

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS TECNOLÓGICO DE JOINVILLE**

PEDRO SOUZA COSTA

**PROPOSTA DE LAYOUT DE INDÚSTRIA NÁUTICA COM O TECNOMATIX
PLANT SIMULATION**

JOINVILLE

2022

PEDRO SOUZA COSTA

**PROPOSTA DE LAYOUT DE INDÚSTRIA NÁUTICA COM O TECNOMATIX
PLANT SIMULATION**

Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Naval apresentado como requisito para obtenção do título de Engenheiro Naval na Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador Prof.: Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto.

JOINVILLE

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que Ele fez por mim, por tudo que tenho e sou. Sem Suas graças e sabedoria, jamais teria realizado este e muitos outros projetos durante a minha vida.

Agradeço profundamente aos meus pais, Kátia Regina e Marcos Antônio, pelo seu incondicional apoio moral e financeiro durante toda a minha vida e, em especial, durante a minha graduação. Sem eles, teria sido quase impossível enfrentar as dificuldades e desafios dos últimos anos.

Agradeço aos meus avós, Maurílio e Marlene, pelo forte apoio que também me deram durante todos estes anos. Sem eles, a minha jornada certamente teria sido mais difícil.

Um grande agradecimento ao meu professor orientador, Ricardo Aurélio, pela sua imensa paciência e bons conselhos. Desde o primeiro momento, me acolheu e me ajudou. Mostrou sempre grande prontidão em me atender e aconselhar. Sem ele, eu não teria tido excelentes experiências dentro da graduação e, certamente, este trabalho não existiria.

Agradeço também ao meu tio, Carlos Alberto, que também sempre teve ótima vontade de ajudar e a dar conselhos, acadêmicos e profissionais, os quais me ajudaram e ainda ajudam muito. Agradeço a ele também pelas suas importantes contribuições para o presente trabalho.

Gostaria de agradecer também aos professores Calil e Viviane. Como coordenadores de curso, eles me ajudaram muito em várias questões que surgiram ao longo da minha graduação. Sem eles, meus caminhos no curso teriam sido mais tortuosos.

Um forte agradecimento também ao Sr. Ary e ao Sr. Alexandre da empresa BFG International, por tudo que eles me ensinaram e mostraram dentro da empresa. As experiências e conhecimentos adquiridos foram de valor inestimável para a minha formação profissional.

Agradeço também a BFG International pela oportunidade de aprendizado e a todos os seus colaboradores, aos quais tive o prazer de conhecer durante a minha passagem pela empresa.

Agradeço também a Okean Yachts, em especial na pessoa do Sr. Sérgio, pelas experiências e conhecimentos compartilhados.

Um agradecimento especial a nação brasileira e, em especial, a todos os brasileiros que, com o seu esforço e trabalho, financiaram os meus estudos e facilitaram a minha permanência na universidade. Espero em breve também estar contribuindo ativamente pelo bem do nosso Brasil.

*“Success is stumbling from failure to failure
with no loss of enthusiasm.”*

Winston S. Churchill

RESUMO

O layout produtivo adotado por uma indústria possui grande impacto na eficiência e nos custos de sua produção, especialmente nos estaleiros e fornecedores de grandes componentes para a indústria naval e náutica. Esta importância justifica a busca de meios cada vez mais sofisticados para a elaboração de um layout eficiente, dos quais se destaca os programas de simulação computacional, com ênfase naqueles que utilizam o método de simulação por eventos discretos. O presente trabalho teve como objetivo propor o layout de produção de uma nova planta ideal para uma empresa fabricante de componentes em materiais compósitos, a qual produz conjuntos pré-montados e acabados para iates, os quais incluem peças grandes como casco e conveses. Para tal, o autor utilizou dados e experiência adquiridos estagiando nessa empresa juntamente com um levantamento bibliográfico para realizar modelagens computacionais no programa *Tecnomatix Plant Simulation* de linhas de produção para conjuntos de iates em uma possível nova planta fabril da empresa em questão. Desta maneira, o modelo real e mais três propostas foram modelados e simulados utilizando o programa adotado. Por meio de comparação, foi encontrada uma solução que apresentou significativa redução de custos de movimentação, a qual foi escolhida como proposta de layout deste trabalho. Os resultados mostram que programas de simulação computacional podem colaborar de forma plausível na busca de um arranjo produtivo mais eficiente. Porém, o mesmo não deve ser adotado isoladamente, pois os resultados sempre deverão ser analisados em um escopo muito mais abrangente, o qual inclui questões geográficas, comerciais e outros fatores humanos.

Palavras-chave: Layout, Estaleiros, Simulação, Iates

ABSTRACT

A production layout adopted in an industry has great impact on its efficiency and costs, especially in shipyards and suppliers of large components for the naval and nautical industries. This importance justifies the search for more advanced methods for layout designing. One of them is computational simulation, principally those that utilizes discrete events. This project had the goal of propose a production layout for a new and ideal composites components plant that supplies pre-assembled and finished yachts kits, including large parts like hull and decks. To do that, the author used gained experience and collected data from his internship together with bibliographic study to elaborate computational models, of production lines for yachts kits for a possible new plant with this purpose, on simulation software *Tecnomatix Plant Simulation*. Thus, the real model and three other proposals were modeled and simulated using the adopted program. Through comparison, a solution was found that presented a significant reduction in handling costs, which was chosen as the layout proposal for this work. Results show that simulation software can provide significant help on layout designing, but should not be utilized lonely, because the results should always be analyzed in a much broader scope, that includes geographic, commercial and other human factors.

Keywords: Layout, Shipyards, Simulation, Yachts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fases de matriz e reforço ilustradas em diferentes escalas.	16
Figura 2 – Fluxograma com o resumo das atividades envolvidas na fabricação de componentes náuticos.	17
Figura 3 - Fabricação de plug em madeira.	20
Figura 4 – Fabricação de plug com CNC e espuma sintética.	20
Figura 5 - Operadores realizando laminação manual.	22
Figura 6 – Desenho indicativo da montagem de uma laminação por infusão.	23
Figura 7 – Infusão a vácuo de um casco de um escaler.	24
Figura 8 – Iate em estágio de pré-montagem.	25
Figura 9 – Pré-montagem do convés principal ao caso.	25
Figura 10 – Pintura de um casco.	26
Figura 11 – Polimento de um casco pintado.	27
Figura 12 – Layout em linha, disposto em “U”.	31
Figura 13– Layout por processo ou funcional.	32
Figura 14 – Layout celular.	34
Figura 15 – Layout por posição fixa ou posicional.	35
Figura 16 – Posicionamento dos diferentes tipos de processo por volume-variedade	37
Figura 17 – Aproximação discreta de um sistema contínuo.	42
Figura 18 - Esquema da abordagem de simulação em 3 fases.	44
Figura 19 – Interface do <i>Tecnomatix Plant Simulation</i>	48
Figura 20 – Fluxograma da metodologia proposta.	52
Figura 21 – Modelagem da estação de laminação de pequenos componentes.	61
Figura 22 – Modelagem da estação de laminação dos cascos.	64
Figura 23 – Modelagem da estação de corte, furação e lixamento.	66
Figura 24 – Modelagem da estação de pré-montagem I.	68
Figura 25 – Modelagem da estação de pintura.	69
Figura 26 – Peça passando pela pista de movimentação no modelo.	71
Figura 27 – Modelo baseado na planta real construído na ferramenta adotada.	74
Figura 28 – Ilustração do layout da proposta 1.	75
Figura 29 – Ilustração do layout da proposta 2.	76
Figura 30 – Ilustração do layout da proposta 3.	78
Figura 31 – Custos totais de movimentação dos modelos.	80

Figura 32 – Custos totais de movimentação de materiais dos modelos	80
Figura 33 – Custos totais de movimentação de componentes dos modelos.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo do acompanhamento de eventos utilizando a abordagem de tempo dividido em intervalos iguais.	41
Quadro 2 – Exemplo do acompanhamento do tempo por eventos discretos.	41
Quadro 3 – Aproximações das dimensões requeridas pelos produtos.	57
Quadro 4 – Estimativa e proposta de custos do autor por componente.	72
Quadro 5 – Resumo dos custos obtidos em simulação.	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACOBAR	Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e seus implementos
AG	Aktiengesellschaft
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CPM	Critical Path Method
HTML	Hyper Text Markup Language
ICOMIA	International Council of Marine Industry Associations
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PLM	Project Lifecycle Management

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Específicos.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	VISÃO GERAL DO SETOR NÁUTICO NO BRASIL E EM SANTA CATARINA	14
2.1.1	Estaleiros náuticos e indústria de componentes em materiais compósitos.....	15
2.2	MATERIAIS COMPÓSITOS E POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE VIDRO	16
2.3	CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÃO DE RECREIO	17
2.3.1	Visão geral da construção de iates	18
2.3.2	Projeto da embarcação	19
2.3.3	Confecção de <i>plugs</i> e moldes.....	19
2.3.4	Fabricação de peças em material compósito reforçado com fibra.....	20
	Laminação Manual	21
	Laminação por infusão à vácuo	22
2.3.5	Pré-montagem	24
2.3.6	Acabamento externo e pintura	25
2.3.7	Montagem final	27
2.3.8	Considerações finais sobre a construção de embarcações de recreio	28
2.4	LAYOUT E TIPOS DE PROCESSOS PRODUTIVOS	28
2.4.1	Layout produtivo	28
2.4.2	Definições de layout produtivo	29
2.4.3	Tipos de layout	30
	Arranjo por produto ou em linha	30
	Arranjo por processo ou funcional	32
	Arranjo celular.....	33
	Arranjo por posição fixa ou posicional.....	34
	Arranjo misto ou combinado	35
2.4.4	Tipos de processos no sistema produtivo.....	35
2.4.5	Layout de estaleiros	37
2.4.6	Projeto preliminar de layout de estaleiro	38

2.5	SIMULAÇÃO DE SISTEMAS	38
2.5.1	Sistema e modelo	39
2.5.2	Modelagem e simulação	39
	Simulação de sistemas discretos	40
	Simulação de sistemas contínuos	41
2.5.3	Abordagem de simulação de 3 fases	42
2.5.4	Seleção de programas de simulação	44
2.5.5	Seleção do programa de simulação do presente trabalho	46
2.6	SIEMENS TECNOMATIX PLANT SIMULATION	46
2.6.1	Introdução ao Tecnomatix Plant Simulation	46
2.6.2	Histórico do programa	47
2.6.3	Utilização e interface	47
2.6.4	Características do programa	48
2.6.5	Utilização do Tecnomatix Plant Simulation em estaleiros	49
	Aplicabilidade e exemplos na indústria naval	50
3	METODOLOGIA	52
4	PROPOSTA DE LAYOUT	54
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS DE PROJETO DE LAYOUT	54
4.2	CONSIDERAÇÕES QUANTO AS INFORMAÇÕES OBTIDAS	56
4.3	PROJETO PRELIMINAR E MODELAGEM DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO	57
4.3.1	Recebimento e Almojarifado	59
4.3.2	Processamento dos insumos de produção	60
4.3.3	Laminação de pequenos componentes	60
4.3.4	Laminação de grandes componentes	62
4.3.5	Posicionamento das peças sobre estruturas móveis	65
4.3.6	Corte, furação e lixamento	65
4.3.7	Suporte a pré-montagem	67
4.3.8	Pré-montagem I	67
4.3.9	Pré-montagem II	68
4.3.10	Pintura	69
4.3.11	Acabamento e inspeção	70
4.4	ANÁLISE DOS CUSTOS DE MOVIMENTAÇÃO	70
4.5	MODELO BASEADO NA PLANTA REAL E PROPOSTAS	73

4.5.1	Modelo baseado na planta real.....	73
4.5.2	Proposta 1.....	75
4.5.3	Proposta 2.....	76
4.5.4	Proposta 3.....	77
4.6	RESULTADOS.....	78
4.7	LAYOUT ESCOLHIDO.....	82
5	CONCLUSÃO.....	83
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
	APÊNDICE A – ALGORITMOS DE MEDIÇÃO DE CUSTO.....	89
	ANEXO A – CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE PROGRAMA DE SIMULAÇÃO.....	90

1 INTRODUÇÃO

As redes internacionais de produção estão cada vez mais desenvolvidas, aprimoradas e com mais concorrência, necessitando com maior frequência a melhoria da eficiência dos processos produtivos. Essa necessidade também se faz vital ao observarmos a atual complexidade dos sistemas fabris, os quais frequentemente contam com um grande número de componentes e processos para atenderem a produtos cada vez mais elaborados e complexos (BANGSOW, 2010). A importância desta constatação também é especialmente observada em estaleiros, que naturalmente possuem uma vasta gama de processos e materiais, os quais devem ser analisados e arranjados de forma adequada. Assim, estudos e melhorias no layout produtivo se tornam indispensáveis, para qualquer sistema fabril que almeje ser eficiente e competitivo.

Após um estudo apropriado do fluxo de trabalho para transformar matérias primas e subcomponentes em produtos finalizados, torna-se importante a análise dos espaços físicos e a localização das partes do sistema produtivo para acomodar os operadores e os fluxos de trabalho previamente planejados (HITOMI, 1996). Este estudo é especialmente interessante para a indústria naval e náutica, devido ao tamanho de seus componentes e o impacto que as movimentações de peças e maquinários têm na eficiência geral do estaleiro. Para embarcações de médio e grande porte é muito comum a utilização de arranjos posicionais, onde as ferramentas e materiais são deslocadas até o berço ou local de construção (HITOMI, 1996). Para estaleiros náuticos, onde há um maior volume de produção de embarcações do que em grandes estaleiros, principalmente devido ao tamanho das embarcações, é possível estudar layouts em linha para produção de embarcações em série.

Dentro desta temática, surgem também os programas de modelagem e simulações computacionais, os quais estão cada vez mais presentes no contexto da indústria 4.0 e protagonizarão, cada vez mais, um papel importante no planejamento de novas fábricas e estaleiros. Por meio de modelagem computacional adequada e simulação de um sistema de manufatura é possível estudar muitos aspectos da produção, como seu custo, espaço necessário para as instalações, fluxo de materiais e pessoas, estudo do posicionamento de equipamentos e colaboradores, entre muitos outros. Com estes estudos, muitas vezes é possível tomar decisões que possam elevar a produtividade da planta real em até 20%, isso tudo com um custo relativamente baixo (BANGSOW, 2010). Tal possibilidade é animadora para os estudos de arranjos produtivos em estaleiros, devido aos altos valores atrelados a sua produção, onde qualquer possibilidade do aumento na eficiência da produtividade é extremamente bem-vinda,

especialmente para pequenos estaleiros, os quais não possuem vastos recursos para despende no aprimoramento contínuo da sua produção.

Muitos desses pequenos estaleiros se encontram no setor náutico, os quais trabalham frequentemente com materiais compósitos. Os processos envolvendo a fabricação de componentes náuticos com esses materiais costumam ser altamente manuais e, portanto, a mão de obra possui especial importância dentro dos processos produtivos. Estas empresas também precisam aproveitar bem seu espaço físico, considerando sempre que há movimentação de grandes componentes, que sempre representam riscos ao custo e segurança da produção. Cada estação de trabalho deve estar adequadamente equipada para evitar deslocamentos excessivos de pessoal para a retirada de ferramentas e matérias primas dos almoxarifados. Isto é particularmente importante neste setor, devido aos grandes tempos os quais os componentes necessitam em cada estação de trabalho. Estes aspectos também se aplicam para empresas que fornecem os principais componentes em compósitos para a indústria náutica. Tendo em vista estes aspectos, o presente trabalho almeja por meio do estudo de layout produtivo e simulação computacional, propor um layout de linha de produção para uma empresa fornecedora de componentes náuticos pré-montados em materiais compósitos aqui doravante chamada de empresa “A”.

Para tal, o autor realizou um levantamento bibliográfico através de repositórios virtuais para a fundamentação teórica do presente trabalho e estagiou realizou observações em uma empresa do setor, com interesse no presente trabalho, para a coleta dos dados necessários. Esta empresa, denominada neste trabalho como empresa “A”, localiza-se na região norte do estado de Santa Catarina, próxima à Joinville e trabalha com o fornecimento de peças em materiais compósitos pré-montadas para as indústrias eólica, náutica e de construção civil. Possuindo cerca de 80 colaboradores. A mesma passa por um período de ampla expansão de suas atividades devido a uma crescente demanda de seus produtos, os quais fazem a mesma considerar a segregação de suas atividades em diferentes fábricas, especialmente para o ramo náutico, o que reforça ainda mais a necessidade deste trabalho.

Com base nos levantamentos realizados e na experiência obtida pelo autor durante o período de observações na empresa “A”, foi realizada uma proposta de layout baseada na modelagem de uma planta produtiva no programa *Tecnomatix Plant Simulation*.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é propor uma linha de produção teórica para a indústria “A” que fabrica e pré-monta os principais componentes em materiais compósitos de embarcações de recreio feitas em série.

1.1.1 Objetivo Específicos

- a) Realizar uma fundamentação teórica sobre projeto de layout produtivo;
- b) Realizar uma breve caracterização dos processos e equipamentos utilizados na produção de peças de materiais compósitos a base de fibra de vidro na empresa “A”;
- c) Compreender os parâmetros e variáveis utilizados pela ferramenta de simulação *Tecnomatix Plant Simulation*;
- d) Modelar propostas de layout produtivo no *Plant Simulation*;
- e) Avaliar os resultados das alternativas das propostas estudadas;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção se realizará uma breve contextualização do setor náutico, com ênfase no Brasil e Santa Catarina. Em seguida, o autor apresentará os processos básicos envolvidos em uma indústria fornecedora de componentes pré-montados em materiais compósitos para iates, a qual atende um estaleiro da região. Posteriormente serão apresentados tópicos relacionados ao layout produtivo e uma breve introdução à simulação computacional e à ferramenta *Tecnomatix Plant Simulation*.

2.1 VISÃO GERAL DO SETOR NÁUTICO NO BRASIL E EM SANTA CATARINA

O setor náutico abrange uma grande variedade de empresas de diversas atividades, sendo algumas envolvidas na produção de embarcações, outras ligadas a assistência técnica e manutenção, além de vendas de peças e aquelas relacionadas ao apoio náutico. Nesta conjectura, pode-se afirmar que o setor gera muitos empregos e colabora com o desenvolvimento de tecnologias. (SANTA CATARINA, 2014?)

Segundo o Conselho Internacional de Associações da Indústria Marinha (*The International Council of Marine Industry Associations – ICOMIA*), a indústria náutica movimenta mais de 83,5 bilhões de dólares mundialmente, gerando cerca 700 mil empregos distribuídos entre 4900 estaleiros e 200 fabricantes de motores. (SANTA CATARINA, 2014?)

Segundo a ACOBAR, Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e Seus Implementos (2012), o setor faturou 5,3 bilhões de reais em 2010, com 840 empresas envolvidas e empregando mais de 40 mil trabalhadores. Segundo a mesma, a frota brasileira de embarcações acima de 16 pés é composta por cerca de 70 mil unidades sendo 84% de lanchas e 16% de veleiros, sendo que 20% da mesma se encontra na região sul do Brasil.

O Brasil conta com cerca de 120 estaleiros náuticos, os quais fabricam uma ampla gama de embarcações que partem dos 10 pés até os 120 pés. Deste conjunto, 70% dos estaleiros produzem apenas lanchas, 13% apenas veleiros e 17% outros tipos, dentre eles, barcos infláveis, botes, caiaques, entre outros. Estes construtores do setor náutico são responsáveis por cerca de 7500 empregos diretos e costumam trabalhar cada um com mais de 40 fornecedores de produtos e serviços (ACOBAR, 2012).

O estado de Santa Catarina possui 21% do mercado náutico brasileiro, configurando-se como segundo maior polo náutico do Brasil, possuindo uma forte presença de micro e pequenas empresas envolvidas nesse percentual. Estas empresas representam cerca de 8,3% da produção

nacional total e geram cerca de 4000 empregos, contando com estaleiros e empresas relacionadas, pertencentes à 94 empresas atuantes no estado. (SANTA CATARINA, 2014?)

2.1.1 Estaleiros náuticos e indústria de componentes em materiais compósitos

“Estaleiros são instalações industriais destinadas à construção, manutenção e reparo de embarcações” (BRASIL, 2019). Dentro desse contexto, os estaleiros náuticos são responsáveis pela fabricação de embarcações de esporte e recreio, utilizando os mais diferentes materiais, mais comumente madeira e polímeros reforçados com fibra de vidro.

Estas empresas geralmente executam um trabalho majoritariamente manual e artesanal em seus produtos, produzindo grande parte de seus componentes dentro da própria planta, importando apenas matérias primas e equipamentos específicos, como eletrônicos e motores. Segundo Moura e Botter (2011), alguns itens como os anteriormente citados, não provêm do Brasil por falta de demanda interna que justifique a instalação de fabricantes no país para suprir esta necessidade. Matérias primas como fibras, mantas e resinas, já são fabricadas no Brasil, porém também há uma ampla gama de produtos importados. Madeiras, decorações e tecidos também podem ser importados, dependendo do critério do cliente e do grau de customização ofertado pelo estaleiro (MOURA, 2008).

Grande parte dos principais componentes estruturais de iates e demais embarcações de recreio são feitos em materiais compósitos em fibra de vidro. Os processos tradicionais de produção utilizados na fabricação e pré-montagem de componentes em materiais deste tipo geram muitos resíduos, os quais frequentemente podem causar a poluição do meio ambiente e do espaço de trabalho assim como gerar problemas relacionados a saúde dos trabalhadores (ORTH; BALDIN; ZANOTELLI, 2012). Esta constatação é observável tanto em estaleiros náuticos como também em empresas produtoras de componentes em materiais compósitos, mesmo que para outras áreas, como a de energia eólica, como observado na empresa “A”.

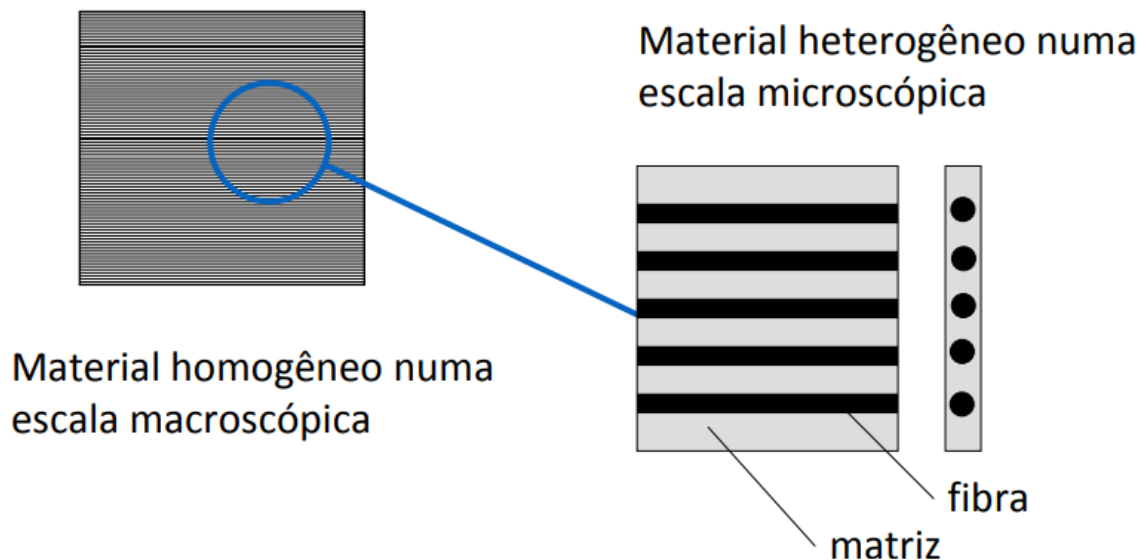
Alguns estaleiros, como os quais o autor teve contato, almejavam trazer uma ideia das empresas automobilísticas para os estaleiros náuticos, transformando estes em montadoras de barcos, onde ao invés de se produzir uma ampla gama de componentes dentro de suas próprias instalações, trazem-se todos estes para a fábrica apenas para ajustes e montagem. Neste contexto, indústrias produtoras de peças em materiais compósitos, normalmente voltadas para outras indústrias, como a eólica, metroviária e automotiva, tornam-se um potencial fornecedor de valor para os estaleiros náuticos.

2.2 MATERIAIS COMPÓSITOS E POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE VIDRO

Neste ponto, é importante realizar uma breve explicação sobre materiais compósitos, especialmente os reforçados com fibra de vidro em matrizes poliméricas, já que estes se encontram muito presentes na construção de embarcações de recreio.

Segundo Faria ([20--]), materiais compósitos são materiais compostos pela combinação de duas fases em uma escala macroscópica cujas propriedades e desempenho para determinada aplicação são superiores aos materiais constituintes, caso os mesmos estivessem agindo de forma isolada. Estas fases constituintes são o reforço, geralmente descontínuo com maior rigidez e resistência, e a matriz, a qual é contínua e normalmente menos rígida e resistente. A Figura 1 apresenta ilustrações e indicações das fases mencionadas, mostrando também que um material que pode se apresentar de forma homogênea em uma escala macroscópica, se apresenta de forma heterogênea quando analisado em escala microscópica.

Figura 1 - Fases de matriz e reforço ilustradas em diferentes escalas.



Fonte: Faria ([20--]).

Os reforços podem ser do tipo particulado, fibras descontínuas e fibras contínuas, sendo estas de origem sintética ou natural. A matriz pode ser polimérica, cerâmica, metálica e carbono (FARIA, [20--]).

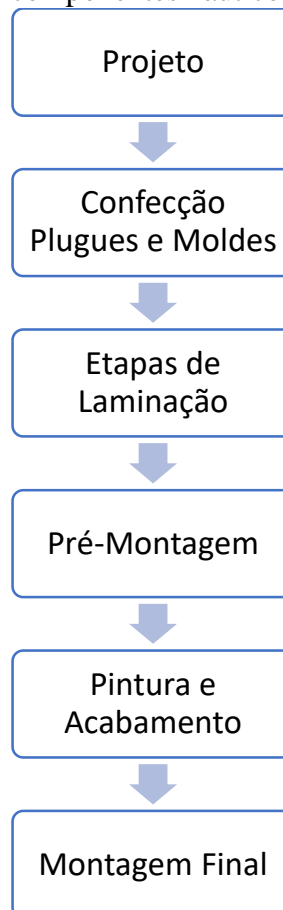
Algumas das principais técnicas adotadas na fabricação de componentes em materiais compósitos para a indústria náutica serão abordadas de forma mais específica no decorrer deste texto. Para o presente trabalho, será dada maior ênfase nos compósitos de matriz polimérica

reforçados com fibras sintéticas de vidro, os quais são adotados pela empresa “A” e estaleiros clientes.

2.3 CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÃO DE RECREIO

Neste capítulo será realizada uma breve apresentação dos processos e instalações necessários para a construção de embarcações de recreio feitas em fibra de vidro. Primeiramente, será abordada uma visão geral das principais etapas na elaboração destas e, em seguida, se dará maiores explicações dos processos produtivos que ocorrem nos estaleiros náuticos, com maior atenção àqueles que também ocorrem em empresas fornecedoras de componentes em materiais compósitos. A Figura 2 ilustra com um fluxograma a sequência das principais etapas de fabricação destas peças náuticas.

Figura 2 – Fluxograma com o resumo das atividades envolvidas na fabricação de componentes náuticos.



Fonte: O autor.

2.3.1 Visão geral da construção de iates

A gênese de uma embarcação de recreio está na etapa de projeto, onde desejos dos clientes se transformam em parâmetros técnicos, os quais guiam as linhas gerais do projeto. Após esta etapa, é efetuada a construção de *plugs*, os quais servirão para a confecção de moldes e, posteriormente, utilizados na fabricação das partes propriamente ditas da embarcação. Geralmente, os *plugs* são feitos de madeira e os moldes em fibra de vidro, assim como as peças produzidas a partir destes (PIERAMI, 2018).

A grande parte dos componentes feitos em materiais compósitos a partir dos moldes são fabricados utilizando a técnica de laminação à vácuo ou sua variação mais aprimorada, a infusão. Mesmo com o avanço da tecnologia e sua acessibilidade, ainda se utiliza a laminação manual para componentes, sendo sua intensidade de utilização proporcional ao nível tecnológico do estaleiro (PIERAMI, 2018).

Após a retirada dos moldes, as peças precisam passar por etapas de acabamento, onde são lixadas para corrigir imperfeições, sendo necessário, às vezes, aplicar massas para corrigir eventuais defeitos nas peças (PIERAMI, 2018).

Com a conclusão da fabricação dos componentes da embarcação é possível iniciar a etapa de pré-montagem, onde será realizada a união das peças previamente fabricadas. É importante nesta etapa, realizar a instalação de elementos, como tubulações, por exemplo, para facilitar o próximo processo de construção da embarcação, que será o de montagem (PIERAMI, 2018).

Na etapa de montagem são feitas as instalações de todos os componentes faltantes, como os motores, geradores, bombas, eixos, hélices, sistemas hidráulicos, radares, sistema de comunicação, entre outros. Juntamente com a instalação destes, será realizada a instalação dos elementos de habitação, tais como estofamento e mobília (PIERAMI, 2018).

Finalmente as instalações elétricas são concluídas, interligando todos os sistemas dependentes destas na embarcação, tanto estritamente relacionadas ao bom funcionamento do barco e sua navegabilidade e segurança, quanto para as acomodações de seus proprietários, hóspedes e tripulação, caso houver. Após isso, a embarcação será submetida a testes para a verificação de sua condição em relação a padrões pré-determinados pela empresa fabricante e pelos regulamentos vigentes (PIERAMI, 2018).

2.3.2 Projeto da embarcação

Projetos de embarcações são feitos pelo próprio estaleiro ou por terceiros contratados. O projeto inicia-se na concepção do barco, quando são analisados os desejos dos clientes, os quais serão utilizados na aplicação de critérios técnicos específicos a serem contemplados no projeto, desde da sua forma até o tipo de propulsão, passando também pelos materiais que serão usados na sua fabricação. (PIERAMI, 2018).

Segundo Nasseh (2011), o projeto deve estabelecer cuidadosamente suas intenções. Dimensões, acomodações, tipo de utilização, local de operação, custos, manutenção, tipo de propulsor e muitos outros critérios devem ser avaliados. Segundo o mesmo, o grande compromisso do projeto é com a sua utilização, sendo este ponto o guia para a elaboração de um projeto que balanceie as qualidades mais desejadas para certo tipo de uso.

2.3.3 Confeção de *plugs* e moldes

Para a produção seriada das partes envolvidas na construção de uma embarcação de recreio em material compósito é necessário a utilização de moldes, ou formas. Para a produção unitária, usualmente utilizam-se plugues. Estes geralmente são construídos em madeira, porém, é possível também utilizar gesso e espuma sintética (PIERAMI, 2018). Por servirem também para a fabricação dos moldes, é de grande importância que estes sejam bem construídos, afim de produzir moldes com qualidade suficiente para a produção de componentes da qualidade exigida. Geralmente, os plugues são utilizados uma única vez, sendo posteriormente descartados, muitas vezes, destruídos, já que podem conter informações importantes e sigilosas a respeito do projeto da embarcação. É importante também notar que devem haver cuidados com as dimensões adotadas na elaboração dos plugues, pois estes ainda receberão processos de laminação e acabamento para a concepção dos moldes e, portanto, não possuem as mesmas dimensões das peças a serem fabricadas.

Os moldes geralmente são obtidos por meio da laminação por cima do plugue previamente construído seguido pelos devidos processos de acabamento, afim de se possuir uma superfície a mais lisa e bem-acabada possível, pois as peças, em geral, terão a mesma qualidade do molde que as originou. Praticamente todos os componentes feitos em material compósito da embarcação são fabricados por meio de moldes, desde os maiores, como casaria, conveses, casco até as menores como alguns móveis e painéis (NASSEH, 2011). Na Figura 3 podemos verificar a fabricação de um plugue em madeira de um casco de uma Neomarine HS38, sendo ainda um processo muito manual. A Figura 4 ilustra a utilização de uma máquina

de CNC a qual utiliza tecnologias de CAD/CAM para a fabricação do plugue em espuma sintética.

Figura 3 - Fabricação de plug em madeira.



Fonte: Pierami (2018).

Figura 4 – Fabricação de plug com CNC e espuma sintética.



Fonte: Barker Boatworks (2016).

2.3.4 Fabricação de peças em material compósito reforçado com fibra

A manufatura de compósitos que utilizam matrizes poliméricas reforçadas com fibras, também chamados de plásticos reforçados com fibras, se dá pela alocação destas em uma pré-forma e a aplicação de um material como matriz que as envolve e reforça, podendo-se utilizar

várias técnicas para este fim (RAJAK; PAGAR; MENEZES; LINUL, 2019). Podemos também chamar este processo de laminação.

Segundo Pierami (2018), a laminação se inicia antes mesmo da colocação das fibras, com a limpeza e aplicação de agentes desmoldantes no molde. Após isso, é realizada a aplicação do *gelcoat*, o qual tem a função de impermeabilizar e proteger a peça das condições ambientais, também sendo responsável pela estética da peça, dando brilho e, algumas vezes, cor a mesma.

Posteriormente as etapas descritas acima, é realizada a laminação em si, a qual é feita seguindo um plano de laminação, o qual indica a disposição das diferentes camadas dos reforços que serão adotados, podendo ser combinações de tecidos, madeira e espumas, além da resina que será adotada. Existem diferentes formas de executar esta laminação, as mais comuns para o meio náutico são a laminação manual e à vácuo, as quais serão explicadas em mais detalhes a seguir. É importante salientar que feita a laminação, há um tempo de cura a se observar, onde as fibras e a matriz se enrijecem formando o compósito em si, podendo a partir deste ponto, ser desmoldado e manipulado (NASSEH, 2011).

Laminação Manual

O processo de laminação manual é o mais antigo e simples para a fabricação de peças em material compósito. Ele consiste na adição de camadas de reforços, sejam elas tecidos, espumas ou outros tipos de reforços juntamente com a resina utilizada, geralmente por meio de rolos, até se alcançar a configuração especificada no plano de laminação (PIERAMI, 2018).

Atualmente, nos estaleiros maiores e mais modernos, esse processo é mais utilizado para a manufatura de componentes menores e com geometria e/ou detalhamento específico, os quais justifiquem essa aplicação (PIERAMI, 2018). Na empresa A e em outros estaleiros, este processo também é utilizado para a elaboração de um *Skin Coat*, a qual é utilizado para ajudar a minimizar eventuais problemas estéticos em algumas peças. A Figura 5 mostra dois operadores realizando uma laminação manual com tecido em fibra de vidro. Observa-se que um deles está auxiliando no posicionamento do tecido, cortando excessos com uma tesoura enquanto o outro utiliza um rolo para preencher as fibras com resina.

Figura 5 - Operadores realizando laminação manual.



Fonte: Fassmer Group ([201-?]).

Conforme observado pelo próprio autor no acompanhamento das atividades utilizando este método, as grandes restrições desse processo estão na sua produtividade, exposição da mão de obra utilizada à químicos nocivos e a relativa baixa qualidade, em comparação com outros processos mais elaborados como a infusão. Uma das causas deste último é a maior presença de bolhas de ar atmosférico ou gases voláteis da própria resina dentro do laminado devido ao trabalho manual e a ferramenta utilizada (rolo). O tempo de cura do material, o qual delimita o tempo de trabalho de fabricação do componente, exige, muitas vezes, um trabalho rápido e eficiente com pouca margem de erro para os operadores envolvidos no processo.

Laminação por infusão à vácuo

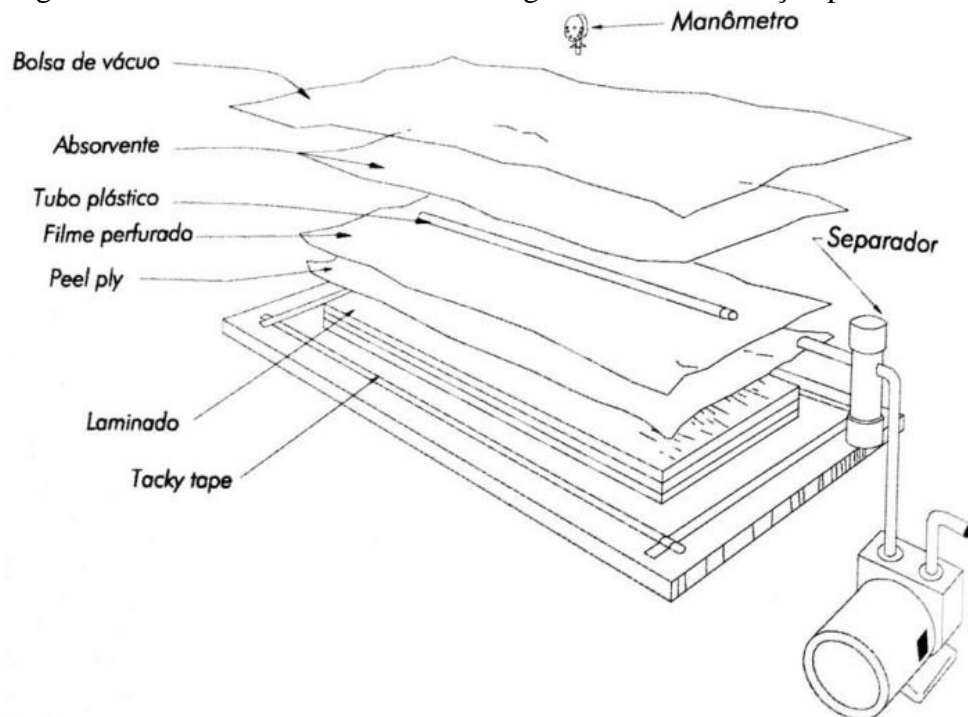
A laminação por infusão a vácuo é um processo mais moderno e que, se realizado corretamente, garante elevados índices de produtividade e qualidade em comparação com a técnica explicada anteriormente. A infusão é altamente indicada para componentes de grandes dimensões e sem grandes detalhes na geometria que possam dificultar ou até mesmo impossibilitar o processo (PIERAMI, 2018).

Para esse processo, é feita toda a montagem e sobreposição de camadas e estruturas (se houver) conforme o plano de laminação da peça a ser fabricada, ou seja, na ordem e disposição corretas sobre o molde. Nesta etapa, também são alocados componentes para facilitar e direcionar o fluxo de resina sobre o material a ser infundido, similares a pequenas mangueiras para a matriz líquida. Após isso, todo o conjunto molde e reforçadores são corretamente dispostos e envoltos por uma bolsa de vácuo selada nas extremidades. Esta bolsa possui orifícios conectados à linhas de vácuo e outros por onde passará a resina utilizada para a fabricação do componente. Com uma ou mais bombas de vácuo, é criado uma diferença de pressão suficiente para que a resina flua do reservatório previamente posicionados para a peça

a ser fabricada, espalhando-se assim de uma forma uniforme sobre os materiais sobre o molde. Esse processo também auxilia na retirada de bolhas no laminado e permite uma razão de resina e fibra mais assertiva para a peça, garantido assim, uma maior qualidade do componente (PIERAMI, 2018).

A produtividade e qualidade das peças produzidas por essa técnica justificam sua preferência sobre a laminação manual. Assim, observa-se que é a preferida para a fabricação de vários componentes em muitas empresas produtoras de componentes em materiais compósitos que tenham o conhecimento para realizá-la corretamente. As dificuldades estão na mão de obra especializada necessária para realizar o estudo correto do componente a ser infundido, para garantir que toda a peça será infundida adequadamente, produzindo uma peça de qualidade (NASSEH, 2007). A Figura 6 mostra um desenho que indica as diferentes lâminas que normalmente se encontram na montagem de um processo de laminação por infusão a vácuo. Na Figura 7 pode-se observar a realização do processo de infusão a vácuo em um casco de um escaler no Arsenal da Marinha no Rio de Janeiro.

Figura 6 – Desenho indicativo da montagem de uma laminação por infusão.



Fonte: Nasseh (2011).

Figura 7 – Infusão a vácuo de um casco de um escaler.



Fonte: Marinha do Brasil (2018).

2.3.5 Pré-montagem

Com a conclusão e disponibilidade das peças laminadas nas etapas anteriores é possível iniciar o processo de pré-montagem da embarcação. É importante ressaltar que os componentes fabricados já são pensados para que possam ser unidos nessa etapa e nas posteriores. Assim, nesta fase o casco receberá o convés, os quais serão unidos por meio de laminação das suas intersecções, assim como os *liners* com a casaria (PIERAMI, 2018).

Nesta etapa também são efetuados o posicionamento dos tanques de fluídos diversos, anteparas e demais divisórias, além de tubulações e preparativos para o recebimento de cabeios pertencentes a parte elétrica da embarcação. Esta fase facilita as posteriores, quando bem executada, e por isso é de grande relevância para o processo de construção como um todo (PIERAMI, 2018). Na Figura 8 é possível observar um iate em estágio de pré-montagem, onde as principais anteparas e divisórias já foram instaladas juntamente com o cabeamento. A Figura 9 mostra um convés principal de um veleiro de 32 pés instantes antes de ser pré-montado encima do casco do mesmo.

É durante este processo que o casco é posicionado em seu picadeiro, estrutura onde se apoia a quilha e parte dos costados e que muitas vezes é móvel, com a finalidade de permitir deslocamentos do conjunto a ser montado para os diferentes setores de montagem do estaleiro, como por exemplo, as cabines de pintura (NASSEH, 2011).

Figura 8 – Iate em estágio de pré-montagem.



Fonte: Bavaria Yachts ([20--?]).

Figura 9 – Pré-montagem do convés principal ao caso.



Fonte: Theo Stocker/Yachting Monthly (2020).

2.3.6 Acabamento externo e pintura

Depois de realizadas as etapas de laminação e corte dos componentes, deve-se realizar uma perícia para encontrar possíveis imperfeições, sendo muitas vezes necessário realizar um trabalho de acabamento e correção para que as peças estejam em perfeitas condições para seu uso posterior na construção da embarcação. Devido a isto, muitas destas, as quais não foram aprovadas em uma perícia minuciosa, precisam ser lixadas, emassadas e polidas. Esta etapa é basicamente um retrabalho e reforça a necessidade de sempre se buscar processos e moldes de

laminação que diminuam ocorrências deste tipo e assim aumentar a produtividade e, por conseguinte, a lucratividade do estaleiro ou fornecedor de componentes (PIERAMI, 2018).

Outra etapa importante e totalmente relacionada com o acabamento em si é a pintura. Para barcos de fibra de vidro, material mais comum na produção de embarcações de recreio, é possível realizar esta etapa diretamente na aplicação do *gelcoat*, o qual pode receber pigmentos corantes, e assim colorir a embarcação no final da etapa de laminação. Porém, muitas vezes durante o processo de cura e construção das peças, o gel pode sofrer alterações e danos e, portanto, não chegar na coloração desejada. Desta forma, a maioria dos componentes são feitos na cor branca podendo ser tingida em um processo de pintura posterior (PIERAMI, 2018).

A maneira mais comum utilizada na pintura de embarcações é a mesma utilizada no setor automobilístico. Neste método, utiliza-se primeiro uma tinta primer, para a auxiliar a fixação da tinta poliéster, a qual será aplicada em seguida. Estas tintas possuem alta durabilidade e seu brilho também se mantém por longos períodos, conferindo assim, um acabamento superficial muito satisfatório, se bem executado. Devido a toxicidade dos químicos envolvidos nesse processo, e por questões de saúde e sustentabilidade, é preciso um ambiente isolado e adequado para a realização desse processo de pintura (NASSEH, 2007). A Figura 10 mostra um operador realizando o processo de pintura sobre a superfície de um casco. Na Figura 11 pode-se observar um operador realizando um processo de polimento, o qual geralmente é empregado após a etapa de pintura de um componente.

Figura 10 – Pintura de um casco.



Fonte: Sailing Today (2018?).

Figura 11 – Polimento de um casco pintado.



Fonte: Sailing Today (2018?)

2.3.7 Montagem final

Nesta etapa é realizada a instalação de máquinas e outros equipamentos na embarcação, como estabilizadores, motores, geradores, bombas, dessalinizadores, entre outros. Também é realizado a instalação dos principais componentes do sistema de propulsão como os eixos, propulsores e flaps, como sua devida integração aos motores do barco. É uma etapa de extrema importância para o processo produtivo e demanda bastante tempo pois envolve diversos setores e é crítico para o bom funcionamento da embarcação (PIERAMI, 2018).

Nesse processo também são realizados os ligamentos de componentes de várias partes da embarcação, como as tubulações às bombas e as mangueiras para os fluídos do motor e combustível, ligando seus respectivos tanques aos motores da embarcação. Também são realizadas ligações elétricas que eventualmente não foram feitas nas etapas anteriores a equipamentos recém instalados na embarcação (PIERAMI, 2018).

A importância da pré-montagem se mostra evidente especialmente na montagem da sala de máquinas, onde furos, canaletas e aberturas podem facilitar bastante os trabalhos a serem executados nesse espaço, o qual geralmente é pequeno e necessita de um tempo considerável para ser finalizado (NASSEH, 2011).

2.3.8 Considerações finais sobre a construção de embarcações de recreio

É importante ressaltar que dos processos mencionados no presente trabalho, nem todos necessariamente são realizados por um estaleiro, já que se pode terceirizar certas partes da fabricação. O autor deste trabalho pode observar isto durante seu estágio na empresa “A”, onde um estaleiro cliente buscou terceirizar a infusão de seus componentes com a mesma, usando também outros fornecedores para a fabricação dos seus moldes e componentes menores.

Deve-se salientar também que o autor dará maior foco para os processos que ocorrem dentro de um fornecedor de componentes náuticos o qual não fabrica seus próprios moldes e não executa o projeto e nem a montagem final da embarcação, sendo estes realizados pelos estaleiros clientes.

2.4 LAYOUT E TIPOS DE PROCESSOS PRODUTIVOS

Com o objetivo de melhorar a compreensão deste trabalho, a presente seção aborda uma breve introdução sobre o tema de layout (ou arranjo) produtivo de uma unidade produtiva. Serão apresentadas definições, etapas de elaboração e os tipos mais comuns de layout produtivo encontrados nas indústrias em geral e, em seguida, uma breve apresentação sobre sistemas de produção e, por fim, se abordará estes temas na área dos estaleiros.

2.4.1 Layout produtivo

Segundo Peinado e Graeml (2007), o estudo do arranjo produtivo se preocupa com o posicionamento físico dos recursos de transformação. As decisões sobre o mesmo são de grande relevância, pois geralmente geram impactos diretos nos custos de produção. Adicionalmente, os investimentos necessários para construir ou modificar sistemas produtivos tendem a serem elevados. Portanto, o estudo de layout produtivo é de grande importância para as organizações produtivas, podendo contribuir de forma significativa para a eficiência dos processos de fabricação.

É importante salientar que há a palavra “leiaute” na língua portuguesa, derivada da palavra *layout* em inglês. Porém, esta última é amplamente utilizada e aceita nos meios empresariais e produtivos, sendo muito mais frequente do que sua correspondente em português. O termo “arranjo produtivo” também pode ser perfeitamente utilizado para tratar do assunto. O autor deste trabalho optou por adotar ambos, tanto o termo original em inglês, o qual

é amplamente conhecido e utilizado no Brasil e no mundo, como o termo arranjo produtivo, o qual também é adequado para o tema central desta seção.

2.4.2 Definições de layout produtivo

Há muitas definições para o conceito de layout produtivo, todas elas similares entre si, e em certos pontos, complementares. Em seu livro, Peinado e Graeml (2007), selecionam algumas definições de diferentes autores, das quais merecem destaque:

Slack et al. (2018) relacionam a definição de layout produtivo com a preocupação na organização espacial dos recursos de transformação. Segundo os mesmos, resumidamente, definir um layout produtivo é decidir onde alocar todas as instalações, equipamentos, máquinas e operadores da produção.

Stenvenson (2001) aborda a definição do termo layout produtivo de forma mais relacionada à movimentação otimizada dos diferentes elementos do sistema de produção. Este também afirma que o layout é a configuração posicional de departamentos, instalações, centro de trabalhos e equipamentos.

Gaither e Frazier (2001) definem layout de uma forma mais ampla, considerando além das instalações diretamente envolvidas na produção, todas as outras as quais dão suporte para estas e seus colaboradores e equipamentos, como salas administrativas, corredores, refeitório e banheiros. Consideram também os padrões no fluxo de materiais e pessoas dentro das instalações físicas que os envolve.

Em seu glossário de termos de engenharia de produção, Gurgel (2003), define layout físico como a ciência e arte de se converter elementos complexos e inter-relacionados da organização produtiva e suas instalações físicas de uma forma a qual esteja apta a alcançar os objetivos da empresa, otimizando a relação entre geração de custos e geração de lucros.

Como mencionado anteriormente, há uma forte relação de complementariedade entre as definições destacadas. Segundo Peinado e Graeml (2007), a palavra “arte” procede de maneira adequada, pois apesar de existirem regras e recomendações para a elaboração de um layout produtivo, a experiência e visão de quem o faz pode exercer uma função crucial no resultado dessa definição.

Na elaboração de um layout, deve-se considerar aspectos importantes da limitação espacial de um determinado local que acomodará os processos de manufatura. Portanto, a disposição de equipamentos e maquinários e a dificuldade de mobilidade de cada um deles são

relevantes pontos a serem analisados. Todo o conjunto deve buscar atender um fluxo de materiais e processos de forma a evitar desperdícios (VIEIRA, 2016).

Martins e Laugeni (2005) destacam algumas etapas a serem analisadas e pensadas na elaboração de um layout:

- a) determinar a quantidade a ser produzida;
- b) determinar espaços de almoxarifado e número de máquinas e equipamentos;
- c) determinar o tipo de layout a ser utilizado;
- d) planejar as instalações físicas;
- e) discussão com todos os setores envolvidos;
- f) implementação do layout.

Nota-se que a determinação do volume de produção é essencial para as etapas seguintes, pois a partir dela que serão feitos os cálculos de espaços, maquinários, pessoal e equipamentos que serão necessários.

Na literatura encontra-se, invariavelmente, cinco maneiras de organizar um layout produtivo como citam Martins e Laugeni (2005) e Peinado e Graeml (2007), as quais serão abordadas nos próximos tópicos. Estas são:

- a) arranjo por produto ou em linha;
- b) arranjo por processo ou funcional;
- c) arranjo celular;
- d) arranjo por posição fixa ou posicional;
- e) arranjo misto ou combinado.

Conhecer estes diferentes tipos é de grande importância para a elaboração de um layout. Dependendo das demandas do sistema, um tipo pode ser mais indicado que o outro. Caso, os tipos mais clássicos não se encaixem com o grau de adequação desejado, pode-se pensar em um arranjo misto.

2.4.3 Tipos de layout

Arranjo por produto ou em linha

Este tipo de arranjo foi primeiramente idealizado por Henry Ford em 1939, sendo ainda muito utilizado na indústria, com destaque para a automobilística, alimentícias e frigoríficos (PEINDADO; GRAEML, 2007).

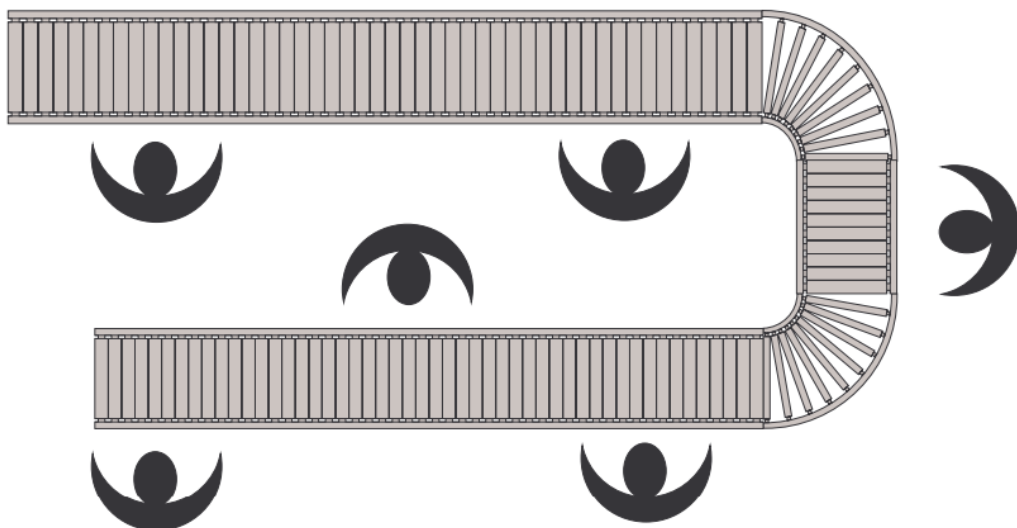
Neste layout, as estações de trabalho, juntamente com suas máquinas e equipamentos são posicionadas de acordo com a sequência das operações, sendo executadas em uma

sequência pré-determinada, sem desvios (MARTINS; LAUGENI, 2005). Este arranjo permite um fluxo rápido na fabricação de produtos padronizados que requerem processos de fabricação e montagem sempre iguais (PEINADO; GRAEML, 2007).

Normalmente, esta forma de layout possui um alto custo fixo para a organização produtora, mas a variação de custo por produto costuma ser baixa. Trata-se de um arranjo com elevado grau de alavancagem operacional (PEINADO; GRAEML, 2007). Martins e Laugeni (2005) destacam que este tipo de arranjo requer atenção com a qualidade dos produtos fabricados e que a rotina dos operadores que trabalham nela costuma ser monótona e estressante.

É importante salientar que, apesar do nome, este arranjo não necessariamente é realizado apenas em uma linha reta contendo todos os processos e seus respectivos equipamentos, pois isso, geralmente, seria inviável fisicamente. Portanto, é comum o projeto de linhas em “U” ou “S”, sendo outras formas também possíveis, variando muito conforme os espaços físicos disponíveis para a construção das instalações produtivas (PEINADO; GRAEML, 2007). A Figura 12 mostra a representação de um layout por produto, no formato “U”, onde o produto possui uma entrada numa ponta e a saída em outra. Os colaboradores representam as estações que estão dispostas de forma sequencial e que executam uma operação específica no produto dentro da linha.

Figura 12 – Layout em linha, disposto em “U”.



Fonte: Peinado e Graeml (2007).

Portanto, pode-se destacar três grandes vantagens deste tipo de layout:

- a) possibilidade de produção em massa com grande produtividade;
- b) cargas das máquinas e consumo de materiais constantes ao longo da linha produtiva;
- c) maior facilidade no controle da produção.

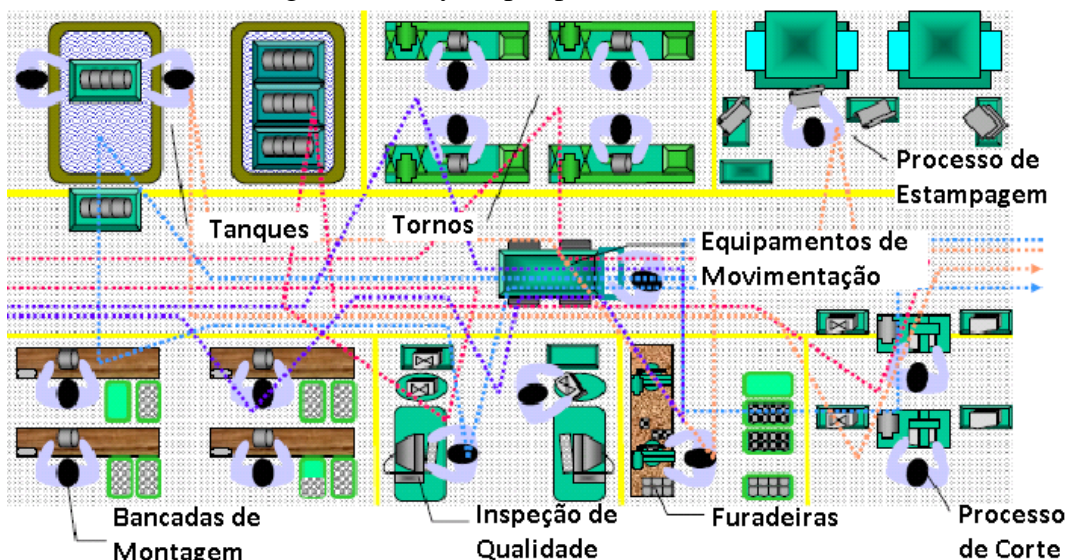
Entre as desvantagens, destacam-se:

- a) altos investimentos em maquinário;
- b) monotonia e estresse para os operadores;
- c) falta de flexibilidade na produção;
- d) fragilidade a paralizações e subordinação aos gargalos produtivos.

Arranjo por processo ou funcional

No layout por processo ou funcional, os materiais e produtos são deslocados para as áreas onde ocorrerão os processos necessários para dar sequência a produção. Este arranjo reúne em um mesmo local, todos os equipamentos e processos os quais possuem a mesma funcionalidade. Exemplos são facilmente encontrados no setor de serviços, sendo comuns em hospitais e lojas comerciais. Na indústria, também são encontrados em serviços de confecção de moldes e ferramentas, fundições e na produção por injeção de materiais (PEINADO; GRAEML, 2007). A Figura 13 mostra uma disposição típico do layout por processo ou funcional, onde há áreas dedicadas para determinados processos, as quais concentram os maquinários necessários para cada função. As linhas tracejadas indicam as diferentes movimentações do produto de operários ao longo do processo produtivo.

Figura 13– Layout por processo ou funcional.



Fonte: Branski ([20--]).

Segundo Peinado e Graeml (2007), algumas das maiores vantagens deste layout são:

- a) grande flexibilidade para atender mudanças de mercado;
- b) atende a produtos diversificados em quantidades variáveis ao mesmo tempo;
- c) menor investimento para a instalação do parque industrial;

Entre as maiores desvantagens, estão:

- a) tende a gerar longas e numerosas movimentações dentro da fábrica;
- b) dificuldade de balancear a produção;
- c) maior necessidade de preparo e *setup* de máquinas.

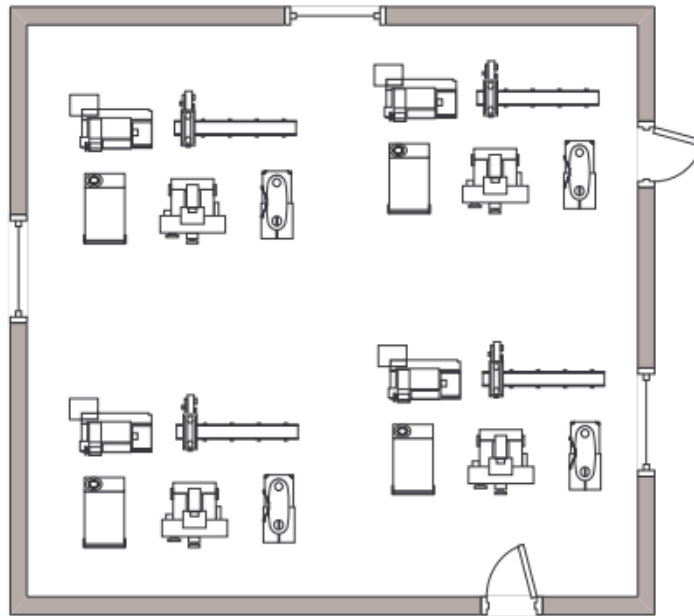
Arranjo celular

O layout celular consiste em reunir em um mesmo local, conhecido como célula, diferentes máquinas e equipamentos que possam fabricar o produto inteiro ou alguns de seus componentes de forma completa (MARTINS; LAUGENI, 2005). Uma fábrica que utiliza deste arranjo, pode possuir mais de uma célula produtiva em suas dependências.

Segundo Peinado e Graeml (2007), este tipo de arranjo busca unir as vantagens do layout por processo, com as do layout por produto, utilizando para isso, uma combinação de características destes dois tipos. Com as células produtivas, os materiais e produtos se deslocam dentro do seu interior buscando os processos necessários para finalização, fazendo estes movimentos como se estivessem em um arranjo em linha. Isso impacta positivamente na flexibilidade, qualidade e produtividade. As células são definidas em função das similaridades na sequência dos processos de manufatura de uma família de produtos, permitindo assim dispor de vantagens de um layout em linha.

A Figura 14 ilustra de forma simplificada a disposição de equipamentos por células produtivas, onde podemos identificar quatro agrupamentos com os mesmos maquinários, dedicados para a fabricação de uma determinada família de produtos.

Figura 14 – Layout celular.



Fonte: Peinado e Graeml (2007).

Entre as vantagens destacadas por Peinado e Graeml (2007), estão:

- a) diminuição do transporte de materiais;
- b) aumento da flexibilidade quanto ao tamanho de lotes por produto;
- c) diminuição dos estoques;
- d) maior satisfação dos colaboradores no trabalho.

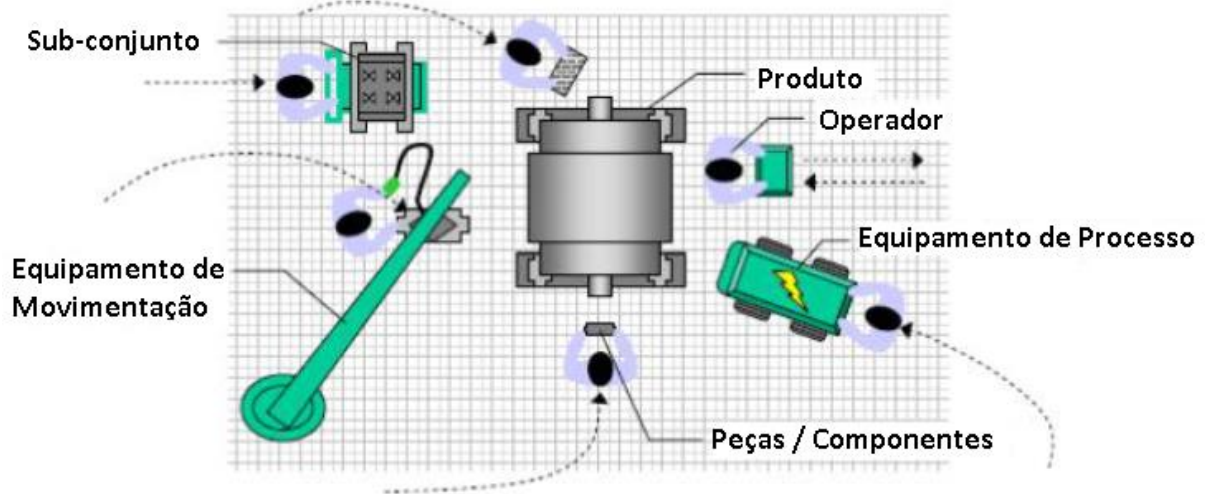
Entre as desvantagens, estão:

- a) atende bem apenas a família de produtos o qual foi projetado para produzir;
- b) maior dificuldade em planejar o layout.

Arranjo por posição fixa ou posicional

No layout por posição fixa, o produto permanece fixo em determinada posição e as máquinas, equipamentos e demais recursos de transformação se deslocam até o mesmo para realizar as atividades necessárias ao processo de fabricação (MARTINS; LAUGENI, 2005). A Figura 15 mostra uma representação gráfica deste arranjo, onde verifica-se que os equipamentos, materiais e mão de obra se deslocam até o produto, o qual está fixo. Este layout é particularmente importante e muito utilizado em estaleiros, especialmente aqueles que trabalham com grandes embarcações.

Figura 15 – Layout por posição fixa ou posicional.



Fonte: Branski ([20--]).

Este tipo de layout normalmente é utilizado em produtos que possuem grandes dimensões e/ou pesos, os quais a movimentação é demasiadamente difícil ou inviável, tais como em grandes obras de engenharia civil, navios em estaleiros e atividades extrativistas (PEINADO; GRAEML, 2007).

Segundo Peinado e Graeml (2007), algumas vantagens deste arranjo são:

- a) não há movimentação do produto;
- b) possibilidade de utilizar ferramentas como o PERT e CPM;
- c) possibilidade de terceirização de todo projeto ou partes dele.

Entre as principais desvantagens, se encontram:

- a) complexidade na supervisão dos recursos produtivos;
- b) necessidade de áreas próximas para auxiliar na fabricação;
- c) produção em pequena escala com baixo grau de padronização.

Arranjo misto ou combinado

Dependendo do grau de complexidade de cada operação envolvida na produção de determinado produto, pode ser interessante a elaboração de um layout que combine diferentes vantagens dos layouts anteriores em um arranjo misto ou combinado (VIEIRA, 2016).

2.4.4 Tipos de processos no sistema produtivo

Depois de conhecer os principais tipos de layouts utilizados na indústria, é importante também analisar o volume e variedade que a produção de um determinado produto, no caso deste projeto, iates, deverá atender. A relação entre estes dois aspectos possui forte influência

no tipo de processos produtivo adotados. Nenhum projeto de processos específico é melhor para todos os tipos de exigências em todas as circunstâncias (SLACK et al., 2018).

Normalmente verificamos que em um sistema produtivo, volume e variedade estão relacionadas entre si, mas andam em direções opostas. Assim, verificamos que na prática, há um espectro de sistemas produtivos que varia de alto volume e baixa variedade à baixo volume e alta variedade (SLACK et al., 2018). Este raciocínio pode ser expandido também para a indústria naval e náutica, onde existem projetos de embarcações únicas ou com poucas similares até produções seriadas de algumas embarcações de recreio.

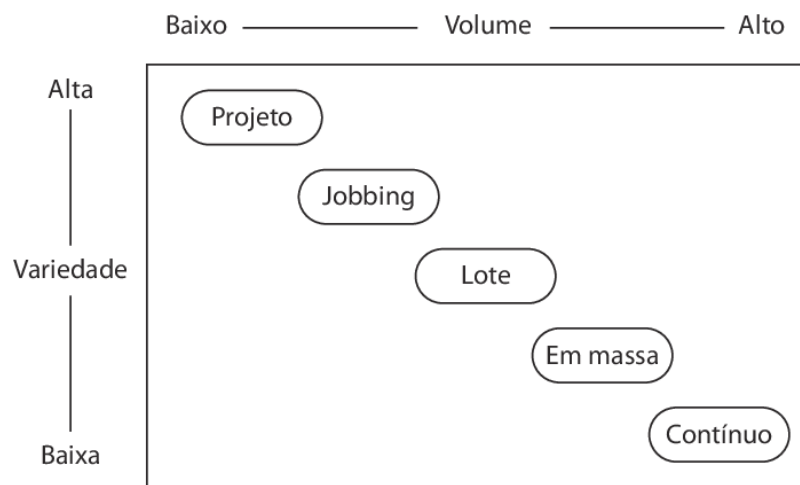
Segundo Slack et al. (2018), a posição de um processo dentro do espectro volume-variedade dá os contornos do seu projeto global e as abordagens gerais para gerenciar suas atividades. Segundo o mesmo autor, os principais tipos de processo encontrados nas indústrias são:

- a) processos de projeto: os quais lidam com produtos muito específicos, geralmente com muitas customizações e tempos de processos relativamente longos. Portanto, este tipo normalmente apresenta baixo volume e alta variedade. Possivelmente os recursos de transformação deverão ser organizados para cada item. Neste tipo, encontram-se exemplos na construção civil e naval;
- b) processos de *jobbing*: também trabalha com baixo volume e alta variedade, porém neste, cada item compartilha os mesmos recursos produtivos com outros produtos. Apesar da similaridade entre os itens, pode haver pequenas diferenças entre eles. Encontram-se exemplos na alfaiataria, ferramentarias especializadas e oficinas de restauração de móveis;
- c) processos em lotes ou bateladas: este tipo guarda muitas similaridades com o anterior, porém possui períodos de repetição entre itens, os quais são feitos de maneira praticamente igual. O grau de similaridade entre estes dois tipos se dará pelo tamanho dos lotes produzidos, quanto menor o número de itens do lote, mais similar será ao *jobbing*. Portanto, este tipo se posiciona em ampla faixa no espectro de volume-variedade e tem como um dos exemplos a produção de máquinas-ferramenta;
- d) processos de produção em massa: este tipo possui alto volume de produção e baixa variedade. Geralmente seus processos são altamente previsíveis e repetitivos. Um exemplo clássico são as linhas de montagem de automóveis;
- e) processos contínuos: este tipo produz volumes mais altos e com menor variedade que a produção em massa. Muitas vezes o produto é literalmente contínuo e

inseparável. Exemplos clássicos são as usinas geradoras de energia e refinarias petroquímicas.

Podemos observar com base o apresentado acima segundo Slack et al. (2018), que a relação entre volume e variedade gera um impacto significativo na forma a qual os recursos produtivos são alocados e devem ser considerados na escolha do tipo de produção adotado, o qual também gerará um impacto no layout escolhido. A Figura 16 ilustra o posicionamento dos diferentes tipos de processos dentro de um quadro de volume de produção pela variedade de produção.

Figura 16 – Posicionamento dos diferentes tipos de processo por volume-variedade



Fonte: Adaptação de Slack et al. (2018)

2.4.5 Layout de estaleiros

Considerando o exposto acima nos tópicos sobre layout e tipos de processos produtivos, pode-se afirmar que estaleiros navais e náuticos produzem produtos que estão localizados em uma ampla faixa na matriz de volume-variedade e, portanto, adotam diferentes processos produtivos dependendo do tamanho da embarcação e sua customização.

Segundo Pierami (2018), pode-se considerar o layout de estaleiros como misto, com uma predominância do arranjo produtivo posicional, pois devido as dimensões das embarcações, evita-se ao máximo a movimentação das mesmas. Estaleiros possuem diversos processos menores que geram subprodutos para a construção da embarcação, sendo estas constituídas por células produtivas como se fossem pequenas fábricas de componentes dentro do próprio estaleiro. Cada uma desses setores fornecedores de partes pode possuir um arranjo produtivo diferente, conforme o volume e variedade dos itens fabricados.

2.4.6 Projeto preliminar de layout de estaleiro

Segundo Song e Woo (2013), o projeto preliminar do layout de um estaleiro deve considerar as principais áreas de fabricação e montagem dos componentes envolvidos incluindo os locais onde os mesmos serão unidos nas embarcações em si. Para isso, é vital saber algumas informações das embarcações que serão produzidas, assim como suas partes. Dentro destas, se destacam as dimensões das peças que serão produzidas e o fluxo de processos previsto para a montagem do produto final. Com estas informações, pode-se realizar uma estimativa das áreas que os espaços dedicados tanto para a produção destas partes como da montagem das embarcações em si, assim como a sequência mais adequada das estações que acomodaram cada processo.

Nesta etapa, também é relevante saber o volume de produção planejado para o estaleiro. Estas informações, assim como a área ocupada pelas partes da embarcação, são úteis no momento de determinar a quantidade de espaços e equipamentos necessários para operar dentro da demanda prevista. Outro aspecto que deve ser considerado são as características físicas do local onde o estaleiro será construído, o qual pode apresentar restrições quanto alguns arranjos que possam ser projetados (SONG; WOO, 2013).

Após realizar as estimativas das áreas necessárias para acomodar o tamanho das partes da embarcação assim como o seu volume de produção, deve-se fazer uma análise mais criteriosa quanto ao posicionamento de cada estação de processamento dentro do estaleiro, buscando uma alocação que otimize a produção da embarcação como um todo. Para isso, frequentemente se utilizam funções de otimização, baseadas nos custos de movimentação de partes e das embarcações (SONG; WOO, 2013).

Uma etapa opcional para o projeto preliminar de layout de estaleiro, segundo Song e Woo (2013), é o projeto do das células produtivas dentro da planta produtiva. Esta etapa contempla a análise dos principais equipamentos utilizados assim como um posicionamento preliminar dos recursos transformadores e de movimentação de cada célula produtiva.

2.5 SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

Esta seção tem como objetivo realizar uma breve introdução aos conceitos de sistema, modelagem e simulação. Assim como apresentar um pouco sobre a escolha de programas de simulação computacional e indicar a ferramenta computacional utilizada no presente trabalho.

2.5.1 Sistema e modelo

Segundo Law e Kelton (1991) um sistema pode ser definido como um conjunto de entidades, como máquinas e pessoas, por exemplo, que interagem entre si para atenderem alguma finalidade desejada. A abrangência de um sistema, depende do que se deseja estudar e observar. As referidas entidades podem ser desde componentes simples e de função limitada até subsistemas complexos, como por exemplo, um sistema propulsivo de um submarino ou toda uma seção de montagem de uma fábrica. Dependendo do escopo da análise, estes últimos também podem ser considerados sistemas, possuindo cada um deles outros componentes ou subsistemas. Portanto, pode-se traçar uma ligação entre a definição de um sistema e o que se deseja observar.

Segundo Sokolowski e Banks (2009), modelos são representações aproximadas de sistemas do mundo real. A modelagem consiste no ato de construir um modelo, o qual deve se aproximar de um sistema real, sendo seu grau de complexidade proporcional à sua fidelidade em representar a realidade.

2.5.2 Modelagem e simulação

Segundo Robinson (2004), modelos e simulações são usadas diariamente para os mais variados propósitos como, por exemplo, as simulações as quais nos informam a previsão do tempo, os jogos de videogame os quais simulam corridas, construção de cidades, zonas de conflito entre tantos outros. Estes, muitas vezes, são realizadas computacionalmente, porém não obrigatoriamente.

Por meio da modelagem e simulação é possível obter e analisar o inter-relacionamento entre os vários componentes de um sistema, podendo assim propor novas práticas que possam melhorar os resultados originais do sistema (SANTOS, 2011). Isto é particularmente interessante quando otimizações matemáticas são inviáveis, e quando experimentos reais são caros, demorados e/ou perigosos (MES, 2017).

Segundo Robinson (2004), a simulação pode ser definida como a imitação de um sistema real, a qual pode-se experimentar situações de um sistema real ao longo do tempo, com o propósito de compreendê-lo melhor e/ou aprimorá-lo.

Imitação consiste em copiar todo aspecto possível de algum objeto ou sistema observável. Pode ser feita de maneiras diferentes, especialmente no que diz respeito ao andamento do tempo na simulação. Esta pode ser feita de duas formas, separando assim dois tipos de simulação; a estática, a qual imita um sistema em um ponto no tempo, e a dinâmica, a

qual imita um sistema e seu progresso ao longo do tempo. Geralmente, o termo simulação refere-se à simulação dinâmica (ROBINSON, 2004). No presente trabalho, adota-se esse termo também como simulação dinâmica.

Existem muitas formas de modelar o progresso do tempo em uma simulação. As formas mais comuns empregadas na grande maioria dos programas de simulação comercial é usando a simulação de eventos discretos e simulação contínua (ROBINSON, 2004). Esse trabalho focará mais na primeira, por ser a utilizada nos programas de simulação de instalações industriais e de processos em geral, enquanto a segunda é mais indicada para a análise de eventos físicos, os quais podem ser acompanhados por meio da resolução de equações definidas, geralmente diferenciais.

Segundo Mes (2017) as simulações visam alcançar resultados que possam ser úteis em instalações reais. Este também ressalta a importância de se elaborar experimentos específicos para os parâmetros de estudo desejados, a fim de se obter os resultados almejados.

Simulação de sistemas discretos

Segundo Law e Kelton (1991), um evento pode ser definido como um acontecimento instantâneo que pode alterar o estado do sistema. Uma simulação de eventos discretos modela a operação de um sistema como uma sequência de eventos, os quais ocorrem instantaneamente em pontos predeterminados na linha do tempo. O número destes pontos é finito e a quantidade de intervalos entre eles está fortemente relacionado à semelhança da simulação com os eventos reais.

A simulação de eventos discretos representa apenas os pontos de tempo onde há uma modificação no estado do sistema estudado. Portanto, o sistema é representado por uma progressão de momentos onde há mudança de estado. Os mesmos devem ser determinados com base no conhecimento previamente adquirido para a realização da modelagem dos processos (ROBINSON, 2004).

Os quadros a seguir têm como objetivo ilustrar de uma forma mais visível o funcionamento da abordagem de simulação de sistemas discretos. No Quadro 1 é mostrado uma sequência de pequenos intervalos de tempo e o evento que está ocorrendo naquele instante. Neste é possível observar, que não há mudança de estado a cada intervalo de tempo, havendo alguns eventos que duram por múltiplos deste intervalo hipotético, não apresentando assim, informações muito relevantes. Esta constatação fica particularmente evidente no Quadro 2, onde pode-se notar uma considerável redução de eventos analisados, já que apenas os instantes onde há mudança de estado estão representados.

Quadro 1 – Exemplo do acompanhamento de eventos utilizando a abordagem de tempo dividido em intervalos iguais.

TEMPO	EVENTO
1	Chegado da matéria prima no depósito
2	Matéria prima parada
3	Matéria prima parada
4	Matéria prima parada
5	Matéria prima deixa o depósito
6	Movimentação
7	Movimentação
8	Início do Processamento
9	Processamento
10	Processamento
11	Término do Processamento

Fonte: O autor.

Quadro 2 – Exemplo do acompanhamento do tempo por eventos discretos.

TEMPO	EVENTO
1	Chegado da matéria prima no depósito
5	Matéria prima deixa o depósito
8	Início do Processamento
11	Término do Processamento

Fonte: O autor

Este método fornece uma forte vantagem em relação às simulações que fazem a análise de eventos utilizando intervalos de tempos fixos, pois a mesma consegue capturar, com maior precisão, os eventos relevantes do sistema. Outra vantagem está na possibilidade de descartar longos intervalos de tempo onde não ocorre nenhum evento relevante. Em uma simulação de grandes sistemas, isso se torna uma grande vantagem (ROBINSON, 2004).

Simulação de sistemas contínuos

Segundo Sokolowski e Banks (2009), a simulação de sistema contínuo pode ser definida como um sistema com variáveis de estado que se alteram ao longo do tempo, sendo estas, parâmetros que descrevem o comportamento do sistema. Frequentemente esta abordagem é utilizada na simulação de sistemas físicos que envolvam componentes mecânicos, elétricos, térmicos ou hidráulicos, podendo ser utilizado para qualquer sistema com mudança contínua ao longo do tempo.

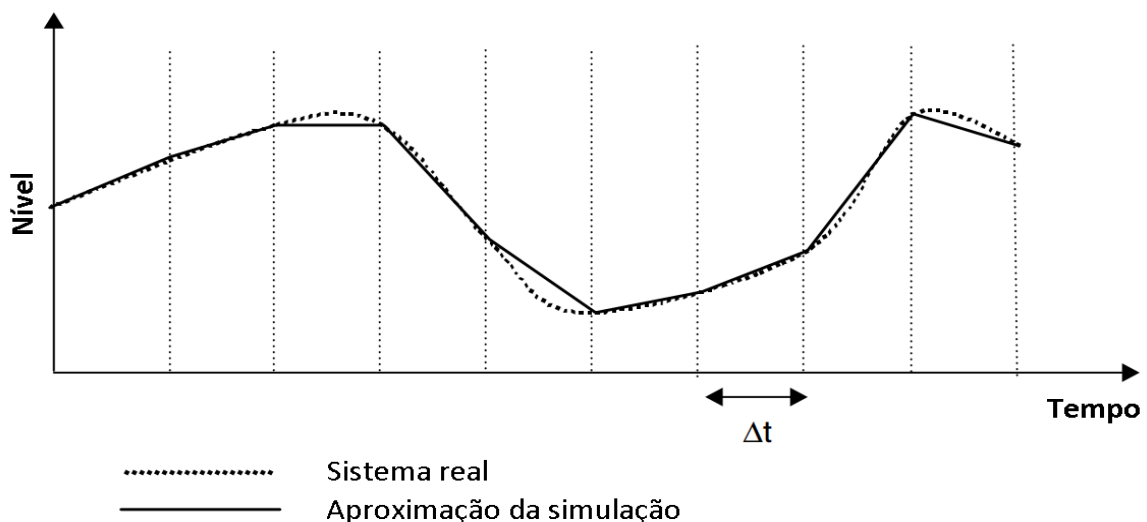
Na simulação contínua, as operações não são mais descritas apropriadamente com pontos em um intervalo de tempo, pois o sistema varia continuamente ao longo do tempo. Os exemplos mais visíveis estão nas operações que envolvem movimento de fluídos, como por exemplo, refinarias de petróleo. Nestes sistemas, os fluídos processados sofrem constantes

mudanças de volume. Sistemas que possuem grandes volumes de itens se movendo de forma rápida, podem também ser abordados como contínuo (ROBINSON, 2004).

Tipicamente, simulações de sistemas contínuas envolvem equações diferenciais que fornecem relações para as taxas de mudança de estado do sistema ao longo do tempo. Se estas equações forem simples, é possível resolvê-las de forma analítica, caso contrário, devem ser calculadas numericamente, geralmente com auxílio de ferramentas computacionais (LAW, 2014).

Segundo Robinson (2004), computadores digitais não possuem a capacidade de modelar sistemas com variações de estado contínuas ao longo do tempo. Porém, resultados aproximados podem ser obtidos adotando-se pequenos intervalos discretos de tempo (Δt). A Figura 17 ilustra a comparação do comportamento de um sistema real ao longo tempo com a de um modelo discretizado com pequenos intervalos de tempo (Δt).

Figura 17 – Aproximação discreta de um sistema contínuo



Fonte: Robinson (2004), tradução nossa.

2.5.3 Abordagem de simulação de 3 fases

Com o objetivo de se entender melhor o funcionamento de um programa de simulação computacional que utiliza como base eventos discretos, se faz necessário fazer uma breve introdução sobre a abordagem de simulação em 3 fases.

Segundo Robinson (2004), na abordagem em 3 fases, os eventos são classificados de duas maneiras:

- a) B (eventos agendados e de contorno): Estes são eventos os quais possuem um tempo conhecido para ocorrerem. Estes podem durar também uma quantidade de tempo conhecida, mesmo que determinada estatisticamente. Eventos deste tipo,

geralmente estão relacionados à entrada de algum precursor ou término de determinada atividade;

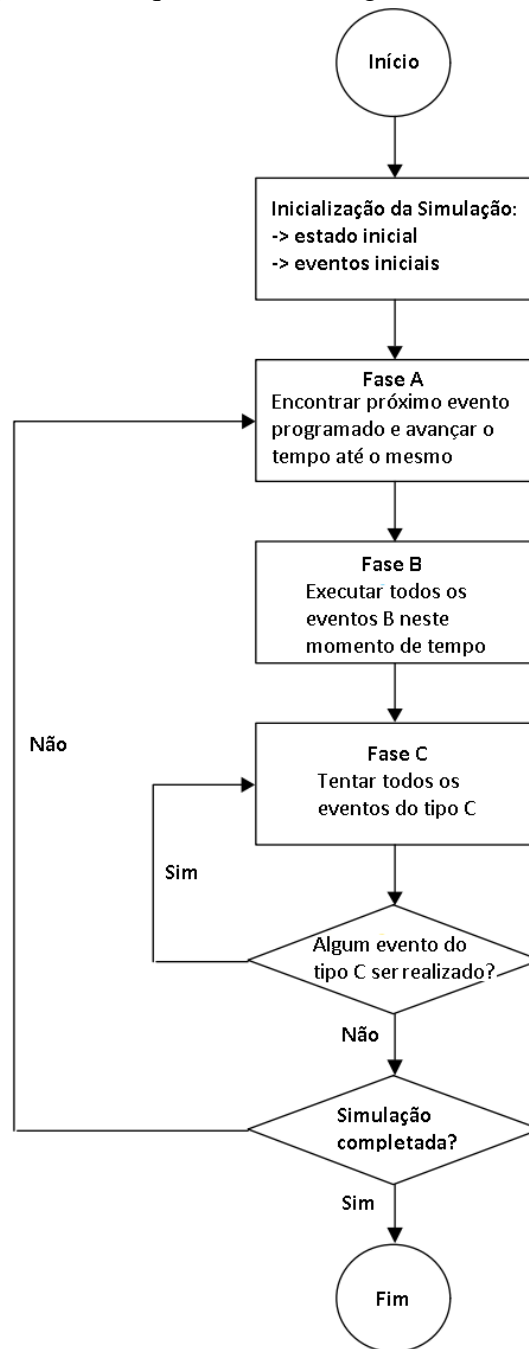
- b) C (evento condicionais): Estes são eventos onde há mudança de estado fica condicionada a alguma restrição do próprio sistema. Por exemplo: Um processo só pode ocorrer se (condicional) a matéria prima estiver disponível e se (condicional) há operadores disponíveis para processá-la. Geralmente eventos do tipo condicional são relacionados ao início de atividades.

Nesta abordagem a simulação repete um ciclo de 3 fases definidas que são:

- a) Fase A: Nesta fase, os tempos dos próximos eventos são definidos por meio da inspeção da lista de eventos e o relógio da simulação avança para o próximo ponto de tempo onde ocorre um evento;
- b) Fase B: Todos os eventos do tipo B relacionados àquele ponto de tempo, são executados;
- c) Fase C: Todos os eventos do tipo C são analisados, aqueles que cumprem com suas condições impostas, são executados. A realização de um evento C pode ser condicional para um próximo, o qual também será executado, assim por diante, até todos os eventos do tipo C possíveis, forem realizados.

Depois da fase C, a simulação retorna para a fase A, a não ser que haja algum comando específico para finalizar a simulação. Caracterizando assim um ciclo que é repetido quantas vezes forem desejadas, podendo haver limites de tempo, ciclos ou chegadas para o término da simulação (ROBINSON, 2004). Para facilitar a compreensão, a Figura 18 pretende ilustrar a sequência da abordagem de 3 fases em simulações.

Figura 18 - Esquema da abordagem de simulação em 3 fases.



Fonte: Robinson (2004), tradução nossa.

2.5.4 Seleção de programas de simulação

A seleção de um programa de simulação é influenciada por alguns fatores, como por exemplo, os pacotes de ferramentas disponíveis, os quais podem se adaptar melhor para determinadas aplicações. Para realizá-la, pode-se mencionar em algumas etapas pré-estabelecidas.

Em seu livro, Robinson (2004) realiza um resumo baseado em Holder (1990), Hlupic e Paul (1996), Nikoukaran e Paul (1998) e Bard (1996) e cita 5 etapas de seleção de programas de simulação.

1. Estabelecer os requerimentos de modelagem;
2. Realizar pesquisa e elaborar uma lista de programas;
3. Estabelecer critérios de validação;
4. Validar o programa com base nos critérios de validação estabelecidos;
5. Selecionar o programa.

Na primeira etapa, estabelecer os requerimentos de modelagem, busca-se identificar e compreender os requisitos da simulação, assim como a natureza da mesma. Perguntas comuns nesta etapa são: Qual será a abrangência da modelagem? Qual será o grau de complexidade da modelagem? Dependendo das respostas, diferentes níveis de funcionalidade e complexidade deverão ser atingidos pelos modeladores (ROBINSON, 2004).

Após a primeira etapa, devemos prosseguir para a segunda: Realizar pesquisa e elaborar uma lista de programas. Utilizando dos requisitos e das informações encontradas na primeira, deve-se elaborar uma lista dos possíveis programas que atendem as exigências determinadas (ROBINSON, 2004).

Na terceira etapa, estabelecer critérios de validação, sugere-se que se adote critérios para a comparação dos programas listados. Para isso, Robinson (2004) recomenda a utilização de listas de critérios pré-estabelecidos por vários autores da área, com destaque para Hlupic et al. (1999), que realizou uma listagem de mais de 250 itens potencialmente relevantes. É importante destacar que não é necessário utilizar todos os critérios, mas sim os que são mais coerentes entre os requisitos e os programas propostos. Alguns critérios estão relacionados com os requisitos de sistema (software e hardware), linguagem de programação envolvida, ferramentas visuais, suporte técnico, custo, maneira a qual são feitas as entradas e saídas do programa. As principais listas elaboradas por Hlupic et al. (1999) para a seleção de programas de simulação estão presentes no Anexo A do presente trabalho.

A quarta etapa, validar o programa com base nos critérios de validação estabelecidos, consiste, basicamente, em testar os programas listados segundo os critérios estabelecidos e estabelecer uma pontuação para cada um deles (ROBINSON, 2004).

A quinta etapa, selecionar o programa, é realizada com base nas pontuações alcançadas na etapa anterior. O programa que possuir a melhor classificação entre os demais, é escolhido (ROBINSON, 2004).

Porém, como destaca Robinson (2004), é comum observarmos profissionais na área de modelagem e simulação utilizarem o mesmo programa de forma repetida, em diferentes situações, com êxito. Portanto, pode-se inferir que a familiaridade e preferência do profissional com determinado programa possui uma elevada relevância na seleção do mesmo.

2.5.5 Seleção do programa de simulação do presente trabalho

Sem desconsiderar todo o exposto acima, e enfatizando a relevância da familiaridade e habilidade do modelador com o programa na seleção do mesmo, o autor selecionou o programa *Tecnomatix Plant Simulation*, da Siemens, como o programa a ser utilizado no presente trabalho.

O autor possui alguma experiência com esta ferramenta e após a realização do levantamento bibliográfico necessário para a realização deste trabalho, constatou-se que a mesma é adequada e utilizada por uma ampla gama de estaleiros e outras empresas, especialmente na Alemanha. Sua interface é simples e sua ampla biblioteca de objetos permite uma modelagem mais simplificada e visual, sendo adequada para o presente trabalho. O programa funciona com um controlador de eventos, o qual avança o tempo conforme a sequência dos processos, atendendo perfeitamente os critérios de análise de eventos discretos. As características gerais deste, serão apresentadas na próxima seção.

2.6 SIEMENS TECNOMATIX PLANT SIMULATION

Este tópico tem como objetivo fazer uma breve introdução a ferramenta utilizada neste trabalho; o programa *Tecnomatix Plant Simulation* da Siemens. Para esse propósito, será feita uma breve apresentação do programa seguido de um resumo da sua história e de uma breve apresentação de sua funcionalidade, e por último, sua utilização dentro da indústria naval.

2.6.1 Introdução ao Tecnomatix Plant Simulation

O *Tecnomatix Plant Simulation* é um programa de computador desenvolvido pela Siemens PLM Software para modelagem, simulação, análise, visualização e otimização de sistemas produtivos, tanto quanto ao seu fluxo de materiais quanto de operações. Com este, é possível analisar todos os níveis de uma cadeia produtiva, podendo assim, criar uma fábrica virtual e estudar sua logística. Este também permite comparar soluções de produção complexas e possui ferramentas para o estudo de otimização de sistemas de produção. É usado em

empresas multinacionais no projeto preliminar de novas operações, especialmente no caráter produtivo e logístico de novos empreendimentos. Atualmente o programa é utilizado em vários setores, sendo alguns deles (SANTOS, 2011).

- a) indústria automobilística;
- b) indústria aeroespacial;
- c) operadores portuários;
- d) indústrias de eletrônicos;
- e) indústrias metal mecânica;
- f) aeroportos;
- g) companhias logísticas;
- h) estaleiros.

2.6.2 Histórico do programa

A origem da ferramenta *Tecnomatix Plant Simulation* remonta ao ano de 1986 quando o Instituto Fraunhofer para a Engenharia de Manufatura e Automação desenvolver um simulador, um programa de simulação orientada ao objeto para o Macintosh chamado de SIMPLE, com o intuito de estudar processos produtivos. Posteriormente, em 1990, foi fundada em Stuttgart a empresa AIS (Angewandte Informations Systeme) o qual o aprimorou e desenvolveu o SIMPLE++. Em 1997 a companhia foi adquirida pela Tecnomatix Ltd. e a partir do ano 2000 o programa foi renomeado como eM-Plant. No ano 2004, esta companhia foi adquirida pela UGS Corporation a qual trocou o nome do programa para Tecnomatix Plant Simulation, o qual vigora até hoje. Em 2007 a UGS Corporation foi adquirida pela Siemens AG. O programa hoje faz parte do portfólio de produtos e serviços oferecidos por uma das suas subsidiárias, a Siemens PLM Software, a qual tem sede em Plano, Texas, nos Estados Unidos, a qual está ligada também à Siemens Industry Automation Division, sediada em Nuremberg na Alemanha (SANTOS, 2011).

2.6.3 Utilização e interface

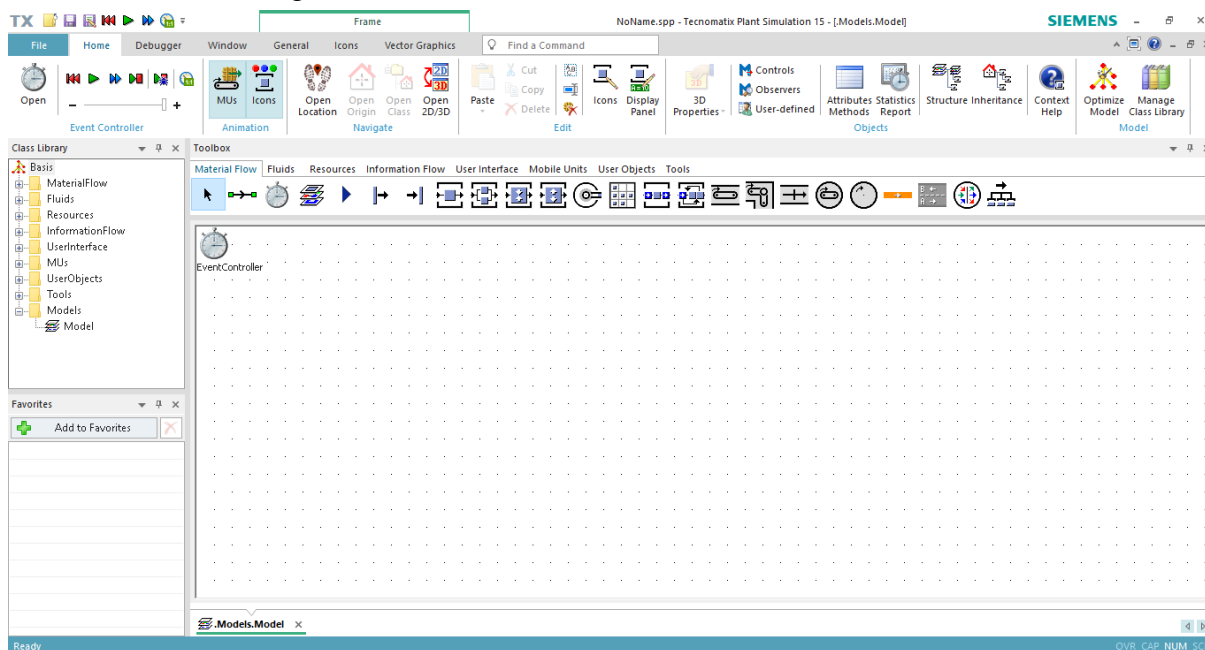
Por meio da ferramenta é possível criar modelos digitais de sistemas logísticos, onde é possível realizar estudos para analisar características do sistema e otimizar seu desempenho.

Com o *Plant Simulation* é possível modelar e sistemas produtivos de todas as graus de complexidade, desde uma única oficina ou setor produtivo até uma fábrica inteira. Feita a modelagem, é possível realizar simulações e estudar diferentes cenários, portanto, é possível

avaliar diferentes experimentos e características do processo produtivo, tal como seus desdobramentos na cadeia de produção.

A interface é baseada no Microsoft Windows, tornando-o muito fácil e intuitivo. O processo de modelagem é agilizado pela disponibilidade de bibliotecas de objetos típicos encontrados em meios de manufatura, como por exemplo, os de montagem e transporte de componentes. A Figura 19 mostra a interface do sistema depois de se iniciar um novo modelo.

Figura 19 – Interface do *Tecnomatix Plant Simulation*.



Fonte: O autor.

2.6.4 Características do programa

Em sua tese de mestrado, Santos (2011) destaca algumas das diversas características especiais do programa, as quais se destacam:

- a) arquitetura aberta com múltiplas interfaces padrão;
- b) biblioteca e gerenciamento de objetos;
- c) otimização de algoritmo genético conduzido;
- d) análise automática de resultados de simulação;
- e) construtor de relatório com base HTML;
- f) detectar e mostrar os problemas que possam causar custos e medidas de correção;
- g) aperfeiçoar o desempenho das linhas de produção existentes;
- h) incorporação de falhas em máquinas, disponibilidades e cálculo de números de transferência e utilização;

Programação orientada ao objeto com:

- a) herança: Usuários podem criar bibliotecas com seus próprios objetos, as quais podem ser reutilizados. Ao contrário de uma cópia, qualquer alteração em uma classe de objeto dentro da biblioteca é propagada a qualquer um dos objetos derivados;
- b) polimorfismo: Pode-se criar derivações de objetos e métodos podem ser redefinidos. Isto permite aos utilizadores construir modelos complexos mais rápido, com mais facilidade e com uma estrutura mais clara;
- c) hierarquia: Estruturas complexas podem ser criadas de forma muito clara em várias camadas (lógica). Isso facilita abordagens em diferentes direções;
- d) abertura para importação de dados de outros sistemas, como o Access ou Oracle, planilhas Excel ou SAP;
- e) integração: O *Plant Simulation* faz parte da fábrica digital e suporta:
 - Importação de dados de sistemas PLM.
 - Dados do layout do Autocad, Microstation, FactoryCAD, etc. diretamente na simulação.
- f) Fornece ferramentas de análise para a detecção de gargalos (Bottleneck Analyser), para monitoramento do fluxo de materiais (diagramas de Sankey) ou para a detecção de recursos sobre dimensionados (Assistente de Gráfico);
 - a. Oferece ferramentas integradas de otimização:
- g) O Gestor Experimentos automaticamente cria cenários e avalia dependências entre dois parâmetros de entrada;
- h) Algoritmos genéticos que buscam soluções;
- i) As neurais mostram a conexão entre os parâmetros de entrada e saída e pode ser usado para previsão.
- j) Análise dos dados: Detecção de dependências, análise de regressão, melhoras na função de montagem, etc.

2.6.5 Utilização do Tecnomatix Plant Simulation em estaleiros

Como apresentado anteriormente, o *Tecnomatix Plant Simulation* é uma ferramenta poderosa utilizada por diversos segmentos da indústria. No presente trabalho, a ferramenta será utilizada em uma empresa fornecedora de componentes para estaleiros náuticos, onde são fabricados e pré-montados os cascos, conveses, e os principais elementos estruturais dos iates.

É importante também salientar que a mesma é utilizada em estaleiros de alto nível tecnológico ao redor do mundo, em diferentes áreas da construção naval, desde grandes navios comerciais de carga a cruzeiros e embarcações de guerra.

Aplicabilidade e exemplos na indústria naval

O programa é utilizado por estaleiros devido a sua capacidade de modelagem e simulação de sistemas de produção complexos, além da possibilidade de visualização dos processos, inclusive com objetos em 3D gerados em CAD ou outras plataformas compatíveis. Portanto, torna-se uma ferramenta interessante na análise de estaleiros e para o estudo de otimização da produção, tanto em sua forma física, como nos seus processos e fluxos de pessoas e materiais, podendo ser útil desde a simulação de soldagens individuais (em embarcações fabricadas em materiais metálicos) até o processo final de montagem da embarcação. Destacando algumas aplicações (SIEMENS PLM, 2015):

- a) prever problemas de cronograma;
- b) prever eficiência dos locais de trabalho;
- c) auxiliar nas mudanças físicas do estaleiro assim como em ampliações;
- d) otimizar estoques e logística interna de transportes;
- e) planejar o processamento do aço (embarcações metálicas);
- f) otimizar a avaliação de mão de obra necessária.

Um grande número de estaleiros e centros de pesquisa utilizam esta ferramenta para auxiliar e planejar a produção de embarcações, entre eles (SIEMENS PLM, 2015):

- a) Aker Yards (STX Europe, construtor de navios de cruzeiro);
- b) Centro de Tecnologia Marítimas da Alemanha;
- c) Flensburger Schiffbau-Gesellschaft (Ro-Ro, ferrie, entre outros);
- d) Meyer Werft Popenburg (navios de cruzeiro);
- e) Thyssenkrupp Marine Systems (submarinos e navios de combate);
- f) Saab Kockums (estaleiro sueco de embarcações de combate);
- g) Volkswerft (navios contêineres);

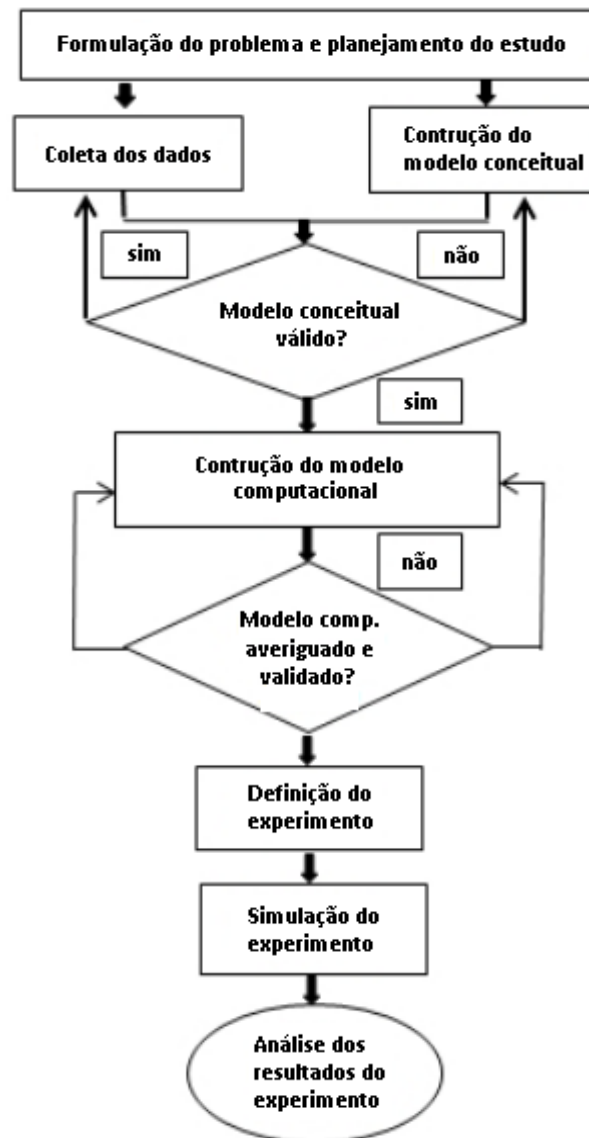
Observam-se que as empresas acima contemplam uma grande variedade de embarcações e alguns dos mais notáveis estaleiros em suas respectivas áreas, contemplando os construtores dos maiores e mais modernos navios de cruzeiro do mundo e de empresas da área de defesa naval mundialmente conceituadas. Ambos os setores trabalham com produtos de altíssima complexidade com prazos a serem cumpridos.

Tendo em vista o exposto acima e a disponibilidade do programa, o autor decidiu utilizá-lo na análise e estudo do layout de uma planta fabril de produção de componentes em materiais compósitos, a qual fornece conjuntos pré-montados de peças para um estaleiro instalado no Vale do Itajaí e que atua no ramo de fabricação de embarcações de recreio de luxo.

3 METODOLOGIA

Para se alcançar os resultados pretendidos com este trabalho, o método foi adaptado tendo como base as etapas de desenvolvimento e implementação de modelos de simulação propostos por Robinson (2004), Law (2014) e Vieira (2016). As etapas de método propostas para a elaboração deste trabalho são: Formulação do problema e planejamento do estudo; Coleta de dados; Construção de um modelo conceitual; Validação do modelo conceitual; Construção do modelo computacional; Definição dos experimentos; Simulação dos experimentos; e Análise dos resultados obtidos. Um resumo das etapas descritas acima pode ser encontrado de forma ilustrada na Figura 20, um fluxograma adaptado por Vieira (2016) da obra *Simulation Modeling and Analysis* de Law (2014).

Figura 20 – Fluxograma da metodologia proposta.



Na primeira etapa é identificado o problema de produção ao qual será analisado em simulação. Para tal, foram realizadas observações dentro da empresa “A”, a qual apresentou um problema em particular a ser estudado para uma possível nova planta, o qual consiste em planejar espaços e um layout para possível nova planta dedicada a fabricação de iates.

Na segunda etapa, foram coletados dados relevantes dos processos envolvidos na fabricação dos produtos de interesse do estudo, por meio de observações feitas dentro da planta fabril assim como entrevistas pessoais, com estrutura aberta, com gerentes, supervisores e colaboradores da produção. Vieira (2016) destaca que a qualidade dos dados de entrada é de grande importância para a elaboração de um modelo similar à realidade.

A terceira etapa consiste em construir um modelo conceitual que se tenha correspondência com a realidade encontrada na produção dos produtos de interesse dentro da empresa “A”. A elaboração da mesma é feita de acordo com os dados obtidos e conforme observações e entrevistas realizadas dentro da fábrica.

Após a elaboração do modelo conceitual e a constatação de sua semelhança com os processos reais, realiza-se a modelagem computacional utilizando-se o programa *Tecnomatix Plant Simulation*, o qual viabiliza a análise do problema a ser analisado entre outros parâmetros de interesse previamente definidos nas etapas anteriores.

A execução da validação do modelo computacional em relação ao real não será totalmente atendida neste trabalho, pois o mesmo visa a elaboração de um layout para uma nova planta produtiva, a qual ainda não existe. Porém, serão verificados os tempos e os principais recursos utilizados na produção dos bens, buscando guardar uma similaridade entre o modelo computacional e a realidade da planta atual.

A partir da modelagem computacional, serão elaborados experimentos, que consistirão de três novas propostas de layout, os quais serão simulados para a obtenção de resultados. Após isso, serão feitas as análises e discussões das informações obtidas, assim como a seleção da proposta mais promissora.

4 PROPOSTA DE LAYOUT

Nesta seção, serão descritos as considerações e procedimentos realizados para a elaboração da sugestão de projeto de um layout produtivo para a empresa “A”. Para tal, o autor utilizou do levantamento bibliográfico realizado e da sua experiência profissional nesta empresa, assim como seus conhecimentos no programa de modelagem e simulação. Por meio destes, foi possível realizada a modelagem de três propostas e da planta “A” baseada em uma fábrica real de componentes náuticos. Em seguida os modelos foram simulados e seus resultados comparados e o mais promissor foi escolhido como a proposta deste trabalho.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS DE PROJETO DE LAYOUT

Para a realização da sugestão do layout produtivo, o autor considerou com grande atenção às necessidades e realidades das indústrias, especialmente a empresa “A”. Dentro destas, destaca-se a de buscar projetar um arranjo produtivo prático e que seja factível, o qual possa trazer redução de custos na operação.

Outro aspecto importante relacionado a área, é quanto as dimensões das estruturas físicas. Pode-se ter dois arranjos produtivos com a mesma área empregada e que atinjam ambos os requisitos de produção, porém, se por exemplo, um for projetado como um galpão estreito e muito comprido, talvez haja problemas no momento de procurar um imóvel para edificar ou alugar tal estrutura, enquanto outro com a mesma área, mas projetado de outra maneira, como em “L” ou até mesmo de com comprimento e largura similares (como um quadrado visto de cima) pode encontrar menos dificuldade.

É importante ressaltar que, apesar das considerações feitas acima, o trabalho não pretende estipular limitações de espaço e irá trabalhar considerando um espaço ideal para uma futura planta fabril, sem se preocupar com as dimensões e possíveis restrições geográficas, as quais são muito relevantes no projeto mais detalhado de uma nova fábrica. Destaca-se também que a empresa “A” não forneceu qualquer informação sobre a construção de uma nova planta para seus projetos náuticos. Todavia, o autor se vale destas observações para buscar criar algo mais factível e que possa, da melhor maneira possível, ser de alguma valia para a empresa “A”, caso a mesma decida por expandir suas operações no setor náutico por meio da implementação de uma fábrica dedicada.

Outra consideração importante é quanto a flexibilidade de produção do arranjo projetado. O autor o fez tendo em mente dois tipos de embarcações que a empresa “A” trabalha, as quais são iates de 50 e 55 pés. Porém, é importante destacar que já havia negociação em

andamento para a produção de embarcações de 80 pés. Portanto, é interessante que o projeto de arranjo produtivo possa suportar esta possível nova demanda ou outras que possam surgir e que exijam a manipulação de produtos com maiores dimensões. Quanto a este aspecto, também é importante mencionar que o autor não focará na flexibilidade quanto a outros tipos de produtos diferentes dos náuticos e que possam ser produzidos na planta caso a empresa tenha interesse, porém, segundo a experiência do mesmo dentro da empresa “A”, provavelmente tal arranjo produtivo também irá satisfazer este possível interesse, devido à semelhança entre os processos adotados, porém, para tal, será necessário considerar áreas adicionais para conseguir lidar com a demanda destes outros produtos juntamente com os do segmento náutico.

Outro fator de relevância é quanto à demanda. Considera-se que esta planta possui uma demanda de 12 embarcações, as quais devem ser produzidas em um ano e três meses, sendo estas divididas entre produtos de 50 e 55 pés, havendo previsão de continuidade após isso. Estas considerações são relevantes pois o modelo e simulação seguirá as demandas e tempos de processos obtidos na empresa “A”, os quais, na época, sugeriam que sem medidas adicionais, o prazo seria ultrapassado. Salienta-se também, que o estaleiro náutico ao qual a empresa “A” fornece, possui uma demanda maior do que a empresa consegue atualmente atender. Neste cenário se considerará uma demanda constante por embarcações que diferem minimamente entre si.

Fatores importantes como a limpeza e segurança das instalações fabris também foram consideradas pelo autor, que vivenciando por quase um ano a rotina de trabalhos na empresa “A”, pode verificar vários problemas relacionados a geração de pó, especialmente em etapas de cortes e lixamento de componentes. Estes, representam um risco constante ao bem-estar dos colaboradores e trazem uma necessidade de uma manutenção mais frequente em equipamentos, assim como exigem limpezas constantes para deixar o ambiente de trabalho minimamente limpo. Esta também é uma questão de grande interesse para a empresa “A”, a qual o autor pretende apenas colaborar com o que diz respeito ao layout que preze por minimizar alguns dos problemas observados. O presente trabalho não tem como objetivo se aprofundar em técnicas ou métodos de como reduzir ou eliminar este problema.

Por último, é necessário também comentar que o autor pôde presenciar uma série de questões relacionadas à importância de áreas de suporte dentro de uma fábrica. Quando mal posicionadas, estas podem gerar excessiva movimentação da mão-de-obra, a qual tende a se deslocar para a retirada de ferramentas e matérias primas. Isso gera muitas perdas por movimentação, além de potencializar situações de risco. Portanto, o autor visou acomodar áreas

de suportes e alguns equipamentos estratégicos de forma que os mesmos possam contribuir da melhor forma para o arranjo produtivo.

4.2 CONSIDERAÇÕES QUANTO AS INFORMAÇÕES OBTIDAS

Durante as observações feitas dentro da fábrica, o autor teve a oportunidade de coletar informações de interesse na empresa “A”, as quais contribuíram muito com o presente trabalho, dando-o um embasamento na realidade. Entre estas informações, merece destaque as relacionadas à quantidade de homem-hora por determinados processos e produtos, as quais serão exploradas na modelagem e simulação do layout proposto. Porém, é muito importante realizar algumas considerações quanto a esta e outras informações obtidas.

Primeiramente, tratando dos registros de homem-hora adquiridos, deve-se mencionar que os mesmos não são exatos, e podem ser representados melhor como uma aproximação da realidade. O autor despendeu muitas horas nestas estimativas, tanto medindo como avaliando juntamente com outros colaboradores da empresa “A” as durações e mão-de-obra empregados. Esta imprecisão se dá principalmente pelos seguintes fatores:

- a) curva de aprendizado da fábrica na fabricação de componentes náuticos, havendo assim diferenças do tempo de produção entre mesmos componentes;
- b) planejamento da produção sem boa definição: Mão-de-obra oscilante ao longo dos processos;
- c) quantidade de processos ocorrendo simultaneamente e existência de segundo turno, impossibilitando um acompanhamento em tempo integral pelo autor;
- d) experiência dos colaboradores envolvidos em cada processo, havendo uma grande variação de eficiência entre os mesmos;
- e) alterações imprevistas no projeto dos produtos que iriam ser produzidos, por parte do cliente.

Apesar destas considerações, é importante ressaltar que o autor manteve durante todo o seu período de estágio o contato direto com colaboradores de todos os setores da empresa “A” e também do estaleiro cliente, conseguindo ampla colaboração em várias questões relacionadas a estas estimativas. Também é relevante mencionar que o mesmo realizou observações diárias na produção, acompanhando a produção de embarcações de seu início à entrega ao cliente (estaleiro). Portanto, as estimativas apresentadas possuem uma forte relação com a realidade que a empresa “A” praticou.

Existem outras informações que serão citadas no decorrer do texto que tem origem na vivência do autor durante seu estágio, as quais foram obtidas em conversas, documentos internos e observação direta. O autor buscou manter discrição na apresentação de tais informações. Portanto, alguns dados foram propositalmente apresentados de maneira vaga, porém, guardando forte relação com a realidade. Algumas destas informações são referentes a detalhes técnicos dos componentes, procedimentos adotados e organização da companhia em suas operações diárias.

4.3 PROJETO PRELIMINAR E MODELAGEM DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO

Com as considerações tratadas anteriormente nesta seção, especialmente daquelas que tratam de uma demanda constante de produtos relativamente padronizados, pode-se considerar a utilização de um arranjo produtivo em linha como adequado. Porém, como também destacado anteriormente, é importante considerarmos as dimensões que tal linha produtiva pode exigir. Feitas estas ressalvas, o autor elaborou três propostas de layout em linha, as quais serão comparadas com o modelo da fábrica “A”, baseado em instalações reais.

As dimensões principais dos produtos os quais serão fabricados e a quantidade de produtos e subprodutos que poderão ser fabricados simultaneamente em cada estação (de acordo com a demanda) foram as principais informações adotadas na elaboração das sugestões de layout. O Quadro 3 a seguir apresenta um resumo das mesmas.

Quadro 3 – Aproximações das dimensões requeridas pelos produtos.

Produto	Comprimento (L)	Largura (B)	Livre por lado	L Ajustado	B Ajustado
H50	16m	4,5m	2m	20m	8,5m
H55	17,5m	4,5m	2m	21,5m	8,5m
H80	25m	6,5m	2m	29m	10,5m
CP50	16m	4,5m	2m	20m	8,5m
CP55	17,5m	4,5m	2m	21,5m	8,5m
CP80	25m	6,5m	2m	29m	10,5m
CF50	10m	4,5m	2m	14m	8,5m
CF55	10m	4,5m	2m	14m	8,5m
CF80	16m	6,5m	2m	20m	10,5m
F80	10m	4,5m	2m	14m	8,5m
F50	16m	6,5m	2m	20m	10,5m

Fonte: O autor.

Como se pode observar, o autor utilizou informações de comprimento e boca (largura) dos iates produzidos, acrescidos de uma margem, a qual considera as dimensões superiores as quais os moldes ocupam. Adicionado a isso, considerou-se um espaço de trabalho de dois

metros no entorno dos moldes, os quais não necessariamente terão que ser exclusivos de cada molde ou embarcação, podendo haver sobreposição. Isso se dá, pelas observações feitas em chão de fábrica e considerando os equipamentos tipicamente utilizados nas operações.

Tratando de equipamentos é importante ressaltar que alguns deles possuem impacto direto no dimensionamento e projeto da planta produtiva. Serão considerados o uso de empilhadeiras (tipicamente uma), pontes rolantes, picadeiros móveis (suportes móveis para as embarcações), linhas de ar pressurizado e linhas de vácuo. Estas últimas, exigem espaços para o posicionamento de compressores de ar e bombas de vácuo, respectivamente. É interessante também prever espaços para a instalação de geradores de energia, prevendo que quedas na rede elétrica durante determinados processos podem acarretar em prejuízos consideráveis. Porém, o foco se dará nas estações de trabalho em si e não em instalações auxiliares, que apesar de muito necessárias, não fazem parte do objetivo maior deste trabalho, pois não geram movimentações de materiais e produtos.

Dos equipamentos citados acima, os quais possivelmente possuem maior impacto nas estruturas físicas dentro da área produtiva em si, são as pontes rolantes. Estas necessitam de estruturas preparadas para suportar sua carga e deslocamento, geralmente exigindo um grande número de colunas posicionadas em suas extremidades. Outro aspecto importante da menção destas, é quanto a sua capacidade de içamento de cargas. Esta será dimensionada de acordo com as massas dos componentes e embarcações nos diferentes estágios de produção.

Para os processos envolvidos na construção de conjuntos pré-montados de iates de 50, 55 e 80 pés foram pensadas as seguintes estações:

- a) laminação de pequenos componentes;
- b) laminação de grandes componentes (dividida entre cascos, conveses principais, conveses inferiores e *flybridges*);
- c) posicionamento das peças em estruturas móveis;
- d) corte, furação e lixamento;
- e) pré-montagem I;
- f) pré-montagem II;
- g) pintura;
- h) acabamento e inspeção.

Além das instalações produtivas das estações de trabalho em si, também se fazem necessárias outras estruturas complementares para cumprir com demandas da operação de uma fábrica, como local para armazenamento de moldes, refeitórios, banheiros, vestiários, laboratório, manipulação de químicos e local refrigerado para armazenamento de químicos e

setor administrativo. Cada um destes possui, em diferentes graus, importância para as operações da empresa, mas não pertencem ao foco principal deste trabalho.

Outra consideração importante é a respeito da métrica utilizada para avaliar o desempenho do layout. Considerou-se como principal métrica o custo dos deslocamentos de materiais e produtos envolvidos dentro dos modelos elaborados e simulados. Esta decisão, é apoiada pelo que se observou no levantamento bibliográfico apresentado anteriormente, no qual temos como um dos principais objetivos o melhor aproveitamento dos fluxos de materiais e processos para evitar desperdícios, como descrito por Vieira (2016).

Realizadas as considerações acima, pode-se começar a descrever de forma mais detalhada as características pensadas para cada estação de trabalho e suas áreas correlatas.

4.3.1 Recebimento e Almojarifado

Nesta área serão recebidas e armazenadas a maioria das matérias primas utilizadas na produção das embarcações. Para a fábrica em questão, tipicamente, estes materiais são em sua maioria os utilizados durante os processos de laminação manual e por infusão, havendo também peças de reposição para ferramentas, como lixas, serras, entre outras. Entre estes materiais, também estão componentes que serão pré-montados nos iates, como peças de compensado e metálicas utilizadas para reforço e fixação de partes, assim como equipamentos que sejam interessantes e viáveis de serem instalados nos porões e demais componentes das embarcações antes de sua montagem final no estaleiro.

A maioria das matérias primas mencionadas acima não precisam de condições especiais de armazenamento, muito embora precisem necessariamente ficarem em local seco e abrigado. Os materiais que se opõem a esta consideração são os químicos utilizados, os quais necessariamente precisam de condições especiais de armazenamento, seguindo as recomendações contra incêndios. Estes, os quais são em sua grande maioria resinas utilizadas nos processos de laminação, devem ser armazenados em local especial e preferencialmente refrigerado.

Tipicamente, os materiais mais volumosos no almojarifado serão os núcleos rígidos de espuma, como PVC e PET utilizados durante as etapas de laminação, em especial no posicionamento das camadas para a infusão, e os rolos de tecidos e mantas, fabricados em fibra de vidro. A maioria deles são manuseados com empilhadeiras, sendo estas motorizadas ou manuais, geralmente havendo dos dois tipos. Normalmente, estes equipamentos são utilizados

tanto para organizar e alocar as cargas no almoxarifado, como para levar estes materiais para as estações de trabalho requerentes.

Para estimar a área desta parte, o autor utilizou de observações feitas na empresa “A”. É importante ressaltar que não houve um estudo aprofundado para estimativa desta área, a qual pode ser otimizada com uso de prateleiras, por exemplo. Um estudo mais aprofundado das dimensões desta área é uma das sugestões de trabalho presentes no final deste trabalho.

Realizada estas considerações, buscou-se uma relação com o observado na planta “A”, mas prevendo uma área maior devido aos insumos de uma embarcação de 80 pés:

- a) área do almoxarifado igual a 760 m^2 (20m x 38m)

Nos modelos elaborados, todos os insumos necessários para a produção dos produtos partem desta localização.

4.3.2 Processamento dos insumos de produção

Neste local são feitas as preparações dos insumos necessários para a manufatura dos componentes náuticos. Entre estas estão o corte de núcleos, tecidos e mantas em formas pré-determinadas úteis para agilizar os processos de manufatura e reduzir a produção de resíduos nas demais estações de produção.

As principais ferramentas utilizadas nesta estação são as de corte, sendo estas em sua maioria de funcionamento elétrico. Esta também é equipada com balanças para a medição dos materiais retirados do estoque. A entrega dos insumos processados neste local, costumam ser feitas por colaboradores específicos para este fim, os quais também auxiliam na manipulação dos materiais quando não estão realizando este deslocamento.

4.3.3 Laminação de pequenos componentes

Nesta estação de trabalho são fabricados os pequenos componentes utilizados nas embarcações, desde canaletas e bases de equipamentos até anteparas estruturais e algumas divisórias que sejam feitas de materiais compósitos. Normalmente estes componentes são feitos em mesas de laminação, moldes planos ou sobre superfícies feitas de madeira com as formas necessárias, utilizando-se extensamente da laminação manual para os mais simples e menos reforçados e de infusão para peças com requisitos de resistência mecânica mais elevados.

A infraestrutura típica necessária para esta estação são os moldes e demais superfícies de laminação e disponibilidade para as linhas de vácuo. Também é interessante que a mesma

esteja localizada perto das estações de suporte, as quais fazem o processamento e entrega da matéria prima e das suas estações clientes, em especial a de corte e furação de componentes.

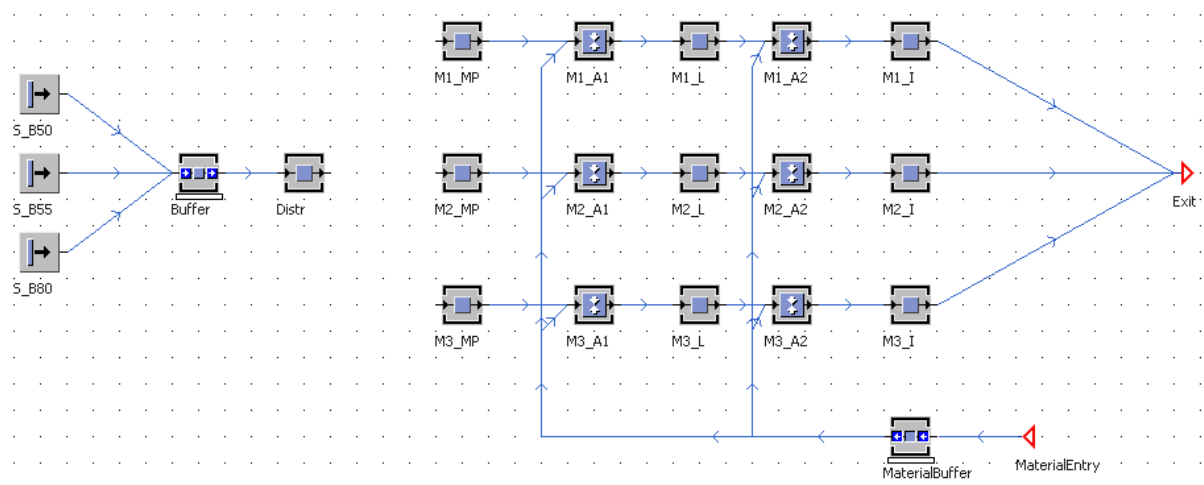
Para cumprir com suas funções, estima-se a seguinte área:

- a) área pequenos componentes igual a 200 m² (10m x 20m)

Esta estimativo foi realizada considerando as dimensões e a quantidades de peças que são feitas simultaneamente na produção de anteparas e outros itens menores, as quais exigem cerca de três moldes planos com largura de cerca de 2 metros e comprimento de 6 metros. O objetivo desses moldes é possibilitarem a laminação da maior antepara de forma contínua. Realizando cálculos com estas dimensões e somando os espaços livres ao redor dos moldes de cerca de dois metros, chegamos a dimensão aproximada de 10m por 18m, a qual pode ser aproximada para 10x20m, sendo esta área adicional útil para a laminação de outros componentes menores que são feitas em pequenos plugues de madeira.

Nos modelos, foram feitas simplificações quanto as atribuições desta área. Pela experiência do autor em chão de fábrica, os itens de pequena dimensão não são tão numerosos e geralmente são feitos e transportados à mão por um operador que está trabalhando nas estações de trabalho de pré-montagem 1 e 2. Devido a esta baixa representatividade nos custos de produção e ao não desprezível esforço para integrar estas operações nos modelos de forma satisfatória, optou-se por retirá-las dos modelos. Portanto, serão feitas nesta estação os conjuntos de anteparas estruturais e divisórias das embarcações, as quais possuem impacto mais expressivo nos fluxos de processos e materiais da fábrica. A Figura 21 mostra a modelagem desta estação no programa *Plant Simulation*.

Figura 21 – Modelagem da estação de laminação de pequenos componentes.



Fonte: O autor.

Na Figura 21, pode-se observar à esquerda, três caixas com setas que se unem em linhas de fluxo para uma caixa central. Nestas, há a emissão da ordem de produção que avança até a fila da ordem, a qual é representada pelo objeto *Buffer*. Estas ordens avançam para um processo de distribuição que funciona com um método, que distribui as ordens de acordo com a disponibilidade dos moles. A partir deste ponto, as anteparas seguem os processos descritos como MP (preparação do molde), A (primeira entrega de insumos), L (laminação), A2 (segunda entrega de insumos) e I (infusão e desmolde). A letra “M” representa a palavra molde e o número subsequente o número do molde, sendo ele 1, 2 ou 3. As matérias primas chegam pela seta vermelha no canto inferior esquerdo da imagem e podem ser armazenadas de forma momentânea no *MaterialBuffer* antes de serem utilizadas nos respectivos processos.

4.3.4 Laminação de grandes componentes

Nesta estação de trabalho são fabricados os grandes componentes dos iates produzidos, tais como cascos, conveses e demais estruturas de maiores dimensões e, normalmente, com geometrias mais complexas. Trata-se de estações com grandes tempos de processos, mas também com grande geração de valor ao produto.

As laminações manuais e por infusão serão amplamente utilizadas neste setor, o qual empregará também grande uso das matérias primas e mão-de-obra para a realização de seus processos. Portanto, para o bom encaminhamento das operações torna-se importante a proximidade de estações de suporte para suprimento de mantas, tecidos, núcleos, resinas e demais materiais.

Dos principais equipamentos e infraestruturas para esta estação, destacam-se a linhas de vácuo e ar pressurizado e a ponte rolante. A primeira se deve pela presença do processo de infusão, o qual necessita de pontos de vácuo e a segunda pela utilização de ferramentas que utilizam ar comprimido, tipicamente pistolas de cola e bicos de pressão para auxiliar na limpeza dos moldes. A ponte rolante é relevante para a movimentação dos moldes e auxílio na desmoldagem das peças, assim como sua movimentação até local apropriado para seu posicionamento sobre picadeiros e outras estruturas móveis para seu posterior deslocamento pela fábrica.

Nestas estações são executados os processos de preparação do molde, aplicação de *gel-coat*, laminação manual, montagem das camadas de laminação, preparação da infusão, a infusão em si, estruturação prévia de alguns componentes e desmolde.

Com exceção do modelo da planta real, os demais modelos foram feitos com estações com dimensões suficientes para a produção dos três modelos em simultâneo (50, 55 e 80 pés). A seguir estão as principais estimativas para os componentes nas propostas realizadas:

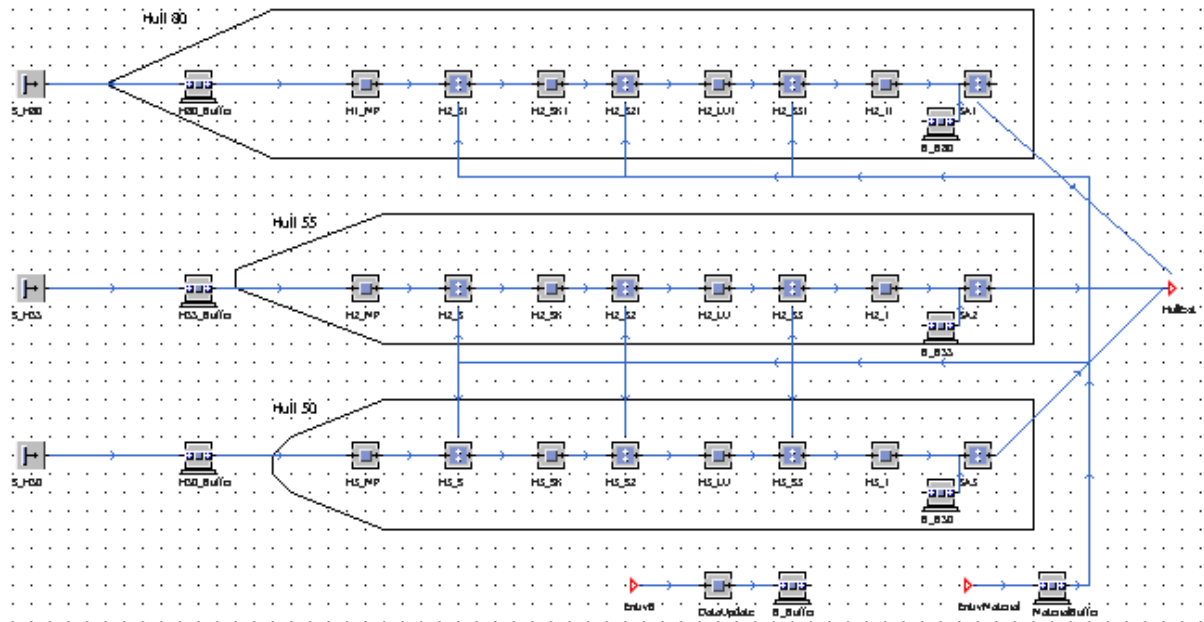
- a) área laminação dos cascos igual a 900 m² (30m x 30m);
- b) área laminação dos conveses principais igual a 900 m² (30m x 30m);
- c) área laminação dos conveses inferiores igual a 600 m² (20m x 30m);
- d) área laminação dos *flybridges* igual a 400 m² (20m x 20m).

Tais estimativas foram feitas com base na largura e comprimento da cada um destes componentes, considerados em um cenário onde as estações estão trabalhando com os três componentes em simultâneo, dois no caso do *flybridge*. Também foram considerados espaços livres no entorno dessas peças, como já mencionado anteriormente. As dimensões adotadas estão no Quadro 3. Pequenos ajustes como no caso da largura das estações de conveses e cascos foram realizados prevendo uma margem para eventuais equipamentos ou suporte necessários além dos espaços livres entre estações.

Para exemplificar a explicação apresentada no parágrafo anterior, analisa-se o caso da estação de laminação do casco. O maior produto é o casco do iate de 80 pés que possui comprimento de 25 metros, acrescenta-se 2 metros de espaço livre entorno do molde e obtém-se uma dimensão de comprimento de 29 metros, o qual foi ajustado para 30 metros. Para determinar a largura, estimou-se que haverá três moldes, um para cada tipo de iate, os quais possuem 4,5m, 4,5m, e 6,5m. Somando-se aos espaços livres temos uma largura total de 27,5 m, aos quais foram aproximados para 30 metros por estimar a necessidade de alguns espaços para equipamentos e manuseio de matérias primas e dos moldes quando necessário.

Todas estas estações guardam grande similaridade entre si, mudando basicamente a forma e dimensões dos moldes. Porém, há diferenças nas estações de laminação dos cascos e dos *flybridges*. Na primeira, além da entrada de materiais e insumos para a produção, também há após o processo de infusão, um processo de inserção das anteparas estruturais, as quais são providas pela estação de pequenos componentes. A Figura 22 mostra o modelo elaborado para a estação de laminação dos cascos, nela é possível ver duas entradas externas, uma para os insumos e a outra para as anteparas. Na laminação do *flybridge* também ocorre uma etapa de pré-montagem após a infusão e desmolde, porém, que é feita com partes feitas na própria estação. Outro aspecto importante a se salientar sobre esta estação é que não há *flybridge* no produto de 55 pés e, portanto, ela fabricará no máximo dois componentes por vez, um para o conjunto do iate 50 pés e outro para o de 80 pés.

Figura 22 – Modelagem da estação de laminação dos cascos.



Fonte: O autor.

Na Figura 22, pode-se verificar as diferentes etapas do processo da laminação destes componentes. Começando pela geração das ordens de produção do componente, representados pelos 3 quadrados com setas dentro no canto mais à esquerda da figura, a qual é gerada em intervalos de tempo pré-determinados pelo planejamento da produção, portanto, nem todos os componentes começam a ser produzidos aos mesmo tempo, assim como na fábrica real. Após isso, a ordem vai para o passo seguinte, representada pelo *Buffers* de cada molde (H50, H55 e H80), onde há a leitura dos insumos necessários e é feito o requerimento para o almoxarifado. Caso, por qualquer motivo, já estiver um componente em fabricação, a ordem aguardará nesta etapa até o molde ficar vago, ou seja, quando a embarcação em produção completar todas as etapas descritas nesta estação de trabalho, começando pela preparação do molde, estação “MP”, passando pela laminação do *Skin Coat*, estação “SK”, *lay-up*, estação “LU”, preparação para infusão e infusão (uma etapa para ambas, representado pelo caixa de processo com “I” no final do nome), montagem das anteparas e desmoldagem (uma etapa para ambas também, representado pelos processos com “SA” no final do nome). Os insumos entram na estação de trabalho por meio da seta vermelha no canto inferior direito inferior da imagem, assim como as anteparas, para o caso da estação de trabalho do casco. Estes insumos podem ficar armazenados de forma temporária em dois objetos *Buffer*. No *B_Buffer* ficam as anteparas aguardando processo, as quais vão para as estações adequadas de montagem “SA” por meio de um algoritmo embutido no modelo. O objeto *MaterialBuffer* no canto inferior mais a esquerda, realiza o armazenamento temporário e distribuição das matérias primas antes de determinados

processos de produção, representados por estações receptoras dentro de cada uma das três sequências de processos modeladas dentro dos moldes dos componentes.

Para que o modelo se comportasse da maneira descrita acima, foi necessário a criação de algoritmos na linguagem nativa do programa e a modificação de objetos já presentes no mesmo. Desta forma, aumentou-se a robustez e relação com a realidade do sistema, pois não haverá como dois componentes serem fabricados no mesmo molde ao mesmo tempo, assim como ocorre em condições reais.

4.3.5 Posicionamento das peças sobre estruturas móveis

Após os componentes terem passado pelo processo de desmoldagem, estes são trazidos com o auxílio da ponte rolante até esta área, onde é realizado a rotação de alguns componentes e seu posicionamento sobre estruturas móveis, adequadas para sua movimentação ao longo da linha de produção.

Parte desta área também será utilizado para o desmolde dos cascos, os quais normalmente necessitam de mais espaço e cuidados para seu desmolde, podendo também ser utilizada como área de depósito temporário de componentes aguardando o processo de corte e furação, localizados após esta estação de trabalho.

Estima-se esta área deve ser grande o bastante para manusear o maior dos componentes em todas as direções. Portanto, considerando que o maior componente possui 25 metros somado a uma área livre para equipamentos e movimentações, estima-se:

- a) área posicionamento peças = 900 m² (30m x 30m).

Nos modelos, esta área não foi representada por um objeto tradicional e sim por uma pista de movimentação, pois, na prática, a movimentação começa após o desmolde e termina apenas na próxima estação que é a de corte, furação e lixamento. A função deste espaço é basicamente permitir a movimentação e manipulação desimpedida dos componentes que terminaram o processo de laminação. Porém, houve cuidado quanto a duração destas movimentações, tendo cada componente a sua velocidade e, por conseguinte seu tempo. A forma com a qual isto é realizado, será apresentada mais adiante neste texto.

4.3.6 Corte, furação e lixamento

Esta estação de trabalho é onde ocorre a maioria dos processos de corte, furação e lixamento dos componentes produzidos. Estes processos são característicos pelo uso de ferramentas de corte, furação e lixamento, as quais, normalmente, geram um alto grau de ruídos.

Estes processos geram um alto nível de resíduos durante a sua execução, em sua grande parte, na forma de pó, mas são necessários por questões de acabamento e para as montagens que serão feitas em seguida e depois no estaleiro do cliente.

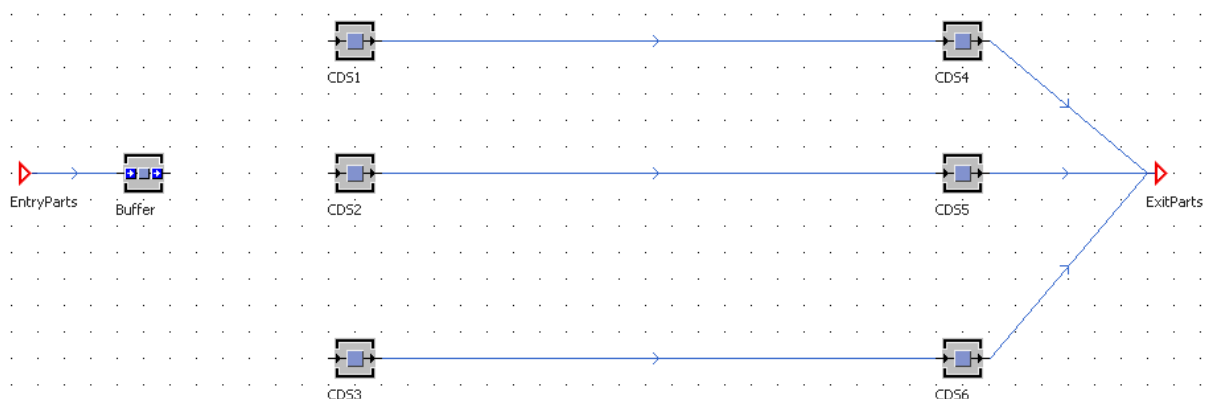
Segundo as informações obtidas com vários colaboradores e, inclusive, com a alta administração da fábrica, uma área e métodos adequados os quais eliminasse ou, ao menos, reduzissem drasticamente os níveis de resíduos espalhados pela fábrica por estes processos seriam de grande interesse para a firma. Como já mencionado, o presente trabalho não tem a pretensão de analisar os métodos para a eliminação ou redução deste problema. Porém, considerando esta demanda da empresa e o objetivo deste trabalho em elaborar uma proposta de layout, é mais do que justificável buscar alocar uma área específica para estes processos.

Tende em vista as características apresentadas, pode-se concluir que este espaço deve possuir linhas de ar pressurizado para as ferramentas já mencionadas e um sistema adequando de ventilação e coleta de resíduos. Estas demandas sugerem que, preferencialmente, esta estação deve ter acesso a uma parede que faz divisa com a parte externa da fábrica, para a instalação destes sistemas auxiliares.

A Figura 23 mostra o modelo construído na ferramenta. É previsto neste, que os componentes passem por duas etapas de processos. Isso foi feito pensando na flexibilidade do processo, caso algum componente não fique totalmente pronto, é possível trabalhar em uma parte dele ainda dentro da estação, enquanto a primeira metade da próxima peça entra na estação.

Esta área também deve permitir o processamento dos três maiores componentes em simultâneo. Portanto, a área estimada para esta estação é: 990 m² (33m x 30m)

Figura 23 – Modelagem da estação de corte, furação e lixamento.



Fonte: O autor.

O acréscimo de 3 metros frente às outras estações que lidam com os mesmos componentes se dá pelo fato de se prever a necessidade de espaços extras para equipamentos

e/ou acessórias que auxiliem na diminuição da passagem do pó para outros setores da fábrica, tais como grandes portas na entrada e saída da estação, ou sistemas com fortes cortinas de ar nas extremidades da estação.

4.3.7 Suporte a pré-montagem

Após a estação de corte, furação e lixamento, há outra área do mesmo tipo da indicada na subseção 4.3.4, dedicada a movimentação e manipulação de componentes. Nesta, os conveses podem aguardar até serem movimentados para a montagem, por meio da utilização de talhas ou ponte rolante. Os demais componentes como cascos e *flybridges*, seguem diretamente para as etapas seguintes, ficando armazenados nesta localização apenas em casos de descompasso grande na produção.

Assim como no item 4.3.4, esta área pode ser modelada como uma faixa de movimentação, ou usando o conjunto de faixa de movimentação com um objeto *Buffer*, usado na ferramenta como ponto de armazenamento temporário de peças e materiais.

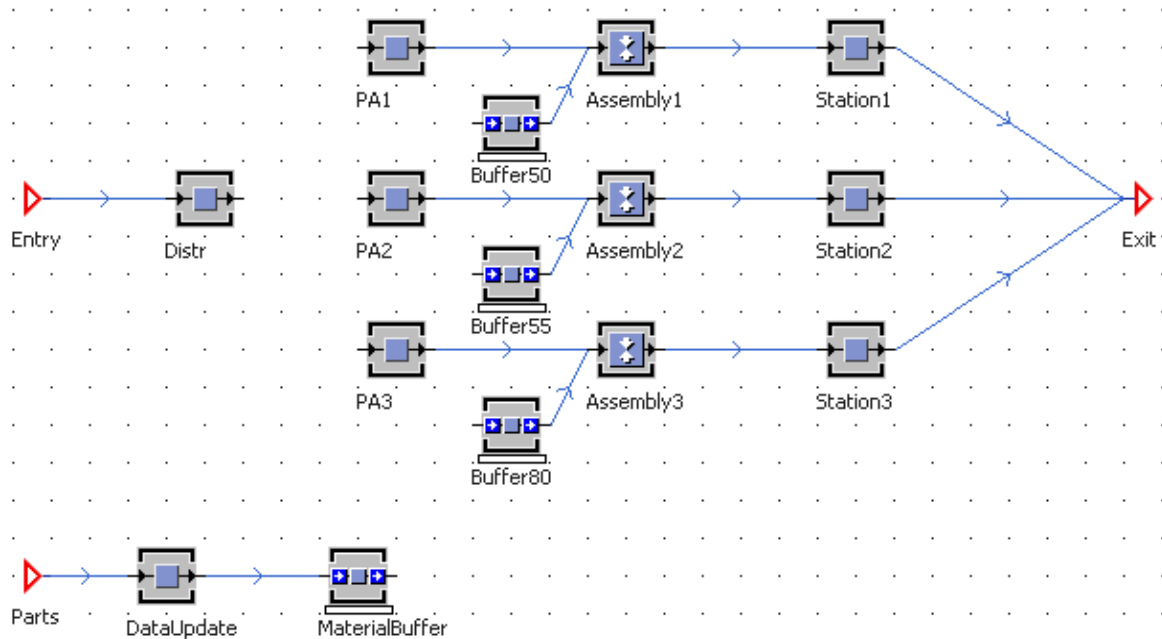
- a) área posicionamento peças II = 900 m² (30m x 30m).

4.3.8 Pré-montagem I

A estação de pré-montagem I acomoda todos os processos de montagem que envolvem bases de componentes e alguns kits de instalação que ficam abaixo do convés de acomodação da embarcação, geralmente no porão da mesma. Estas instalações necessitam de insumos e kits do almoxarifado e por último do próprio convés inferior.

Esta estação foi modelada na ferramenta por meio de estações de processo e montagem, juntamente com *Buffers* de apoio, uma exigência da ferramenta para a utilização destas últimas. A Figura 24 mostra a modelagem feita. Pode-se observar que todos os grandes componentes chegam por meio da entrada principal do sistema à esquerda. Um objeto com algoritmo embutido, de autoria do autor, realiza a separação para as respectivas estações. Os insumos e kits de instalação chegam por outra entrada e também são alocados para as posições adequadas por meio de algoritmo.

Figura 24 – Modelagem da estação de pré-montagem I.



Fonte: O autor.

As dimensões desta estação são pensadas para a pré-montagem de 3 embarcações simultaneamente e devem, portanto, possuir dimensões aproximadas de: 900 m² (30m x 30m)

4.3.9 Pré-montagem II

Na estação de pré-montagem II, são realizadas todas as instalações pertinentes entre o convés inferior e convés principal, além da laminação e instalação dos componentes da casa de máquinas. Esta etapa exige ainda mais insumos do que a etapa anterior e também necessita de kits de instalação. Por último, é necessário o convés principal, o qual é ajustado e fixado ao casco, porém não de forma permanente, pois o mesmo ainda será removido para futuros trabalhos no estaleiro.

Para esta estação, também é necessário prever a situação em que três embarcações são processadas ao mesmo tempo, sendo uma estimativa da área:

- a) área da pré-montagem II: 900 m² (30m x 30m).

O modelo feito para a simulação é igual ao da estação de pré-montagem I, sendo as únicas diferenças os algoritmos utilizados para o requerimento de insumos e kits de instalação e a configuração dos objetos de montagem, que agora preveem que mais insumos devem ser usados.

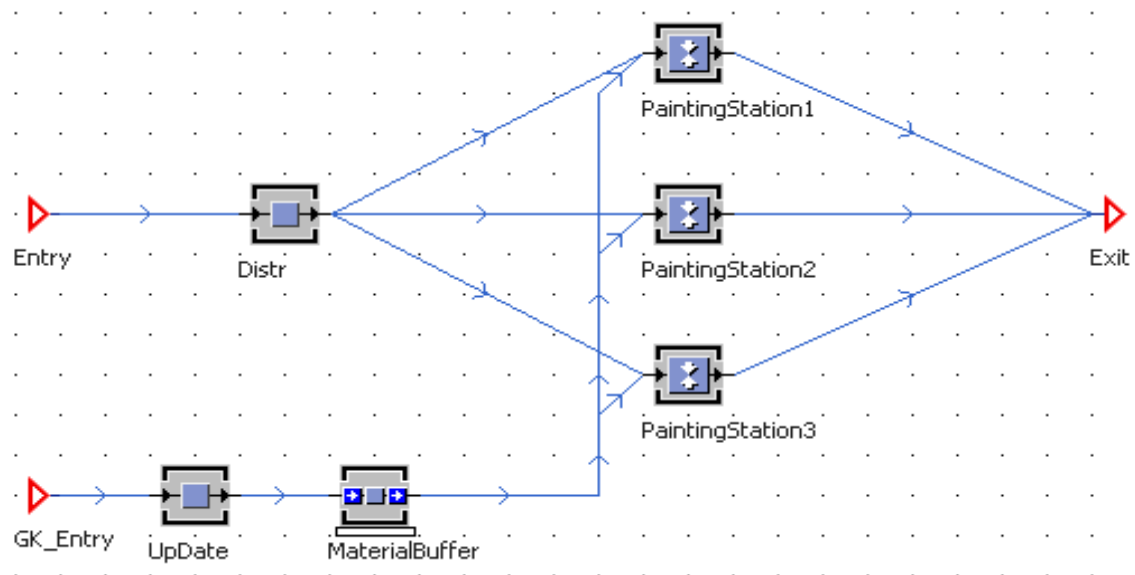
4.3.10 Pintura

Assim como no item 4.3.5, sobre a estação de corte, furação e lixamento, há interesse na empresa “A” em melhorar seus processos de pintura. Segundo experiências adquiridas acompanhando a produção dos conjuntos náuticos e conversas com um especialista contratado para fazer consultoria na área dentro da empresa, uma área dedicada para a pintura das embarcações aumenta muito a qualidade das peças ao mesmo tempo que diminui significativamente o retrabalho executado. Portanto, a previsão de uma área específica para este fim tem um grande potencial de aumentar a satisfação do cliente, ao passo que também diminui os desperdícios, sendo também um desejo da empresa “A”.

A área desta estação será dimensionada prevendo um ambiente exclusivo para a pintura dos conjuntos. Não faz parte do escopo deste trabalho analisar com profundidade os equipamentos e investimentos necessários para se obter um alto grau de qualidade e pouco retrabalho nesta etapa, todavia, foi modelado espaços para tal.

A modelagem estação de pintura foi feita com objetos de montagem também, pois este processo exige insumos para tal, os quais são fornecidos também pelo almoxarifado, havendo uma entrada para estes, conforme pode ser observado na Figura 25 no canto inferior esquerdo da imagem.

Figura 25 – Modelagem da estação de pintura.



Fonte: O autor.

Para a pintura de três iates simultaneamente, foi dimensionada a seguinte área: 900 m² (30m x 30m).

4.3.11 Acabamento e inspeção

Os processos de acabamento e inspeção são os últimos antes da entrega ao cliente. No primeiro, é feito o polimento e possíveis correções na pintura dos conjuntos náuticos pré-montado. Ao mesmo tempo e após o acabamento, é realizada uma inspeção final para verificar se o produto está dentro dos conformes do cliente. Finalizadas estas etapas com sucesso, a embarcação pré-montada está pronta para entrega ao estaleiro.

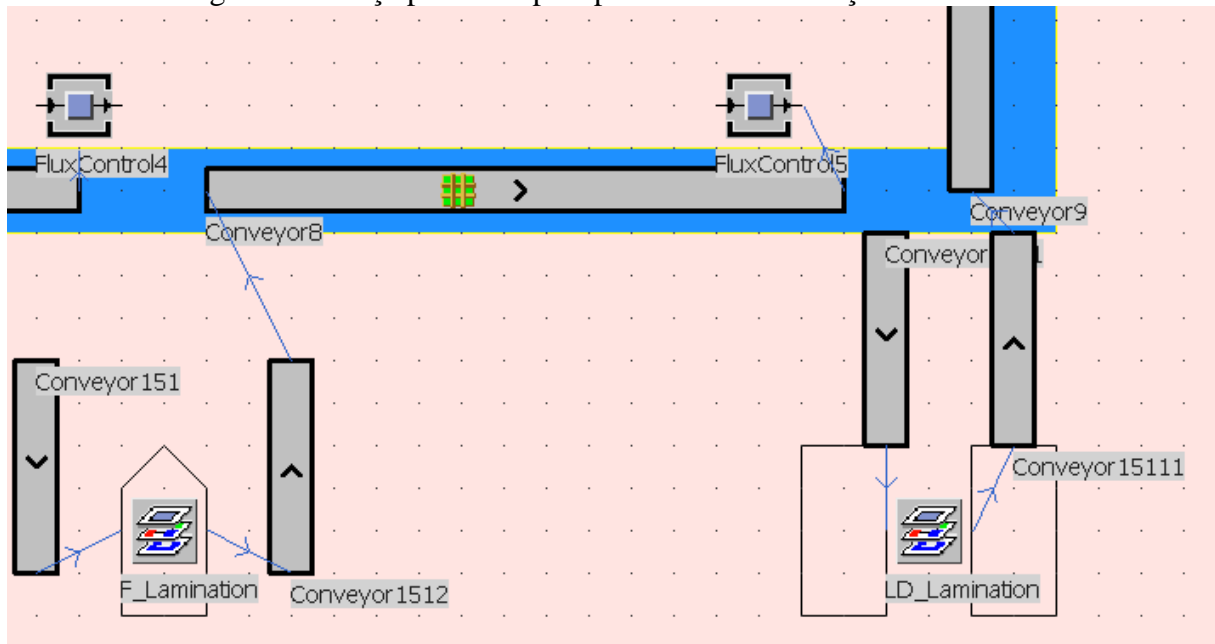
Para o dimensionamento desta estação, também foi previsto o processo em simultâneo de três embarcações, prevendo-se uma área de 900 m² (30m x 30m) para isso. Esta área trabalhará principalmente com politrizes de ar-comprimido e excelente iluminação. Portanto, são necessárias linhas de ar-comprimido e um planejamento para a iluminação instalada. A modelagem desta estação se fez de maneira simples, com objetos padrões do programa adotado.

4.4 ANÁLISE DOS CUSTOS DE MOVIMENTAÇÃO

Para a realização da análise dos custos de movimentação envolvidos nas três propostas e no modelo real, utilizou-se principalmente de algoritmos desenvolvidos e embutidos das pistas de deslocamento com esta finalidade, além de atribuição de variáveis especiais com informações específicas em cada componente e insumo transportado nos modelos.

Quando um objeto móvel, como um insumo ou componente, se move pelo modelo, ele utiliza obrigatoriamente as pistas de movimentação, as quais foram projetadas atentando às dimensões das estações e os espaçamentos adequados entre elas. Ao entrar na pista, um algoritmo de entrada lê o tempo atual da simulação e a velocidade com a qual aquele objeto deve percorrer o trajeto. Quando o mesmo sai dela, ele ativa outro algoritmo que faz a verificação do tempo gasto para percorrer aquele trajeto e o multiplica por uma taxa de custo por segundo, a qual será explicada a seguir. Os custos resultantes são atualizados em variáveis globais acessíveis no painel de controle da simulação e podem ser utilizados posteriormente na implementação de outros cálculos de interesse, como custo médio de movimentação por embarcação, por exemplo. Dois desses algoritmos estão presentes no Apêndice A. A Figura 26, ilustra uma parte ou componente (quadrado verde com listras amarelas) passando por uma pista de um dos modelos elaborados.

Figura 26 – Peça passando pela pista de movimentação no modelo.



Fonte: O autor.

A Figura 26 também permite uma visualização mais apropriada de como as estações descritas anteriormente no texto se apresentam no modelo. Pode-se observar as estações se apresentam em formas de quadrados com desenho de camadas sobrepostas dentro dos mesmos. Observa-se que ao abrir estas estações, teremos os processos representados pelos modelos descritos durante os itens anteriores, como na Figura 22, por exemplo. Este tipo de representação foi adotado para poder se inserir um grande número de processos e atividades dentro de uma única estação, para, posteriormente, juntá-las em um modelo global com uma visão mais simplificada, como podemos ver parcialmente na Figura 26.

A taxa de custo foi calculada por meio de informações coletadas na fábrica relacionadas à quantidade de recursos humanos e materiais utilizados para a realização do deslocamento destes materiais e componentes. Portanto, o autor registrou o número de colaboradores envolvidos nas movimentações de cada componente e os tipos de equipamentos utilizados para isso. Juntamente a isso, baseado em registros e observações feitas em chão de fábrica, foram estimadas velocidades de deslocamento para cada componente. Com a velocidade e comprimento das pistas, se tem o tempo de deslocamento. Estes tempos de movimentação multiplicados pelo número de operadores envolvidos para cada peça foram utilizados pelo autor para uma proposta de estimativa de custos.

Por meio destes, o autor propõe uma estimativa de custo que considera um salário médio de 1800,00 reais para os operadores acrescido de 100% de encargos trabalhistas e mais um percentual de 20% sobre este valor total, prevendo o custo com maquinários envolvidos no

transporte. Esta estimativa, apesar de não ser exata, possui boa relação com a realidade, pois como observado nas operações reais no chão de fábrica, quanto maior o número de colaboradores envolvidos em uma movimentação, também maior o número e complexidade dos equipamentos utilizados para realizar este manuseio. Porém é importante ressaltar que esta estimativa carece de mais estudos para que se possa encontrar a taxa mais exata para o caso das movimentações envolvidas para estes tipos de produtos. O objetivo da adição desta componente ao cálculo teve como objetivo considerar o valor de tais custos, os quais possuem relevância segundo entrevistas de estrutura aberta e observações realizadas na empresa “A”. O quadro abaixo mostra o resumo das principais taxas de custos adotadas:

Quadro 4 – Estimativa e proposta de custos do autor por componente.

Produto	Quantidade de mão de obra	Custo por colaborador (R\$/s)	Custo Total Mão-de-obra (R\$/s)	20%Custo equipamentos (R\$/s)	Taxa de custo (R\$/s)
H50	10	0,00568	0,0568	0,01136	0,068
H55	10	0,00568	0,0568	0,01136	0,068
CP50	7	0,00568	0,0398	0,00795	0,048
CP55	7	0,00568	0,0398	0,00795	0,048
CF50	5	0,00568	0,0284	0,00568	0,034
CF55	5	0,00568	0,0284	0,00568	0,034
F50	5	0,00568	0,0284	0,00568	0,034
A50	2	0,00568	0,0114	0,00227	0,014
A55	2	0,00568	0,0114	0,00227	0,014
MP	1	0,00568	0,0057	0,00116	0,007

Fonte: O autor.

O Quadro 4 mostra os valores encontrados e a taxa de custo utilizada para cada componente nas simulações. Foi considerado uma carga horária de 44 horas por semana de trabalho. Estes valores foram convertidos para segundos para facilitar os cálculos dentro da ferramenta, que utiliza em grande parte esta unidade de medida durante a simulação. Portanto, a simulação computará o tempo em segundos de cada deslocamento e irá multiplicar pela taxa de custo indicada na coluna mais à direita para cada componente.

O autor reconhece que as taxas de custos podem sofrer ajustes por meio do salário médio ou um percentual maior ou menor de custo associado aos equipamentos empregados. Contudo, a parte central deste cálculo se mantém intacta, que é a multiplicação do tempo gasto em deslocamentos pelo número de colaboradores envolvidos. A proposta de custos busca traçar um paralelo com a realidade e fornecer uma noção da dimensão dos custos envolvidos.

Evidentemente, a estimativa acima busca calcular um custo direto associado às movimentações, porém é importante lembrar que há custos indiretos envolvidos, especialmente na movimentação dos componentes. Nestes, os próprios operadores que estão diretamente envolvidos nos processos produtivos dos conjuntos náuticos se envolvem no manuseio e, portanto, deixam de trabalhar nas atividades que de fato agregam valor ao produto. Segundo estas observações feitas durante o seu estágio, o autor defende que o custo indireto pode ter valor semelhante ao direto.

Para estimativa do número de viagens necessários para a movimentação de insumos foi utilizado variáveis embutidas nos produtos a serem produzidos e algoritmos. Quando a ordem de produção ou componente passa por algumas estações específicas, é ativado um algoritmo que cria e movimenta os materiais requeridos pela linha de produção nas quantidades especificadas na variável salva na peça ou ordem. As estimativas da quantidade de viagens foram feitas com base nas áreas de laminação de cada componente, o qual o autor teve acesso durante seu estágio. Apesar de não ser exato, esta estimativa visa manter as proporções das quantidades reais de viagens praticadas na fábrica.

Outro fator importante a ser analisado é a questão de como as distâncias foram modeladas. Considerou-se em todos os modelos as movimentações partes e chegam no centro de cada estação de trabalho, portanto, na metade de seu comprimento e largura. Para este trabalho, não foi considerada as movimentações dentro das estações e o layout produtivo detalhado no interior de cada uma delas.

4.5 MODELO BASEADO NA PLANTA REAL E PROPOSTAS

Nesta subseção, será explicado de forma mais detalhada como foi feita a concepção dos modelos, tanto o baseado na planta “A” como os das propostas. Pretende-se com esta parte, mostrar alguns dos pontos chaves e raciocínios por trás de cada uma das propostas, assim como as expectativas iniciais de cada uma delas.

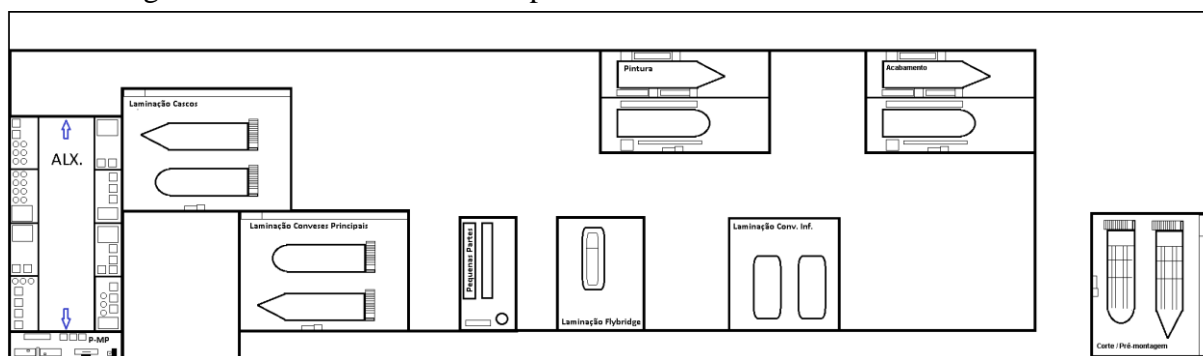
4.5.1 Modelo baseado na planta real

Este modelo foi feito com base nas observações e medições realizadas no chão de fábrica da empresa “A” em determinado momento de sua operação. Esta última consideração é importante, pois o autor presenciou inúmeras mudanças do arranjo interno da planta fabril durante os seus meses de estágio, inclusive com a tentativa de adição de espaços extras para tentar acomodar alguns processos.

Outro fato relevante é a presença de outros produtos que não foram modelados pelo autor neste trabalho, mas que na planta real, dividem a atenção da produção e muitas vezes, clamam por espaços que antes estavam sendo utilizados por um ou outro componente das embarcações. Tendo o foco na produção das embarcações e considerando o altíssimo grau de complexidade que envolveria a inclusão de todos estes fatores no modelo, o autor considerou apenas as movimentações e processos envolvidos na manufatura dos conjuntos náuticos.

A Figura 27 mostra a modelagem da planta “A” realizada na ferramenta utilizada. Pode-se observar que há espaços vazios dentro do pavilhão principal. Estes espaços estavam sendo utilizados por outros produtos e processos no momento analisado. Nota-se também que área corte, perfuração e lixamento fica parcialmente desabrigada na parte externa do galpão principal.

Figura 27 – Modelo baseado na planta real construído na ferramenta adotada.



Fonte: O autor.

Também é interessante analisar o fato de se levar vários grandes componentes para fora e depois trazê-los novamente para o pavilhão principal para etapas de acabamento. Esta disposição tem potencial de acarretar em custos de movimentações de componentes mais elevados.

Um ponto aparentemente positivo é o fato do almoxarifado e estações de processamento de materiais estarem próximos das estações de laminação do casco e conveses, tipicamente os componentes que exigem as maiores quantidades de insumos. Portanto, neste ponto, o arranjo sugere que haverá menores custos de movimentação de materiais.

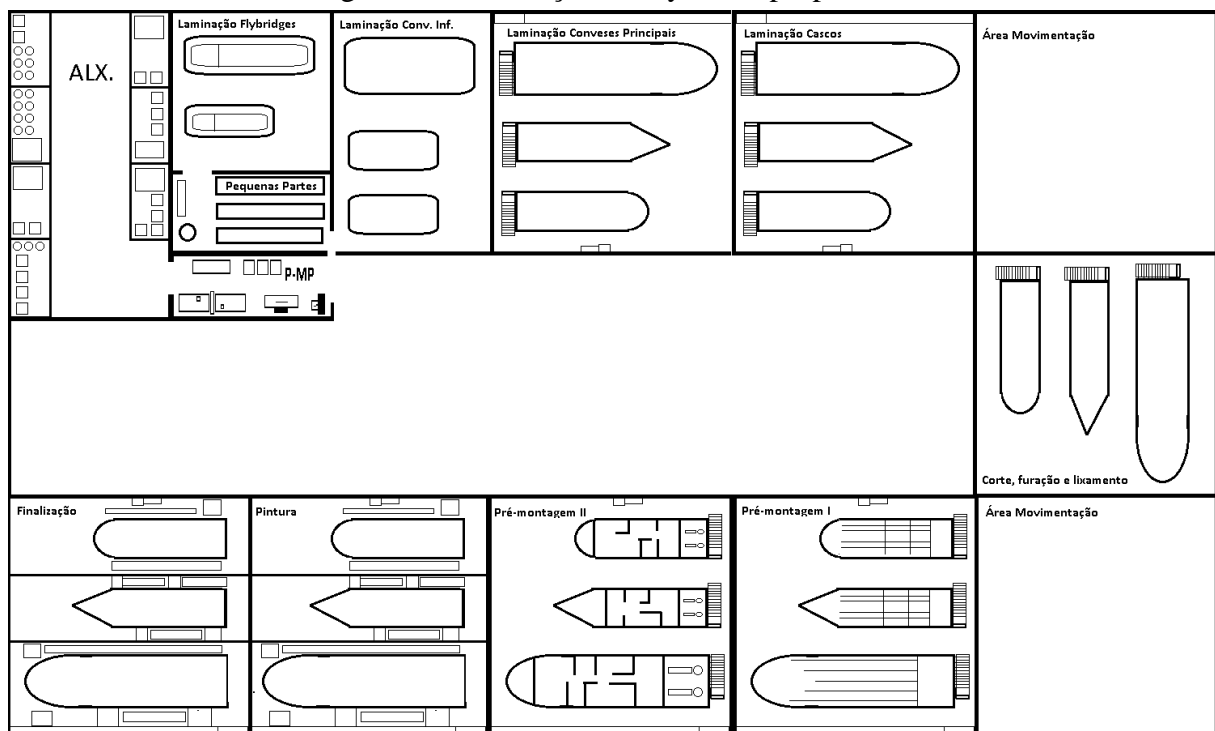
Existem algumas situações que o autor presenciou que não foram modeladas, devido a sua complexidade, mas que impactam nos custos do arranjo. Apenas para citar a mais relevante do ponto de vista produtivo e de movimentação: O desmolde do convés principal (primeira estação de trabalho após o processamento de materiais). O deslocamento ali modelado à direita, invade outras áreas de produção da fábrica, exigindo um complexo trabalho de

remoção de moldes e materiais para se poder desmoldar os conveses. Este e outros fatores não foram modelados, mas possuem impacto negativos nos custos de produção.

4.5.2 Proposta 1

O layout da proposta 1 foi inspirado no arranjo de produção em linha em forma de “U”. Ao mesmo tempo, pensou-se na concentração de mesmos recursos produtivos em áreas correlatas, realizando-se assim uma relação também com o arranjo posicional. A Figura 28 ilustra a proposta em questão.

Figura 28 – Ilustração do layout da proposta 1.



Fonte: O autor.

Pode-se observar que as áreas de laminação ficaram agrupadas em uma espécie de corredor, o qual é servido por uma ponte rolante com capacidade de cerca de 3 toneladas. Este eixo termina a direita na área de movimentação para desmoldagem do casco e para o posicionamento de componentes em estruturas móveis para transporte no restante da linha de produção. Esta disposição também prevê que os maiores componentes fiquem mais próximos da estação de corte, furação e lixamento, podendo assim diminuir os custos de movimentação de componentes.

Nesta área, estão todas as linhas de vácuo da fábrica, pois é onde estão concentrados todos os processos de infusão. Esta medida, pode apresentar um custo inferior na instalação desta infraestrutura.

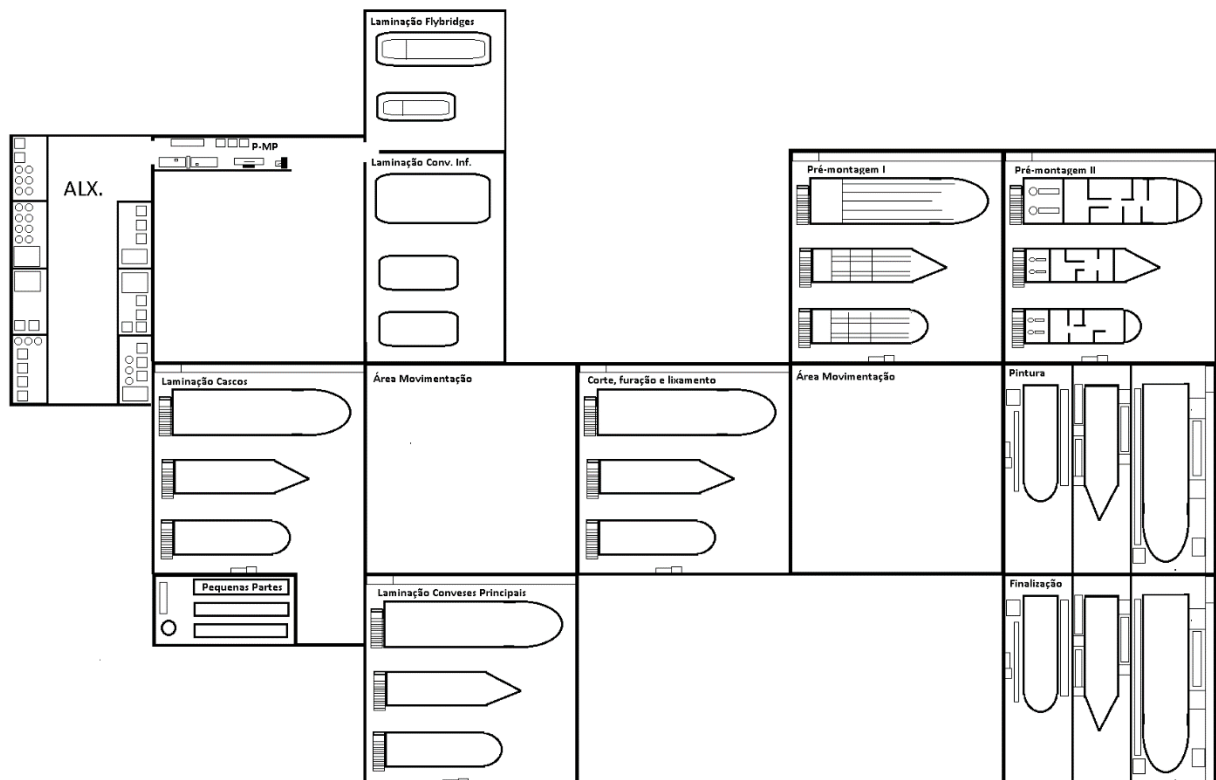
No eixo central, tem-se a estação de processamento de materiais e corredores livres para a circulação dos insumos de produção. Com isso, pretendeu-se reduzir os custos de movimentação dos insumos. No final deste eixo a direita, temos a estação de corte, furação e lixamento, ou seja, ela está em uma extremidade da fábrica a qual dá para uma parede com acesso ao exterior do galpão.

No eixo inferior, tem-se as estações de montagem 1 e 2 e de acabamento posicionadas de forma sequencial, conforme a evolução da produção do produto. Estas novamente são servidas com relativa proximidade pelo eixo central com insumos.

4.5.3 Proposta 2

A segunda proposta possui um enfoque maior da movimentação de componentes. Verificando que todos eles precisam passar pela estação de corte, furação e lixamento, foi elaborado um arranjo onde a área de desmolde do casco e colocação de componentes sobre estruturas móveis está mais próxima da área onde são realizadas a produção das peças. Estas mudanças, juntamente com a maior proximidade entre produção de anteparas os cascos, visam melhorar os custos com deslocamento de partes. A Figura 29 ilustra a proposta 2 e os pontos destacados durante este item.

Figura 29 – Ilustração do layout da proposta 2.



Fonte: O autor.

Outra implementação neste sentido, é um caminho alternativo o qual os *flybridges* podem adotar quando saem da estação de corte, podendo assim se dirigirem diretamente para as etapas de acabamento. Deste modo, não é preciso que estes componentes cruzem as etapas de montagem do casco para chegar no seu próximo destino. Portanto, este ponto também colabora com a redução dos custos de movimentação dos componentes.

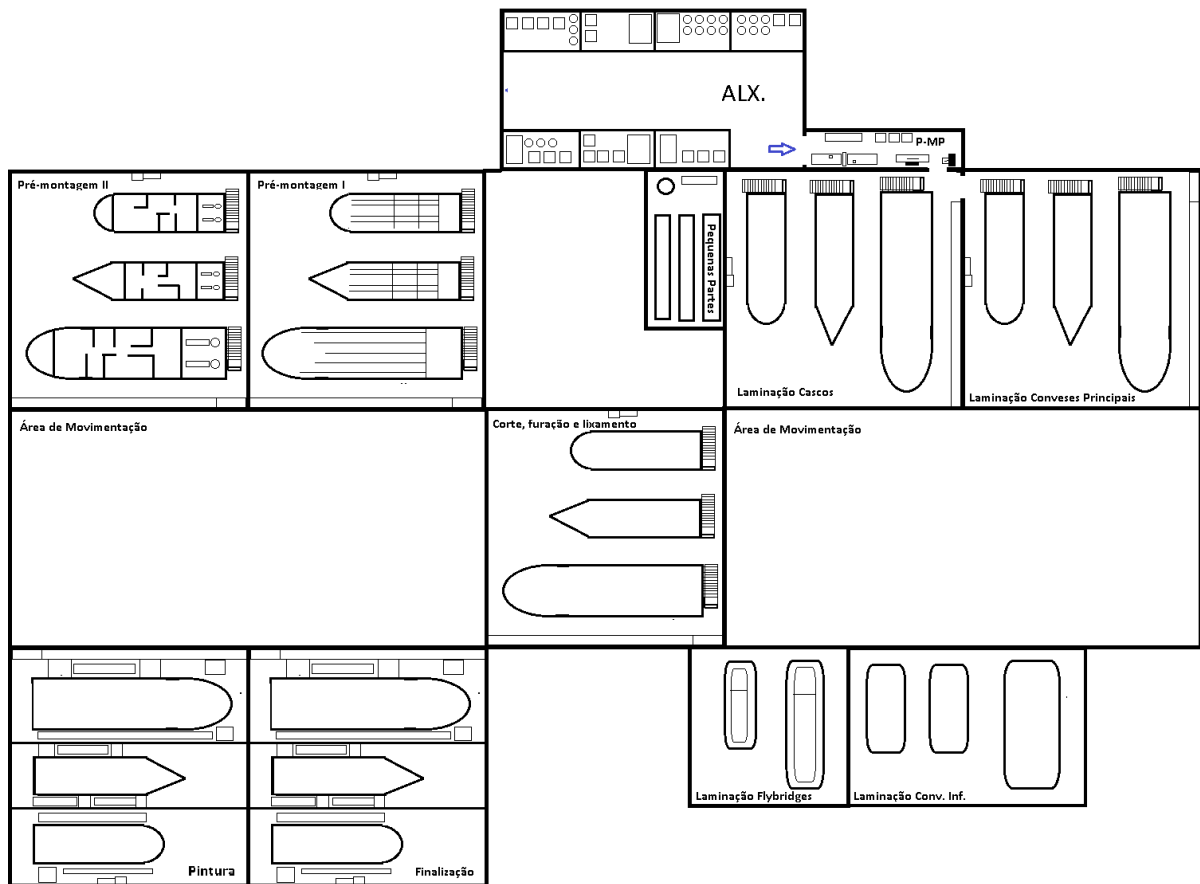
Uma das desvantagens é que as distâncias percorridas pelos insumos foram alargadas para chegarem em algumas estações, em especial nas de montagem 1 e 2. Este fato pode impactar de maneira negativa os custos de transporte de materiais.

Como pode ser observado na Figura 29, este layout apresenta uma dispersão maior das estações de laminação e montagem, praticamente havendo uma divisão da fábrica entre esquerda e direita da estação de corte. Eventuais custos de instalação dos equipamentos necessários para a manufatura e transporte de componentes deve ser analisado com maior atenção.

4.5.4 Proposta 3

A proposta 3 teve como objetivo juntar algumas das ideias das duas propostas anteriores. Buscou-se, portanto, o transporte de insumos mais eficiente ao mesmo tempo que alocando as estações próximas da de corte, furação e lixamento para a redução de custos de transporte de componentes. A Figura 30 mostra a terceira proposta, sendo alguns comentários para a segunda estação também válidos para esta proposta.

Figura 30 – Ilustração do layout da proposta 3.



Fonte: O autor.

4.6 RESULTADOS

Para se obter os resultados foram simulados todos os modelos para uma produção de 24 conjuntos de embarcações, realizando a devida coleta dos dados de movimentação de cada um deles. Após isso, foi feita a elaboração de gráficos para um melhor acompanhamento visual do desempenho de cada uma das propostas diante o modelo baseado na realidade.

O Quadro 5 mostra o resumo dos dados colhidos referentes aos custos de movimentação. Os valores de custo por conjunto, nas primeiras duas linhas do Quadro 5, se referem aos custos totais de movimentação obtidos, por modelo, dividido pelo número de conjuntos concluídos das embarcações 50 e 55 pés, respectivamente, ou seja, o custo médio de deslocamentos efetuado para a fabricação de cada embarcação do tipo indicado, contendo neste valor todos os valores associados tanto a matérias primas como movimentação de componentes. Em seguida há os custos totais de movimentações de matérias primas, utilizados nas estações de trabalho e em seguida o custo total de deslocamento dos componentes pela linha de produção. Por último, temos a o custo total, que é a soma dos custos de movimentação de matérias primas e dos componentes.

Quadro 5 – Resumo dos custos obtidos em simulação.

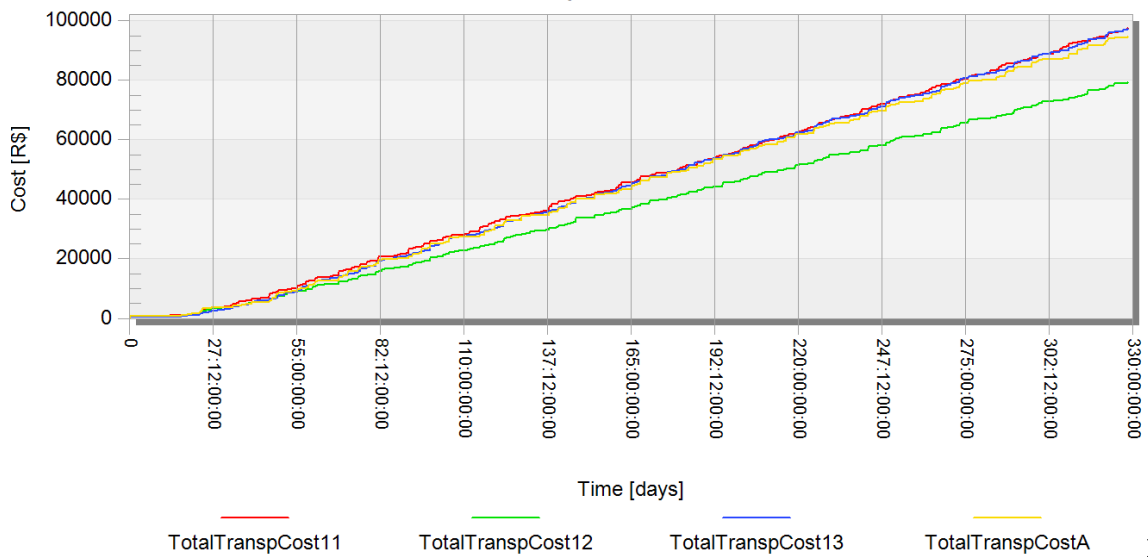
MODELO	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3	Real
Custo por conjunto 50 pés	3220,43	2151,87	3273,17	2945,72
Custo por conjunto 55 pés	2647,46	1914,99	3004,78	2579,88
Custo total transp. Matérias primas	23227,25	29551,63	21019,18	27805,98
Custo total transp. componentes	75039,86	49761,01	76277,97	66808,76
Custo Total	98267,11	79312,64	97297,15	94614,74

Fonte: O autor

É importante ressaltar que estes custos foram obtidos por meio da simulação das movimentações e pela soma dos custos de cada objeto dentro da simulação. Estes cálculos foram realizados utilizando variáveis salvas em cada objeto e algoritmos embutidos nas pistas de movimentação, os quais são ativados todas as vezes que o objeto entra e sai das mesmas, realizando-se os cálculos para cada trecho percorrido dentro da simulação. O Quadro 5 mostra a somatória de todas estas movimentações obtidas durante a simulação da produção de 12 embarcações de cada tipo nas três propostas e no modelo baseado na planta real.

Ao se analisar o desempenho final das propostas perante o modelo real, notamos claramente que duas delas (1 e 3) obtiveram valores muito similares entre si e ambos acima do obtido pelo modelo real. Pode-se observar também que a proposta 2 teve um resultado nitidamente muito superior às demais. Para evidenciar mais o fato, a Figura 31 mostra os custos totais de movimentação de cada proposta em um gráfico gerado pela própria ferramenta de simulação. É importante notar que os números 11, 12, 13 e a letra A são usados para se referir as propostas 1, 2, 3 e o modelo real (planta A), respectivamente.

Figura 31 – Custos totais de movimentação dos modelos
Total Transportation Costs



Para se descobrir o principal motivo por trás desta disparidade, deve-se recorrer novamente aos dados apresentados no Quadro 5, os quais mostram que o custo de movimentação de matérias primas é significativamente inferior ao custo de movimentação dos componentes. As Figuras 32 e 33 contêm gráficos que ajudam a visualizar esta predominância.

Figura 32 – Custos totais de movimentação de materiais dos modelos
Materials Transportation Costs

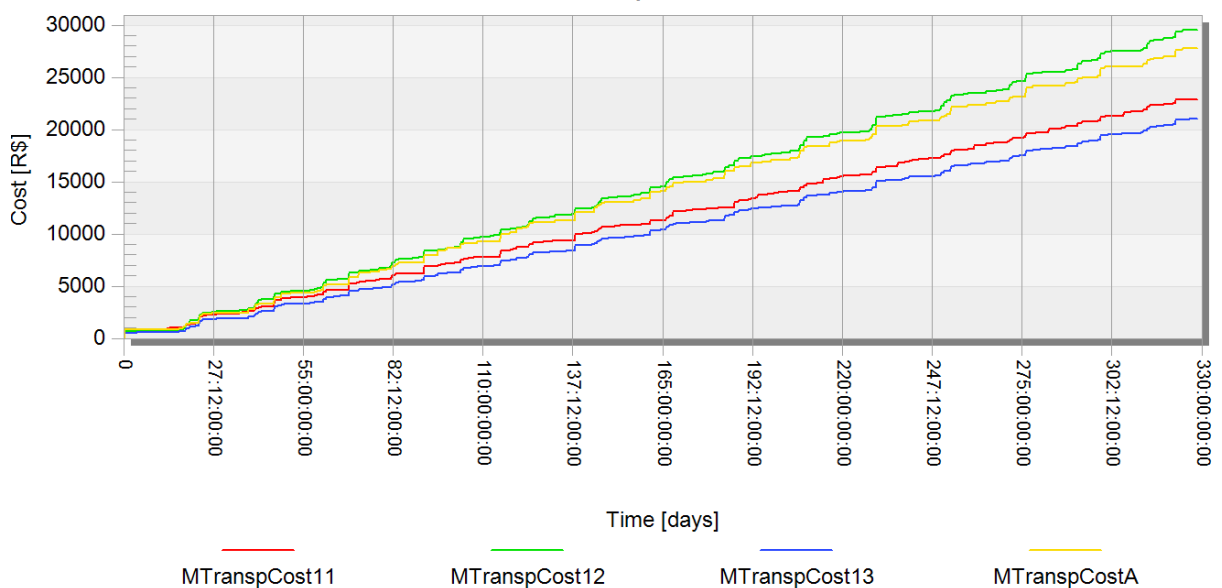
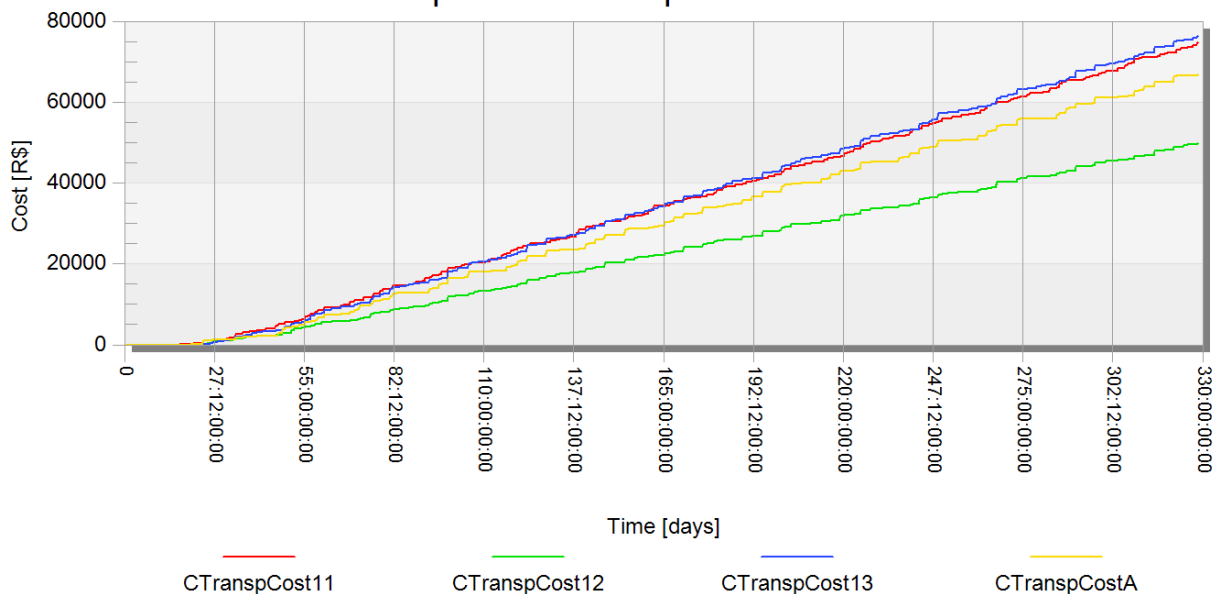


Figura 33 – Custos totais de movimentação de componentes dos modelos
Components Transportation Costs



Fonte: O autor.

Nota-se que os custos envolvidos nas movimentações, a de componentes são bem superiores aos encontrados no transporte de materiais. Trata-se de um fato interessante, pois o número de movimentações feitas para deslocar insumos é muito superior ao número de deslocamentos dos componentes, e as distâncias, normalmente, não são muito diferentes. Porém, o emprego de vários operadores simultaneamente com equipamentos mais caros e a demora com a qual é feita as movimentações das grandes peças, mostrou-se ser muito mais custoso do que as grandes quantidades de deslocamentos mais rápidos e baratos dos insumos. Esta constatação possui uma grande relevância para projetos de novas propostas de layout que possam vir a ser elaborados após este trabalho.

Ainda na direção da predominância dos custos de movimentação dos componentes, pode-se constatar ao analisar as propostas 1 e 3, que as peças que mais geram impacto neste sentido são os cascos e conveses. Estes são partes de grandes dimensões que necessitam de um número maior de colaboradores e tempo para fazer sua movimentação. Em parte, o desempenho da proposta 3 ficou abaixo da primeira devido a posição destes componentes. Portanto, destaca-se a importância do posicionamento destas estações.

Pode-se observar também na proposta 3, que a mesma possui o menor valor de transporte de materiais no comparativo com os outros modelos. Realizando uma análise, verifica-se que o fato está associado com a maior proximidade da estação de processamento de materiais das estações de laminação dos cascos e conveses principais, as duas com maior

demanda de insumos na fábrica. Isso sugere que uma proposta de layout eficiente no transporte de insumos deve ter esta proximidade em vista.

Outro aspecto importante a ser salientado na comparação das propostas com o modelo baseado na planta real é o da flexibilidade para a produção dos componentes do iate 80 pés. O dimensionamento das estações prevendo esta nova embarcação possui um impacto significativo nas distâncias percorridas por insumos e componentes dentro da planta fabril. Devido a isso e a proximidade dos valores obtidos durante a simulação, é possível estimar que, se estes layouts forem redimensionados para os produtos 50 e 55 pés, os mesmos podem apresentar custos de movimentação menores do que o modelo real.

Observa-se também que para a produção de 12 pares de conjuntos de iates 50 e 55 pés foi utilizado mais de um ano de trabalho, porém esta informação já havia sido adiantada em seção anterior do texto e confirmam uma tendência observada dentro da empresa A. Este dado, apesar de poder ser estimado de maneiras mais simples do que uma simulação computacional, confirmam que para se atender o prazo de um ano, serão necessárias tomar medidas adicionais. Embora não seja o objetivo deste trabalho, é interessante analisar que a ferramenta pode ser útil para auxiliar o planejamento da produção.

4.7 LAYOUT ESCOLHIDO

Com a análise dos resultados acima e considerando como critério mais relevante o custo total de movimentações, o layout escolhido é o da proposta 2. Neste aspecto, mostrou possuir custos significativamente menores dos que os demais arranjos, reduzindo assim desperdícios e aumentando o tempo disponível da mão de obra para processos que agregam valor aos produtos produzidos.

Como já mencionado em partes anteriores deste trabalho, existem vários critérios para a escolha de um arranjo produtivo. Apesar dos custos de movimentação serem um forte indicador de desempenho, questões como os equipamentos instalados, legislações, questões geográficas, entre outras, devem ser mensuradas e analisadas antes da adoção de um layout para a produção.

5 CONCLUSÃO

A indústria náutica possui um papel importante na economia brasileira, em especial a de Santa Catarina, e ainda possui potencial de crescimento e geração de empregos de qualidade. Neste contexto, medidas para aumentar a eficiência de estaleiros e seus fornecedores são muito bem-vindas. Isso inclui, evidentemente, estudos sobre o layout produtivo.

Buscando tecnologias cada vez mais utilizadas na indústria naval de ponta, o autor realizou um estudo utilizando simulação computacional de instalações fabris para propor um arranjo produtivo que fosse útil e interessante para um fornecedor de grandes componentes náuticos. Este trabalho utilizou de informações e experiências adquiridas em uma fábrica real, aumento a relações entre os modelos elaborados e a realidade.

Após a realização e simulação dos modelos real e das três propostas foi constatado que os custos de movimentação dos componentes possuem grande relevância e são predominantes sobre os custos de matéria prima, apesar da frequência destes ser muito superior em comparado ao primeiro tipo. Ao analisar os resultados, ficou claro que as estações de trabalho que produzem e processam os cascos e conveses principais possuem o maior impacto entre as demais, tanto nos custos de deslocamento destes componentes como no da movimentação de insumos. Estas constatações podem ser de grande valor para projetos futuros de layouts.

Feita a comparação de todas as propostas, foi escolhida a segunda como proposta deste trabalho, pela mesma possuir índices de desempenho muito superiores às demais. Porém o autor relembra que, com base na bibliografia consultada e experiência pessoal, muitos outros aspectos pesam na decisão de se optar por um arranjo produtivo específico. Portanto, não se dispensam análises complementares para uma escolha definitiva.

Este trabalho também elaborou um levantamento bibliográfico sólido sobre os assuntos relacionados ao tema e buscou apresentar os processos e ferramentas utilizados em uma indústria de peças em materiais compósitos em fibra de vidro. Também foram explicados os parâmetros utilizados na análise assim como aspectos da ferramenta utilizada, além da elaboração de três propostas com seleção da mais promissora. Com isso, o presente trabalho atingiu, com maior ou menor profundidade, os seus objetivos específicos.

Ao longo da realização do presente trabalho, foram identificadas algumas limitações. Uma delas se dá pela necessidade de haver uma análise mais completa de outros aspectos importantes para a escolha de um layout, como os custos de instalação e operação dos equipamentos utilizados na movimentação das partes, assim como a quantidade necessária dos mesmos para cada uma das propostas. Outro aspecto é a ausência de uma análise das

movimentações dos colaboradores da fábrica, as quais podem apresentar também uma elevação de custos que não foi considerada no presente trabalho. Por fim, houveram também dificuldades na estimativa de uma área adequada para o almoxarifado das propostas, havendo a necessidade estudos mais aprimorados para uma melhor estimativa.

O presente trabalho buscou contribuir para o avanço do emprego das tecnologias de modelagem e simulação em plantas fabris no Brasil. Apesar de ser aplicado para solucionar o layout de uma indústria específica, a ideia deste trabalho pode ser aproveitada também para as demais indústrias náuticas e, até mesmo, indústrias estaduais e nacionais dos mais diversos setores produtivos.

Por fim, o autor teve a experiência e reconheceu as possibilidades da elaboração de plantas fabris virtuais aliadas à sua contraparte real. Tal abordagem já está sendo implementado com sucesso em estaleiros navais de alta tecnologia, tanto dos setores civis como militares. O presente trabalho buscou mostrar e contribuir com uma das várias possibilidades desta abordagem em fábricas brasileiras, especialmente as do setor náutico do Brasil.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a elaboração do presente trabalho, o autor pode constatar muitas possibilidades para estudos futuros, tanto dentro da mesma proposta como em outros assuntos ligados a operação e planejamento da produção de uma fábrica, especialmente no setor náutico e de produção de componentes em materiais compósitos. Algumas delas serão apresentadas a seguir:

- a) aprimoramento dos modelos propostos para a consideração da movimentação dos colaboradores pelo chão de fábrica, buscando estimar desperdícios associados com este tipo de movimentação;
- b) estudo do dimensionamento do almoxarifado utilizando a modelagem e simulação de processos e suas demandas para a determinação de uma área ótima de armazenamento;
- c) realização de um estudo para auxiliar no planejamento das compras de insumos de uma fábrica utilizando de modelagem e simulação de processos;
- d) utilizar modelagem e simulação para analisar a confiabilidade dos equipamentos e processos da fábrica, realizando sugestões sobre o planejamento da manutenção nas instalações.
- e) dentro do contexto da sustentabilidade, sugere-se o tema sobre a reciclagem e reaproveitamento de subprodutos gerados durante a fabricação de componentes náuticos.

Embora tenham sido citadas apenas cinco sugestões, a experiência do autor com a ferramenta utilizada sugere que é possível estudar e analisar uma ampla gama de aspectos dentro de plantas fabris com a utilização de simulações. É possível realizar por meio destes vários estudos nos campos da logística, manutenção, planejamento da produção, previsão de cenários, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOBAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CONSTRUTORES DE BARCOS E SEUS IMPLEMENTOS (Brasil). **Indústria Náutica Brasileira: fatos e números 2012**. Rio de Janeiro: Fórum Náutico Fluminense, 2012. 27 slides, color.
- BANGSOW, Steffen. **Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: usage and programming with examples and solutions**. Zwickau: Springer, 2010. 308 p.
- BARD, Jonathan F.. Benchmarking simulation software for use in modeling postal operations. **Computers & Industrial Engineering**. [S.I.], p. 607-625. 25 nov. 1996.
- BRASIL. Caio Márcio de Ávila Martins Pinhão. Bndes. **Estaleiro de Reparo e Manutenção Naval**. Rio de Janeiro: Bndes, 2019. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19100/1/PRArt214969_Estaleiro%20de%20Oreparo%20e%20. Acesso em: 06 out. 2021.
- FARIA, Alfredo R. de. **Introdução a Compósitos**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, [20--]. 59 slides, color.
- GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 2001.
- GURGEL, Floriano do Amaral. **Glossário de engenharia de produção**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2003.
- HITOMI, Katsundo. **Manufacturing Systems Engineering: a unified approach to manufacturing technology, production management, and industrial economics**. 2. ed. Londres, Bristol: Taylor & Francis, 1996. 536 p.
- HLUPIC, V.; IRANI, Z.; PAUL, R. J.. Evaluation Framework for Simulation Software. **Advanced Manufacturing Technology**. Londres, p. 365-388. maio 1999.
- HLUPIC, V.; PAUL, R.. Methodological approach to manufacturing simulation software selection. **Computer Integrated Manufacturing Systems**. [S.I.], p. 49-55. 01 fev. 1996.
- HOLDER, Karen. Selecting Simulation Software: an approach to the problem of selecting software for a given modelling situation. **Or Insight**, [S.I.], v. 3, n. 4, p. 19-24, 1990.
- LAW, Averill M.. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **SIMULATION MODELING AND ANALYSIS**. 2. ed. Singapura: Mcgraw·Hill, Inc, 1991.
- MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P.. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MES, Martijn R.k.. **Simulation Modelling using Practical Examples: a plant simulation tutorial**. Enschede: University Of Twente, 2017. 192 p.

MOURA, Delmo Alves de. **Análise dos principais segmentos da indústria marítima brasileira**: estudo das dimensões e dos fatores críticos de sucesso inerentes à sua competitividade. 2008. 304 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOURA, Delmo Alves de; BOTTER, Rui Carlos. Uma visão geral do segmento da construção náutica, turismo e lazer no Brasil. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA NAVAL, TRANSPORTE MARÍTIMO E ENGENHARIA PORTUÁRIA, 22., 2011, Buenos Aires. **Anais [...]**. [S.I.]: Copinaval, 2011. p. 1-20.

NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011.

NASSEH, Jorge. **Métodos Avançados de Construção em Composites**. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2007.

NIKOUKARAN, Jalal; PAUL, Ray J.. Software selection for simulation in manufacturing: a review. **Simulation: Practice and Theory**. Londres, p. 1-14. 1 out. 1998.

ORTH, Cíntia Madureira; BALDIN, Nelma; ZANOTELLI, Cladir Teresinha. IMPLICAÇÕES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO COMPÓSITO PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO SOBRE O MEIO AMBIENTE E A SAÚDE DO TRABALHADOR: o caso da indústria automobilística. **Produção Online**: Revista científica eletrônica de engenharia de produção, Florianópolis, v. 2, n. 12, p. 537-556, abr. 2012.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: Unicenp, 2007.

PIERAMI, Felipe Antonio Gobbo. **Layout de Estaleiros Voltado para a Construção de Iates**. 2018. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Engenharia Naval e Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

RAJAK, Dipen Kumar; PAGAR, Durgesh D.; MENEZES, Pradeep L.; LINUL, Emanoil. Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. **Polymers**. [S.I.], p. 1-37. out. 2019.

ROBINSON, Stewart. **Simulation**: the practice of model development and use. West Sussex: John Wiley & Sons, 2004. 339 p.

SANTA CATARINA. SEBRAE. . **Estudo do Setor Náutico de Santa Catarina**. 2014?. Disponível em:

<[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/393d3e203c23b3d975f3cae415488454/\\$File/5747.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/393d3e203c23b3d975f3cae415488454/$File/5747.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2019.

SANTOS, Eliton Smith dos. **Simulação Computacional no Auxílio à Tomada de Decisão nos Processos Industriais**: utilizando a ferramenta tecnomatix plant simulation 9.0. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia - Itec, Universidade Técnica do Pará, Belém, 2011.

SIEMENS PLM. **Plant Simulation for Shipyards**: simulation, visualization and optimization of shipbuilding processes. 2015. Disponível em: https://www.plant-simulation.de/wp-content/uploads/Plant_Simulation_Shipyards.pdf. Acesso em: 08 nov. 2021.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOKOLOWSKI, John A.; BANKS, Catherine M.. **Principles of Modeling and Simulation**: a multidisciplinary approach. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

SONG, Young Joo; WOO, Jong Hun. New shipyard layout design for the preliminary phase & case study for the green field project. **International Journal Of Naval Architecture And Ocean Engineering**. [S.I.], p. 132-146. mar. 2013.

STEVENSON, Willian J.. **Administração das operações de produção**. Rio de Janeiro: Ltc, 2001.

VIEIRA, Kellen Bicho. **Utilização de Software Comercial para Otimização de Fluxo de Produção**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

APÊNDICE A – ALGORITMOS DE MEDIÇÃO DE CUSTO

```

-- Method to start the time analyse of a transportation and save in a UserDefined Attribute
@.TimeShort := EventController.SimTime

-- Set conveyor speed
?.speed := @.mov_speed

Fonte: O autor (2022)

]- Method to count the transportation costs per unit during the manufacturing processes
-- Update UserDefineds of parts

@.T_Distance := @.T_Distance + ?.length
@.TimeShort := EventController.SimTime - @.TimeShort
@.TranspTime := @.TranspTime + @.TimeShort
@.M_T_Cost := @.TranspTime*@.CostRate

-- Update global variables
] if @.Name = "Material" then
    MTranspDist11 := MTranspDist11 + @.T_Distance
    MTranspTime11 := MTranspTime11 + @.TranspTime
    MTranspCost11 := MTranspCost11 + @.M_T_Cost
else
]   if @.Name = "B50" or @.Name = "H50" or @.Name = "LD50" or @.Name = "MD50" or @.Name = "F50" then
        C50TranspDist11 := C50TranspDist11 + @.T_Distance
        C50TranspTime11 := C50TranspTime11 + @.TranspTime
        C50TranspCost11 := C50TranspCost11 + @.M_T_Cost
    else
]       if @.Name = "B55" or @.Name = "H55" or @.Name = "LD55" or @.Name = "MD55" then
            C55TranspDist11 := C55TranspDist11 + @.T_Distance
            C55TranspTime11 := C55TranspTime11 + @.TranspTime
            C55TranspCost11 := C55TranspCost11 + @.M_T_Cost
        else
]           if @.Name = "B80" or @.Name = "H80" or @.Name = "LD80" or @.Name = "MD80" or @.Name = "F80" then
                C80TranspDist11 := C80TranspDist11 + @.T_Distance
                C80TranspTime11 := C80TranspTime11 + @.TranspTime
                C80TranspCost11 := C80TranspCost11 + @.M_T_Cost
            -
            end
        -
        end
    -
    end
- end

-- Total variables (without 80' parts, for comparison reasons)

CTranspDist11 := C50TranspDist11 + C55TranspDist11
CTranspTime11 := C50TranspTime11 + C55TranspTime11
CTranspCost11 := C50TranspCost11 + C55TranspCost11

TotalTranspDist11 := CTranspDist11 + MTranspDist11
TotalTranspTime11 := CTranspTime11 + MTranspTime11
TotalTranspCost11 := CTranspCost11 + MTranspCost11

-- Move to next station

@.move

```

Fonte: O autor.

ANEXO A – CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE PROGRAMA DE SIMULAÇÃO

368 V. Hlupic et al.

Table 1. Criteria for general features.

General features	
Criteria	Classification
1. Type of package	Data driven simulator Data driven simulator with additional programming capability
2. Type of simulation	Simulation language Discrete event Continuous
3. Purpose	Both General purpose Manufacturing oriented Other special purpose
4. Terminology	General terminology Application specific terminology
5. Modelling approach	Process based Activity based Event based Three phase Combination
6. Formal logic	Required Not required
7. Representativeness of models	High Medium Low
8. Ease of conceptualisation of simulation logic	Easy Not easy
9. Modelling transparency	High Medium Low
10. Hierarchical model building	Possible Not possible
11. Run-time applications	Provided Not provided
12. Conceptual model generator	Provided Not provided
13. Versions of software for different operating systems	UNIX Windows 3.1 Windows 95 Windows NT OS/2
14. The length of entity name	Long (e.g. unlimited) Medium Short (e.g. up to 3 characters)
15. Entity name	User defined System defined
16. Experience required for software use	None Some Substantial
17. Formal education in simulation required for software use	None Some Substantial
18. User friendliness	High Medium Low
19. Ease of learning	Easy Not easy
20. Ease of using	Easy Not easy
21. Initialisation	Possible Not possible
22. Specification of time units	Possible Not possible
23. Integration of operations (data gathering, simulation model development, output data analysis)	Provided Not provided
24. Real-time simulation models	Possible Not possible
25. Distributed simulation on network environment	Possible Not possible
26. Specification of length measures	Possible Not possible

Fonte: Hlupic et al. (1999).

Table 2. Criteria for visual aspects.

Criteria	Classification
1. Animation	Possible
2. Type of animation	Not possible
3. Timing of animation	Full animation
4. Type of graphical display	Semi-animation (state-to-state)
5. 3D graphics	Concurrent animation
6. Integrity of graphics	Post-processed animation
7. Animation layout development	Icons
8. Multiple screen layout	Symbols
9. Facility for customising the view of the model	Characters
10. Playback mode	Provided
11. Importing graphics and multimedia elements	Not provided
12. Animation with visual clock	Integrated to the package
13. Icon editor	Separate
14. Screen editor	Concurrent with model development
15. Ease of icon development	Before model development
16. Ease of using screen editor	After model development
17. Types of icons	Flexible
18. Icon library	Possible
19. Merging icon files	Not possible
20. Resizing of icons	Provided
21. Rotating of icons	Not possible
22. Changing the colour of the icons	Provided
23. Zoom function	Not provided
24. Panning	Provided
25. Switching on/off the graphic	Not provided
26. Switching between screens	Provided
27. Switching between character and icon graphics	Not provided
28. Print screen facility	Easy
29. Virtual screen	Not easy
30. Indication of the element status	Easy
31. Changing the colour of the element status display	Not easy
32. Limitation on number of displayed icons	Bit mapped
33. Number of icons stored in icon library	Pixel based
34. Change of icons during simulation	Provided
35. Icons with multiple colours	Not provided
36. Virtual reality features	Possible
37. Easy copying of icons	Not possible
	Exists
	Does not exist
	Large
	Medium
	Small
	Possible
	Not possible
	Provided
	Not provided
	Provided
	Not provided
	Possible
	Not possible

Fonte: Hlupic et al. (1999).

Table 3. Criteria for coding aspects.

Coding aspects	
Criteria	Classification
1. Programming flexibility	Provided No additional programming provided
2. Program generator	Provided Not provided
3. Access to source code	Possible Not possible
4. Readability of source code	High Medium Low
5. Readability of added code	High Medium Low
6. Self-documentation of added code	High Medium Low
7. Precision of added code	High Medium Low
8. Comprehensiveness of added code	High Medium Low
9. Link to a lower language	Possible Not possible
10. Data storage, retrieval and manipulation facilities	Provided Not provided
11. Quality of data storage, retrieval and manipulation facilities	High Medium Low
12. Built-in functions	Provided Not provided
13. User functions	Possible Not possible
14. Global variables	Provided Not provided
15. Names of functions, variables and attributes	User defined System defined
16. Writing comments for logical elements	Possible Not possible
17. Type of time variable	Real Integer
18. Type of translation	Compilation Interpretation
19. Text/code manipulation	Possible Not possible
20. Length of the lines in coding editor	Large Medium Small
21. Support of programming concepts	Provided Not provided
22. Quality of the support for programming concepts	High Medium Low
23. Interface to user written programs	
24. Object oriented programming concepts	Provided Not provided

Fonte: Hlupic et al. (1999).

Table 4. Criteria for efficiency.

Efficiency	
Criteria	Classification
1. Robustness	High Medium Low
2. Level of detail	High Medium Low
3. Number of elements in the model	Large Medium Small
4. Model reusability	Possible Not possible
5. Model status saving	Possible Not possible
6. Automatic saving	Possible Not possible
7. Interaction	Possible Not possible
8. Adaptability to model changes	High Medium Low
9. Multitasking (i.e. Performing several tasks at the same time)	Possible Not possible
10. Model chaining (i.e. linking outputs from different models)	Possible Not possible
11. Exit to the operating system within the package	Possible Not possible
12. Compilation time	Long Medium Short
13. Model execution time	Long Medium Short
14. Case sensitivity	Provided Not provided
15. Conversion of numbers (real vs. integer)	Provided Not provided
16. Various queuing policies	Provided Not provided
17. Number of queuing policies	Large Medium Small
18. Time scale for model building	Large Medium Small
19. Reliability	High Medium Small
20. Pre-existing generic models	Provided Not provided
21. Merging of models	Provided Not provided
22. Editing partially developed models	Possible Not possible
23. Automatic model building	Provided Not provided
24. Ease of model editing	Easy Not easy
25. Interactive handling of parameters during experimentation	Possible Not possible
26. Specification of part flow by a mouse	Provided Not provided

Fonte: Hlupic et al. (1999).

Table 5. Criteria for modelling assistance.

Modelling assistance	
Criteria	Classification
1. Prompting	Provided Not provided
2. Quality of prompting	High Medium Small
3. Modularity	Possible Not possible
4. Model and data separation	Possible Not possible
5. Facility for designing reusable user defined elements	Provided Not provided
6. Libraries and templates of simulation objects	Provided Not provided
7. Warning messages which for operations which affect the model file (e.g. overwriting, closing file not saved)	Provided Not provided
8. Warning messages for operations which affect model currently developed	Provided Not provided
9. Context sensitive prompt to facilitate model development	Provided Not provided
10. Undo/redo commands	Provided Not provided
11. Automatic connection between elements	Provided Not provided
12. Use of mouse	Possible Not possible
13. One-line help	Provided Not provided
14. Quality of on-line help	High Medium Low
15. Search facilities within help	Provided Not provided
16. Help on system messages	Provided Not provided
17. Printing help text	Possible Not possible
18. Documentation notes for inserting comments concurrently with model development	Provided Not provided
19. Quality of facility for documentation notes	High Medium Low
20. Text editor as integral part of the package	Provided Not provided
21. Automatic editing of data	Provided Not provided

Fonte: Hlupic et al. (1999).

Table 6. Criteria for testability.

Testability	
Criteria	Classification
1. Logic checks	Provided Not provided
2. Interactive error messages	Provided Not provided
3. Quality of error messages	High Medium Small
4. Moment of error diagnosis	Model entry Compilation Model execution Combination
5. Ease of debugging	Easy Not easy
6. Display of function values	Possible Not possible
7. Display of attributes	Possible Not possible
8. Access to attributes	Possible Not possible
9. Display of variables	Possible Not possible
10. Display of element's state	Possible Not possible
11. Dynamic display of capacity	Possible Not possible
12. Display of the workflow path	Provided Not provided
13. Display of events on the screen	Provided Not provided
14. Display of part position within element	Provided Not provided
15. Facility for immediate user actions	Provided Not provided
16. List files (list of model entities and parameters)	Provided Not provided
17. Echo	Provided Not provided
18. Trace files (showing events and entity status)	Provided Not provided
19. Explode function (showing a state of an element)	Provided Not provided
20. List of used elements	Provided Not provided
21. Backward clock	Provided Not provided
22. Step function (event to event jumping)	Provided Not provided
23. Flow analysis	Provided Not provided
24. Interactive debugger	Provided Not provided
25. Display of parts flow tracking record collected during simulation run	Provided Not provided
26. Audible alarms	Provided Not provided
27. Rejection of illegal inputs	Provided Not provided

Fonte: Hlupic et al. (1999).

Table 7. Criteria for software compatibility.

Software compatibility	
Criteria	Classification
1. Integration with spreadsheet packages	Possible Not possible
2. Integration with statistical packages	Possible Not possible
3. Integration with word processors	Possible Not possible
4. Integration with computer-aided design software	Possible Not possible
5. Integration with database management system	Possible Not possible
6. Integration with expert systems	Possible Not possible
7. Integration with manufacturing requirements planning software	Possible Not possible
8. Integration with scheduling software	Possible Not possible

Fonte: Hlupic et al. (1999).