST, OFP, OMT, APED, AED)

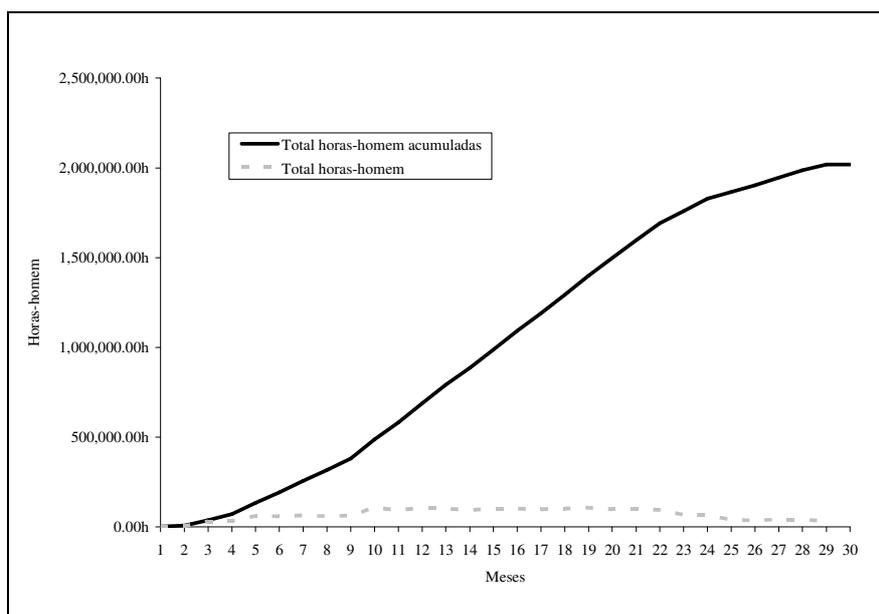


Figura 94 – ICMDO e consumo mensal de mão-de-obra (DEST)

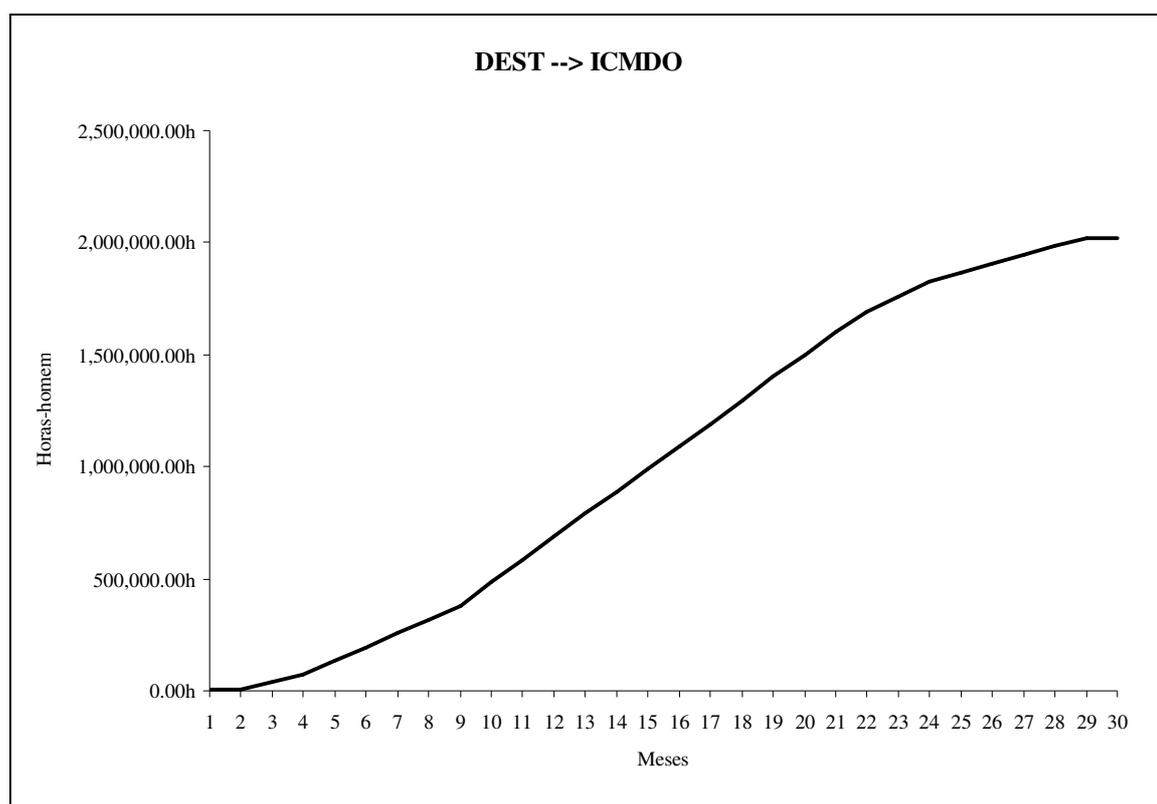
### 5.7.2. Painel de Controle (PC)

O PC é composto de um conjunto de gráficos que facilitam a visualização do Valor Planejado (VP) para o DEST e para cada uma das áreas consideradas (OFP, OMT, APED, AED). O Valor Adquirido (VA) e o Custo Real (CR) são plotados mês a mês nesses gráficos para monitoramento do desempenho do projeto.

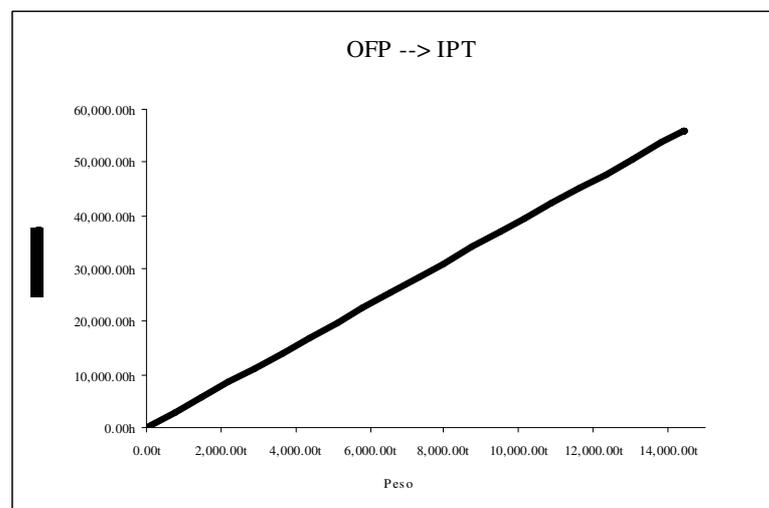
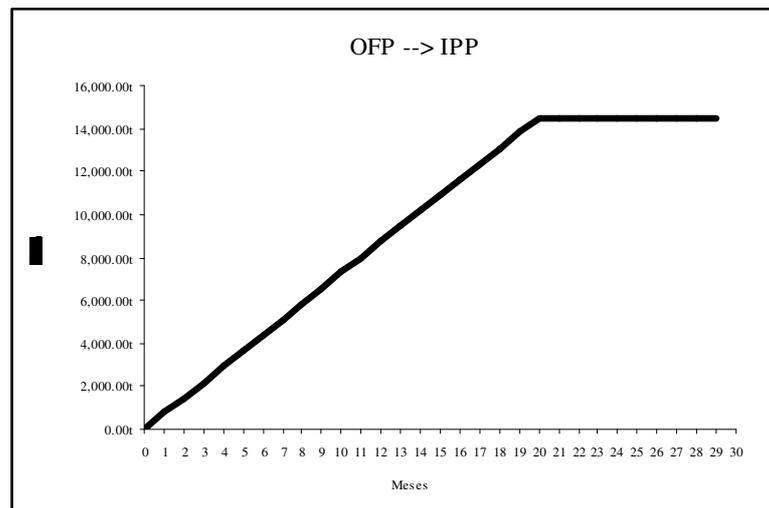
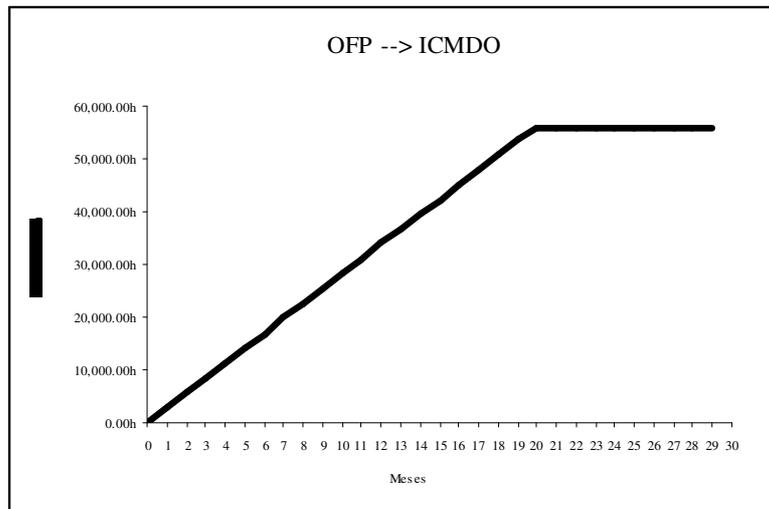
Com base no VP, VA e CR é possível calcular o IDCR (SPI) e o IDCT (CPI). Dessa forma é possível identificar riscos de problemas com o custo e cronograma, de acordo com as possíveis situações de desempenho apresentadas na Figura 90. As avaliações podem ser feitas para o DEST de forma agregada e para cada uma das áreas que compõe o DEST (OFP, OMT, APED, AED).

A seguir são apresentados os gráficos gerados com os dados, informações e indicadores do capítulo anterior.

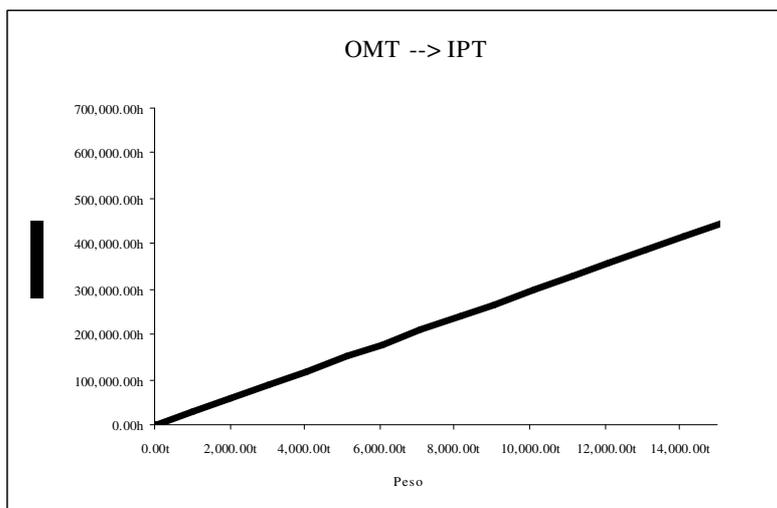
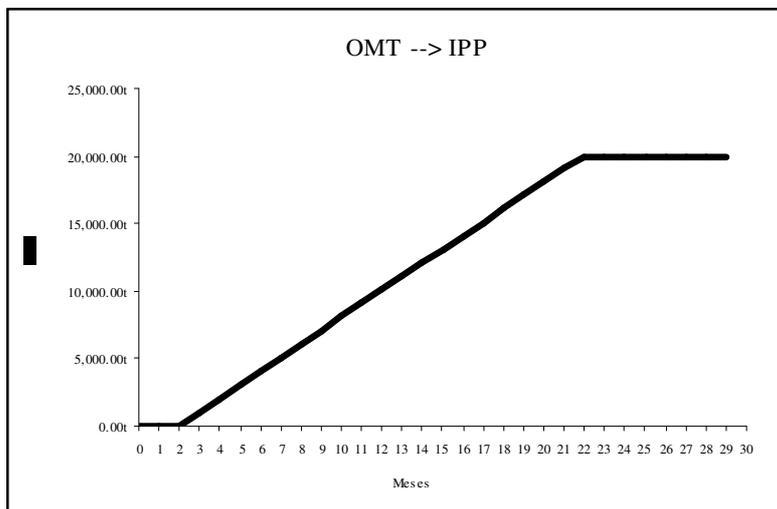
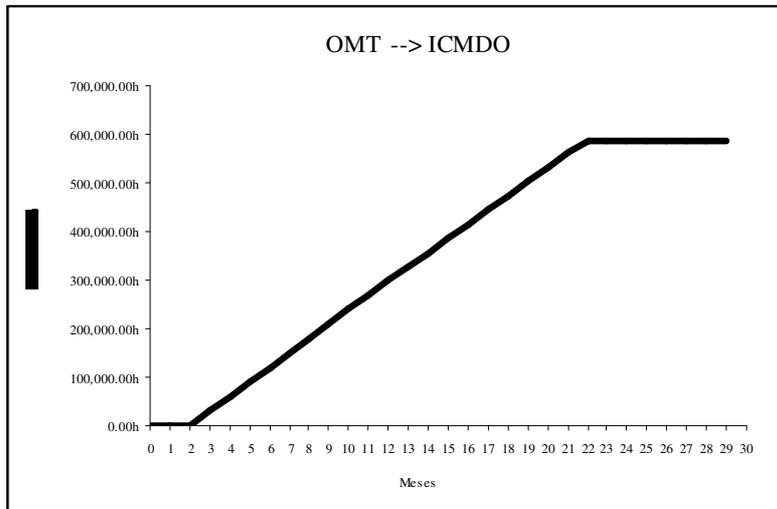
#### → DEPARTAMENTO DE ESTRUTURA (DEST)



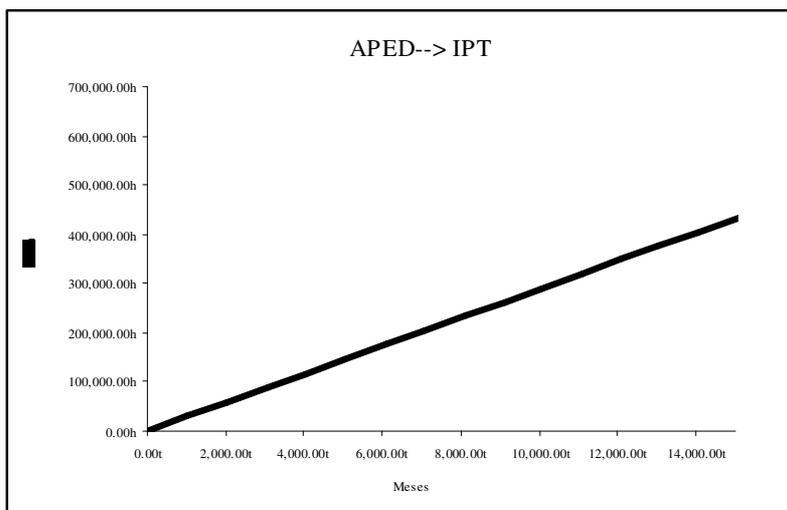
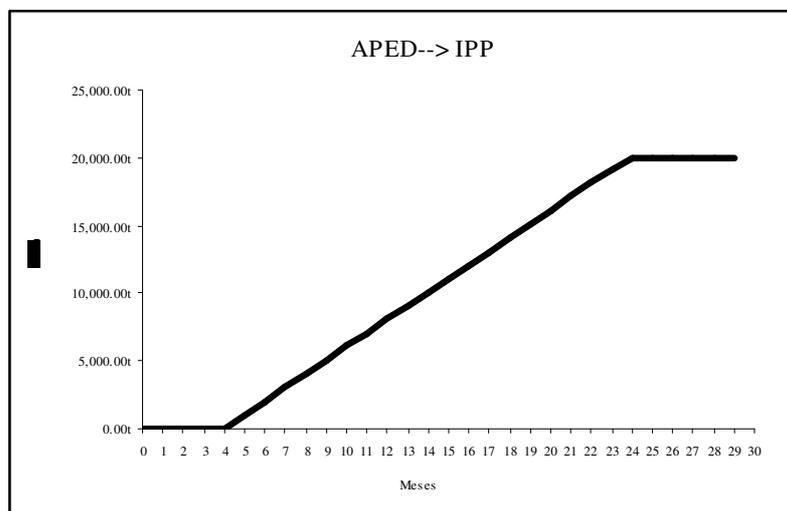
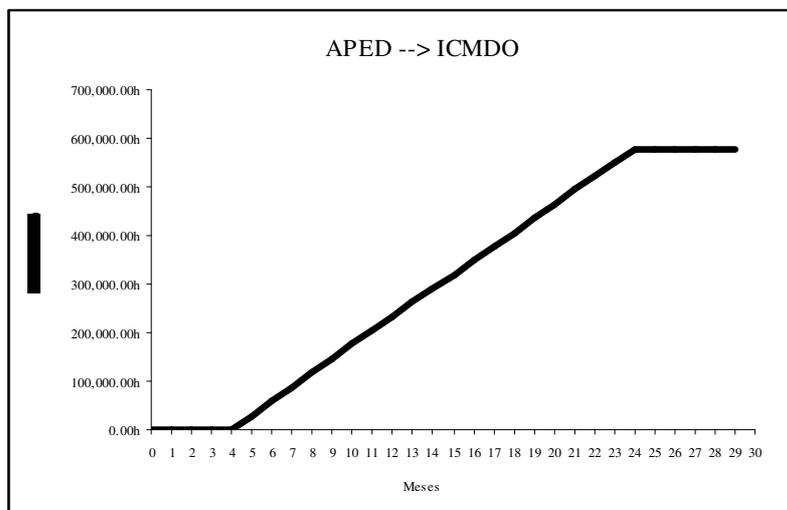
## → OFICINA DE FABRICAÇÃO DE PARTES/CORTE (OFP)



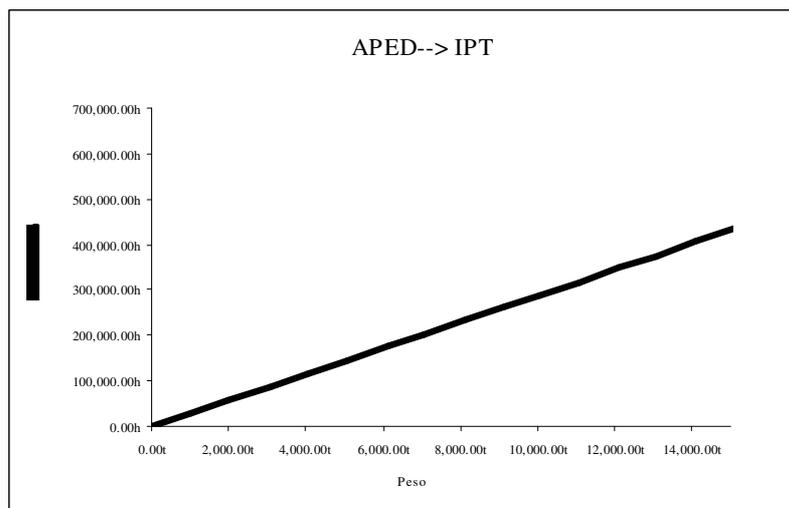
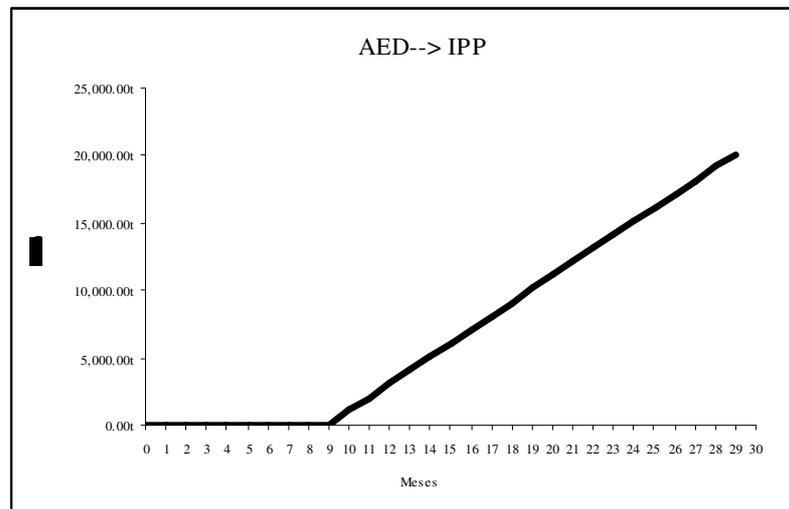
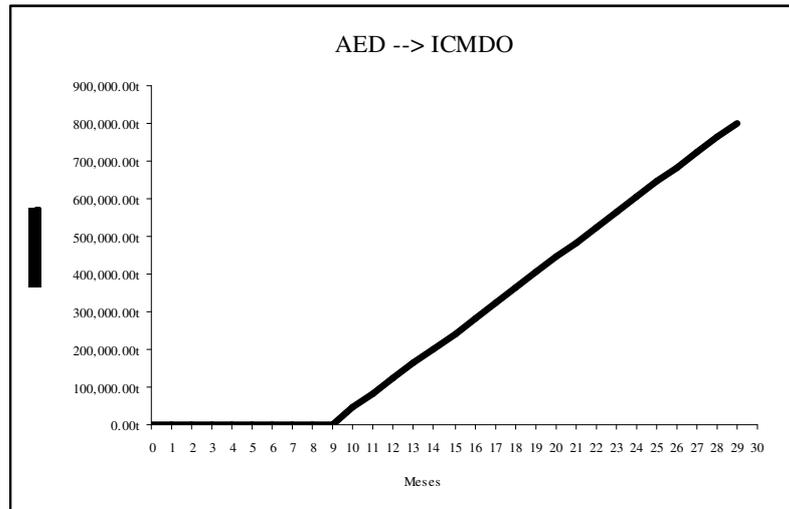
→ OFICINA DE MONTAGEM DE BLOCOS (OMT)



## → ÁREA DE PRÉ-EDIFICAÇÃO (APED)



## → ÁREA DE EDIFICAÇÃO (AED)



## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A contribuição efetiva deste trabalho é o desenvolvimento de ferramentas que sugerem uma direção no que se refere ao desenvolvimento tecnológico voltado para ferramentas gerenciais.

O conjunto de ferramentas apresentadas e os modelos desenvolvidos nesta tese cumprem com esse papel e reforçam essa contribuição.

O trabalho desenvolvido nesta Tese pode ser dividido em duas partes principais:

→ 1ª. Parte (Capítulos 2 e 3)

Nesses Capítulos o trabalho voltou-se para o entendimento da indústria de construção naval e para o levantamento de conceitos, métodos e ferramentas ligados à disciplina de Gestão da Produção.

No Capítulo 2 foram apresentados todos os elementos necessários para situar a indústria de construção naval como uma indústria particular, cujos modelos de organização da produção e da força de trabalho, padrões de desenvolvimento tecnológico e características de desenvolvimento de produto e processos respeitam essa particularidade.

Conclui-se que se deve pensar a indústria de construção naval de forma independente, onde o desenvolvimento de métodos e ferramentas deve considerar aspectos inovadores com relação ao que já foi desenvolvido para indústrias mais tradicionais, como por exemplo, as indústrias de construção civil e de manufatura. As particularidades observadas na construção naval impedem que, por exemplo, a gestão da produção seja realizada da mesma forma que já está consagrada para outras indústrias. Modelos existentes podem ser aproveitados, no entanto devem ser adaptados para considerar as especificidades encontradas no ambiente da construção naval.

Considerando o conteúdo do Capítulo 2 é possível avaliar melhor impactos de avanços tecnológicos na forma como é organizada a produção e a força de trabalho e, conseqüentemente, os respectivos resultados em termos de aumento da produtividade e redução de custos.

Com a capacidade crítica de avaliar o impacto do desenvolvimento tecnológico sobre a competitividade da construção naval, e com base no estudo sobre o panorama tecnológico do setor no Brasil, conclui-se que o desenvolvimento competitivo do setor no Brasil é uma meta viável.

O alcance de tal meta dependerá do comprometimento de todos os envolvidos com a diminuição do “gap” tecnológico existente em relação aos principais produtores mundiais. O aporte de tecnologia é fundamental nesse processo, desde que cuidadosamente estudado e executado.

O Capítulo 3 apresenta uma grande variedade de conceitos, métodos e ferramentas cuja aplicação na construção naval é observada em estaleiros líderes. O levantamento desses elementos, bem como a identificação do estado da arte na prática das funções de gestão da produção em estaleiros líderes, permitiu a identificação dos itens mais críticos para se alcançar níveis de produtividade mais próximos dos observados nos estaleiros mais competitivos.

Conclui-se do Capítulo 3 que a Tecnologia de Grupo deve ser explorada na busca por níveis elevados de produtividade.

Associado complementarmente à exploração da Tecnologia de Grupo, o desenvolvimento de sistemas de codificação e classificação, sistemas de informações integrados, gerenciamento de projetos, também podem trazer benefícios relevantes. As técnicas avançadas identificadas no Capítulo 3 são a Inteligência Artificial e a Simulação de Eventos Discretos

→ 2ª. Parte (Capítulos 4 e 5)

Nesses Capítulos o trabalho se voltou para a aplicação prática de elementos considerados como mais relevantes para o desenvolvimento competitivo da construção naval no Brasil, especificamente com relação às funções de gestão da produção.

O Capítulo 4 busca a aplicação das técnicas avançadas citadas acima voltadas para a implementação de conceitos de Tecnologia de Grupo.

A metodologia apresentada no Capítulo 4 mostra o potencial associado com a exploração de aplicação de Tecnologia de Grupo na construção naval. Combina, de forma pioneira, a aplicação de princípios de Tecnologia de Grupo e modelos inteligentes de classificação para a solução do “Cell Formation Problem”.

O aprofundamento do entendimento da estrutura de produtos através da utilização ferramentas de análise inteligente de dados oferece oportunidades de explorar os benefícios da Tecnologia de Grupo.

A estrutura apresentada neste trabalho pode ser utilizada para a obtenção de classes de blocos considerando aspectos complexos e multidimensionais do CFP. Os resultados apresentados são positivos e indicam que a metodologia proposta oferece soluções para o problema de formação de famílias de produtos intermediários no ambiente da construção naval.

Também se conclui que a programação das atividades na edificação é um problema de considerável importância para as operações de um estaleiro. A utilização de técnicas de otimização no estágio de edificação dos blocos no berço de construção leva a economias de tempo e a melhorias significativas no balanceamento dos recursos nessa atividade crítica. A abordagem utilizada é inédita e se apresenta com grande potencial para a otimização do processo de edificação.

Com relação ao uso da simulação, conclui-se que a técnica mostrou-se útil para avaliar problemas de programação da produção na construção naval.

Através dos modelos de simulação desenvolvidos foi possível analisar o comportamento de diferentes áreas da produção em um estaleiro de forma independente e também integrada.

Os resultados finais indicam que conclusões relevantes podem ser alcançadas e que a ferramenta de simulação pode ser aplicada com sucesso na construção naval brasileira.

Como sugestão para trabalhos futuros considera-se a utilização de dados reais de um estaleiro e a inclusão de blocos de proa e a popa da embarcação-tipo, bem como a consideração de processos de *outfitting* nos modelos de simulação de montagem de blocos.

O Capítulo 5 apresenta um sistema de controle da produção desenvolvido com o objetivo de acompanhar indicadores de desempenho simples e representativos. O sistema também incorpora elementos de Tecnologia de Grupo ao propor que áreas do estaleiro sejam acompanhadas de forma diferente, mesmo dentro de uma mesma oficina.

Os indicadores se mostram úteis para o acompanhamento de linhas de produção e indicam um potencial para dar ritmo à produção nas diferentes áreas do estaleiro. Através da utilização do sistema proposto, as áreas podem ser coordenadas e sincronizadas, permitindo que os benefícios da Produção Enxuta possam ser alcançados, conforme explorado nos Capítulos anteriores.

Finalmente, conclui-se que a união dos conceitos e técnicas apresentados nesta Tese é uma contribuição relevante para o avanço das funções de planejamento, programação e controle da construção naval.

A continuidade do trabalho apresentado no sentido de integrar as diferentes áreas do estaleiro, otimizando individualmente cada área ao mesmo tempo em que se busca a otimização global da produção, certamente oferecerá aumentos nos níveis de produtividade com ganhos significativos de eficiência.

O avanço na identificação de famílias de produtos, a criação de áreas específicas para o processamento de cada família de produtos identificada (Linhas de Produção), a otimização do seqüenciamento das atividades em cada Linha de Produção, a utilização da Simulação para a validação das abordagens identificadas e, finalmente, a utilização de um sistema de controle que permita a manutenção do ritmo planejado em cada Linha de Produção são recomendações gerais para trabalhos futuros ligados com os temas abordados nesta Tese.

Além disso, a integração efetiva das ferramentas aqui desenvolvidas e apresentadas oferecerá uma grande contribuição no sentido da otimização global da produção do estaleiro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 7.1. Bibliografia Principal

- AL-JIBOURI, S.H. (2003), “Monitoring Systems and their Effectiveness for Project Cost Control in Construction”. *International Journal of Project Management*, vol. 21, pp. 145-154.
- BAGHI, T.P. (1999), *Multiobjective Scheduling by Genetic Algorithms*, Klumer Academic Publishers, Norwell, MA
- BAKER K.R. (1998), *Elements of Sequencing and Scheduling*, Hanover, N.H.
- BAKER, K.R. (1974), *Introduction to Sequencing and Scheduling*, Wiley, New York
- BENTHALL, L.; BRIGGS, T.; DOWNIE, B.; GISCHNER, B.; KASSEL, B. e WOOD, R. (2003), “STEP for Shipbuilding: A Solution for Product Model Data Exchange”. *Journal of Ship Production*, vol. 19, no. 1, February.
- CAPRACE, J.D.; LOSSEAU, N.; ARCHAMBEAU, D.; RIGO, P. (2007), “A Data Mining Analysis Applied to a Straightening Process Database”, *7th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries - COMPIT’07*, Cortona, pp. 186-196.
- CHASE, R. B. e AQUILANO, N. J. (1995), *Production and Operations Management: Manufacturing and Services*. Seventh Edition, Ed. Irwin, USA.
- CHAU, K. W.; CAO, Y.; ANSON, M. e ZHANG, J. (2002), “Application of Data Warehouse and Decision Support System in Construction Management”. *Automation in Construction*, vol. 12, August, pp. 213-224.
- CHIRILLO, L. D. (1989), “Product Work Breakdown. The Challenge to Production and Design Engineers”. *Journal of Ship Production*, vol. 5, n. 2, Maio.
- CHIRILLO, L.D. (1987), *Flexible Production Indices*. National Shipbuilding Research Program, Maritime Administration in Cooperation with Todd Pacific Shipyards Corporation.
- CHIRILLO, L.D., CHRILLO, R. D., JONSON C. S. e KASAMA, M. (1982), *Pipe Piece Family Manufacturing*. National Shipbuilding Research Program, Maritime Administration in cooperation with Todd Pacific Shipyards Corporation.
- CLARK J. e LAMB, T. (1996), “Build Strategy Development”. *Journal of Ship Production*, vol. 12, n. 3, August, pp. 198-209.
- CLARKSON RESEARCH INSTITUTE (2004), *World Shipyard Monitor*. Clarksons, London, July.
- COPPE (2005a), *Indústria Naval Brasileira Situação Atual e Perspectivas de Desenvolvimento*. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES.
- COPPE (2005b), *Programa de Capacitação Tecnológica da Indústria Naval - Identificação de Melhores Práticas em Gestão de Operações*. Centro de Pesquisas, CENPES/Petrobras.
- COPPE (2007), *Benchmarking Internacional para Indicadores de Desempenho na Construção Naval*. Transpetro/Petrobras, FINEP.

- COPPE (2008), *Simulação de Sistemas de Construção Naval*. Transpetro/Petrobras, FINEP.
- CORRÊA H L, GIANESI I G N, CAON M (2001), *Planejamento, Programação e Controle da Produção*. Editora Atlas, 4ª. Edição, 2001.
- CRAGGS, J.; BELL, M.; QUARRELL, S.; e LARANJEIRA, F. (1995), “Technology Development: A European Experience”. *Journal of Ship Production*, vol. 11, no. 4, November.
- DAGLI, C.H. (1994), *Artificial Neural Networks for intelligent manufacturing*, Chapman & Hall, New York.
- DE LA FUENTE, R. e MANZANARES, E. (1996), “A Production Control System Based on Earned Value Concepts”. *Journal of Ship Production*, vol. 12, n. 3, August, pp. 153-166.
- DESCHAMPS, L. C. (undated), *Planning New Construction and Major Ship Conversions*. SPAR Associates, Maryland, USA. (www.sparusa.com )
- DWIVEDI, S.N. e CRISP, J. (2003), “Current Trends in Material Management in the Shipbuilding Industry”. *International Journal of Computer Applications in Technology*, volume 16, no.1, pp.1-11.
- EIA STANDARD (2002), *Earned Value Management Systems - EIA-748-A*. Global Engineering Documents, Englewood, USA.
- ERRAGUNTLA M *et al.* (2003), “Material Identification and Procurement System (MIDAPS)”. *World Maritime Technology Conference*, 2003, S Francisco-EUA.
- FLEMING, Q.W. e KOPPELMAN, J.M. (2000), *Earned Value Project Management*. 2nd. Edition. Project Management Institute, Pennsylvania, USA.
- GAITHER, N. e FRAZIER, G. (2002), *Administração da Produção e Operações*. 8ª Edição. Pioneira Thomson Learning, São Paulo.
- GALLAGHER, C.C.; BANERJEE, S. K. E SOUTHERN, G. (1974), *Group Technology in The Shipbuilding Industry*. *International Journal of Production Research*, Vol. 12, No. 1.
- GRIBSKOV, J., (1989), “A Group Technology Approach to Master Scheduling Of Shipbuilding Projects”. *Journal of Ship Production*, 5/4.
- HOLLMANN, J. K. (2003), “Best Owner Practices for Project Control”. *Cost Engineering*, vol. 45, n. 9, September 2003, pp. 25-30.
- IEEE (1990), *Std 610.12-1990 - IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Publications Office, Los Alamitos, CA.
- KAO, Y.; FU, S.C. (2006), “An ant-based clustering algorithm for manufacturing cell design”, *International Journal Advanced Manufacturing Technology* 28, pp. 1182-1189.
- KERZNER, H. (2003), *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. 8th Edition. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

- KIM, H., LEE, J.K., and JANG, D.S. (2002), "Applying digital manufacturing technology to ship production and maritime environment". *Integ. Manuf. Syst.*, 13 (5), 295-305.
- KIM, S.Y.; MOON, B.Y.; KIM, D.E.; SHIN, S.C. (2006), "Automation of hull plates classification in ship design system using neural network method", *Mechanical Systems and Signal Processing* 20, pp. 493-504.
- KOENIG P.C.; NARITA H. e BABA K (2002), "Lean Production in the Japanese Shipbuilding Industry?" *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 3, August.
- KOENIG, C. P. e CHRISTENSEN, W. L. (1999), "Development and Implementation of Modern Work Breakdown Structures in Naval Construction: A Case Study". *Journal of Ship Production*, vol. 15, n. 3, August, pp. 136-145.
- KRAUSE, M. e ROLAND, F. (2004) "Shipyard Production Flow Simulation using Object Libraries". *Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units – PRADS*.
- KRAUSE, M.; ROLAND, F.; STEINHAUER, D.; HEINEMANN, M. (2004), "Discrete Event Simulation: An Efficient Tool to Assist Shipyard Investment and Production Planning". *Journal of Ship Production*, vol. 20, no. 3, August.
- KUO, R.J.; CHI, S.C.; DEN, B.W. (1999), "A Fuzzy Kohonen's feature map Neural Network with application to Group Technology". *IJCNN '99. International Joint Conference on Neural Networks* 5, pp. 3098-3101.
- KUO, R.J.; HO, L.M.; HU, C.M. (2002), "Integration of self-organizing feature map and K-means algorithm for market segmentation", *Computers & Operations Research* 29, pp. 1475-1493.
- LAMB, T. (1988), "Group Technology in Shipbuilding", *Journal of Ship Production*, February.
- LAMB, T. (2001), "World-class Shipbuilders: Their Productivity and Use of Lean Manufacturing". *SNAME Transactions*.
- LAMB, T. and CLARK, J. (1995), "Build Strategy Development," *Ship Production Symposium*, Seattle, Washington.
- LAMB, T.; CHUNG, H.; SPICKNALL, M.; SHIN, J. G.; WOO, J. H.; KOENIG, P. (2003), "Simulation-based Performance Improvement for Shipbuilding Processes", *SNAME World Maritime Technology Conference, San Francisco 2003*.
- LEE, J. K.; LEE, K. J.; PARK, H. K.; HONG, J. S. e LEE, J. S. (1997), "Developing scheduling systems for Daewoo Shipbuilding: DAS project". *European Journal of Operational Research*, 97, pp. 380-395.
- LEE, K. J e LEE, J. K (1996), "A Spatial Scheduling System and its Application to Shipbuilding: DAS-CURVE". *Expert Systems with Applications*, vol. 10, no. 3/4, pp. 311-324.
- LEONDES, C.T. (1997), *Industrial & Manufacturing Systems (Neural Network Systems Techniques and Applications)*, Academic PR.
- LIKER J.K.; LAMB T. (2002), "What is Lean Ship Construction and Repair?" *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 3, August.

- LIKER, J. e LAMB, T. (2001a), “Lean Shipbuilding”. *SNAME Ship Production Conference*.
- LIKER, J. K. e LAMB, T. (2001b), *A guide to lean shipbuilding*. Maritech ASE Project #10, World Class Manufacturing Model for U.S. Commercial and Naval Ship Construction, Julho.
- LONGWORTH, S.C (2002), *Evolving Project Control Practices*. CSC.04. Association for the Advancement of Cost Engineering International Transactions.
- MARCO, T. (1999), “Programa de Métricas: Medindo para poder Melhorar”. *Apresentação no congresso da COMDEX’SP*.
- MELAND, K. e SPAULDING, R. (2003), Workload and Labor Resource Planning in a Large Shipyard. *Journal of Ship Production*, vol. 19, no. 1, February.
- MICHALEWICZ, Z. (1994), *Genetic Algorithms and Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag, New York, NY
- MOGENSEN M. (1999), “Material Management in Shipbuilding, Success Criteria”. *X International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*, June.
- MUJTABA, I.M.; HUSSAIN, M.A. (2001), *Application of neural networks and other learning technologies in process engineering*, River Edge.
- NSRP (2000-a), *Systems technology state-of-art report: where we are now and where we are going*. MARITECH A.S.E Systems Technology Panel, August.
- NSRP (2000-b), *Survey of technology employed in selected Japanese and south Korean ship yards*. Office of Naval Research Manufacturing Technology Program, November.
- NSRP (2001-a), *Benchmarking of European Shipyards*. Industry Report, First Marine International Limited, March.
- NSRP (2001-b), *Benchmarking of U.S. Shipyards*. Industry Report, First Marine International Limited, January.
- NSRP (2002), *Strategic investment plan: The U.S. shipbuilding industry*. NSRP Advanced Shipbuilding Enterprise, December.
- ODABASI, A.Y. e PATTERSON, D.R. (1990), “Information System Models – as a Tool for Shipyard Planning and Control”. *Journal of Ship Production*, vol. 6, n. 4, November, pp. 219-231.
- OECD (2007), *Compensated Gross Ton (CGT) System*, Council Working Party on Shipbuilding.
- OKAYAMA, Y. e CHIRILLO, L.D. (1982), *Product Work Breakdown Structure*. National Shipbuilding Research Program, Maritime Administration in cooperation with Todd Pacific Shipyards Corporation.
- OKUMOTO Y. (2002), “Optimization of Block Erection Using a Genetic Algorithm”. *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 23, May.
- OKUMOTO, YASUHISA; HIYOKU, KENTARO (2005), “Digital Manufacturing of Pipe Unit Assembly”. *Journal of Ship Production*, vol. 21, no. 3, August.
- ONWUBOLU, G.C. (1999), “Design of parts for cellular manufacturing using neural network-based approach”, *Journal of Intelligent Manufacturing* 10, pp. 251-265.

- PHAM, D.T.; DIMOV, S.S.; NGUYEN, C.D. (2004), “An Incremental K-means algorithm”, *Journal of Mechanical Engineering Science* 218, pp. 783-795.
- PIRES JR, F. C. M.; LAMB, T.; SOUZA, C. M. (2009) “Shipbuilding performance benchmarking”, *Int. J. Business Performance Management*, Vol. 11, No. 3, 2009
- PIRES Jr, F.C.M, SOUZA, C.M, and LAMB, T (2007), “Series Effect in Measuring Shipbuilding Output and Productivity”. *12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean*, Varna, Sep.
- PMI (2000), *Project Management Institutes’ Project Management Body of Knowledge*. Project Management Institute, Pennsylvania, USA.
- PMI (2001), *Project Management Institute Practice Standard for Work Breakdown Structures*. Project Management Institute, Pennsylvania, USA.
- SANTOS A A, (2003), *Integração do MRP II ao ERP: Estudo de Caso de uma Empresa de Aeronáutica*. Tese de M Sc., Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.
- SAUTER J. A.; PARUNAK H. V. D.; BRUECKNER S. (2001), “Agent-Based Modeling and Control of Marine Supply Chains”. *Journal of Ship Production*, vol. 17, no. 4, November.
- SHIN J.G.; WON S.I.; RYU C.H.; YIM H.; LEE J.H. (2002), “Object-Oriented Development of an Integrated System for Manufacturing Information of Roll Bending Process”. *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 23, May.
- SHIN, J. G.; LEE, K. K.; WOO, J. H.; KIM, W. D.; LEE, J. H.; KIM, S. H.; PARK, J. Y.; YIM, H. (2004), A Modeling and Simulation of Production Process in Subassembly Lines at a Shipyard. *Journal of Ship Production*, vol. 20, no. 2, May.
- SNAME (2003), *Ship Design and Construction*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- SOUZA, C. M.; TREVISANI, C.; FREIRE, R. M.; COSTERMANI, H.; MENDES, Y (2008), “Uso da Simulação para Análise Integrada de Estratégias de Construção”. *22º Congresso, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval*, Rio de Janeiro.
- SOUZA, C.M. and SINGER, D. (2006), “Block Erection Scheduling Optimization”. *SNAME Spring Meeting, Buffalo, NY*.
- SOUZA, C.M. and TOSTES, R. (2008), “Shipbuilding Interim Product Identification and Classification System Based on Intelligent Analysis Tools”. *8th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries - COMPIT’08*, Liège, Bélgica.
- SPICKNALL M H (2004), “The Shipbuilding Process” in Lamb T (ed), *Ship Design and Construction*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers – SNAME.
- SPICKNALL, M. H; RUPY, C; LAMB, T. e RACK, F. H (1995), “Past and Present Concepts of Learning: Implications for U.S. Shipbuilders”, *Journal of Ship Production*, vol. 11, n. 4, November, pp. 209-216.
- STORCH R.L.; PARK J.H.; EVANS D. (2002), “Development of a Ship Detail Design Expert System”. *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 1, February.
- STORCH, R. L e SUKAPANPOTHARAM, S. (2002), “Development of Repeatable Interim Products Utilizing the Common Generic Block Concept”. *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 4, November.

STORCH, R. L.; SUKAPANPOTHARAM, S.; HILLS, B.; BRUCE, G. e BELL, M. (1999), “Design for Production: Principles and Implementation”. *Ship Production Symposium*.

STORCH, R.L. (1994), “Material Based Planning”. *International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*.

STORCH, R.L.; HAMMON, C.P.; BUNCH, H.M. e MOORE, R.C. (1995), *Ship Production*. 2<sup>nd</sup> Edition. Cornell Maritime Press, Centreville, Maryland, USA.

STORCH, R.L.; SUKAPANPOTHARAM, S. (2003), “Common generic block: mass customization for shipbuilding”. *Journal of Engineering for the Maritime Environment* 217, pp. 79-94.

SU, C.T. (1995), “A Fuzzy approach for part family formation”, *Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, International IEEE/IAS Conference*, pp. 289-292.

SURESH, N.C.; SLOMP, J. (2005), “Performance comparison of virtual cellular manufacturing with functional and cellular layouts in DRC settings”, *International Journal of Production Research* 43/5, pp. 945-979.

VARGAS, R. V. (2003), *Análise de Valor Agregado em Gerenciamento de Projetos: Como Revolucionar o Controle e a Avaliação de Desempenho em Projetos*. 2<sup>a</sup> Edição. Brasport, Rio de Janeiro, Brasil.

VAUGHAN, R. (1983), “Productivity in Shipbuilding”, *North-East Coast Institution Engineers and Shipbuilders General Meeting – NECIES*.

VOVEDICH JR., B. E.; WHITE, R. E. e AGHILI, H. K. (2001), “Development and Implementation of a Standard WBS for Offshore Construction”. *Offshore Technology Conference, OTC 12983*. Houston, Texas.

WHITFIELD, R. I.; DUFFY, A. H. B. e MEEHAN, J (2003), “Ship Product Modeling”. *Journal of Ship Production*, vol. 19, no. 4, November.

ZIJM, W.H.M. (2000), “Towards intelligent manufacturing planning and control systems”. *OR Spektrum*, vol. 22, pp. 313-345, Springer-Verlag.

## **7.2. Bibliografia Complementar**

AMEMIYA, T. (1994), “Production Planning System for Oppama Shipyard”. *International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*.

ANDERS, H. e MASSOW, C. (1999), “Planning and Control of the Compact Shipyard 2000”. *International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*.

BENNET, J. G. e LAMB, T. (1996), Concurrent Engineering: Application and Implementation for U.S. Shipbuilding. *Journal of Ship Production*, vol. 12, no. 2, May.

BENTHALL L.; BRIGGS T.; GISCHNER B.; KASSEL B.; MILLER B.; WOOD R., (2002), “Evolution of STEP (ESTEP): An Interim Report on the Exchange of Shipbuilding Product Model Data Using STEP”. *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 23, May.

- BENTHALL, L.; BRIGGS, T.; DOWNIE, B.; GISCHNER, B.; GRAU, M.; KASSEL, B.; WOOD, R. (2004), "Enabling Interoperability Between US Shipyards". *Journal of Ship Production*, vol. 20, no. 2, May.
- BIRMINGHAM R. (2001), "Some Developments in Marine Technology Education in the United Kingdom". *Journal of Ship Production*, vol. 17, no. 4, November.
- BMP (2003), *Report of Survey Conducted at Electric Boat Corporation, Quonset Point Facility, North Kingstown, RI*. Office of Naval Research's Best Manufacturing Practices (BMP) Program, July.
- BOYER, M. e SOVILLA, L (2003), "How to Identify and Remove the Barriers for a Successful Lean Implementation". *Journal of Ship Production*, vol. 19, no. 2, May.
- BRIGGS, T.; GISCHNER, B.; LAZO, P.; MAYS, J.; ROYAL, A.; WOOD, R. (2005), "Product Data Exchange to Support Modeling and Simulation". *Journal of Ship Production*, vol. 21, no. 3, August.
- BRODDA, J. (2004), "Knowledge-Driven Production and Qualification: Key Factors for Sustainable Productivity". *Journal of Ship Production*, vol. 20, no. 2, May.
- BRUCE, G.; HILLS, B. e STORCH, R. L. (1998), "Design for Production", *Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units – PRADS*.
- BRUCE, G. J. (2006), "A Review of the Use of Compensated Gross Tonnes for Shipbuilding Performance Measurement". *Journal of Ship Production*, Vol. 22, No. 2, May, pp. 99–104.
- CEREZO, J. L. e SÁNCHEZ-JAÚREGUI, A. (1995), "Spanish Shipbuilding: Restructuring Process and Technological Updating From 1984 to 1994". *Journal of Ship Production*, vol. 11, no. 4, November.
- CHANG, A. S. (2001), "Defining Cost/Schedule Performance Indices and Their Ranges for Design Projects". *Journal of Management in Engineering*, April, pp. 122-130.
- CHENG, J-Y; LU, B. e ZHANG, S-K (2001), "Mobile Agent Based Supply Chain Management in Shipbuilding Industry". *Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units – PRADS*.
- CHOI, H. S. e PARK, K. H. (1997), "Shop-floor Scheduling at Shipbuilding Yards Using the Multiple Intelligent Agent System". *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 8, pp. 505-515.
- CRAGGS, J.; BELL, M.; QUARRELL, S.; e LARANJEIRA, F. (1995), "Technology Development: A European Experience". *Journal of Ship Production*, vol. 11, no. 4, November.
- CRAGGS, J, BLOOR, D, TANNER, B, and BULLEN, H. (2004), "Naval Compensated Gross Tonnage Coefficients and Shipyard Learning", *Journal Of Ship Production*, 20, 2, 107–113.
- Drewry Shipping Consultants (2002), *Marine equipment: New Insight into a lucrative market sector*. Drewry, Aug.
- DOUGLAS, B. (1994), "A Ship Product Model as an Integrator between Vessel Build Planning and Design". *International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*.

- DUDA, R.O.; HART, P.E., STORK, D.G. (2001), *Pattern Classification*, John Wiley, New York.
- ERICHSEN, S. (1994), “The Effect of Learning When Building Ships”. *Journal of Ship Production*, 10, 3, 141–145.
- EUROPEAN COMMISSION (2005), *Leadership 2015: Defining the Future of the European Shipbuilding and Shiprepair Industry*. Leadership Program, May.
- FERRIE, K.; SPICKNALL, M. H. (2005), “A Hybrid-Agent-Based Approach for Block Break Definition Using Fuzzy Logic”. *Journal of Ship Production*, vol. 21, no. 3, August.
- FLEISHER, M.; KOHLER, R.; LAMB, T. e BONGIORNI, H. B. (1999), “Marine Supply Chain Management”. *SNAME Ship Production Conference*.
- FLOYD, L. A. (2004), “Application of Appropriate Project Controls Tools for Contract Type”. *Cost Engineering*, vol. 46, n. 2, February, pp. 25-30.
- GANE, C. e SARSON, T. (1983), *Análise Estruturada de Sistemas*. 1ª Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.
- GISCHNER B.; KASSEL B.; LAZO P.; WOOD R.; WYMAN J. (2001), “Evolution of STEP (ESTEP): Exchange of Shipbuilding Product Model Data”. *Journal of Ship Production*, vol. 17, no. 3, August.
- HANSEN, L. e GEBHARDT, L. (2004), “Emerging Workforce Development for Shipbuilding”. *NSRP/ASE Crosscut Panel Project, Deliverable 2, Final Report*, June.
- HOWES, N. (1982), “Project Management Systems”. *Information and Management*, vol.5, pp. 243-258.
- KAO C *et al*, (1995), “Planning for automation for shipyards: An illustrative study”. *Computers in Industry*, 27, 33-41.
- KAMRUZZAMAN, J.; BEGG, R.; SARKER, R. (2006), *Artificial Neural Networks in Finance and Manufacturing*, Igi Global.
- KPMG (1992), *EC Study of the Competitiveness of European Shipyards*. KPMG, UK.
- KOENIG P. C.; NARITA H.; BABA K. (2001), “Strategies and Outcomes in the Two Sectors of the Japanese Shipbuilding Industry”. *Journal of Ship Production*, vol. 17, no. 3, August.
- KOENIG, P. (2003), “The Shipbuilding Industry in East Asia”. Presentation to RAND, August.
- KOENIG, P. C.; NARITA, H. e BABA, K. (2003), “Shipbuilding Productivity Rates of Change in East Asia”. *Journal of Ship Production*, vol. 19, no. 1, February.
- KOENIG, P. C.; NARITA, H. e BABA, K. (2003), “Shop-Floor Automation and Market Strategy in Japanese Shipbuilding”. *Journal of Ship Production*, vol. 19, no. 3, August.
- KUHLMANN, T.; MARCINIAK, Z. e MACBOW, C. (1994), “Integrated Coordination Modules for Shipbuilding Industry”. *International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*.

- LAMB, T. e ALAN, A. (1995), “A Review of Technology Development, Implementation, and Strategies for Further Improvement in the U.S. Shipbuilding Industry”. *SNAME Transactions*.
- LAMB, T.; STORCH, R. L. e CLARK, J. (1995), “Technology Survey of U.S. Shipyards – 1994”. *Journal of Ship Production*, August.
- LAMB T.; HELLESOY A. (2002), A Shipbuilding Productivity Predictor. *Journal of Ship Production*, vol. 18, no. 23, May.
- LAMB, T, and KNOWLES, R. P. (1999), “Productivity Metric for Naval Ships”. *SNAME Ship Production Symposium*, July.
- LANG, S.; DUTTA, N.; HELLESOY, A.; DANIELS, T.; LIESS, D.; CHEW, S. e CANHETTI, A. (2001), “Shipbuilding and Lean Manufacturing - A Case Study”. *SNAME Ship Production Conference*.
- LAURINDO F J B. (2002), *Tecnologia da Informação – Eficácia nas Organizações Futura*.
- LOVDAHL Jr, R. H.; MARTIN, D. J.; POLINI, M. A.; WOOD, R. W.; GERARDI, M. L.; LAZO, P. L. e WOOLEY, D.; (1994), “The NIDDESC ship product model: The STEP solution”. *Journal of Ship Production*, vol. 10, no. 1, February, pp. 39-50.
- MINEMURA T. (1994), “Scheduling Model of CIM for Shipbuilding”. *International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*.
- NAGATSUKA, S. (2000), *Study of the productivity of Japan and South Korea’s shipbuilding yards based on statistical data*. Japan Maritime Research Institute, Tokyo, 2000.
- NEUMANN R J. (1994), “Network Scheduling Development in MRP II Enviroment”. *Journal of Ship Production*, Vol 10, No 4, Nov., pp. 223-232.
- NEUMANN, R. J. and MCQUAIDE, D. J. (1992), “Application of PC-based Project Management in an Integrated Planning Process”. *Journal of Ship Production*, 8(4), November.
- OKUMOTO (1994), “Application of CAE to Hull Production”. *International Conference on Computer Applications in Shipbuilding – ICCAS*.
- PHELPS, T. A.; FLEISCHER, M.; LAMB, T. e DEGRAW, K. (2003), “Strategic Outsourcing: A Process for Shipbuilders”. *Journal of Ship Production*, vol. 19, no. 1, February.
- RIBEIRO, J.F.F; MENGUELATI, S. (2002), “Organização de um sistema de produção em células de fabricação”, *Gestão e Produção* 9/1, pp. 62-77.
- SEKIYA, O. (1990), “Improving Productivity in a Japanese Shipyard”. *North-East Coast Institution Engineers and Shipbuilders General Meeting – NECIES*.
- STUMP, E (2002), *All About Learning Curves*, Galorath Incorporated, <http://www.galorath.com/presentations/LearningCurves.pdf>.
- TRABAND, M. T.; FINKE, D. A.; HADFIELD, J.; SANTOS, R. (2004), “Shipbuilding Facility Planning and Design: A Product-Centric Approach”. *Journal of Ship Production*, vol. 20, no. 4, November.

WALKER C L, DORAIS A, ROBERTSON L C e HOULIHAN (1999), 'Assisting U.S. Shipyards to Develop and Maintain Skilled Trades Personnel'. *SNAME Ship Production Conference*, 1999.

**ANEXO 1 – MODELAGEM DE PRODUTO, PROCESSOS E RECURSOS NO  
DELMIA V5, DPM, DPE**

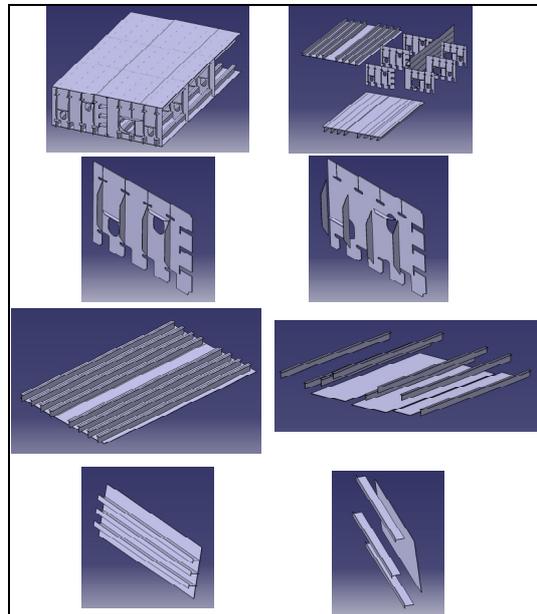


Figura 95 – Decomposição do Bloco 1

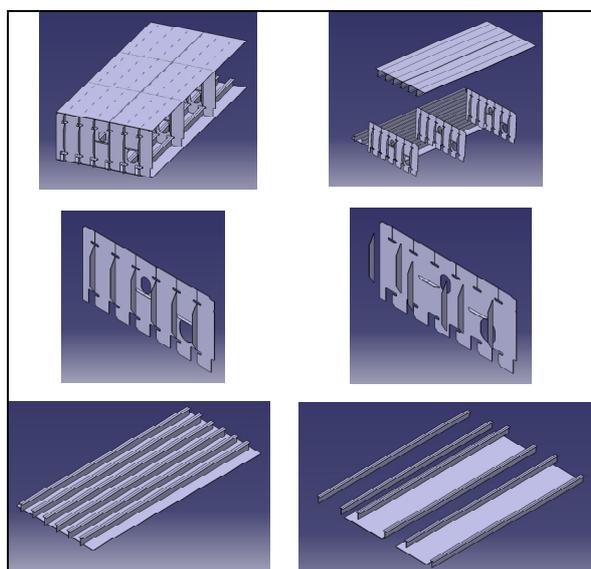


Figura 96 – Decomposição dos Blocos 2 e 3

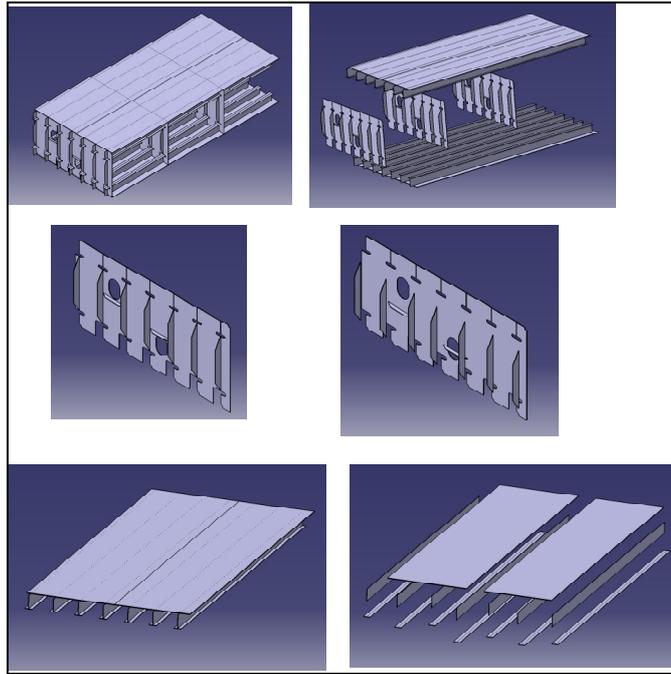


Figura 97 – Decomposição dos Blocos 4 e 5

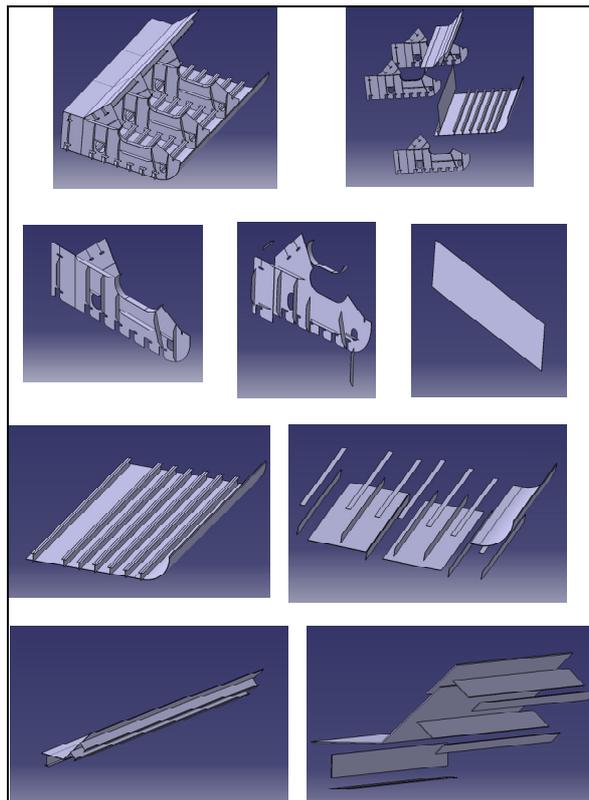


Figura 98 – Decomposição dos Blocos 6 e 7

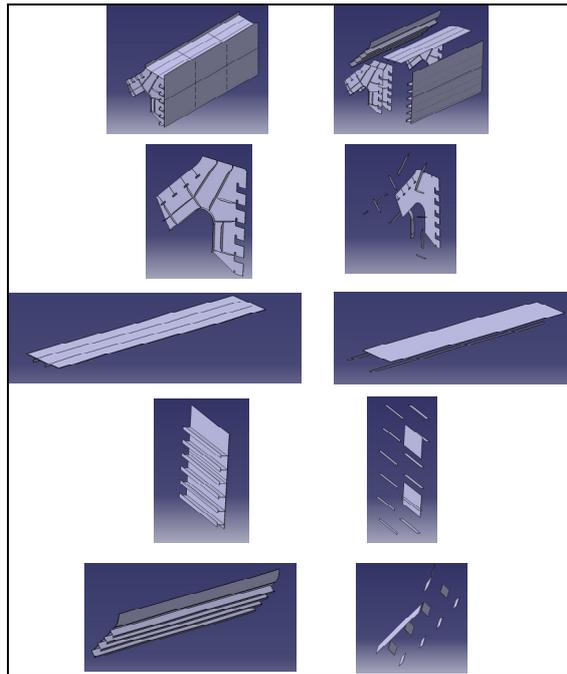


Figura 99 – Decomposição dos Blocos 8 e 9

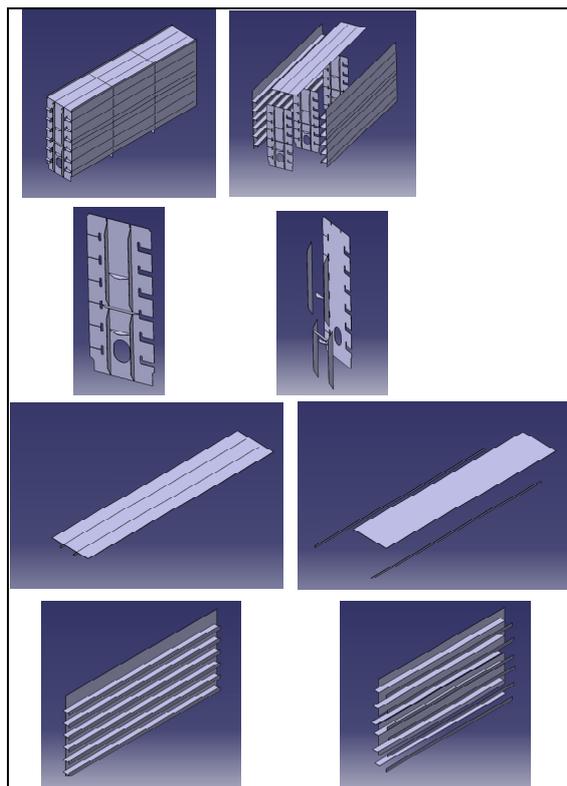


Figura 100 – Decomposição dos Blocos 10 e 11

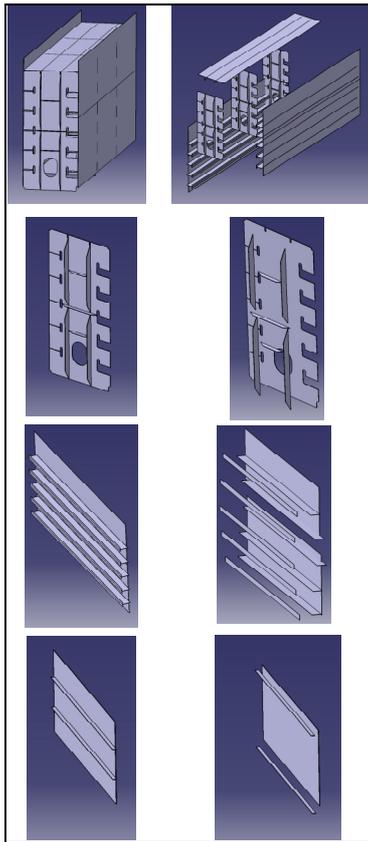


Figura 101 – Decomposição dos Blocos 12 e 13

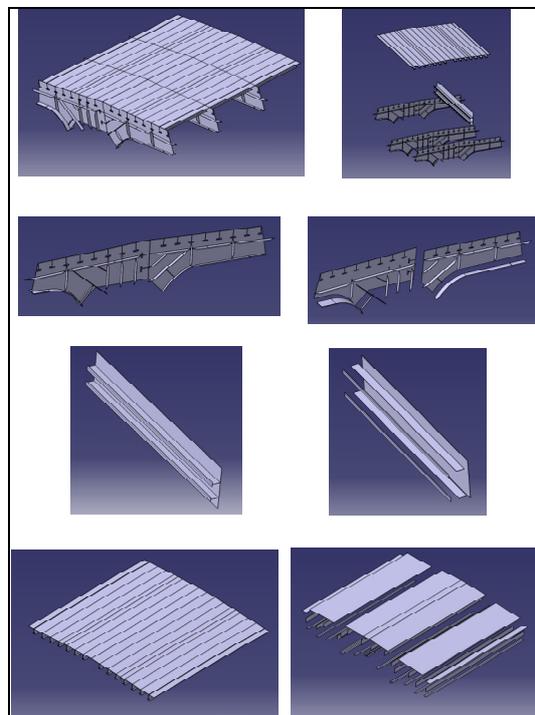


Figura 102 – Decomposição do Bloco 18

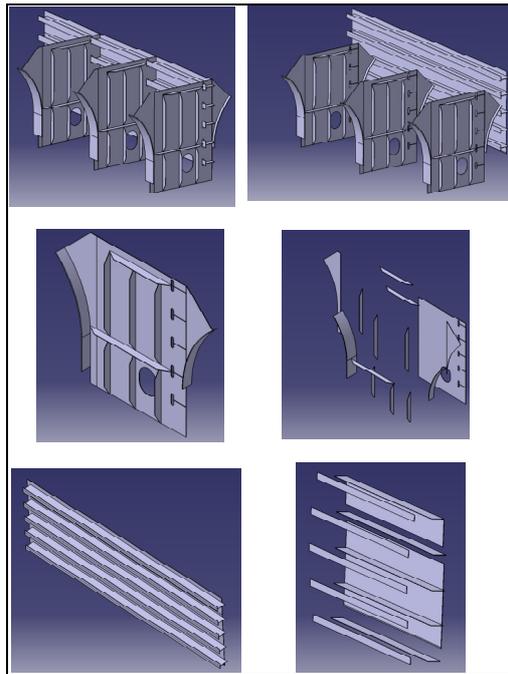


Figura 103 – Decomposição do Bloco 19

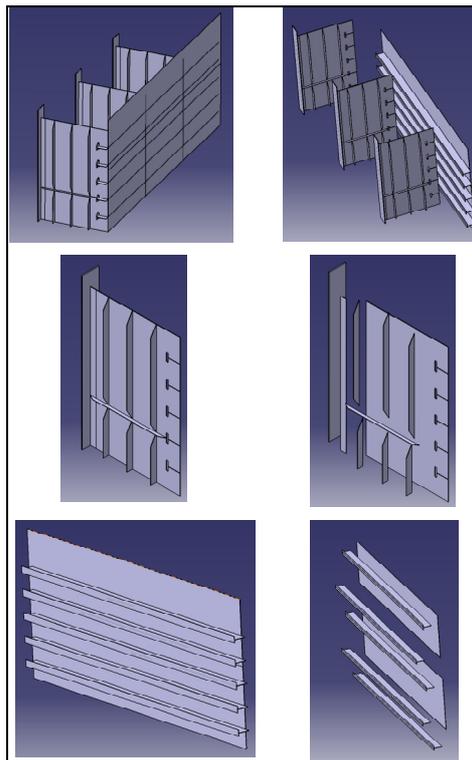


Figura 104 – Decomposição do Bloco 20

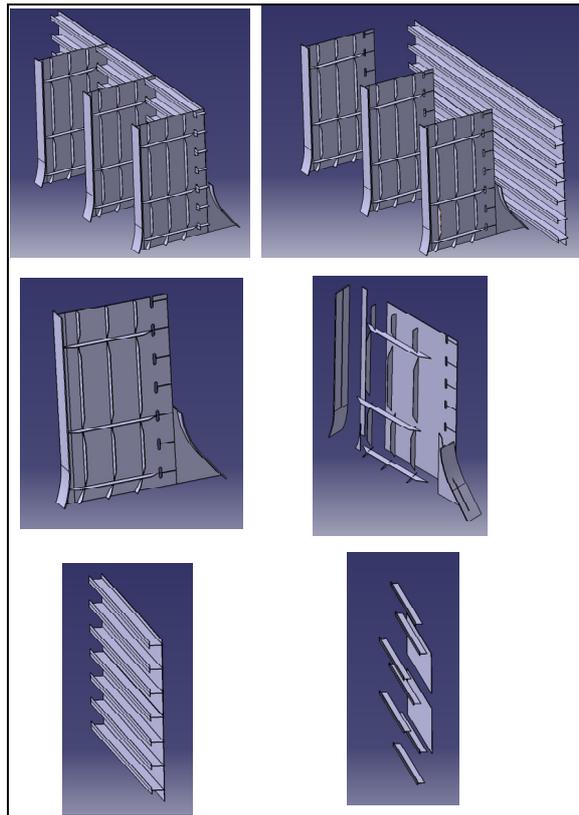


Figura 105 – Decomposição do Bloco 21

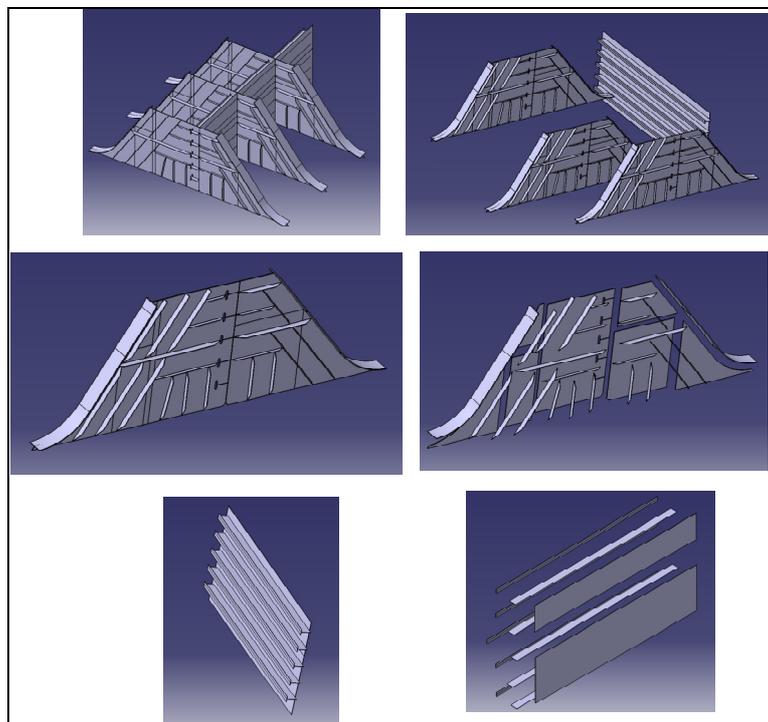


Figura 106 – Decomposição do Bloco 22

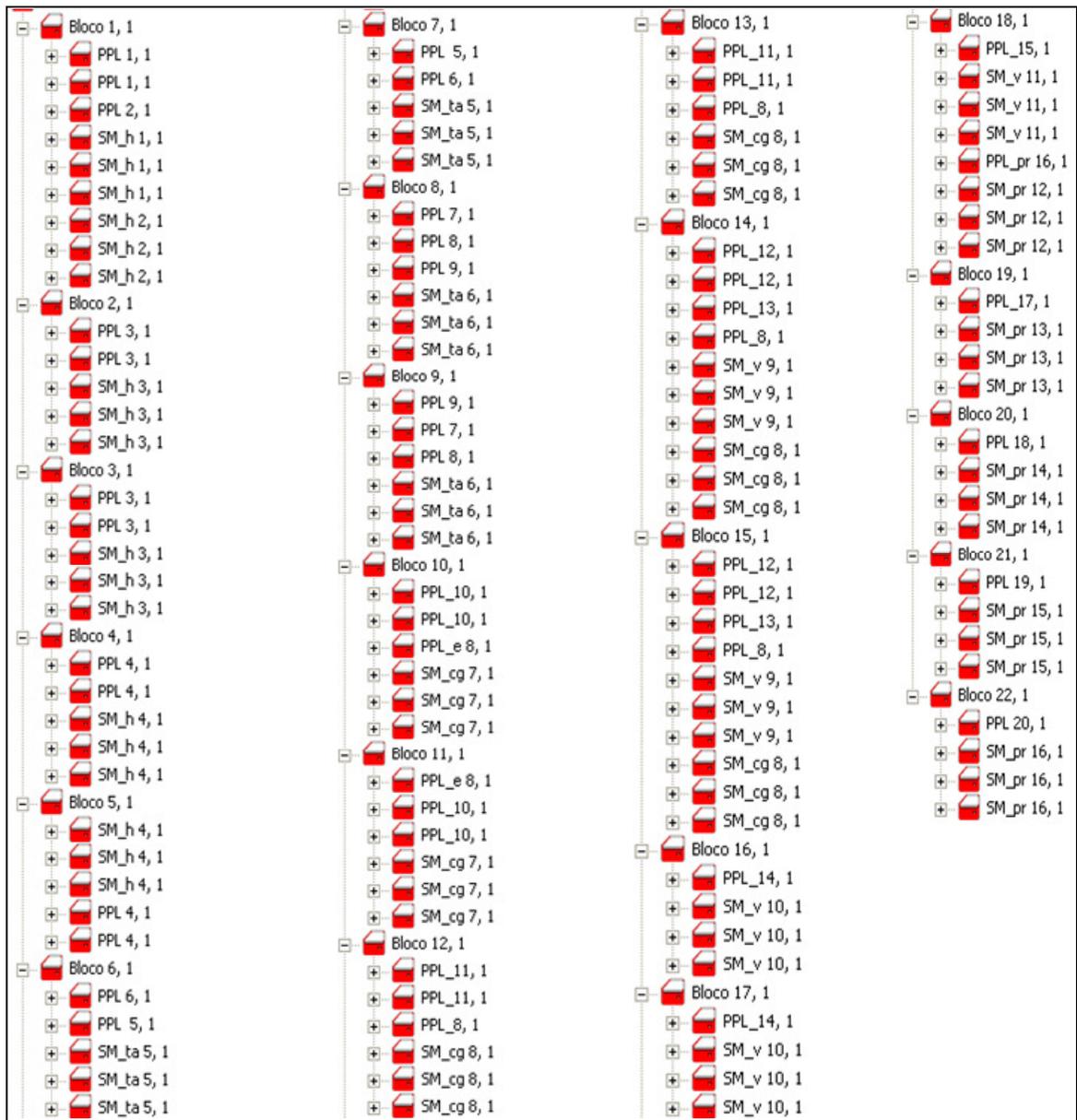


Figura 107 – Blocos decompostos em painéis e submontagens

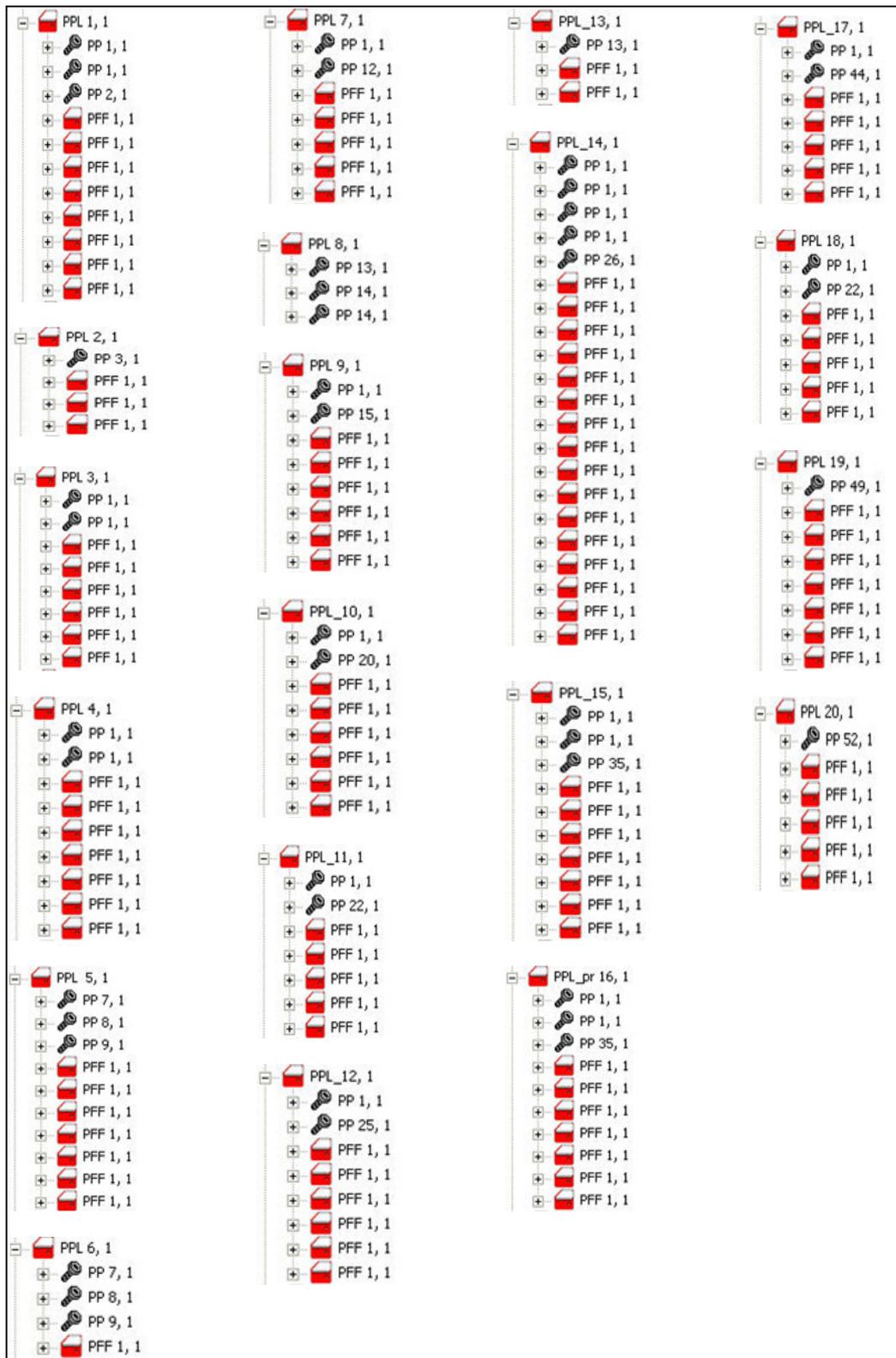


Figura 108 – Painéis decompostos em partes paralelas e perfis



Figura 109 – Submontagens decompostas em partes paralelas, partes internas e partes não paralelas

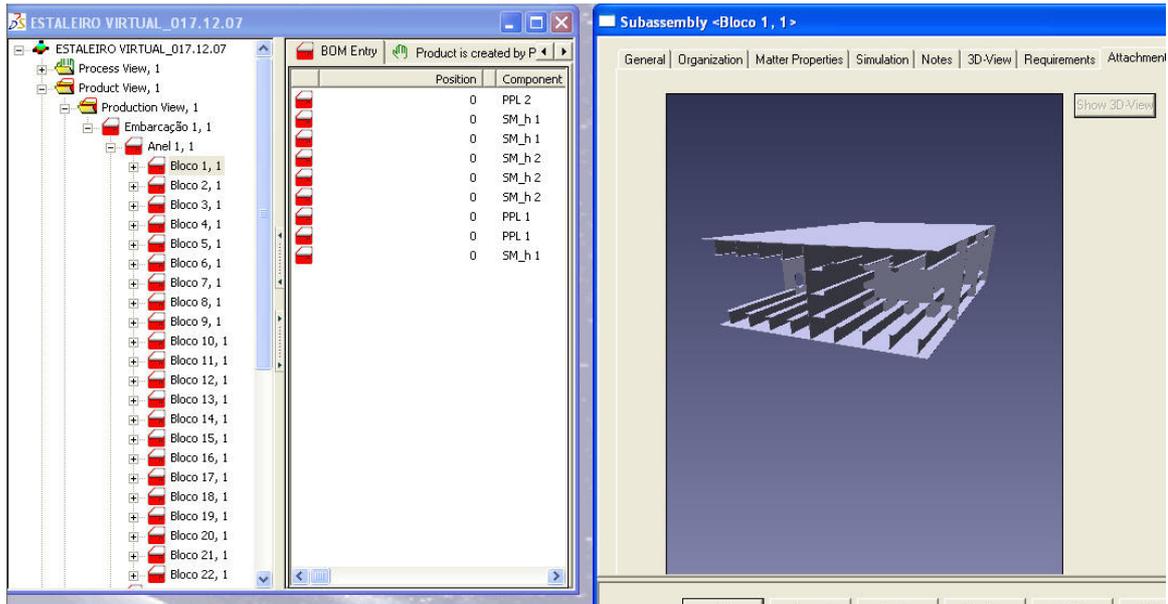


Figura 110 – Bloco 1 no DPE

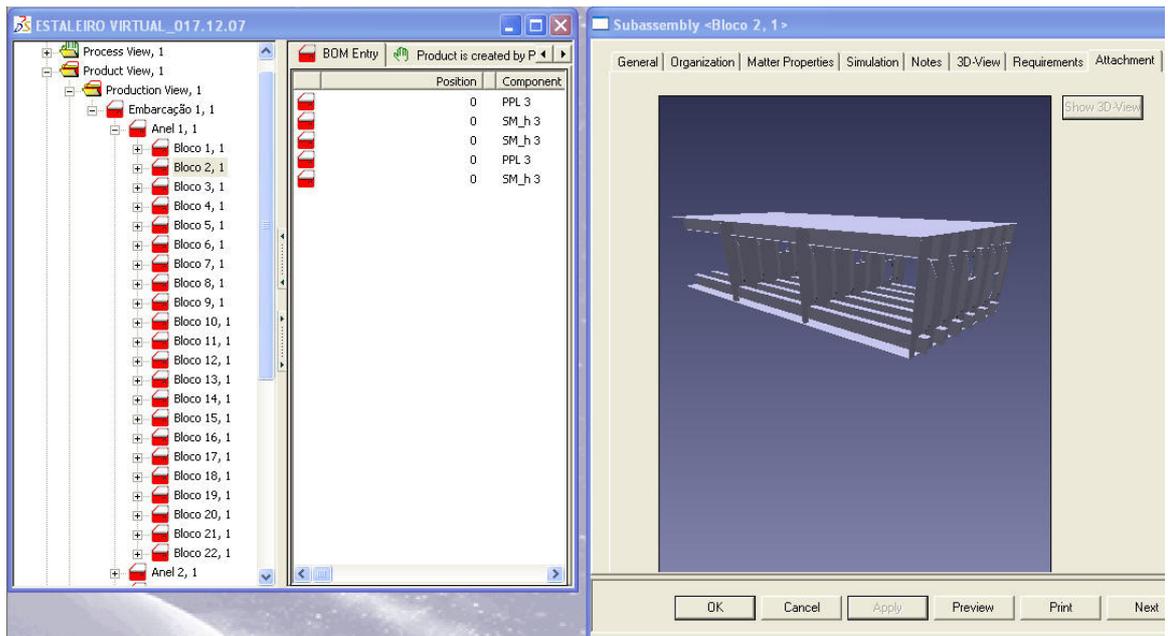


Figura 111 – Bloco 2 no DPE

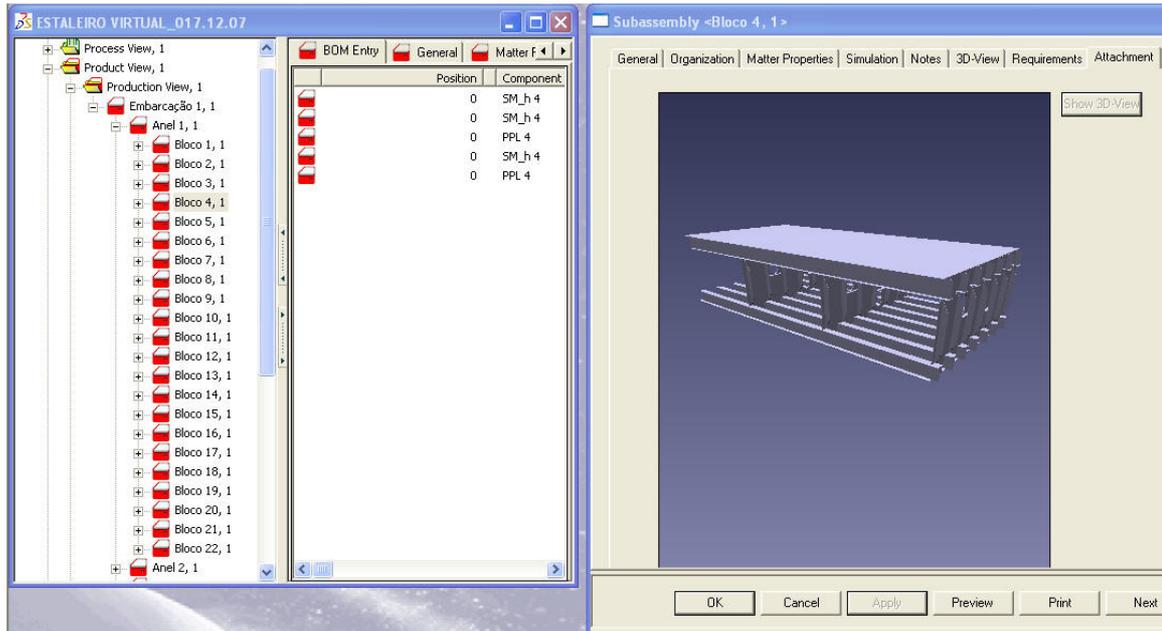


Figura 112 – Bloco 4 no DPE

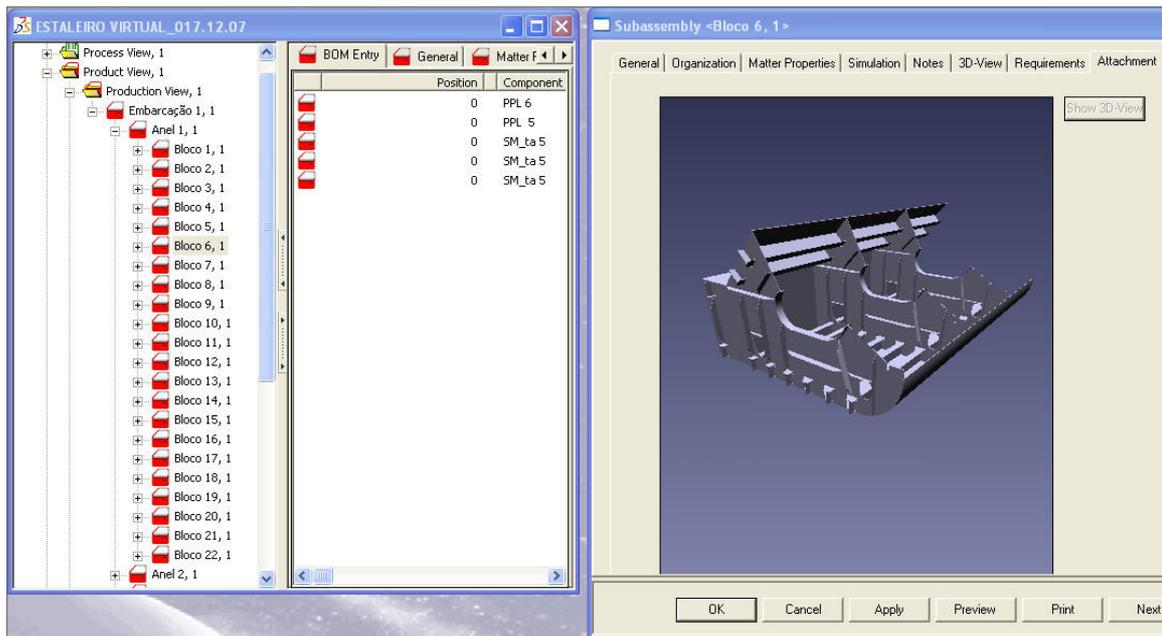


Figura 113 – Bloco 6 no DPE

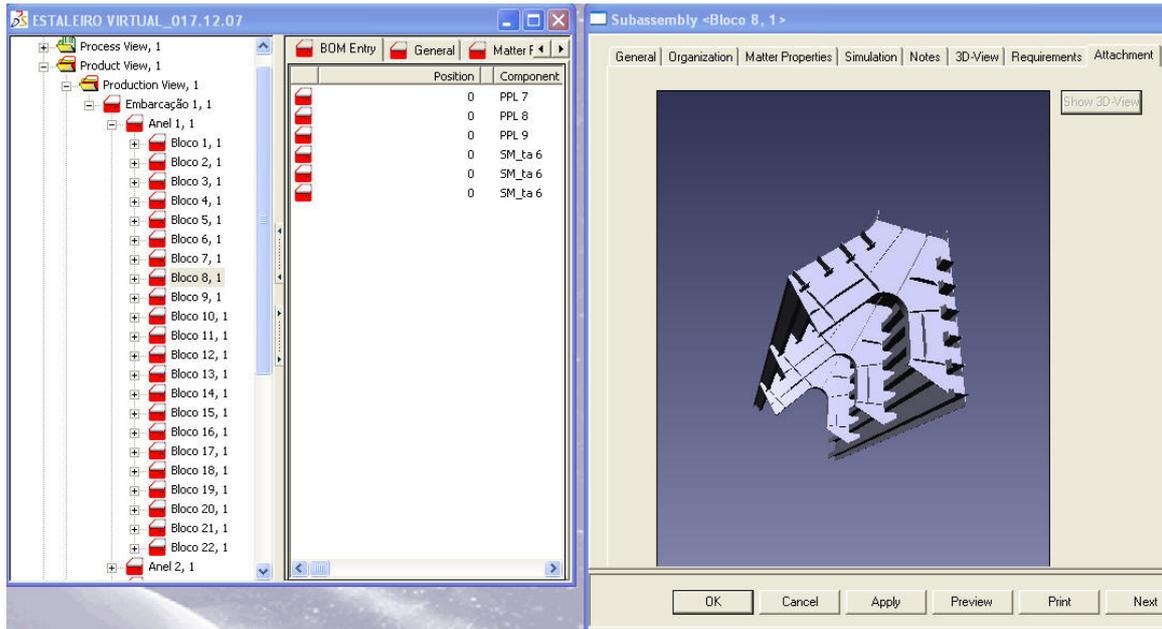


Figura 114 – Bloco 8 no DPE

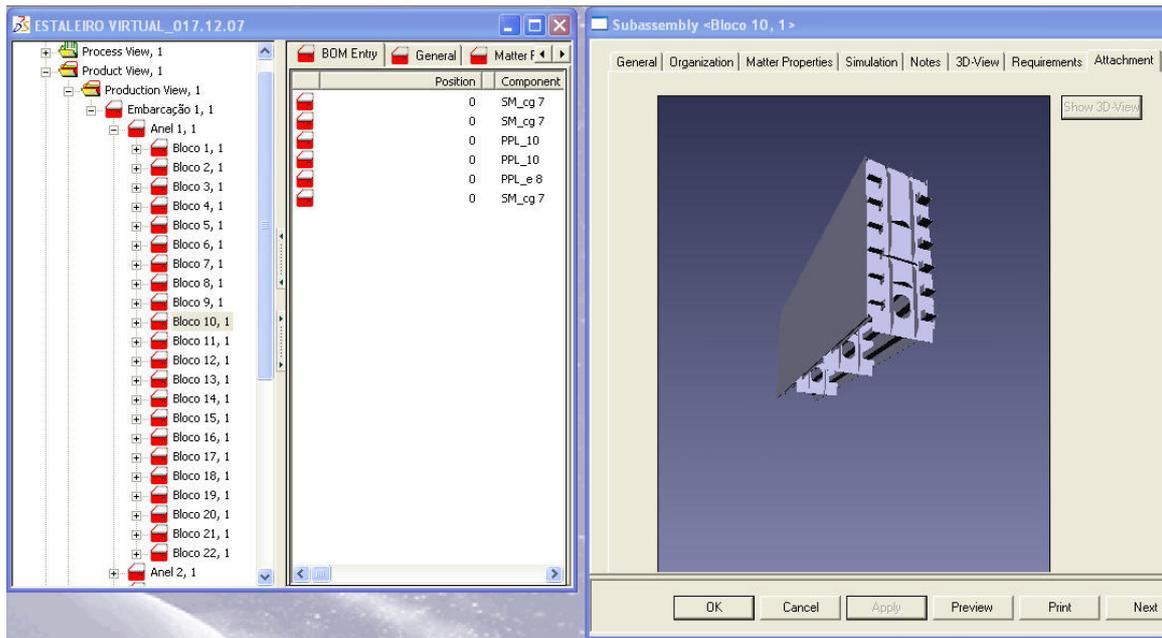


Figura 115 – Bloco 10 no DPE

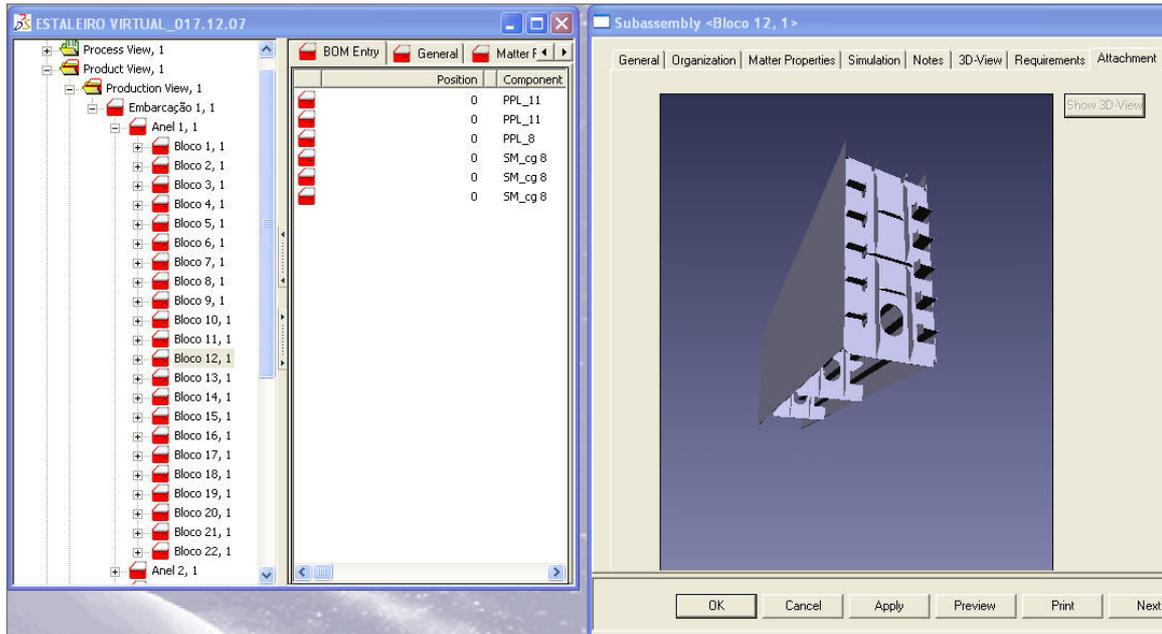


Figura 116 – Bloco 12 no DPE

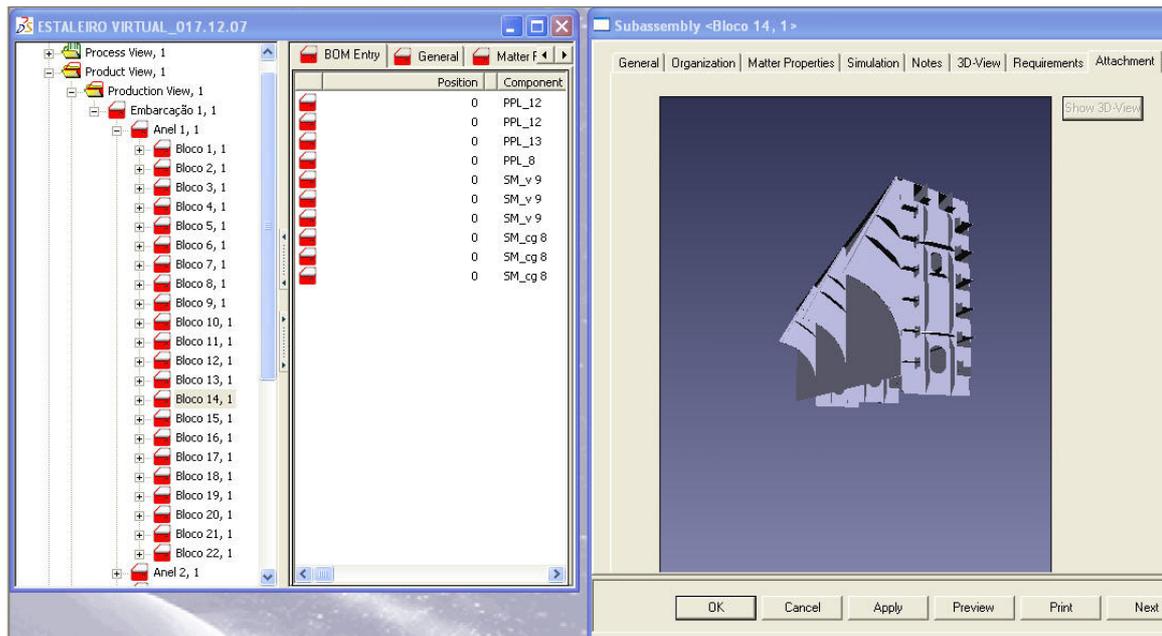


Figura 117 – Bloco 14 no DPE

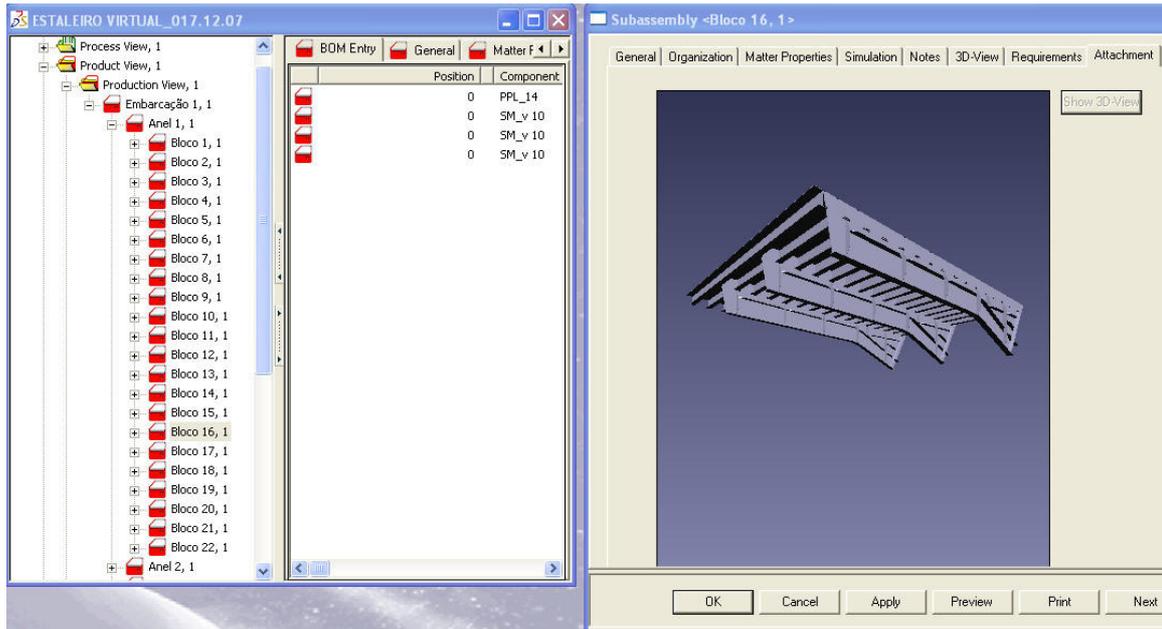


Figura 118 – Bloco 16 no DPE

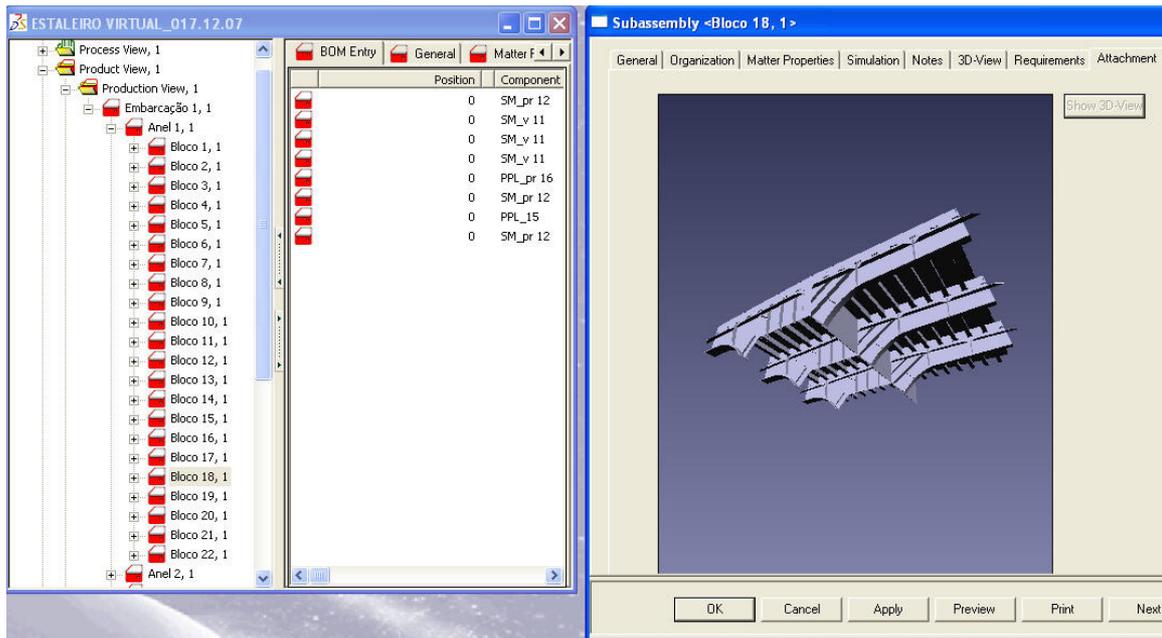


Figura 119 – Bloco 18 no DPE

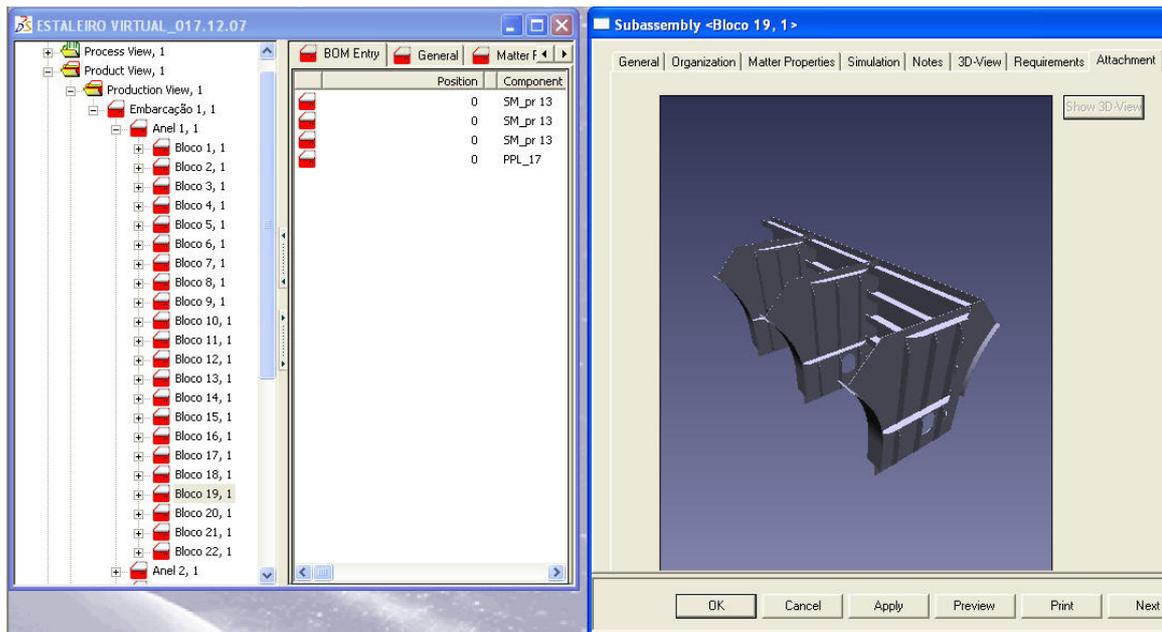


Figura 120 – Bloco 19 no DPE

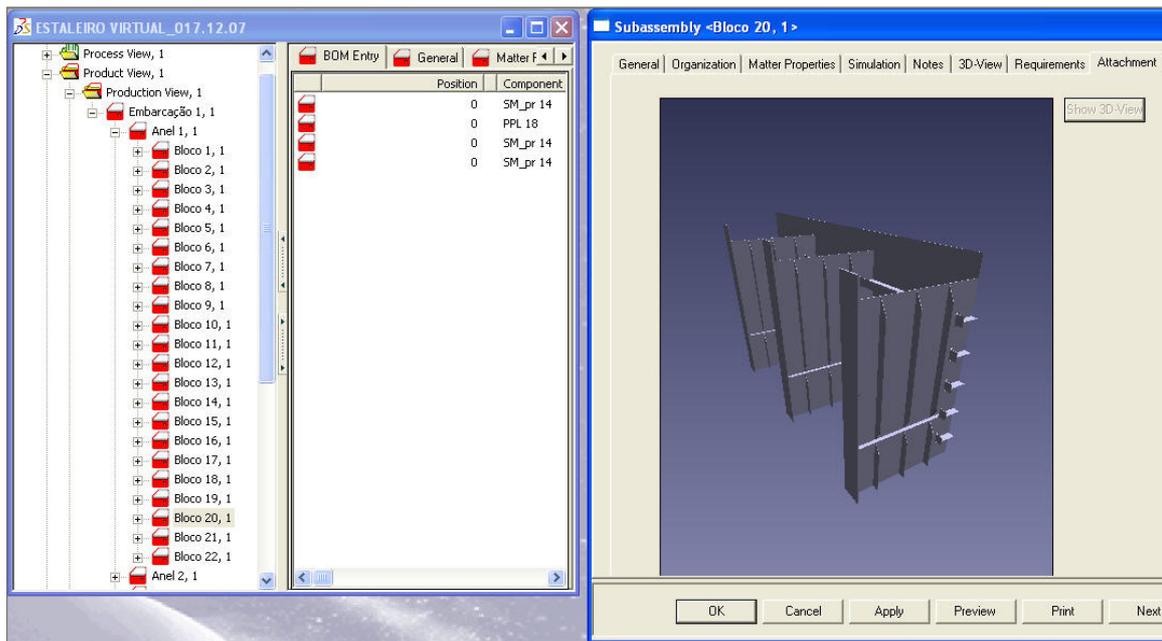


Figura 121 – Bloco 20 no DPE

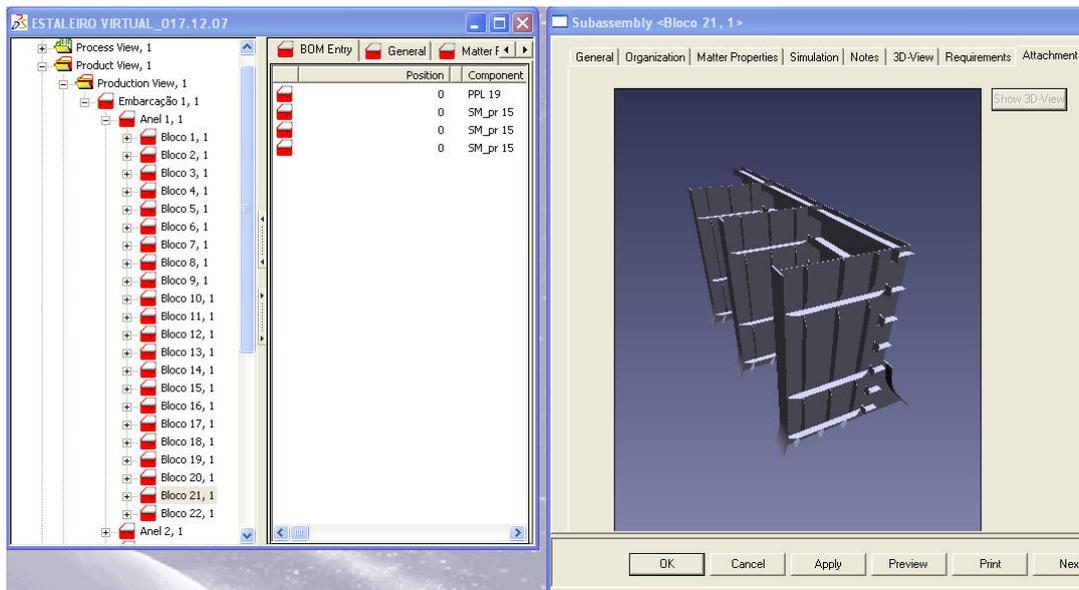


Figura 122 – Bloco 21 no DPE

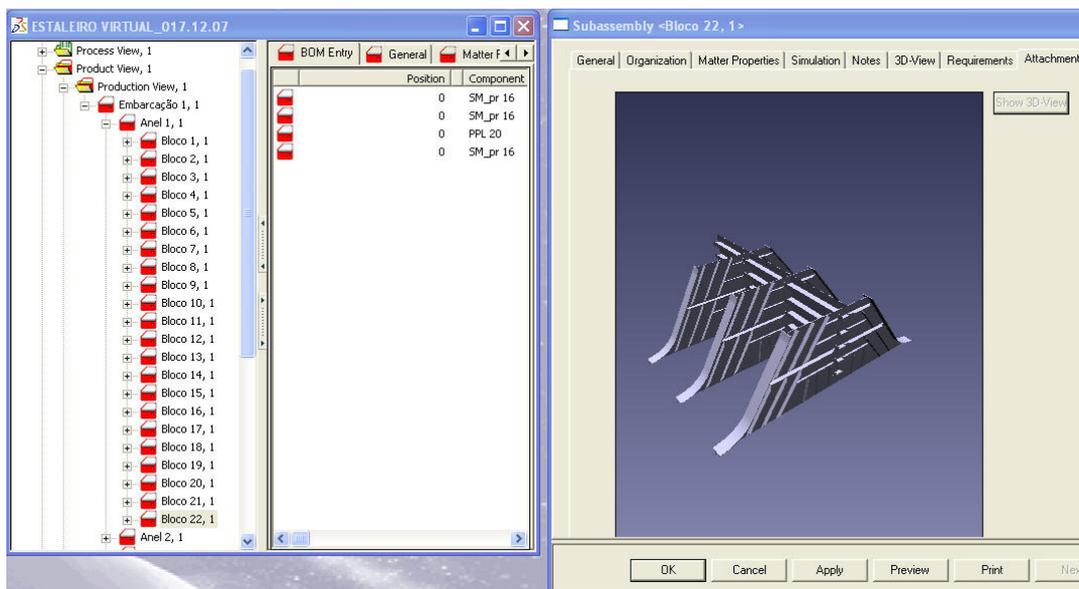


Figura 123 – Bloco 22 no DPE

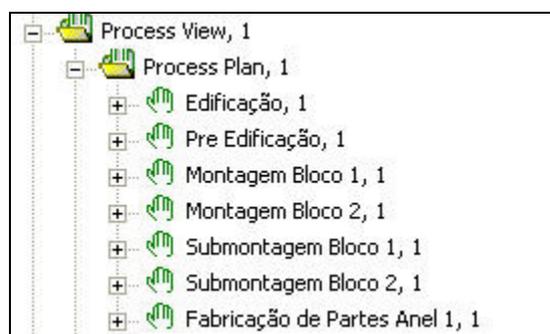


Figura 124 – Estrutura de processos para a produção dos blocos 1 e 2

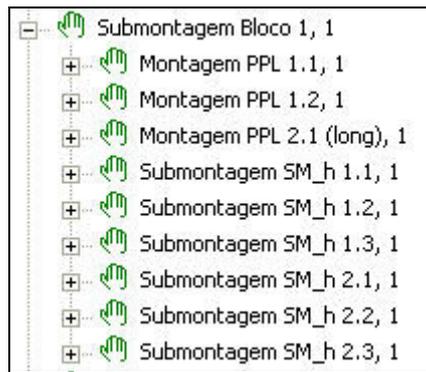


Figura 125 – Estrutura de processos para painéis e submontagens do bloco 1

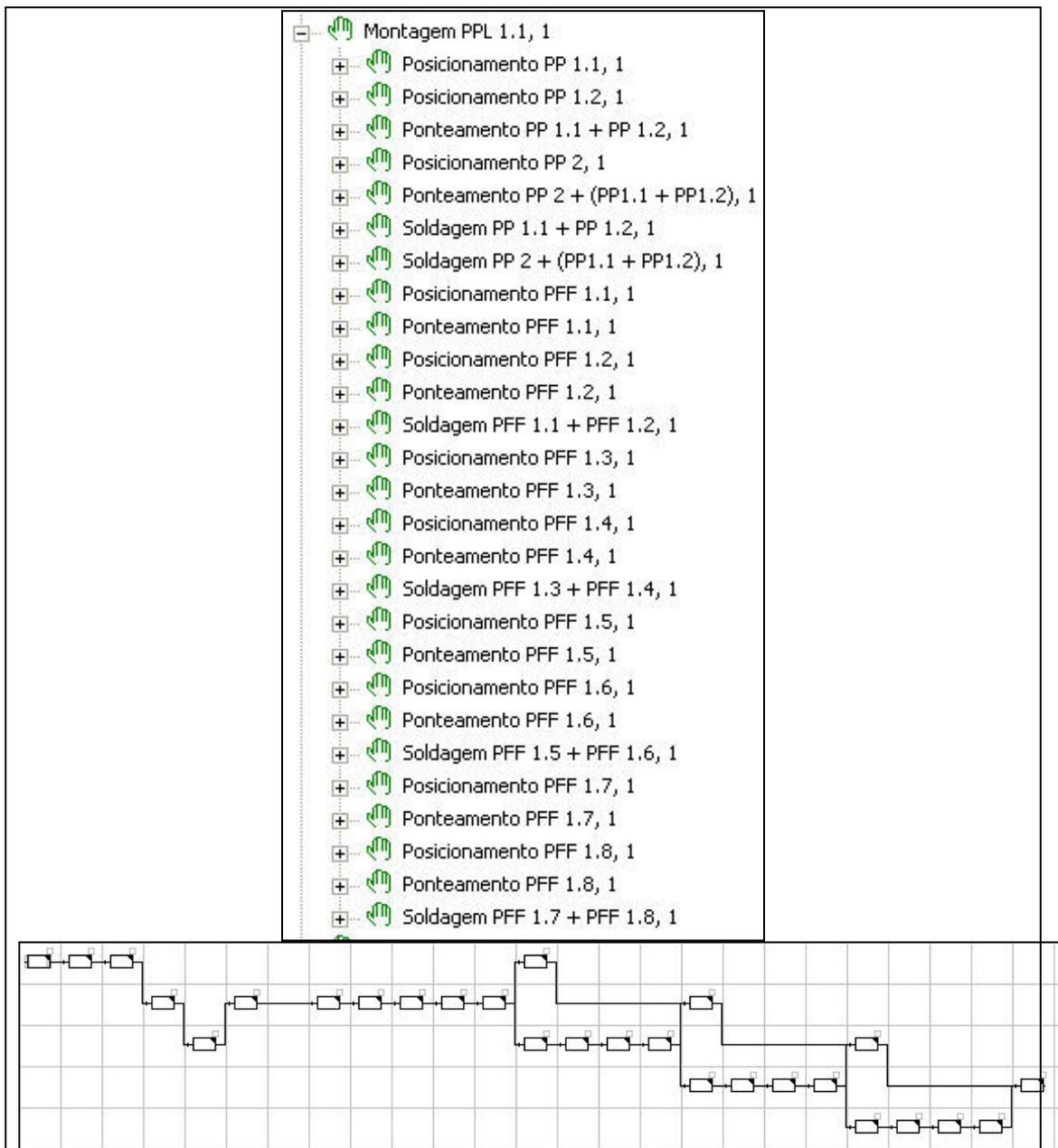


Figura 126 – Estrutura de processos para painéis do tipo 1 e GP associado

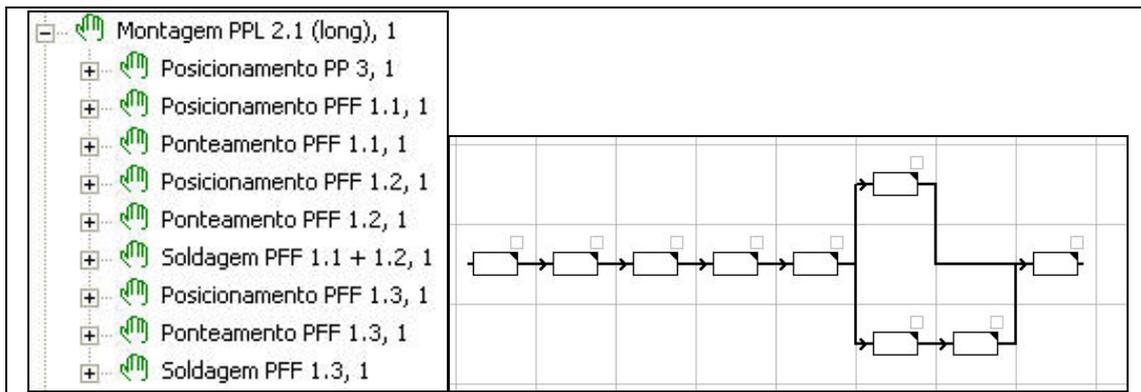


Figura 127 – Estrutura de processos para painéis do tipo 2 e GP associado

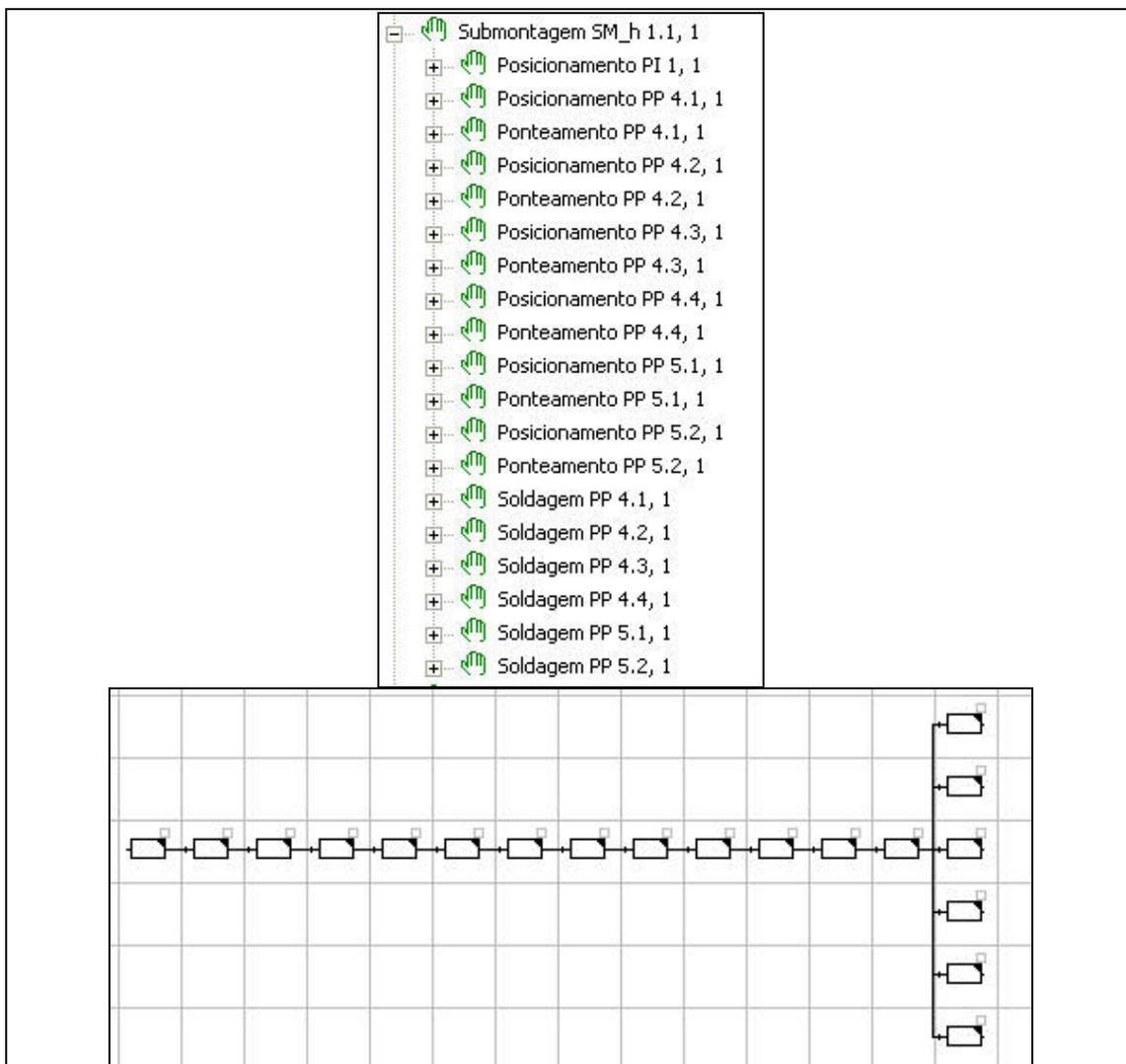


Figura 128 – Estrutura de processos para submontagens do tipo 1 e GP associado

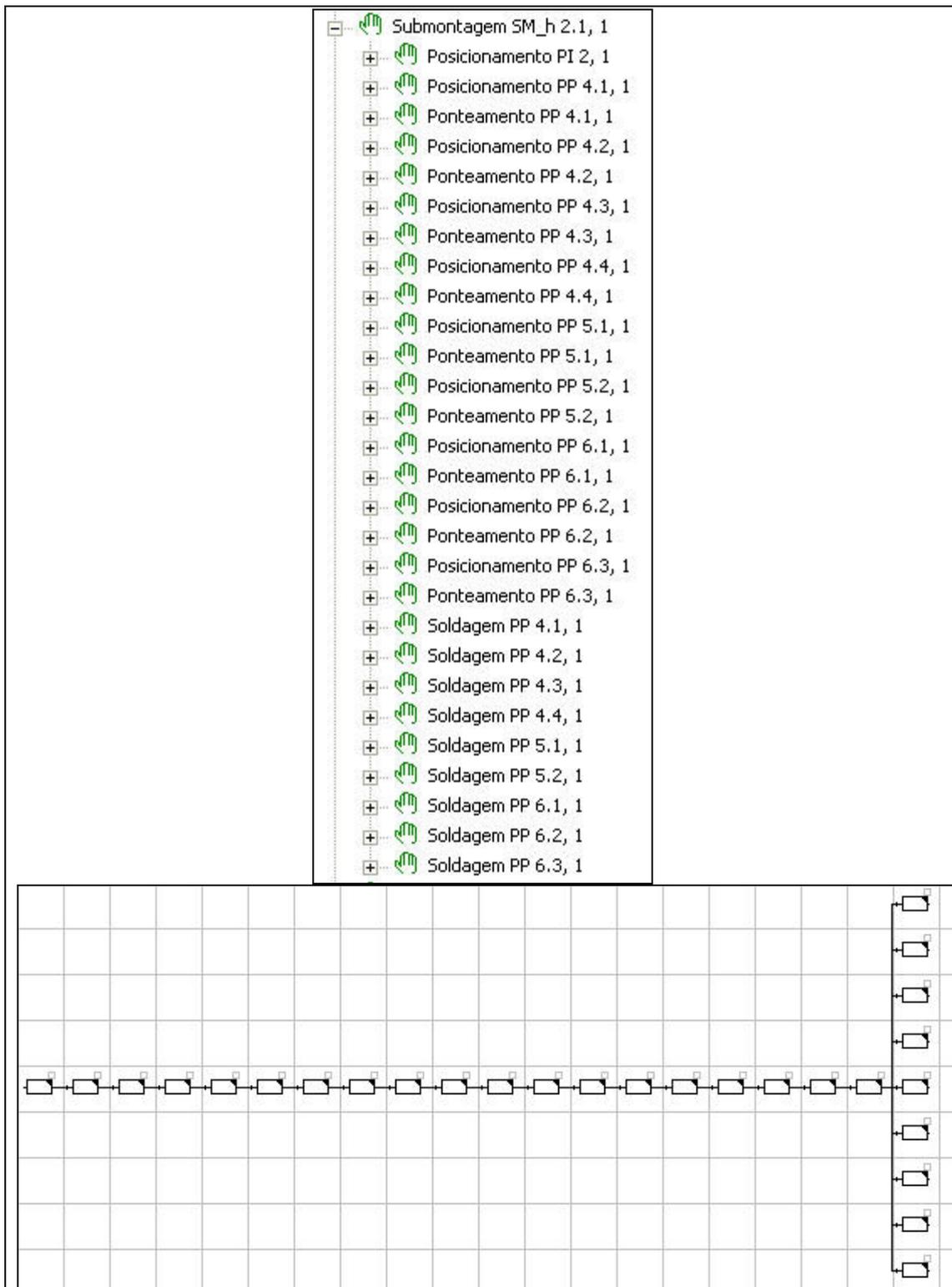


Figura 129 – Estrutura de processos para submontagens do tipo 2 e GP associado

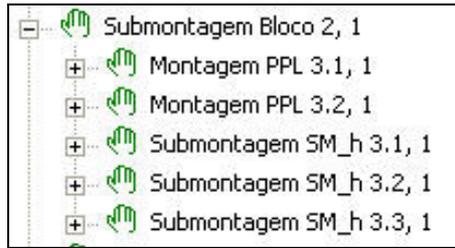


Figura 130 – Estrutura de processos para painéis e submontagens do bloco 2

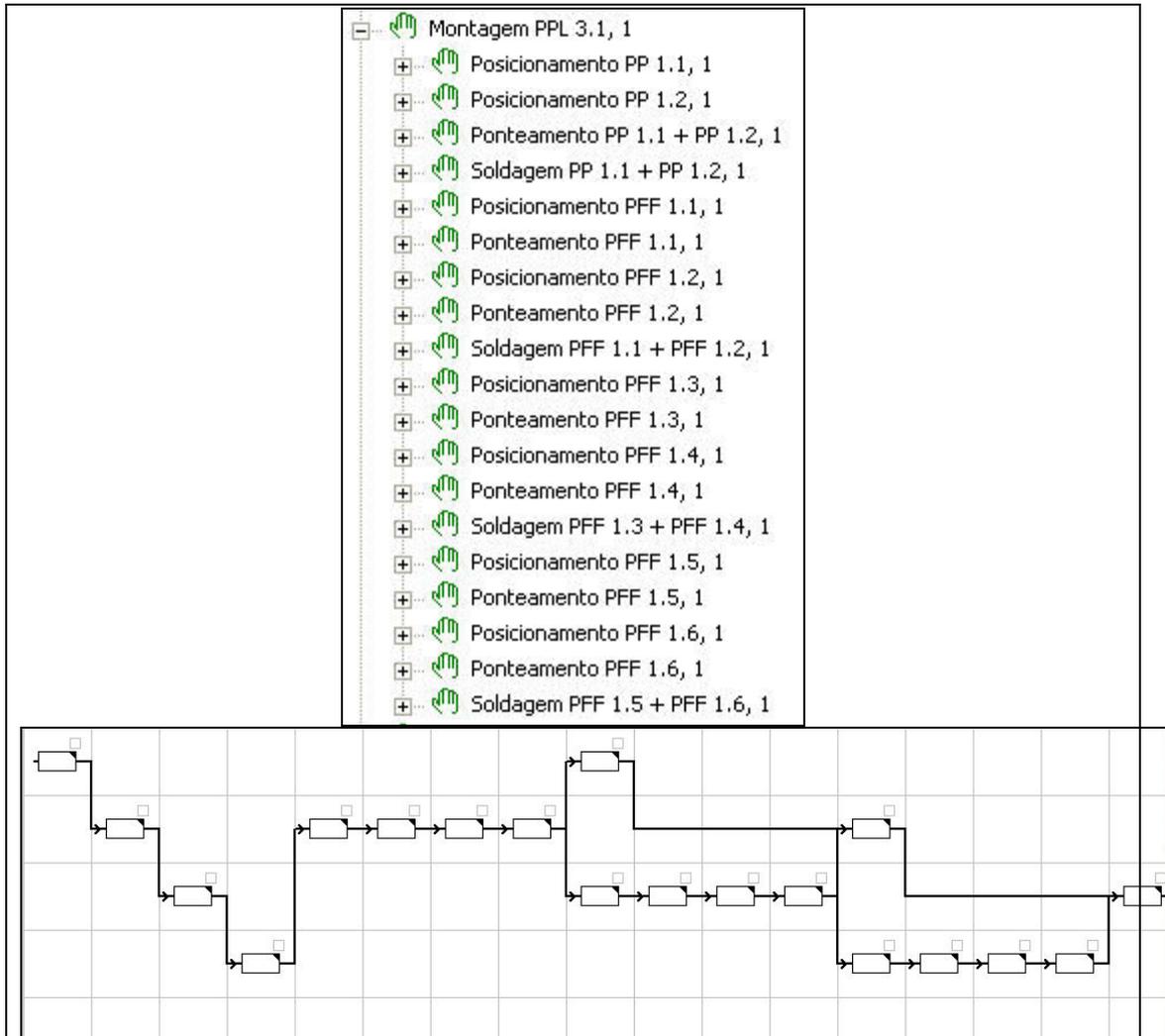


Figura 131 – Estrutura de processos para painéis do tipo 3 e GP associado

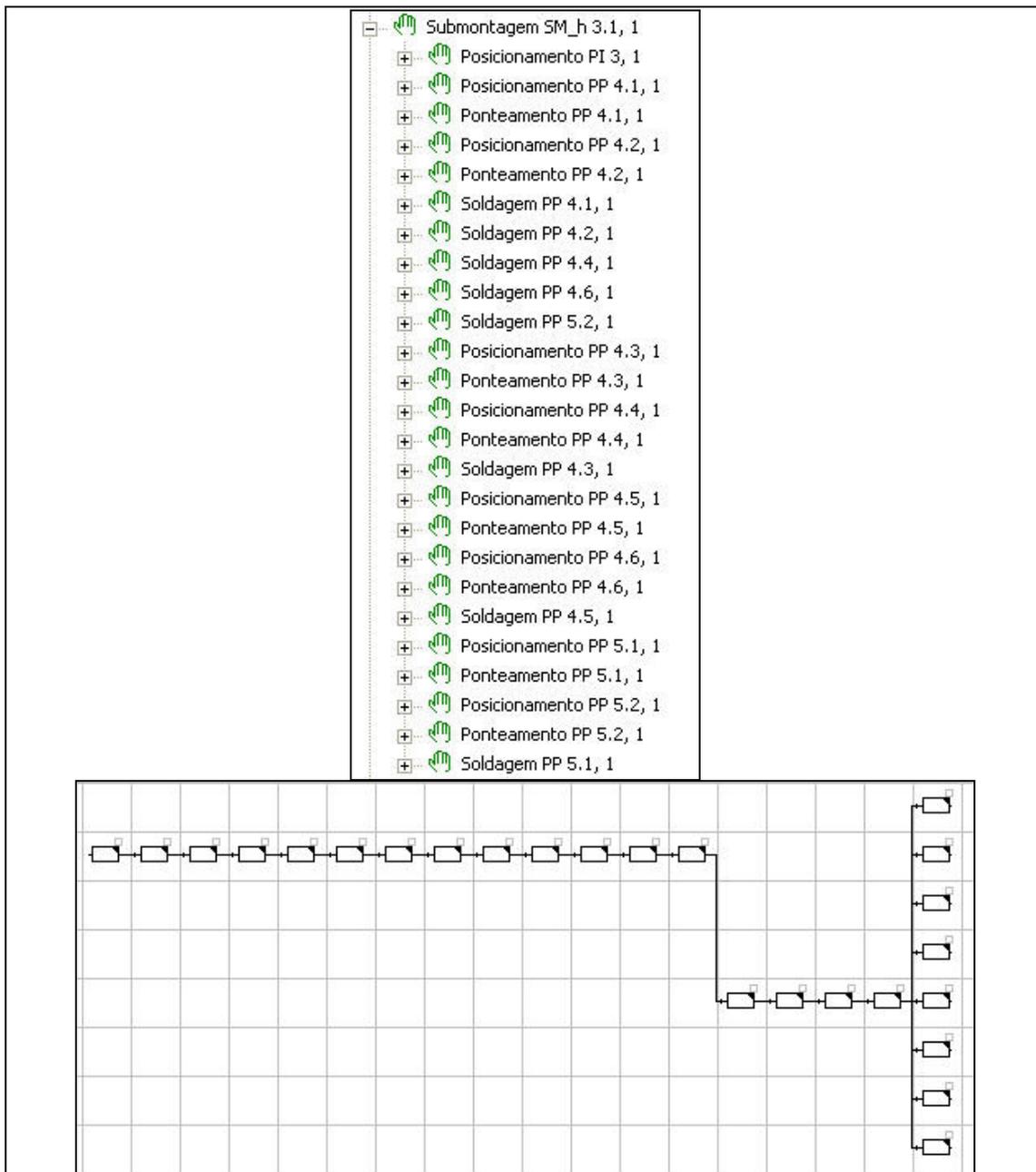


Figura 132 – Estrutura de processos para submontagens do tipo 3 e GP associado

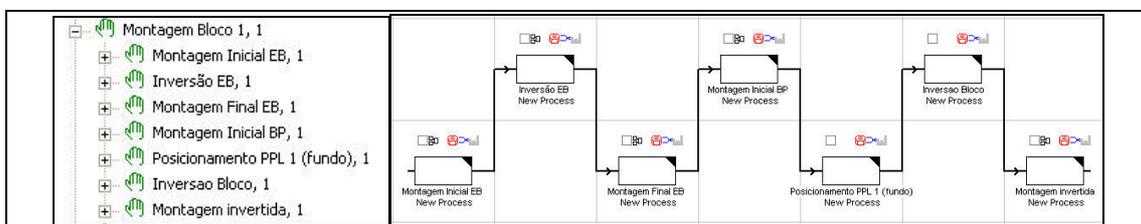


Figura 133 – Estrutura de processos para blocos do tipo 1 e GP associado

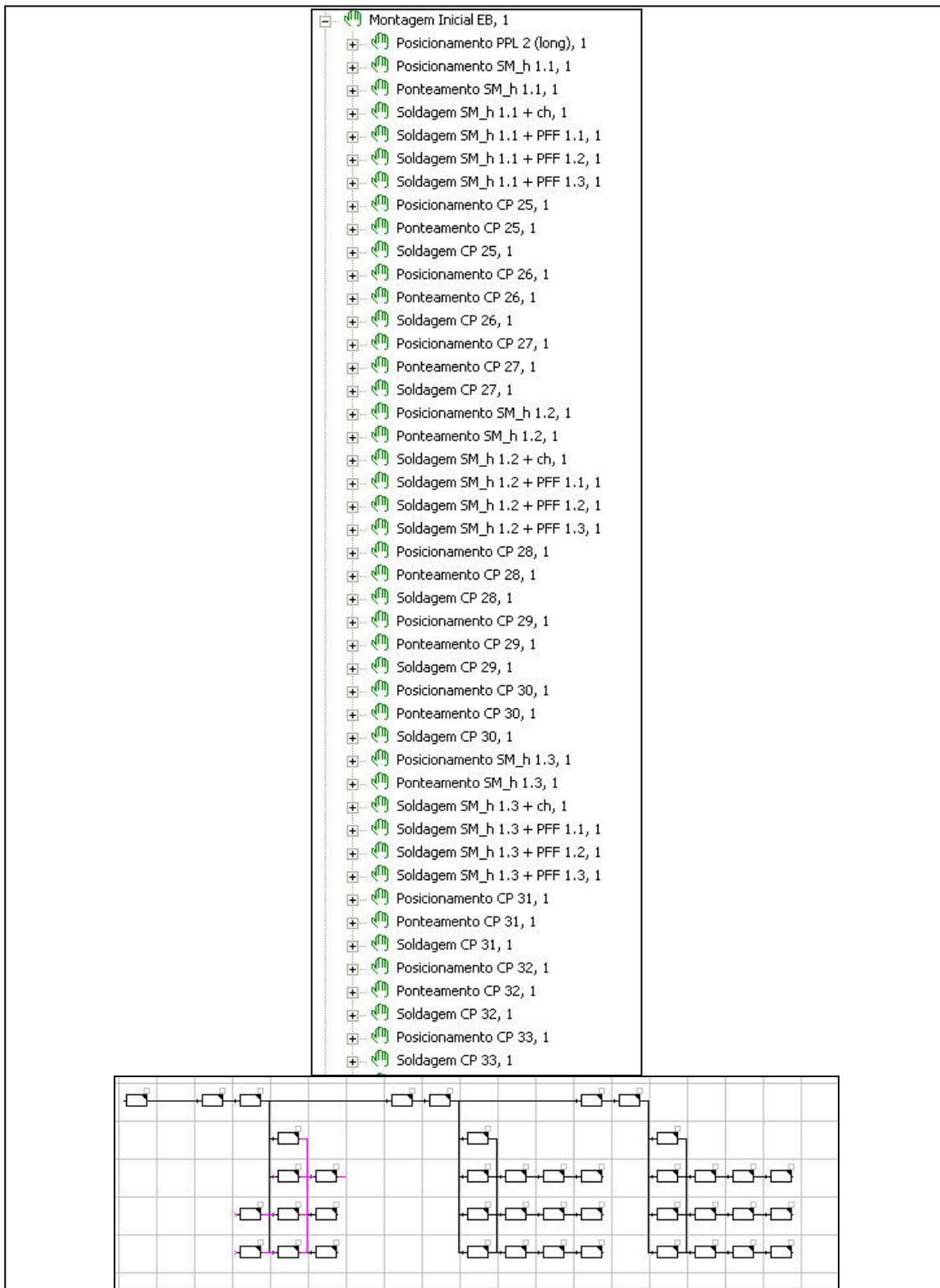


Figura 134 – Estrutura de processos para a montagem inicial de estruturas “egg box” de blocos do tipo 1 e GP associado

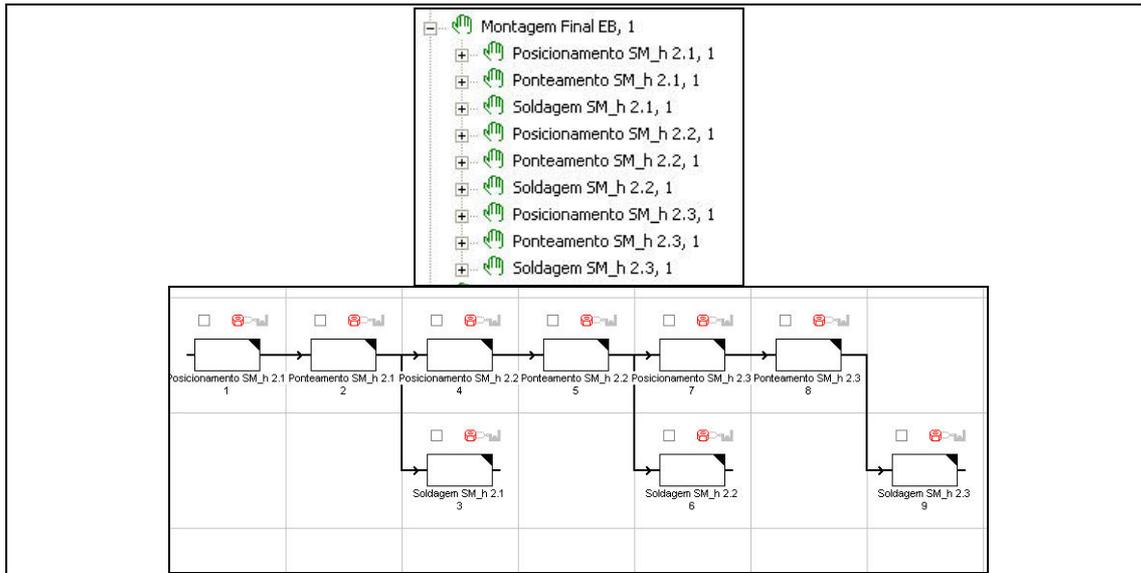


Figura 135 – Estrutura de processos para a montagem final de estruturas “egg box” de blocos do tipo 1 e GP associado

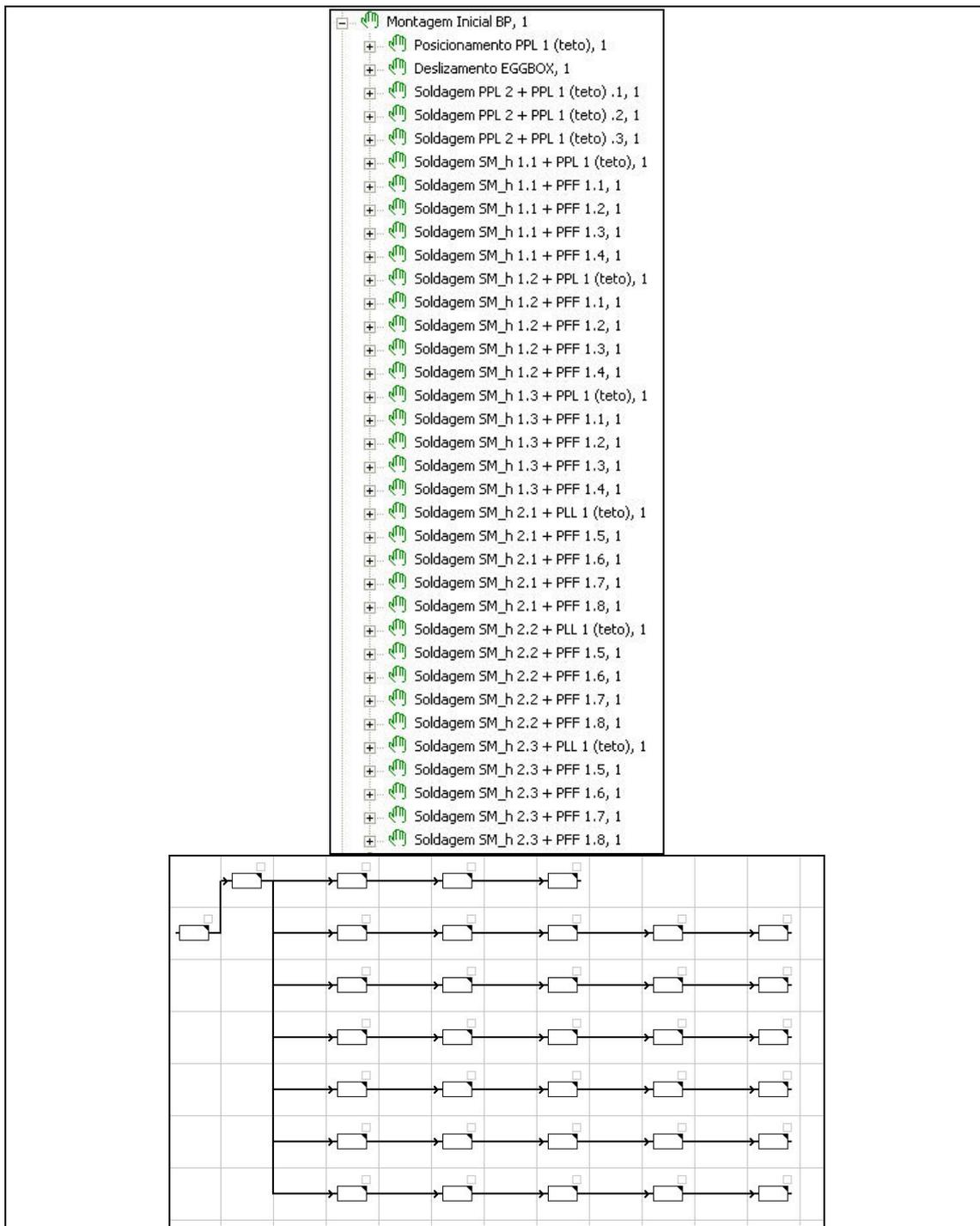


Figura 136 – Estrutura de processos para a montagem inicial de blocos do tipo 1 e GP associado

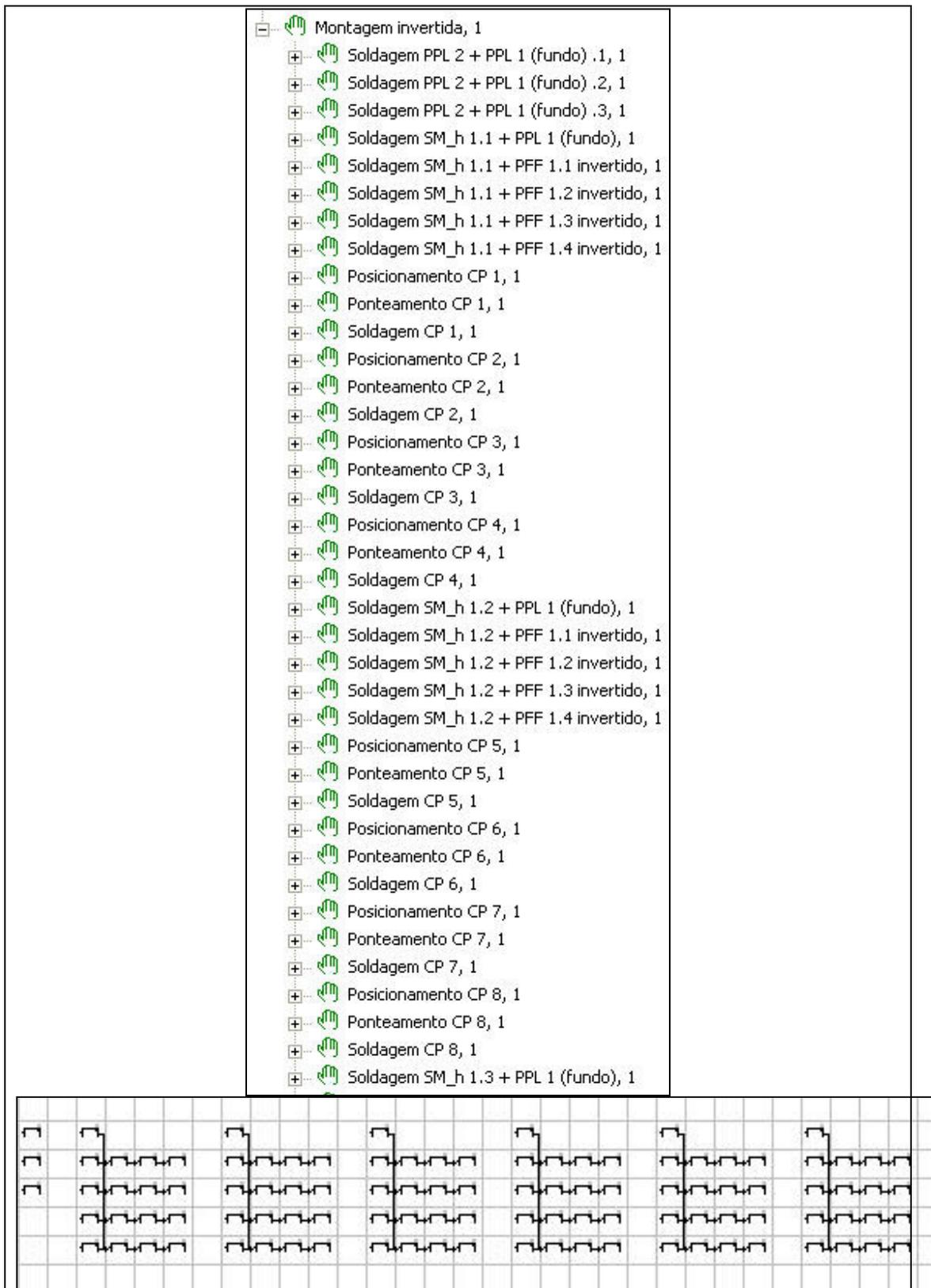


Figura 137 – Estrutura de processos para a montagem invertida de blocos do tipo 1 e GP associado

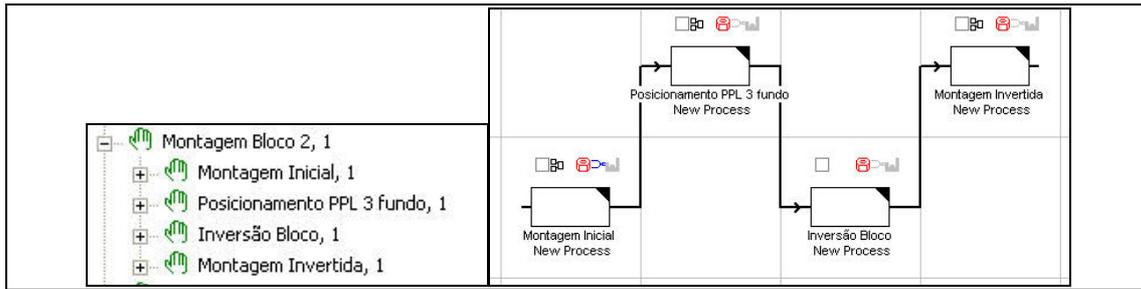


Figura 138 – Estrutura de processos para blocos do tipo 2 e GP associado

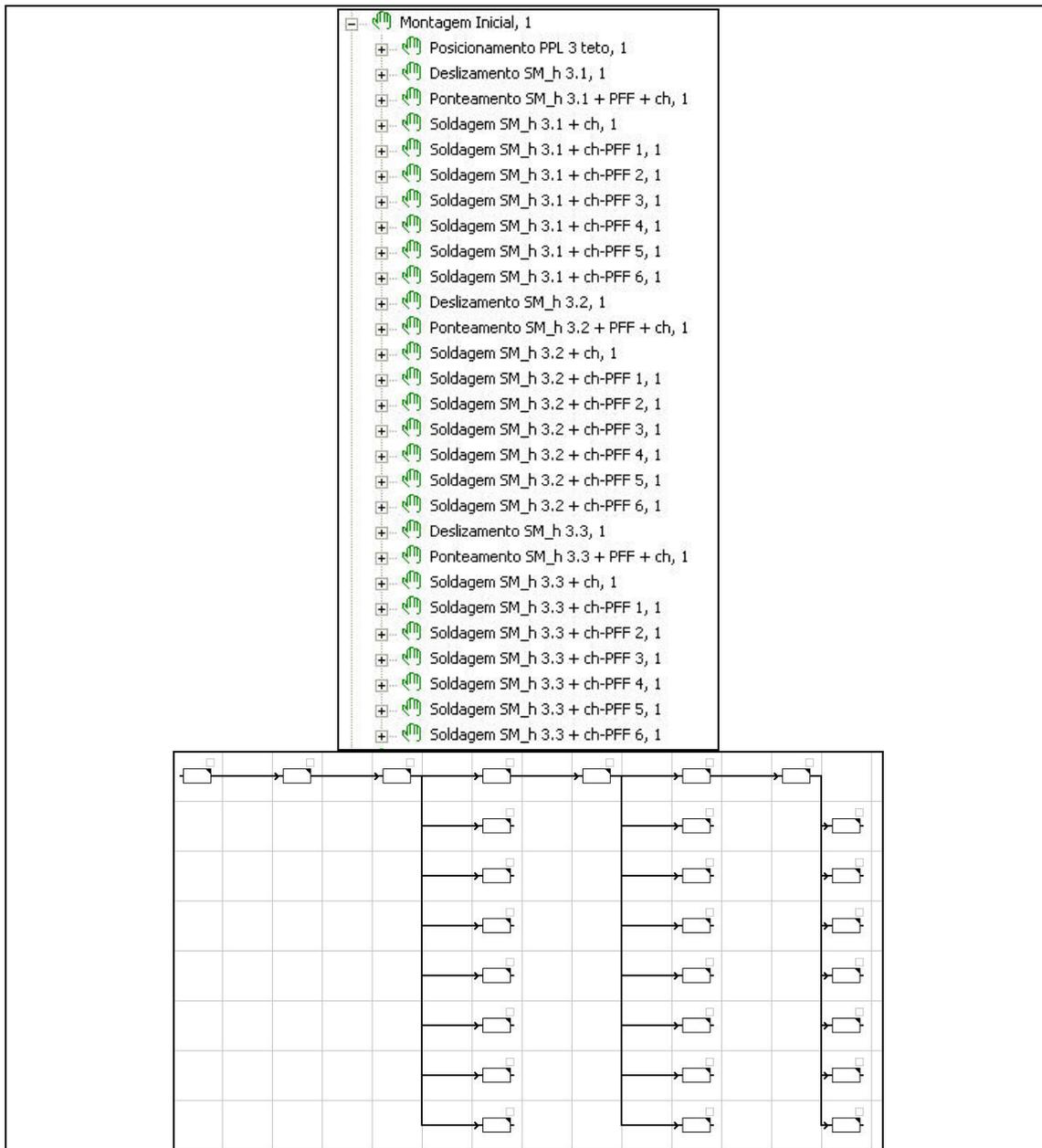


Figura 139 – Estrutura de processos para a montagem inicial de blocos do tipo 2 e GP associado

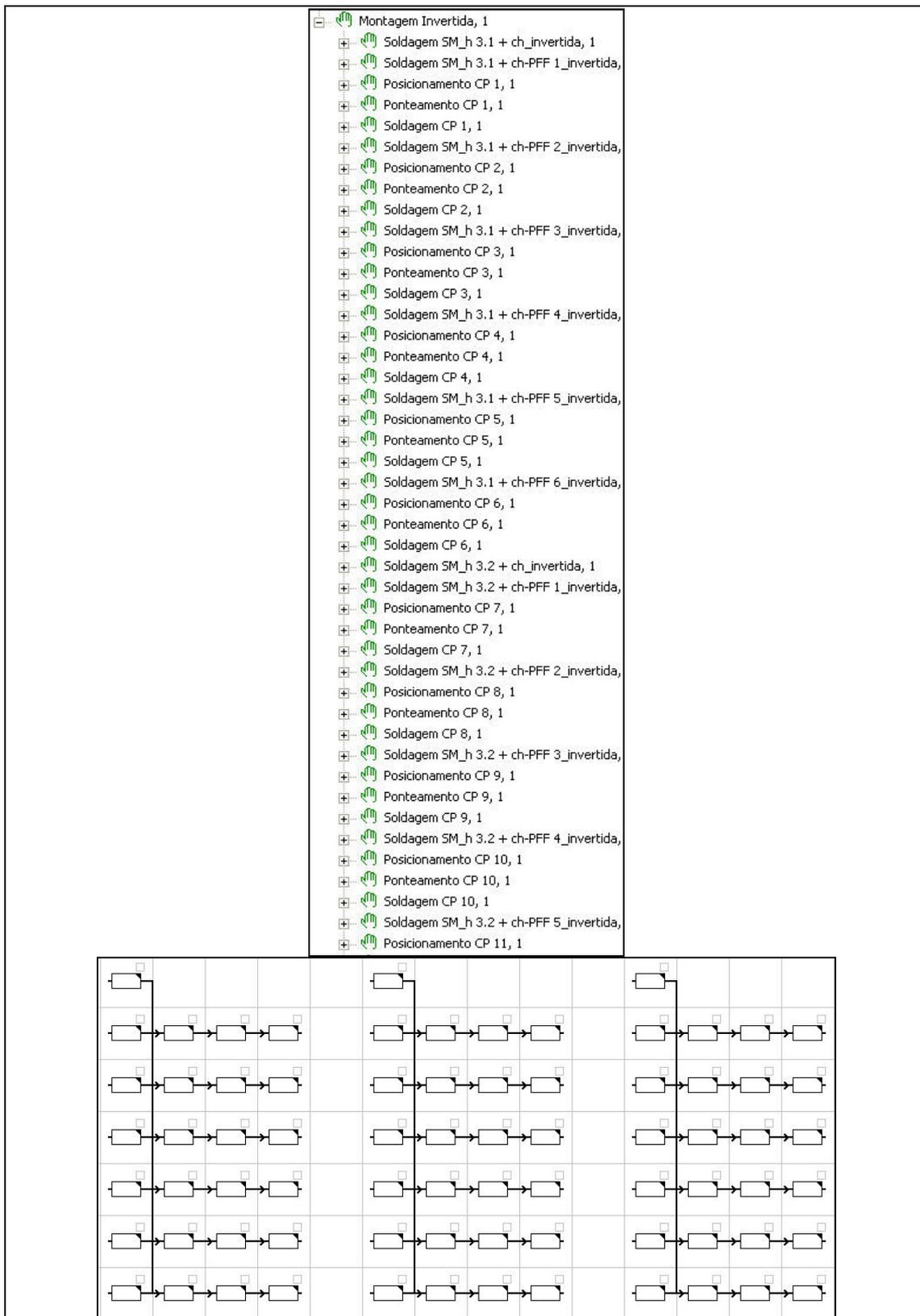


Figura 140 – Estrutura de processos para a montagem invertida de blocos do tipo 2 e GP associado

**ANEXO 2 – RESULTADOS DE SIMULAÇÕES DO MODELO DO  
PROTÓTIPO DO ESTALEIRO NO QUEST**

Tabela 51 – Análise dos *buffers*

| Name               | State Times |                   |                      | Max. Buffer Length | Avg. Buffer Length | Avg. Part Residence Time | No. of Entries | Max. Wait Time | Min. Wait Time | Zero Wait Entries | Final Content |
|--------------------|-------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---------------|
|                    | Idle        | Busy - Processing | Blocked - Wait Block |                    |                    |                          |                |                |                |                   |               |
| Buffer_LPP_1       | 211.279     | 2.867             | 0.000                | 1                  | 0.013              | 0.956                    | 3              | 0.956          | 0.955          | 0                 | 0             |
| Buffer_ANEL_1      | 205.935     | 8.212             | 0.000                | 1                  | 0.038              | 0.000                    | 1              | 0.000          | 0.000          | 0                 | 1             |
| Buffer_perfil_1    | 0.000       | 0.000             | 214.146              | 30                 | 30.000             | 83.563                   | 92             | 117.746        | 54.581         | 0                 | 30            |
| Buffer_LPP_pff_1   | 0.000       | 0.000             | 0.000                | 20                 | 20.000             | 60.005                   | 82             | 95.246         | 40.665         | 0                 | 20            |
| Buffer1_1          | 214.146     | 0.000             | 0.000                | 0                  | 0.000              | 0.000                    | 0              | 0.000          | 0.000          | 0                 | 0             |
| Buffer_SM_1        | 212.010     | 2.136             | 0.000                | 1                  | 0.010              | 0.178                    | 12             | 0.190          | 0.051          | 0                 | 0             |
| Buffer_SM_2_1      | 213.104     | 1.042             | 0.000                | 1                  | 0.005              | 0.174                    | 6              | 0.204          | 0.040          | 0                 | 0             |
| Buffer_LPP2_1      | 213.900     | 0.246             | 0.000                | 1                  | 0.001              | 0.123                    | 2              | 0.123          | 0.123          | 0                 | 0             |
| Buffer_chapas_1    | 0.000       | 0.000             | 0.000                | 5                  | 5.000              | 31.665                   | 35             | 56.105         | 2.927          | 0                 | 5             |
| Buffer2_1          | 187.692     | 26.454            | 0.000                | 2                  | 0.160              | 0.194                    | 177            | 1.891          | 0.000          | 145               | 0             |
| Buffer_sm_bl2_1    | 140.509     | 73.637            | 0.000                | 3                  | 0.702              | 25.045                   | 6              | 53.523         | 0.000          | 2                 | 0             |
| Buffer_ppl_bl1_1   | 124.550     | 89.596            | 0.000                | 3                  | 0.787              | 23.007                   | 6              | 51.768         | 0.000          | 2                 | 1             |
| Buffer_ppl_bl1_2   | 72.432      | 141.714           | 0.000                | 1                  | 0.662              | 39.945                   | 4              | 50.254         | 34.511         | 0                 | 1             |
| Buffer_ppl_bl2_1   | 208.192     | 5.954             | 0.000                | 1                  | 0.028              | 1.489                    | 4              | 5.954          | 0.000          | 3                 | 0             |
| Buffer_ppl_bl2_2   | 103.410     | 110.736           | 0.000                | 1                  | 0.517              | 41.855                   | 3              | 58.065         | 25.644         | 0                 | 1             |
| Buffer_sm_bl1_1    | 18.178      | 195.968           | 0.000                | 7                  | 2.632              | 44.018                   | 14             | 88.163         | 0.000          | 2                 | 2             |
| Buffer_sm_bl_2_2_1 | 208.320     | 5.826             | 0.000                | 1                  | 0.027              | 0.971                    | 6              | 1.456          | 0.179          | 0                 | 0             |
| Buffer_sm_bl1_2_1  | 196.688     | 17.458            | 0.000                | 1                  | 0.082              | 1.455                    | 12             | 1.739          | 0.253          | 0                 | 0             |
| Buffer3_1          | 213.473     | 0.673             | 0.000                | 1                  | 0.003              | 0.673                    | 1              | 0.673          | 0.673          | 0                 | 0             |
| Buffer4_1          | 212.312     | 1.834             | 0.000                | 1                  | 0.009              | 1.834                    | 1              | 1.834          | 1.834          | 0                 | 0             |

Tabela 52 – Análise das áreas do estaleiro

| Name                      | State Times |              |                      | Utiliz. (%) | Avg. Process Time | Parts Added | No. of Prod. | Avg. Cycle Time | Avg. Reqmt Time | Prod. Rate | Avg. Part Residence Time | Final Content |
|---------------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|-------------------|-------------|--------------|-----------------|-----------------|------------|--------------------------|---------------|
|                           | Idle        | Busy – Proc. | Blocked - Wait Block |             |                   |             |              |                 |                 |            |                          |               |
| M_OSB__Estação_01         | 165.109     | 49.038       | 0.000                | 22.899      | 10.411            | 178         | 20           | 2.452           | 8.044           | 0.093      | 6.370                    | 5             |
| M_OMT__Estação_01         | 198.578     | 15.568       | 0.000                | 7.270       | 194.267           | 15          | 1            | 15.568          | 178.699         | 0.005      | 79.765                   | 6             |
| M_Pre_Edificacao_1_2      | 204.146     | 10.000       | 0.000                | 4.670       | 207.935           | 2           | 1            | 10.000          | 197.935         | 0.005      | 8.895                    | 0             |
| M_Linha_de_Painéis_Planos | 171.388     | 42.758       | 0.000                | 19.967      | 20.566            | 94          | 10           | 4.276           | 16.291          | 0.047      | 17.657                   | 10            |
| M_OMT__Estação_02_1       | 206.501     | 7.645        | 0.000                | 3.570       | 189.119           | 8           | 1            | 7.645           | 181.474         | 0.005      | 71.611                   | 3             |
| m_dummy_sm_bl2_1          | 58.639      | 0.000        | 155.507              | 0.000       | 0.000             | 6           | 6            | 0.000           | 0.000           | 0.028      | 0.893                    | 0             |
| m_dummy_sm_bl1_1          | 88.090      | 0.000        | 126.056              | 0.000       | 0.000             | 12          | 12           | 0.000           | 0.000           | 0.056      | 1.874                    | 0             |
| m_dummy_ppl_bl1_1         | 57.033      | 0.000        | 157.113              | 0.000       | 0.000             | 5           | 4            | 0.000           | 0.000           | 0.019      | 20.742                   | 1             |
| m_dummy_ppl_bl2_1         | 132.292     | 0.000        | 81.854               | 0.000       | 0.000             | 4           | 3            | 0.000           | 0.000           | 0.014      | 12.228                   | 1             |

Tabela 53 – Análise das pontes rolantes

| Name              | State Times |               |                |                  |                     |                        | Utilization (%) | Avg. Part Residence Time | No. of Parts Added | Avg. Contents | Distance Travelled | Final Content |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|------------------|---------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                   | Idle        | Idle - Parked | Busy - Loading | Busy - Unloading | Busy - Empty Travel | Blocked - Unload Block |                 |                          |                    |               |                    |               |
| AGV_OMT_OSB_1     | 49.524      | 161.645       | 0.482          | 0.241            | 2.254               | 0.000                  | 1.390           | 0.211                    | 8                  | 0.008         | 809.907            | 0             |
| AGV_OMT_OSB_2_1   | 69.562      | 138.789       | 0.904          | 0.452            | 4.440               | 0.000                  | 2.706           | 0.213                    | 15                 | 0.015         | 1595.223           | 0             |
| AGV_OSB_portico_1 | 0.000       | 0.000         | 100.230        | 85.275           | 28.641              | 0.000                  | 100.000         | 0.945                    | 196                | 0.860         | 10271.687          | 1             |
| AGV_PPL_portico_1 | 0.000       | 0.000         | 21.671         | 16.611           | 7.764               | 168.100                | 21.502          | 5.543                    | 36                 | 0.947         | 1818.498           | 1             |

Tabela 54 – Análise das partes e componentes

| Name    | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|---------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Bloco_2 | 18.816         | 18.816         | 18.816         | 1             | 1               | 0               |
| SM_h_3  | 139.260        | 139.260        | 139.260        | 2             | 1               | 1               |
| PP_4    | 108.035        | 49.858         | 78.946         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_1  | 106.998        | 49.858         | 78.428         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_2  | 105.960        | 49.858         | 77.909         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_3  | 104.923        | 49.858         | 77.391         | 3             | 2               | 1               |

Tabela 54 (cont.)

| Name    | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|---------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PP_4_4  | 103.886        | 49.858         | 76.872         | 3             | 2               | 1               |
| PI_3    | 102.849        | 49.858         | 76.354         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5    | 101.812        | 49.858         | 75.835         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_1  | 100.775        | 49.858         | 75.316         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_5  | 99.738         | 49.858         | 74.798         | 3             | 2               | 1               |
| PPL_3   | 93.873         | 93.873         | 93.873         | 2             | 1               | 1               |
| PFF_1   | 205.664        | 117.746        | 161.705        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7    | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8    | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_1    | 197.925        | 117.746        | 157.835        | 4             | 2               | 2               |
| PFF_1_1 | 205.664        | 117.746        | 161.705        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_1  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_1  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_2 | 205.664        | 117.746        | 161.705        | 4             | 2               | 2               |
| PP_7_2  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_2  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_3 | 205.664        | 117.746        | 161.705        | 4             | 2               | 2               |
| PP_7_3  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_3  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_4 | 205.664        | 117.746        | 161.705        | 4             | 2               | 2               |
| PP_7_4  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_4  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_5 | 205.664        | 117.746        | 161.705        | 4             | 2               | 2               |
| PP_7_5  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_5  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_1_1  | 196.865        | 117.746        | 157.306        | 4             | 2               | 2               |
| PPL_3_1 | 71.373         | 71.373         | 71.373         | 2             | 1               | 1               |
| PP_1_2  | 180.238        | 95.246         | 137.742        | 4             | 2               | 2               |
| PP_1_3  | 177.738        | 95.246         | 136.492        | 4             | 2               | 2               |

Tabela 54 (cont.)

| Name     | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|----------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PFF_1_6  | 183.164        | 95.246         | 139.205        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_6   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_6   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_7  | 183.164        | 95.246         | 139.205        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_7   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_7   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_8  | 183.164        | 95.246         | 139.205        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_8   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_8   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_9  | 183.164        | 95.246         | 139.205        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_9   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_9   | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_10 | 183.164        | 95.246         | 139.205        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_10  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_10  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_11 | 183.164        | 95.246         | 139.205        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_11  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_11  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| SM_h_3_1 | 128.480        | 128.480        | 128.480        | 2             | 1               | 1               |
| PP_4_6   | 108.035        | 60.639         | 84.337         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_7   | 106.998        | 60.639         | 83.818         | 3             | 2               | 1               |
| PI_3_1   | 105.960        | 60.639         | 83.300         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_2   | 103.477        | 60.639         | 82.058         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_3   | 102.440        | 60.639         | 81.539         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_8   | 101.403        | 60.639         | 81.021         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_9   | 100.366        | 60.639         | 80.502         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_10  | 99.328         | 60.639         | 79.984         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_11  | 98.291         | 60.639         | 79.465         | 3             | 2               | 1               |
| SM_h_3_2 | 148.595        | 148.595        | 148.595        | 2             | 1               | 1               |

Tabela 54 (cont.)

| Name    | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|---------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PP_4_12 | 108.035        | 40.524         | 74.279         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_13 | 106.998        | 40.524         | 73.761         | 3             | 2               | 1               |
| PI_3_2  | 105.960        | 40.524         | 73.242         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_4  | 104.923        | 40.524         | 72.724         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_5  | 103.886        | 40.524         | 72.205         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_14 | 102.849        | 40.524         | 71.687         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_15 | 101.812        | 40.524         | 71.168         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_16 | 100.775        | 40.524         | 70.649         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_17 | 99.738         | 40.524         | 70.131         | 3             | 2               | 1               |
| Bloco_1 | 13.667         | 13.667         | 13.667         | 1             | 1               | 0               |
| SM_h_2  | 173.051        | 173.051        | 173.051        | 3             | 1               | 2               |
| PP_6    | 109.469        | 21.216         | 78.766         | 4             | 3               | 1               |
| PP_6_1  | 108.432        | 21.216         | 78.075         | 4             | 3               | 1               |
| PI_2    | 107.395        | 21.216         | 77.384         | 4             | 3               | 1               |
| PP_6_2  | 106.358        | 21.216         | 76.692         | 4             | 3               | 1               |
| PP_5_6  | 105.321        | 21.216         | 76.001         | 4             | 3               | 1               |
| PP_5_7  | 104.284        | 21.216         | 75.309         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_18 | 103.247        | 21.216         | 74.618         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_19 | 102.209        | 21.216         | 73.926         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_20 | 101.172        | 21.216         | 73.235         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_21 | 100.135        | 21.216         | 72.544         | 4             | 3               | 1               |
| SM_h_1  | 124.098        | 124.098        | 124.098        | 2             | 1               | 1               |
| PP_4_22 | 103.892        | 70.170         | 87.031         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_23 | 102.855        | 70.170         | 86.513         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_24 | 101.818        | 70.170         | 85.994         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_25 | 99.335         | 70.170         | 84.752         | 3             | 2               | 1               |
| PI_1    | 96.851         | 70.170         | 83.510         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_8  | 95.814         | 70.170         | 82.992         | 3             | 2               | 1               |

Tabela 54 (cont.)

| Name     | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|----------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PP_5_9   | 94.777         | 70.170         | 82.473         | 3             | 2               | 1               |
| SM_h_1_1 | 184.442        | 184.442        | 184.442        | 3             | 1               | 2               |
| PP_5_10  | 105.339        | 9.826          | 70.828         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_26  | 104.302        | 9.826          | 70.136         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_27  | 103.264        | 9.826          | 68.831         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_28  | 102.227        | 9.826          | 67.526         | 4             | 3               | 1               |
| PP_4_29  | 101.190        | 9.826          | 66.221         | 4             | 3               | 1               |
| PI_1_1   | 100.153        | 9.826          | 64.917         | 4             | 3               | 1               |
| PP_5_11  | 99.116         | 9.826          | 64.225         | 4             | 3               | 1               |
| SM_h_1_2 | 102.785        | 102.785        | 102.785        | 2             | 1               | 1               |
| PI_1_2   | 97.319         | 91.482         | 94.400         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_12  | 96.282         | 91.482         | 93.882         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_13  | 95.244         | 91.482         | 93.363         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_30  | 94.207         | 91.482         | 92.845         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_31  | 93.170         | 91.482         | 92.326         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_32  | 92.133         | 91.482         | 91.808         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_33  | 91.482         | 91.096         | 91.289         | 3             | 2               | 1               |
| SM_h_2_1 | 109.026        | 109.026        | 109.026        | 2             | 1               | 1               |
| PI_2_1   | 105.130        | 85.241         | 95.186         | 3             | 2               | 1               |
| PP_6_3   | 104.093        | 85.241         | 94.667         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_14  | 101.215        | 85.241         | 93.228         | 3             | 2               | 1               |
| PP_5_15  | 98.338         | 85.241         | 91.790         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_34  | 97.301         | 85.241         | 91.271         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_35  | 96.264         | 85.241         | 90.752         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_36  | 95.226         | 85.241         | 90.234         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_37  | 94.189         | 85.241         | 89.715         | 3             | 2               | 1               |
| PP_6_4   | 93.152         | 85.241         | 89.197         | 3             | 2               | 1               |
| PP_6_5   | 92.115         | 85.241         | 88.678         | 3             | 2               | 1               |
| PPL_1    | 139.686        | 139.686        | 139.686        | 2             | 1               | 1               |

Tabela 54 (cont.)

| Name     | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|----------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PP_1_4   | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 4             | 2               | 2               |
| PP_2     | 161.861        | 74.750         | 118.305        | 4             | 2               | 2               |
| PFF_1_12 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_12  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_12  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_1_5   | 160.801        | 74.750         | 117.775        | 4             | 2               | 2               |
| PFF_1_13 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_13  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_13  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_14 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_14  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_14  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_15 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_15  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_15  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_16 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_16  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_16  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_17 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_17  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_17  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_18 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_18  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_18  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_19 | 162.668        | 74.750         | 118.709        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_19  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_19  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PPL_2    | 135.235        | 135.235        | 135.235        | 2             | 1               | 1               |
| PFF_1_20 | 146.951        | 59.033         | 102.992        | 5             | 2               | 3               |

Tabela 54 (cont.)

| Name     | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|----------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PP_7_20  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_20  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_21 | 146.951        | 59.033         | 102.992        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_21  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_21  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_3     | 146.951        | 59.033         | 102.992        | 5             | 2               | 3               |
| PFF_1_22 | 146.951        | 59.033         | 102.992        | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_22  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_22  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PPL_1_1  | 119.518        | 119.518        | 119.518        | 2             | 1               | 1               |
| PP_1_6   | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_2_1   | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PFF_1_23 | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_23  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_23  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_1_7   | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PFF_1_24 | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_24  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_24  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_25 | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_25  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_25  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_26 | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_26  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_26  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_27 | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_27  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_27  | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_28 | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |

Tabela 54 (cont.)

| Name            | Max. Residence | Min. Residence | Avg. Residence | Created Parts | Destroyed Parts | Parts in System |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PP_7_28         | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_28         | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_29        | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_29         | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_29         | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PFF_1_30        | 142.500        | 54.581         | 98.540         | 5             | 2               | 3               |
| PP_7_30         | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| PP_8_30         | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| SM_h_2_2        | 162.680        | 162.680        | 162.680        | 2             | 1               | 1               |
| PI_2_2          | 109.469        | 31.587         | 70.528         | 4             | 2               | 2               |
| PP_6_6          | 108.432        | 31.587         | 70.010         | 4             | 2               | 2               |
| PP_5_16         | 107.395        | 31.587         | 69.491         | 4             | 2               | 2               |
| PP_5_17         | 106.358        | 31.587         | 68.973         | 4             | 2               | 2               |
| PP_4_38         | 105.321        | 31.587         | 68.454         | 4             | 2               | 2               |
| PP_4_39         | 104.284        | 31.587         | 67.936         | 4             | 2               | 2               |
| PP_4_40         | 103.247        | 31.587         | 67.417         | 3             | 2               | 1               |
| PP_4_41         | 102.209        | 31.587         | 66.898         | 3             | 2               | 1               |
| PP_6_7          | 101.172        | 31.587         | 66.380         | 3             | 2               | 1               |
| PP_6_8          | 100.135        | 31.587         | 65.861         | 3             | 2               | 1               |
| Anel_1          | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 1             | 0               | 1               |
| Bloco_1_pintado | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| Bloco_2_pintado | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| DUMMY           | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| dummy_pp1_1     | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| dummy_pp1_2     | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |
| dummy_pp1_3     | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0             | 0               | 0               |

Tabela 55 – Análise dos processos

| Name               | Element                   | Exec. Count | Avg. Cycle Time | Avg. Proc. Time | Avg. Reqmt. Time | Avg. Part Reqmt. Time |
|--------------------|---------------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| Pre_Edificacao_1_2 | M_Pre_Edificacao_1_2      | 1           | 10.000          | 207.934         | 197.934          | 197.934               |
| Montagem_Bloco_2   | M_OMT___Estação_02_1      | 1           | 7.645           | 189.119         | 181.474          | 181.474               |
| SM_h_3_1           | M_OSB___Estação_01        | 2           | 2.530           | 9.334           | 6.804            | 6.804                 |
| PPL_3_1            | M_Linha_de_Painéis_Planos | 2           | 3.918           | 22.500          | 18.582           | 18.582                |
| Montagem_Bloco_1   | M_OMT___Estação_01        | 1           | 15.568          | 194.267         | 178.699          | 178.699               |
| SM_h_3             | M_OSB___Estação_01        | 2           | 2.530           | 8.937           | 6.406            | 6.406                 |
| PPL_3              | M_Linha_de_Painéis_Planos | 2           | 3.918           | 20.496          | 16.578           | 16.578                |
| SM_h_1             | M_OSB___Estação_01        | 3           | 1.909           | 10.004          | 8.660            | 8.660                 |
| SM_h_2             | M_OSB___Estação_01        | 3           | 2.928           | 15.233          | 12.305           | 12.305                |
| PPL_1              | M_Linha_de_Painéis_Planos | 2           | 5.922           | 39.667          | 33.745           | 33.745                |
| PPL_1_1            | M_Linha_de_Painéis_Planos | 2           | 5.922           | 15.717          | 9.795            | 9.795                 |
| SM_h_1_1           | M_OSB___Estação_01        | 2           | 1.909           | 8.085           | 6.176            | 6.176                 |
| SM_h_2_1           | M_OSB___Estação_01        | 2           | 2.928           | 10.371          | 7.443            | 7.443                 |
| PPL_2              | M_Linha_de_Painéis_Planos | 2           | 1.698           | 4.452           | 2.753            | 2.753                 |
| SM_h_1_2           | M_OSB___Estação_01        | 2           | 1.909           | 6.241           | 4.332            | 4.332                 |
| SM_h_2_2           | M_OSB___Estação_01        | 2           | 2.928           | 13.231          | 10.303           | 10.303                |
| SM_h_3_2           | M_OSB___Estação_01        | 2           | 2.530           | 10.057          | 7.527            | 7.527                 |

### ANEXO 3 – EXEMPLO DO BANCO DE DADOS DE PRODUTOS

| ÁREA       | E     | SB    | B    | SM      | PFPC    | PFCT    | ME      | NOME         | PESO    |
|------------|-------|-------|------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------|
| <b>M</b>   | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | <b>BP</b>    | 58,7000 |
| <b>SM</b>  | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | <b>PPL_f</b> | 21,4578 |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 0.0.0.0 | 1001    | 4001    | <b>PP</b>    | 5,9422  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 0.0.0.0 | 1002    | 4002    | <b>PP</b>    | 5,9422  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 0.0.0.0 | 1003    | 4021    | <b>PP</b>    | 2,9711  |
| <b>FPC</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4001    | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | <b>PFF</b>   | 0,8253  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4001    | 1001    | 3059    | <b>PP</b>    | 0,5306  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4001    | 1002    | 3059    | <b>PP</b>    | 0,2948  |
| <b>FPC</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4002    | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | <b>PFF</b>   | 0,8253  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4002    | 1001    | 3059    | <b>PP</b>    | 0,5306  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4002    | 1002    | 3060    | <b>PP</b>    | 0,2948  |
| <b>FPC</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4003    | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | <b>PFF</b>   | 0,8253  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4003    | 1001    | 3059    | <b>PP</b>    | 0,5306  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4003    | 1002    | 3062    | <b>PP</b>    | 0,2948  |
| <b>FPC</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4004    | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | <b>PFF</b>   | 0,8253  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4004    | 1001    | 3059    | <b>PP</b>    | 0,5306  |
| <b>FCT</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4004    | 1002    | 3063    | <b>PP</b>    | 0,2948  |
| <b>FPC</b> | 0.0.0 | 0.0.0 | 1001 | 1301    | 4005    | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | <b>PFF</b>   | 0,8253  |

## ANEXO 4 – EXEMPLOS DE CONSULTAS AO BANCO DE DADOS

Comprimento de solda → LPP, OFP, OMT, OSB

| COMPR. DE SOLDA (m) | OFICINAS |      |         |         | Total geral |
|---------------------|----------|------|---------|---------|-------------|
|                     | LPP      | OFP  | OMT     | OSB     |             |
| 1001                | 276      | 228  | 128,85  | 65,64   | 698,49      |
| 1002                | 168      | 144  | 61,45   | 36,3    | 409,75      |
| 1003                | 168      | 144  | 61,45   | 36,3    | 409,75      |
| 1004                | 192      | 168  | 60,99   | 41,4    | 462,39      |
| 1005                | 192      | 168  | 60,99   | 41,4    | 462,39      |
| 1006                | 120      | 96   | 42,15   | 52,53   | 310,68      |
| 1007                | 120      | 96   | 42,15   | 52,53   | 310,68      |
| 1008                | 84       | 132  | 117,45  | 69,9    | 403,35      |
| 1009                | 84       | 132  | 117,45  | 69,9    | 403,35      |
| 1010                | 168      | 144  | 101,45  | 66,51   | 479,96      |
| 1011                | 168      | 144  | 101,45  | 66,51   | 479,96      |
| 1012                | 144      | 120  | 102,3   | 63,15   | 429,45      |
| 1013                | 144      | 120  | 102,3   | 63,15   | 429,45      |
| 1014                | 192      | 168  | 169,65  | 65,25   | 594,9       |
| 1015                | 192      | 168  | 169,65  | 65,25   | 594,9       |
| 1016                | 252      | 192  | 108,15  | 104,1   | 656,25      |
| 1017                | 252      | 192  | 108,15  | 104,1   | 656,25      |
| 1018                | 240      | 192  | 135,9   | 143,25  | 711,15      |
| 1019                | 72       | 60   | 35,55   | 61,8    | 229,35      |
| 1020                | 72       | 60   | 35,55   | 45,9    | 213,45      |
| 1021                | 96       | 84   | 47,85   | 72,45   | 300,3       |
| 1022                | 72       | 60   | 46,95   | 201,6   | 380,55      |
| Total geral         | 3468     | 3012 | 1957,83 | 1588,92 | 10026,75    |

Comprimento de solda → APED

|           |       |
|-----------|-------|
| 1001-1002 | 32.16 |
| 1001-1003 | 32.16 |
| 1001-1022 | 53.1  |
| 1002-1004 | 32.16 |
| 1003-1005 | 32.16 |
| 1004-1006 | 32.16 |
| 1005-1007 | 32.16 |
| 1006-1008 | 33.6  |
| 1007-1009 | 33.6  |
| 1008-1010 | 31.2  |

|             |        |
|-------------|--------|
| 1009-1011   | 31.2   |
| 1010-1012   | 31.2   |
| 1011-1013   | 31.2   |
| 1012-1014   | 31.2   |
| 1013-1015   | 31.2   |
| 1014-1016   | 33     |
| 1015-1017   | 21     |
| 1016-1018   | 17.1   |
| 1017-1018   | 17.1   |
| 1018-1019   | 21     |
| 1019-1020   | 21     |
| 1020-1021   | 21     |
| 1021-1022   | 21     |
| Total geral | 672.66 |

Identificação de famílias de partes paralelas

| PP _ Partes Paralelas |            |                 |         |           |
|-----------------------|------------|-----------------|---------|-----------|
| Família               |            | Características |         |           |
|                       |            | PP              |         |           |
| Nome                  | Quantidade | Comprimento     | Largura | Espessura |
| PP_1                  | 36         | 850             | 100     | 10        |
| PP_2                  | 3          | 450             | 200     | 11        |
| PP_3                  | 3          | 800             | 200     | 11        |
| PP_4                  | 60         | 850             | 100     | 11        |
| PP_5                  | 3          | 1000            | 200     | 11        |
| PP_6                  | 3          | 1250            | 200     | 11        |
| PP_7                  | 3          | 1300            | 200     | 11        |
| PP_8                  | 24         | 1500            | 200     | 11        |
| PP_9                  | 9          | 1650            | 200     | 11        |
| PP_10                 | 24         | 1700            | 200     | 11        |
| PP_11                 | 3          | 1700            | 150     | 11        |
| PP_12                 | 3          | 1700            | 100     | 11        |
| PP_13                 | 3          | 1900            | 200     | 11        |
| PP_14                 | 3          | 2200            | 200     | 11        |
| PP_15                 | 24         | 2300            | 200     | 11        |
| PP_16                 | 9          | 2500            | 200     | 11        |
| PP_17                 | 9          | 2700            | 200     | 11        |
| PP_18                 | 51         | 2800            | 200     | 11        |
| PP_19                 | 3          | 2900            | 200     | 11        |
| PP_20                 | 6          | 3350            | 200     | 11        |
| PP_21                 | 9          | 3400            | 200     | 11        |
| PP_22                 | 3          | 4000            | 200     | 11        |
| PP_23                 | 12         | 5660            | 200     | 11        |
| PP_24                 | 16         | 12000           | 100     | 11        |
| PP_25                 | 6          |                 |         | 12,5      |
| PP_26                 | 15         | 800             | 200     | 12,5      |
| PP_27                 | 12         | 950             | 200     | 12,5      |
| PP_28                 | 6          | 1000            | 200     | 12,5      |
| PP_29                 | 9          | 1300            | 200     | 12,5      |
| PP_30                 | 3          | 1400            | 200     | 12,5      |
| PP_31                 | 9          | 1450            | 200     | 12,5      |
| PP_32                 | 3          | 1500            | 150     | 12,5      |
| PP_33                 | 9          | 1500            | 200     | 12,5      |
| PP_34                 | 138        | 1700            | 200     | 12,5      |
| PP_35                 | 9          | 1750            | 200     | 12,5      |
| PP_36                 | 9          | 1800            | 200     | 12,5      |
| PP_37                 | 3          | 1900            | 200     | 12,5      |
| PP_38                 | 6          | 2000            | 150     | 12,5      |
| PP_39                 | 24         | 2200            | 200     | 12,5      |
| PP_40                 | 6          | 2400            | 200     | 12,5      |
| PP_41                 | 9          | 2500            | 200     | 12,5      |
| PP_42                 | 30         | 2600            | 200     | 12,5      |
| PP_43                 | 18         | 2700            | 200     | 12,5      |

Identificação de famílias de partes paralelas (cont.)

| Nome  | Quantidade | Comprimento | Largura | Espessura |
|-------|------------|-------------|---------|-----------|
| PP_44 | 3          | 2900        | 200     | 12,5      |
| PP_45 | 3          | 3250        | 700     | 12,5      |
| PP_46 | 9          | 3400        | 200     | 12,5      |
| PP_47 | 3          | 4850        | 200     | 12,5      |
| PP_48 | 3          | 5100        | 200     | 12,5      |
| PP_49 | 38         | 12000       | 3000    | 12,5      |
| PP_50 | 263        | 12000       | 250     | 12,5      |
| PP_51 | 2          | 12000       | 972     | 12,5      |
| PP_52 | 5          | 12000       | 2460    | 12,5      |
| PP_53 | 2          | 12000       | 2650    | 12,5      |
| PP_54 | 2          | 12000       | 950     | 12,5      |
| PP_55 | 2          | 12000       | 2504    | 12,5      |
| PP_56 | 4          | 12000       | 2660    | 12,5      |
| PP_57 | 263        | 12000       | 450     | 12,5      |
| PP_58 | 4          | 12000       | 2580    | 12,5      |
| PP_59 | 3          | 12000       | 1410    | 12,5      |
| PP_60 | 2          | 12000       | 495     | 12,5      |
| PP_61 | 1          | 12000       | 960     | 12,5      |
| PP_62 | 8          | 12000       | 2400    | 12,5      |
| PP_63 | 1          | 12000       | 5660    | 12,5      |
| PP_64 | 1          | 12000       | 4680    | 12,5      |
| PP_65 | 2          | 12000       | 1380    | 12,5      |
| PP_66 | 2          | 12000       | 1500    | 12,5      |
| PP_67 | 1          | 12000       | 2720    | 12,5      |
| PP_68 | 20         | 12000       | 3000    | 12,5      |

Identificação de famílias de planos de corte

| Plano de Corte | Comp. Corte (mm) | Repetições do Plano de Corte |
|----------------|------------------|------------------------------|
| PC 1           | 34200            | 1                            |
| PC 2           | 292250           | 1                            |
| PC 3           | 198820           | 1                            |
| PC 4           | 199610           | 1                            |
| PC 5           | 79540            | 1                            |
| PC 6           | 770220           | 1                            |
| PC 7           | 0                | 36                           |
| PC 8           | 39600            | 8                            |
| PC 9           | 25600            | 1                            |
| PC 10          | 27950            | 4                            |
| PC 11          | 49200            | 1                            |
| PC 12          | 63400            | 1                            |
| PC 13          | 62800            | 1                            |
| PC 14          | 84000            | 48                           |
| PC 15          | 51400            | 1                            |
| PC 16          | 36000            | 5                            |
| PC 17          | 74800            | 1                            |
| PC 18          | 124200           | 1                            |
| PC 19          | 24000            | 4                            |
| PC 20          | 132000           | 6                            |
| PC 21          | 25800            | 1                            |
| PC 22          | 137550           | 1                            |
| PC 23          | 17900            | 1                            |
| PC 24          | 12000            | 1                            |
| PC 25          | 12000            | 1                            |
| PC 26          | 62130            | 1                            |
| PC 27          | 14700            | 1                            |
| PC 28          | 18950            | 1                            |
| PC 29          | 1800             | 1                            |
| PC 30          | 0                | 20                           |
| PC 31          | 24000            | 2                            |
| PC 32          | 12000            | 1                            |
| PC 33          | 11000            | 12                           |
| PC 34          | 33752            | 25                           |
| PC 35          | 0                | 12                           |
| PC 36          | 51930            | 3                            |
| PC 37          | 9740             | 3                            |
| PC 38          | 97056            | 10                           |
| PC 39          | 64704            | 1                            |

Identificação de famílias de painéis

| <b>Família</b> | <b>Qtde</b> | <b>Identificação</b>                                  | <b>PP (Qtde)</b> | <b>PFF (Qtde)</b> |
|----------------|-------------|---|------------------|-------------------|
| PPL_1          | 2           | PPL_f_ Painei Plano de Fundo Duplo e Teto Fundo Duplo | 3                | 8                 |
| PPL_2          | 4           | PPL_f_ Painei Plano de Fundo Duplo e Teto Fundo Duplo | 2                | 6                 |
| PPL_3          | 4           | PPL_f_ Painei Plano de Fundo Duplo e Teto Fundo Duplo | 2                | 7                 |
| PPL_4          | 4           | PPL_f_ Painei Plano de Fundo Duplo e Teto Fundo Duplo | 3                | 7                 |
| PPL_5          | 2           | PPL_cn_ Painei Plano de Convés                        | 1                | 2                 |
| PPL_6          | 2           | PPL_cn_ Painei Plano de Convés                        | 5                | 16                |
| PPL_7          | 1           | PPL_cn_ Painei Plano de Convés                        | 3                | 7                 |
| PPL_8          | 2           | PPL_cod_ Painei Plano de Costado e Costado Duplo      | 2                | 5                 |
| PPL_9          | 4           | PPL_cod_ Painei Plano de Costado e Costado Duplo      | 2                | 6                 |
| PPL_10         | 4           | PPL_cod_ Painei Plano de Costado e Costado Duplo      | 2                | 5                 |
| PPL_11         | 4           | PPL_cod_ Painei Plano de Costado e Costado Duplo      | 2                | 6                 |
| PPL_12         | 1           | PPL_a_ Painei Plano de Antepara                       | 1                | 5                 |
| PPL_13         | 1           | PPL_a_ Painei Plano de Antepara                       | 1                | 7                 |
| PPL_14         | 1           | PPL_a_ Painei Plano de Antepara                       | 2                | 5                 |
| PPL_15         | 1           | PPL_a_ Painei Plano de Antepara                       | 2                | 5                 |
| PPL_16         | 2           | PPL_at_ Painei Plano de Antepara Transversal          | 6                | 32                |
| PPL_17         | 1           | PPL_at_ Painei Plano de Antepara Transversal          | 5                | 32                |
| PPL_18         | 2           | PPL_at_ Painei Plano de Antepara Transversal          | 6                | 32                |
| PPL_19         | 1           | PPL_at_ Painei Plano de Antepara Transversal          | 5                | 32                |
| PPL_20         | 2           | PPL_ta_ painei Plano de Tanque de Asa                 | 2                | 6                 |

## ANEXO 5 – DADOS, INFORMAÇÕES E INDICADORES DE ÁREAS DO ESTALEIRO

### D) INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE PRODUTOS, PROCESSOS E RECURSOS

#### → Painéis

- 2 painéis por bloco plano
- 2 painéis por bloco curvo
- 15 t por painel plano
- 15 t por painel curvo

#### → Submontagens

- 5 submontagens por bloco plano
- 5 submontagens por bloco curvo

#### → Conformação

- 60% do peso de painéis curvos é de peças conformadas
- 20% das peças conformadas têm forma complexa
- 70% das peças conformadas têm forma simples
- 10% das peças conformadas têm são perfis
- 2 t peso médio de peças conformadas

#### → Acabamento avançado - tubulações

- 80% na fase de montagem
- 5% na fase de edificação
- 15% na fase de acabamento

#### → Acabamento avançado - eletricidade

- 80% na fase de montagem
- 5% na fase de edificação
- 15% na fase de acabamento

#### → Acabamento avançado - máquinas e equipamentos

- 40% na fase de montagem
- 25% em módulos de outfitting
- 5% na fase de edificação
- 30% na fase de acabamento

#### → Acabamento avançado - acessórios de casco e convés

- 0% na fase de montagem
- 15% em módulos de outfitting
- 10% na fase de edificação
- 75% na fase de acabamento

#### → Acabamento avançado - acabamento

- 0% na fase de montagem

- 10% em módulos de outfitting
- 10% na fase de edificação
- 80% na fase de acabamento
- IPT - armazenagem de aço
  - 0,5 hh/ton
- IPT - linha de tratamento e pintura
  - 3 m/min
- IPT - linha automática de painéis planos
  - 3 painéis por dia
- IPT - linha de tratamento e pintura
  - 8 chapas por dia

## II) CONTEÚDO DE TRABALHO

### → OFICINA DE PINTURA DE BLOCOS (OPB)

- Número de blocos = 125 (Peso total em aço/Peso médio super bloco)
- 660 m<sup>2</sup> por bloco
- 82500 m<sup>2</sup> total
- 3 dias/bloco
- 6 células para pintura de blocos
- 18 blocos a cada ciclo
- 7,2 ciclos/mês
- 6,9 blocos/ciclo
- 50,2 blocos/mês
- 2,5 meses para pintura de blocos
- 1 hh/m<sup>2</sup>
- 82.500 hh para pintura de blocos
- 87 trabalhadores

### → LINHA DE PAINÉIS PLANOS

- 163 painéis planos
- 2438 t de painéis planos
- 54 dias para fabricação de painéis planos
- 476,6 horas para fabricação de painéis planos
- 10,8 semanas para fabricação de painéis planos
- 2 hh/t
- 4.875 hh para montagem de painéis planos
- 5 trabalhadores

### → LINHA DE PAINÉIS CURVOS

- 88 painéis curvos

- 1313 t de painéis curvos
- 15 hh/t
- 19.688 hh para montagem de painéis curvos
- 21 trabalhadores

#### → **SUBMONTAGENS**

- 2 t peso médio de submontagem em blocos planos
- 2 t peso médio de submontagem em blocos curvos
- 406 submontagens por bloco plano
- 219 submontagens por bloco curvo
- 813 t submontagens em blocos planos
- 438 t submontagens em blocos curvos
- 15,6 hh/t
- 12.675 hh para submontagens de blocos planos
- 6.825 hh para submontagens de blocos curvos
- 20 trabalhadores

#### → **CONFORMAÇÃO**

- 788 t peças com conformação
- 158 t forma complexa
- 551 t forma simples
- 79 t perfis
- 79 peças com conformação complexa
- 276 peças com conformação simples
- 3 hh/t para conformação simples
- 40 hh/t para conformação complexa
- 2 hh/t para conformação de perfis
- 2.363 hh para conformação simples
- 6.300 hh para conformação complexa
- 158 hh para conformação de perfis

#### → **TRATAMENTO E PINTURA**

- 5000 t chapas
- 1471 chapas
- 17647 m lineares de aço a ser tratado
- 5882 minutos para tratamento de chapas
- 98 horas para tratamento de chapas
- 2,2 semanas para tratamento e pintura
- 2,5 hh/t para tratamento de chapas
- 12.500 hh para tratamento de chapas
- 13 trabalhadores

**→ ARMAZENAGEM**

- 5000 t chapas
- 1471 chapas
- 1 hh/chapa
- 1.471 hh para tratamento de chapas
- 2 trabalhadores

**→ TUBULAÇÕES**

- 10.000 spools por embarcação
- 6 hh/t para fabricação de spools
- 15 hh/t para instalação de spools na fase de montagem
- 30 hh/t para instalação de spools na fase de edificação
- 35 hh/t para instalação de spools na fase de acabamento no cais
- 60.000 hh para fabricação de tubulações
- 120.000 hh para instalação de spools na fase de montagem
- 15.000 hh para instalação de spools na fase de edificação
- 52.500 hh para instalação de spools na fase de acabamento no cais
- 63 trabalhadores para fabricação de tubulações
- 126 trabalhadores para instalação de tubulações na fase de montagem de blocos
- 16 trabalhadores para instalação de tubulações na fase de edificação
- 55 trabalhadores para instalação de tubulações na fase de acabamento no cais

**→ OFICINA ELÉTRICA (INCLUI PREPARAÇÃO E INSTALAÇÃO DE CABOS, SUPORTES, EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E CONECTORES)**

- 50.000 m de cabos elétricos
- 0,35 hh/m de cabo instalado na fase de montagem de blocos
- 0,5 hh/m de cabo instalado na fase de edificação
- 1 hh/m de cabo instalado na fase de acabamento no cais
- 14.000 hh para instalação elétrica na fase de montagem de blocos
- 1.250 hh para instalação elétrica na fase de edificação
- 6.000 hh para instalação elétrica na fase de acabamento no cais
- 15 trabalhadores para instalação elétrica na fase de montagem de blocos
- 1 trabalhadores para instalação elétrica na fase de edificação
- 6 trabalhadores para instalação elétrica na fase de acabamento no cais

**→ INSTALAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**

- 100 unidades
- 100 hh/un de máquinas e equipamentos instalados na fase de montagem de blocos
- 125 hh/un de máquinas e equipamentos instalados em módulos de outfitting
- 150 hh/un de máquinas e equipamentos instalados na fase de edificação
- 200 hh/un de máquinas e equipamentos instalados na fase de acabamento

- 4.000 hh para instalação de máquinas e equipamentos na fase de montagem de blocos
- 3.125 hh para instalação de módulos de máquinas e equipamentos
- 750 hh para instalação de máquinas e equipamentos na fase de edificação
- 6.000 hh para instalação de máquinas e equipamentos na fase de acabamento
- 13.875 hh total para instalação de máquinas e equipamentos
- 4 trabalhadores para instalação de máquinas e equipamentos na fase de montagem de blocos
- 3 trabalhadores para instalação de módulos de máquinas e equipamentos
- 1 trabalhadores para instalação de máquinas e equipamentos na fase de edificação
- 6 trabalhadores para instalação de máquinas e equipamentos na fase de acabamento
- 15 total de trabalhadores para instalação de máquinas e equipamentos

#### **→ INSTALAÇÃO DE ACESSÓRIOS DE CASCO E CONVÉS**

- 140 unidades
- 100 hh/un de acessórios de casco e convés instalados na fase de montagem de blocos
- 125 hh/un de acessórios de casco e convés instalados em módulos de outfitting
- 150 hh/un de acessórios de casco e convés instalados na fase de edificação
- 200 hh/un de acessórios de casco e convés instalados na fase de acabamento
- 2.625 hh para instalação de módulos de acessórios de casco e convés
- 2.100 hh para instalação de acessórios de casco e convés na fase de edificação
- 21.000 hh para instalação de acessórios de casco e convés na fase de acabamento
- 25.725 hh total para instalação de acessórios de casco e convés
- 3 trabalhadores para instalação de módulos de acessórios de casco e convés
- 2 trabalhadores para instalação de acessórios de casco e convés na fase de edificação
- 22 trabalhadores para instalação de acessórios de casco e convés na fase de acabamento
- 27 total de trabalhadores para instalação de acessórios de casco e convés

#### **→ INSTALAÇÃO DE ACABAMENTO (ANTEPARAS DIVISÓRIAS, PISOS E FORROS, ISOLAMENTO TERMO-ACÚSTICO)**

- 7350 m<sup>2</sup>
- 1 hh/un de acabamento instalado na fase de montagem de blocos
- 1 hh/un de acabamento instalado em módulos de outfitting
- 1 hh/un de acabamento instalado na fase de edificação
- 1 hh/un de acabamento instalado na fase de acabamento
- 735 hh para instalação de módulos de acabamento
- 735 hh para instalação de acabamento na fase de edificação
- 5.880 hh para instalação de acabamento na fase de acabamento

- 7.350 hh total para instalação de acabamento
- 1 trabalhadores para instalação de módulos acabamento
- 1 trabalhadores para instalação de acabamento na fase de edificação
- 6 trabalhadores para instalação de acabamento na fase de acabamento
- 8 total de trabalhadores para instalação de acabamento

**→ FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS COM AÇO LEVE**

- 269 t Jazentes, escada de portaló, escada do prático, prancha de embarque
- 50 hh/t para fabricação de estruturas com aço leve
- 13.450 hh para fabricação de estruturas com aço leve
- 7 trabalhadores para fabricação de estruturas com aço leve

**→ FABRICAÇÃO DE ACESSÓRIOS DE CASCO E CONVÉS**

- 107 cj Janelas, vigias e olhos-de-boi
- 50 hh/cj para fabricação de acessórios de casco e convés
- 5.350 hh para fabricação de acessórios de casco e convés
- 3 trabalhadores para fabricação de acessórios de casco e convés

**→ FABRICAÇÃO DE ITENS EM MADEIRA**

- 20 m<sup>3</sup> de madeira para fabricação de mobiliários
- 500 hh/m<sup>3</sup> para fabricação de itens em madeira
- 10.000 hh para fabricação de itens em madeira
- 5 trabalhadores para para fabricação de itens em madeira

Conteúdo de trabalho (hh) por área do estaleiro

| Áreas do estaleiro                                     | Horas-homem       |
|--|-------------------|
| <b>Acabamento no cais</b>                              | <b>97.865</b>     |
| instalação de tubulações na fase de acabamento         | 52.500            |
| instalação elétrica na fase de acabamento no cais      | 6.000             |
| instalação de outfitting na fase de acabamento no cais | 32.880            |
| instalação de módulos de outfitting                    | 6.485             |
| <b>Área de Edificação/outfitting</b>                   | <b>19.835</b>     |
| instalação de tubulações na fase de edificação         | 15.000            |
| instalação elétrica na fase de edificação              | 1.250             |
| instalação de outfitting na fase de edificação         | 3.585             |
| <b>Oficina de Pintura de Bloco</b>                     | <b>82.500</b>     |
| <b>Oficina de Montagem de Bloco/outfitting</b>         | <b>138.000</b>    |
| instalação de tubulações na fase de montagem           | 120.000           |
| instalação elétrica na fase de montagem de blocos      | 14.000            |
| instalação de outfitting na fase de montagem de blocos | 4.000             |
| <b>Linha de Painéis</b>                                | <b>24.563</b>     |
| montagem de painéis planos                             | 4.875             |
| montagem de painéis curvos                             | 19.688            |
| <b>Oficina de Submontagem</b>                          | <b>19.500</b>     |
| submontagens de blocos planos                          | 12.675            |
| submontagens de blocos curvos                          | 6.825             |
| <b>Oficina de Fabricação de Partes/conformação</b>     | <b>8.820</b>      |
| conformação simples                                    | 2.363             |
| conformação complexa                                   | 6.300             |
| conformação de perfis                                  | 158               |
| <b>Pátio de aço</b>                                    | <b>1.471</b>      |
| <b>Linha de Tratamento e Pintura</b>                   | <b>12.500</b>     |
| <b>Oficina de Fabricação/tubulações</b>                | <b>60.000</b>     |
| <b>Oficina de Fabricação/oficinas diversas</b>         | <b>28.800</b>     |
| <b>TOTAL</b>   | <b>493.854 hh</b> |

Número de trabalhadores por área do estaleiro

| Área do estaleiro                                | Número de trabalhadores |
|--|-------------------------|
| Oficina de Pintura de Bloco                      | 87                      |
| Linha de Painéis Planos                          | 5                       |
| Linha de Painéis Curvos                          | 21                      |
| Oficina de Submontagem                           | 20                      |
| Oficina de Fabricação de Partes/conformação      | 9                       |
| Linha de Tratamento e Pintura                    | 13                      |
| Pátio de Aço                                     | 2                       |
| Oficina de Instalação de <i>outfitting</i>       | 49                      |
| Oficina de Fabricação e Instalação de Tubulações | 260                     |
| Oficina de Instalação Elétrica                   | 22                      |
| Oficina de Fabricação/oficinas diversas          | 15                      |
| <b>TOTAL</b>                                     | <b>503</b>              |