

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

RAFAEL ZIANTONIO

**ESTUDO DE CONSTRUÇÃO DE MOLDES DE EMBARCAÇÕES EM PLÁSTICO
REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO POR MEIO DE PROTÓTIPO EM ESCALA
REDUZIDA**

Joinville

2016

RAFAEL ZIANTONIO

**ESTUDO DE CONSTRUÇÃO DE MOLDES DE EMBARCAÇÕES EM PLÁSTICO
REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO POR MEIO DE PROTÓTIPO EM ESCALA
REDUZIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado com requisito parcial para a obtenção
do título de bacharel em Engenharia Naval, no
Curso de Engenharia Naval da Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de
Joinville.

Orientador: Dr Ing.Gabriel Benedet Dutra

Joinville

2016

RAFAEL ZIANTONIO

**ESTUDO DE CONSTRUÇÃO DE MOLDES DE EMBARCAÇÕES EM PLÁSTICO
REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO POR MEIO DE PROTÓTIPO EM ESCALA
REDUZIDA.**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro Naval, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 01 de Dezembro de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Gabriel Benedet Dutra, Dr Ing.

Orientador

Prof. Luiz Eduardo Bueno Minioli, Prof Eng.

Prof. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, Dr. Eng.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por me dar saúde, paciência e motivação para seguir em busca de meus sonhos.

Agradeço aos meus pais pela educação e condição de ser e me tornar o cidadão com discernimento para absorver bem o conhecimento durante a carreira acadêmica, assim como manter uma boa convivência de compreensão e cooperação em grupo. E a todos os meus familiares que com motivação me deram forças para me manter no foco.

Em especial a minha namorada e meu amor, que esteve sempre presente em minha formação pessoal e acadêmica contribuindo com paciência, companheirismo e muito carinho para que eu pudesse realizar meus projetos e ter a consciência tranquila para atingir meus objetivos.

Agradeço ao meu orientador e professor Dr. Gabriel Benedet Dutra, que com conhecimento, paciência ajudou na composição desse trabalho, se mostrando sempre disponível a atender nos momentos necessários.

Agradeço aos meus supervisores de estágio Ricardo G. Gallo, Carlos Nass, Tomás Hernández por possibilitarem a realização de algumas etapas deste trabalho dentro da empresa Brunswick.

Agradeço em especial e com enorme gratidão ao modelista Valmir Vollmann também da empresa Brunswick, que compartilhou tempo e conhecimento para instruir nos procedimentos com sua vasta experiência.

Agradeço imensamente a todos os meus professores da UFSC por todo conhecimento adquirido, todo conselho dado dentro e fora da sala de aula, com intenção de formar bons cidadãos para sociedade, com conhecimento, ética e respeito.

Agradeço aos amigos que estiveram do meu lado e foram essenciais para cumprir etapas da formação, sendo parceiros nas horas de estudo e em momentos de distração, em especial a todos os membros das equipes Babitonga, Casca e Baja no qual tive a honra de participar e viver momentos de imensa felicidade, conhecimento e glória.

Agradeço a Instituição Universidade Federal de Santa Catarina e servidores pela estrutura e serviços prestados para que eu pudesse concluir todas as etapas da graduação em Engenharia Naval.

RESUMO

Mediante ao crescimento da indústria nacional e a aplicação de novas técnicas e materiais no âmbito naval, o presente trabalho busca por intermédio das pesquisas experimental e bibliográficas, através de uma abordagem descritiva em conceitos, procedimentos e métodos aplicados a construção de moldes e modelos - a base de fibra de vidro reforçado com resina poliéster - expor o que vem sendo usado como evolução no mercado náutico.

Analisando esse cenário o objeto deste trabalho consiste na descrição dos processos de produção para a obtenção de um molde onde suas técnicas de fabricação seguem os mesmos padrões e procedimentos da construção de um casco em escala real, tendo como objetivo um molde com todas as características exigidas pelos requisitos de projetos para ser utilizado posteriormente no Laboratório de Fabricação de Modelos (LabMod), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Joinville, como apoio didático. Ao final de todos os procedimentos o produto final, o molde em escala reduzida, atendeu as expectativas de funcionalidade, acabamento e pode ser melhor estruturado para apoio as futuras laminações.

Com o resultado alcançado é um grande privilégio de poder deixar aos futuros alunos das disciplinas de compósitos um material que possa ser usado de forma didática para aplicação dos conceitos lecionados em sala.

Palavras chave: Moldes. Construção de modelos. Modelos- Fibras de vidro. Molde embarcações.

ABSTRACT

Through the growth of the national industry and the application of new techniques and materials at the naval level, the present work searches through experimental and bibliographical research, through a descriptive approach in concepts, procedures and methods applied to the construction of molds and models - the Based fiberglass reinforced with polyester resin - expose what has been used as evolution in the nautical market.

Analyzing this context, the object of this work is the description of the production processes to obtain a mold where its manufacturing techniques follow the same standards and procedures of the construction of a full scale hull, being a mold with all the characteristics required in the project to be used in the laboratory off models (LabMod), in University of Santa Catarina (UFSC), Joinville Center, as didactic support.

At the end of all procedures the final product, the small scale mold, met the expectations of functionality, finish and can be better structured to support future laminations.

With the result achieved it is a great privilege to be able to leave to the future students of the composite disciplines a material that can be used in a didactic way to apply the concepts taught in the classroom.

Keywords: Molds. Building models. Molds - glass fibers. Template vessels.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Etapas para obtenção da peça: (1) Fabricação do molde ou <i>plug</i> , (2) Obtenção do molde, (3) Laminação da peça e (4) peça final..... | 15 |
| Figura 2: Esquema ilustrativo do processo de <i>hand-lay-up</i> | 21 |
| Figura 3: Esquema ilustrativo da laminação por <i>Spray-up</i> | 22 |
| Figura 4: Esquema ilustrativo do processo de laminação a vácuo..... | 23 |
| Figura 5: Esquema ilustrativo do processo de laminação por infusão..... | 25 |
| Figura 6: Vistas do casco gerado em software computacional..... | 28 |
| Figura 7: Poliuretano em estado líquido sendo depositado no molde..... | 30 |
| Figura 8: Pré-teste realizado em laboratório para conferir estabilidade do material.. | 30 |
| Figura 9: Bloco de poliuretano já faceado | 31 |
| Figura 10: Parte do bloco na mesa de usinagem da CNC | 32 |
| Figura 11: Proa do <i>plug</i> sendo usinada em CNC..... | 33 |
| Figura 12: Proa usinada com detalhe ao ressalto lateral | 33 |
| Figura 13: Colagem e alinhamento das partes usinadas | 34 |
| Figura 14: Selagem do poliuretano para acabamento com massa | 35 |
| Figura 15: Acabamento com massa plástica a base de poliéster..... | 36 |
| Figura 16: Acabamento com massa rápida e adição das abas de suporte a laminação..... | 36 |
| Figura 17: Pintura de <i>gel coat</i> | 37 |
| Figura 18: Manchamento do <i>plug</i> para acabamento com lixas | 38 |
| Figura 19: Superfície pronta para o início da laminação do molde..... | 38 |
| Figura 20: Primeira camada de <i>gel coat</i> para moldes | 44 |
| Figura 21: Camada de tecido combinado com manta | 45 |
| Figura 22: Reforços estruturais do molde | 45 |
| Figura 23: Molde pronto para corte de rebarbas | 46 |
| Figura 24: Molde rebarbado e peça tirada do molde..... | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Profundidade da peça em função do ângulo de desmolde..... | 17 |
| Tabela 2: Relação Manta x Espessura..... | 41 |
| Tabela 3: Relação Tecido x Espessura..... | 41 |
| Tabela 4: Espessuras do laminado | 41 |
| Tabela 5: Materiais e quantidades para a laminação do molde | 43 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------|------------------------------|
| A_{ab} : | Área da aba |
| A_t : | Área Total |
| A_{tc} : | Área Total casco |
| A_{TT} : | Área Total molde |
| C_b : | Coeficiente de bloco |
| g/m^2 : | Gramas por metro quadrado |
| Kg : | Kilograma |
| Kg/m^3 : | Kilograma por metro cubico |
| m^2 : | Metro quadrado |
| mm : | Milímetro |
| m^3 : | Metro cubico |
| m_{gc} : | Massa do <i>gel coal</i> |
| m_{resina} : | Massa da resina |
| V_{gc} : | Volume do <i>gel coal</i> |
| ρ_{gc} : | Densidade do <i>gel coal</i> |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 OBJETIVOS | 12 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 12 |
| 1.1.2 Objetivos específicos | 13 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 2.1 CONCEITO DE MOLDE | 14 |
| 2.2 FABRICAÇÃO DO <i>PLUG</i> /MODELO | 16 |
| 2.2.1 Ângulo de Desmoldagem | 16 |
| 2.3 MATERIAIS COMPÓSITOS | 17 |
| 2.4 PROCESSOS DE LAMINAÇÃO | 19 |
| 2.4.1 Laminação manual (<i>hand-lay-up</i>) | 20 |
| 2.4.2 Laminação <i>Spray-up</i> | 21 |
| 2.4.3 Laminação a Vácuo | 22 |
| 2.4.4 Laminação por Infusão | 24 |
| 3. METODOLOGIA | 26 |
| 4. RESULTADOS | 28 |
| 4.1 OBTENÇÃO DO <i>PLUG</i> : EXPANSÃO DO BLOCO DE POLIURETANO | 29 |
| 4.1.1 Detalhes da expansão do bloco | 29 |
| 4.2 OBTENÇÃO DO <i>PLUG</i> : CORTE E FACEAMENTO | 31 |
| 4.3 OBTENÇÃO DO <i>PLUG</i> : USINAGEM DOS BLOCOS EM CNC | 32 |
| 4.4 OBTENÇÃO DO <i>PLUG</i> : COLAGEM E ALINHAMENTO | 33 |
| 4.5 OBTENÇÃO DO <i>PLUG</i> : SELAMENTO | 34 |
| 4.6 OBTENÇÃO DO <i>PLUG</i> : ACABAMENTO COM MASSA PLÁSTICA | 35 |
| 4.7 OBTENÇÃO DO <i>PLUG</i> : PINTURA DE GEL COAT | 36 |
| 4.8 OBTENÇÃO DO MOLDE | 37 |
| 4.9 OBTENÇÃO DO MOLDE: PLANO DE LAMINAÇÃO | 38 |
| 4.9.1 Cálculo da área de laminação | 40 |
| 4.9.2 Cálculo da espessura do laminado | 40 |
| 4.9.3 Cálculo da quantidade de materiais necessários | 42 |
| 4.10 OBTENÇÃO DO MOLDE: LAMINAÇÃO | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 4.11 OBTENÇÃO DO MOLDE: DESMOLDAGEM..... | 46 |
| 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS | 48 |
| 6. CONCLUSÕES | 49 |
| REFERÊNCIAS..... | 50 |

1. INTRODUÇÃO

O mercado náutico nacional está em crescimento, por isso tem demandado cada vez mais embarcações para suprir suas necessidades de transporte, pesca e lazer. Este cenário necessita de inovações, buscando sempre abranger um público maior, mantendo-se assim economicamente sólido e constante atrativo para investidores.

Com um litoral de 7.367 km de extensão (IBGE, acesso em 2015), o Brasil conta com grande potencial e conseqüentemente uma infinidade de empresas direcionadas a projetos, construções e reparos de embarcações de inúmeras formas e tamanho, distinguindo-se por suas regiões de interesse comercial. Com isso, buscam-se no contexto atual, novas técnicas de construção e projeto de novas embarcações idealizando um produto final cada vez mais eficiente e lucrativo, trazendo soluções inovadoras e de baixo custo para o âmbito de comercial (KLINK, 2006).

A construção de embarcações com o uso de resina e materiais compósitos tem evoluído com o tempo e vai ser o foco de estudo do presente trabalho. Nos moldes atuais esse tipo de construção é recomendado para embarcações de até 50m, em busca de eficiência com a diminuição de peso. Esse processo na indústria se torna bastante repetitivo e muito peculiar em cada empresa a partir de um molde ou *plug* para obtenção do efetivo casco. Compreende então, a partir de um molde pré-definido, realizar processos já conhecidos no meio naval, como laminação manual, *spray-up*, laminação a vácuo e a utilização de núcleos inerciais leves obtendo como produto final o casco para acabamento e instalação dos equipamentos para navegação (NASSEH, 2011).

Contudo, antes desses passos, há processos que, por ser propriedade intelectual de cada empresa, não são muito divulgados, por exemplo a etapa de projeto computacional, de processo de produção do *plug* e de obtenção do molde para laminação de cascos. Visando a redução de custos e a validade dos projetos computacionais, são feitos modelos em escala reduzida, que simulam todo o processo de fabricação do início até o fim, para detectar erros ou possíveis

incoerências de projeto com a realidade. Após todos os testes e as aprovações são iniciados os processos de construção real.

Da mesma forma, no meio acadêmico, a introdução de conceitos teóricos de construção, cálculos para propulsão, resistência ao avanço, estabilidade, resistência em ondas, principalmente análise dimensional e trabalho com escalas para transformar dados reais para teste, com uso de modelos para o estudo do comportamento real, são essenciais.

Analisando esse cenário o presente trabalho consiste na descrição dos processos de produção para a obtenção de um modelo para apoio didático, na qual foi usado o projeto computacional já elaborado em trabalhos anteriores pelo autor, utilizando o software *Free-Ship*, descrevendo a metodologia utilizada atualmente para construção de embarcações, buscando ao final ter um molde para utilização em todos processos de laminação com todas as características exigidas pelos requisitos de projetos, inclusive detalhando as etapas dos processos intermediários, em termos de materiais e processamento, para ser utilizado posteriormente no Laboratório de Fabricação de Modelos (LabMod), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Joinville, como apoio didático.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Construção do molde de um casco em escala reduzida, confeccionado em fibra de vidro e resina poliéster para apoio didático.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Estudar as etapas de construção de moldes de cascos utilizados atualmente na indústria náutica;
- ✓ Realizar o processo de expansão de poliuretano (PU) como material de *plug* / modelo;
- ✓ Usinar o modelo conforme projeto computacional;
- ✓ Realizar todos os processos para fabricação do molde.
- ✓ Comparar os processos utilizados em escala reduzida com processos em escala real.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão abordados assuntos relacionados aos processos de construção de moldes e modelos com intenção de fundamentar os conceitos básicos para o entendimento dos temas abordados no presente trabalho.

2.1 CONCEITO DE MOLDE

É importante ressaltar que cada empresa tem sua “receita” de construção de moldes (ALMACO, s. d.). Nesse projeto serão expostos os conceitos relacionados ao que se refere à construção de moldes de maneira didática. Segundo Almaco (s. d., p. 10) “A peça é o reflexo do molde”, esta frase é uma das mais ouvidas no contexto de compósitos, por isso sua importância para obtenção de moldes e peças mais eficientes.

Moldes geralmente são construídos quando se pretende fazer uma série de peças, falando de embarcações, em média quatro ou cinco unidades mínimas já viabilizaram o uso de moldes para construção seriada (NASSEH, 2011). Sendo que “o primeiro passo para a fabricação de um molde de compósito é a construção do modelo ou *plug*. Oriundo de um software [...], desenho, amostra ou até mesmo a partir de uma peça já pronta, o modelo é o ponto de partida que todas devem seguir” como afirma Almaco (s. d., p. 15).

O modelo ou *plug* é a cópia fiel da peça ou componente que deve ser obtido. Com o modelo ou *plug* em mãos, retira-se o molde e posteriormente as peças projetadas. A figura 1 apresenta cada etapa da produção de uma caixa como exemplo.

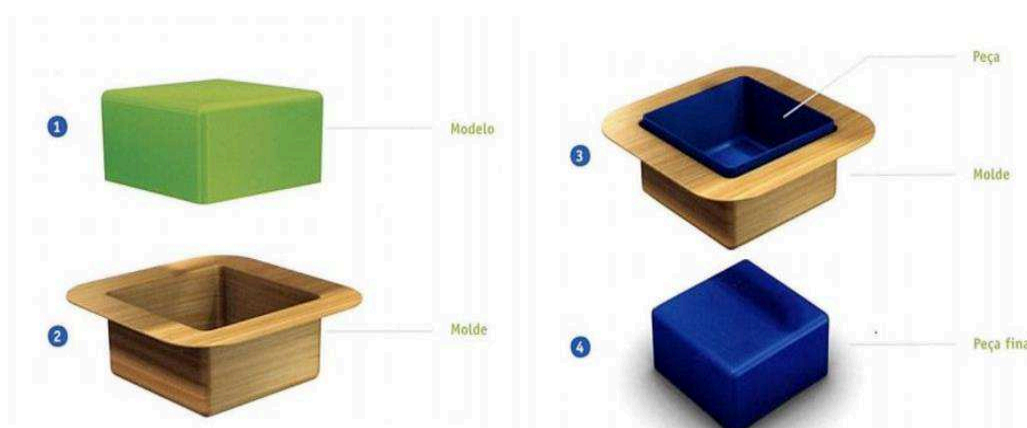
Conforme descrito na literatura direcionado a definição de moldes por Nasseh (2011, p. 313) “o método de construção dos moldes está intimamente ligado a escolhas de materiais, número de peças que se pretende produzir, condições e velocidades de utilização, qualidade final da superfície, durabilidade e custo”. Com isso, o propósito deste pensamento é fortalecer a relevância da análise criteriosa para escolha do material neste processo, pois ele influencia a maioria dos itens

anteriormente levantados. Aproximadamente noventa por cento dos moldes são feitos de fibra de vidro e resina poliéster com laminação manual, onde camadas de fibra e resina são sobrepostas e curadas dentro ou sobre um modelo ou *plug*. NASSEH (2011).

Seguindo o contexto naval “A partir dos métodos iniciais desenvolvidos há algumas décadas, muitas modificações foram introduzidas para fabricar moldes com acabamentos exemplar e conseqüentemente proporcionar uma produção mais rápida e econômica das peças”. NASSEH (p 315, 2011).

Normalmente quando laminações de fibra de vidro forem utilizadas, uma forma ou molde será necessário para fornecer suporte de forma para as fibras e impregnação da resina. O molde pode ser macho ou fêmea, dependendo de que lado é necessário o melhor acabamento. Na produção de embarcações, os moldes fêmeas são quase sempre usados para construir cascos, a fim de proporcionar um acabamento perfeito na superfície externa. Os outros moldes secundários podem ser do tipo macho, uma vez que precisam produzir um acabamento interno melhor (NASSEH, 2011).

Figura 1: Etapas para obtenção da peça: (1) Fabricação do modelo ou *plug*, (2) Obtenção do molde, (3) Laminação da peça e (4) peça final.



Fonte: Modificado pelo autor (ALMACO s. d.).

2.2 FABRICAÇÃO DO PLUG/MODELO

Segundo Nasseh (2011), o *plug* pode ser construído com qualquer material, como madeira, espuma sintética ou gesso. A madeira tem sendo mais utilizada, mas o contexto atual vem se modificando com a inclusão de novos materiais. Qualquer que seja o material, tempo e esforço no acabamento serão sempre necessários, visando que a forma e dimensões devem ser sempre respeitadas, erros eventuais deixados passar na construção do *plug*, se reproduzirá em todas as peças laminadas.

Normalmente no contexto tecnológico que nos encontramos, quando se tem um modelo virtual para geração da forma das balizas e cavernamento do casco, muito desse trabalho pode ser descartado. A partir desses recursos é possível preparar planilhas de aproveitamento de cortes, ou então a modelagem/usinagem com o uso de máquinas do tipo CNC para confecção do *plug* (NASSEH, 2011).

“Existem várias maneiras de se construir um *plug*. As opções mais comuns são a partir de *strip-planking*, *cold-molded* e, no caso de grandes lanchas, simplesmente usando compensado naval, ou mesmo a combinação das três” (Nasseh, p 327, 2011).

Ultimamente no Brasil, os moldadores de compósitos costumam fabricar os próprios *plugs*. Em contrapartida vem surgindo empresas terceirizadas especializadas em usinagem do tipo CNC – madeiras e espuma de poliuretano e poliestireno (isopor) são as matérias primas mais utilizadas – que podem realizar essa etapa. Projetos mais elaborados como exemplo a indústria automotiva podem incluir protótipos de modelos em argila, com objetivo de aprimoramento do *design* (ALMACO, s. d.).

2.2.1 Ângulo de Desmoldagem

Segundo Almaco (p. 18. s.d.) “um aspecto crucial ainda na fase de projeto é o cuidado com os ângulos de saída. Caso sejam dimensionados de forma incorreta,

a desmoldagem será bastante complicada”. Na Tabela 1 são apresentados alguns ângulos de saída sugeridos de acordo com a profundidade da peça.

Nasseh salienta que “Qualquer molde deve permitir uma fácil retirada da peça, não pode haver reentrâncias e o *plug* precisa ter inclinações de saída” (Nasseh, p.319, 2011).

Tabela 1: Profundidade da peça em função do ângulo de desmolde.

| Profundidade da peça | Ângulos de saída % |
|----------------------|--------------------|
| 0 - 200 mm | 2% |
| 201 – 300 mm | 3% |
| 301 – 500 mm | 5% |

Fonte: ALMACO (s. d.).

Além disso, áreas propensas a ocorrerem problemas na desmoldagem como os cantos vivos, que devem ser evitados. As arestas devem ser arredondadas, e quanto mais complicadas a forma, maiores são as chances de danificar o molde e perder a peça (Nasseh, 2011).

2.3 MATERIAIS COMPÓSITOS

Nesse capítulo serão citados de forma sucinta os principais materiais a serem usados na obtenção de compósitos, caracterizando alguns principais fatores para a sua utilização no presente trabalho. Lembrando que em algumas situações os materiais utilizados foram adotados mediante a disponibilidade.

Materiais compósitos são considerados todos aqueles constituídos de dois ou mais materiais insolúveis entre si, nos quais apresentam propriedades diferenciadas e superiores que nenhum de seus constituintes possui isoladamente. Nesses materiais normalmente podem se distinguir duas fases, uma de reforço na forma filamentar (fibras) e outro aglutinante (resina/matriz), desta maneira trabalhando de forma integrada transfiram os esforços mecânicos entre si (LEVY & PARDINI, 2012).

Dentre os tipos de matrizes mais utilizadas na indústria náutica destacam-se as resinas termo fixas. Isto é devido ao fato de que estas se encontram em estado líquido a temperatura ambiente, o que permite o fácil processamento. Os polímeros termoplásticos necessitam de aquecimento para se tornarem moldáveis, o que requer um ferramental com maior valor de investimento.

Outra característica específica para resinas que serão utilizadas em moldes, é que as mesmas devem possuir alta temperatura de termo distorção (HDT), a fim de suportar uma sequência de ciclos térmicos provocados pela reação exotérmica de cura das peças sobre o molde.

No mercado pode-se encontrar uma infinidade de tipos de resina, cada uma com sua característica e finalidade específica. A resina para laminação do molde deve possuir elevado índice de resistência a temperatura, com baixa contração durante a cura (Almaco, p.47 s. d.). “Na prática, a resina tem apenas a função de prender as fibras na posição desejada e promover uma barreira química contra água” (Nasseh, p.94. 2011). Dentre as resinas mais utilizadas no ramo náutico destacam-se a resina poliéster, resina viniléster e resina epóxi.

As resinas poliéster são mais abrangentes por serem de baixo custo e uso geral, podem ser apresentadas como ortoftálicas e isoftálicas, se diferenciam pela sua rigidez final, tempo de gelificação, resistência a impacto e a tração, assim como resistência química, sendo a isoftálica com melhores propriedades (LEVY & PARDINI, p.14, 2012).

Resinas viniléster são muito empregadas na produção de tubulações, vasos de pressão e tanques que sofrem ação de agentes químicos, sua composição é formulada para atender melhor a essa função de proteção sem comprometer as propriedades mecânicas e elásticas do material. Tem custo mais elevado, porém se justifica a necessidade de aplicação (MARINUCCI, p.41, 2011).

Resinas epóxi permitem atender a aplicações de elevado requisitos técnicos na fabricação de compósitos. Estas resinas propiciam ao material uma combinação de rigidez e tenacidade, elevada temperatura de distorção térmica, resistência ao envelhecimento e ótima resistência química. O único impedimento de competir com as resinas citadas é pelo custo elevado (MARINUCCI, p.42, 2011).

O *gel coat* tem a função de dar acabamento superficial à peça e ser a primeira barreira em contato com meio externo do laminado. Simplificadamente, o *gel coat* é uma mistura de resina poliéster e uma série de cargas minerais,

pigmentos, entre outras. Em sua utilização são muito sensíveis a qualquer tipo de variação, podendo produzir surpresas após a desmoldagem (Nasseh, 2011). O *Gel coat* para fabricação de moldes deve resistir ao ataque de estireno e apresentar elevada estabilidade térmica, característica esperada é que possibilite e mantenha o brilho por longo tempo (ALMACO, p.45, s.d).

Como elemento de reforço geralmente são utilizadas fibras de vidro, devido as características de baixo custo aliado a alta resistência a tração.

Conforme Nasseh (2011, p.66):

“As fibras de vidro são produzidas a partir do vidro em forma líquida, que é resfriado em alta velocidade. Através do controle desses fatores do escoamento, é possível produzir uma variedade de diâmetros de filamentos. Os filamentos contínuos são tratados para melhorar resistência a abrasão e a corrosão em função da umidade [...] As fibras são produzidas em uma variedade de composições químicas, cada uma exibindo diferentes propriedades mecânicas e químicas, designadas por uma letra do alfabeto”.

Além das fibras de vidro, também se pode encontrar no mercado náutico a utilização de fibras de carbono, fibras de aramida e fibras naturais. Essas utilizadas em aplicações mais específicas com esforços mais exigentes e requisitos de peso mais rigorosos, como exemplo embarcações de alto desempenho.

Além das resinas e fibras acima citadas, existem alguns outros materiais que também são de grande utilização no mercado náutico. Para produção do *plug* é requerido um material de baixo custo, fácil obtenção e fácil usinagem. Materiais que atendem esses requisitos e são usuais em tais aplicações são madeiras, poliestireno expandido, gesso e poliuretano. Os fatores que levam a escolha devem ser atendidos em função do equipamento disponível para modelagem, processos e materiais a serem usados posteriormente.

2.4 PROCESSOS DE LAMINAÇÃO

Nesse capítulo será abordado os processos mais usuais na indústria naval, com interesse de instruir o leitor a compreender os principais fatores que levam a escolha do processo a ser utilizado em cada aplicação.

Em cada processo será exposto uma breve descrição dos procedimentos adotados, os principais materiais utilizados, equipamentos, vantagens e desvantagens. Importante ressaltar que no presente trabalho serão abordadas técnicas referentes a laminações com moldes abertos (macho ou fêmea). Ao final de cada processo uma breve ilustração para melhor compreensão do contexto.

2.4.1 Laminação manual (*hand-lay-up*)

Processo mais antigo utilizado na indústria naval, por se adequar a laminação de grandes peças e pequenas produções, principalmente pelo seu baixo investimento e não ser necessário mão de obra especializada. Apresenta acabamento liso em apenas uma superfície e faz-se necessário o uso de moldes para laminação (FELIPE, 2008).

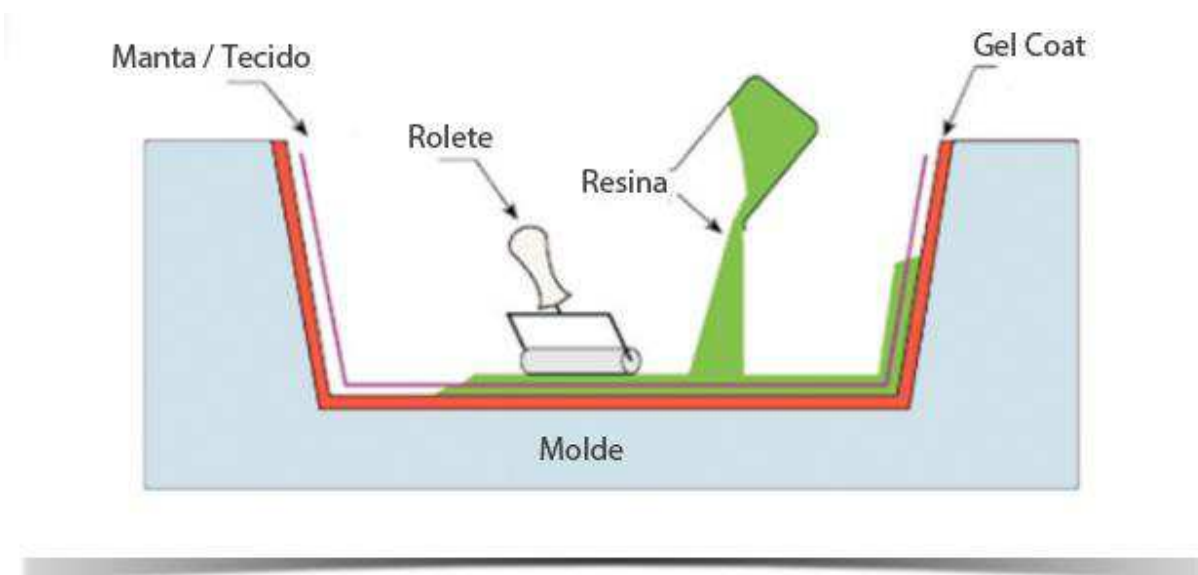
Nesse processo os materiais frequentemente utilizados são: *gel coat*, resinas poliéster, resinas viniléster, resinas epóxi, mantas de fibra de vidro, tecidos de fibra de vidro, catalisadores, aceleradores e agentes desmoldantes.

Para aplicação de tais materiais são usados os seguintes equipamentos: molde para conformação dos tecidos, recipientes para mistura de resinas, pincéis para impregnação dos tecidos e mantas, rolos tira bolhas e EPI's (FELIPE, 2008).

Procedimentos: nos moldes são aplicadas camadas de desmoldantes, após o molde preparado aplica-se camada de gel coat colorido, em seguida aplicam-se as camadas subsequentes de tecido e mantas, impregnando-as em seguida com resina. Após esses passos se faz o uso de rolos para eliminar as bolhas que permaneceram no laminado como mostrado na figura 2.

Para chegar ao resultado final esperado busca-se curar a resina, que pode ser feita a temperatura ambiente, ou então em estufas (entre 80-150°C) com intenção de obter mais velocidade de cura e melhor características do laminado. Depois de respeitado todos os tempos dos processos e cura, a peça é finalizada com acabamento final de pintura e rebarbas (PEREIRA, 2003).

Figura 2: Esquema ilustrativo do processo de *hand-lay-up*.



Fonte: CPIC FIBERGLASS (2016).

2.4.2 Laminação *Spray-up*

É um método de laminação de molde aberto, muito similar ao método anterior (*hand-lay-up*) sendo assim considerada uma evolução do mesmo. A resina e as fibras cortadas são simultaneamente impregnadas ao molde com auxílio de uma laminadora sob pressão, porém se faz necessário o assentamento das fibras e remoção de bolhas manualmente com rolos (GREENE, 1999).

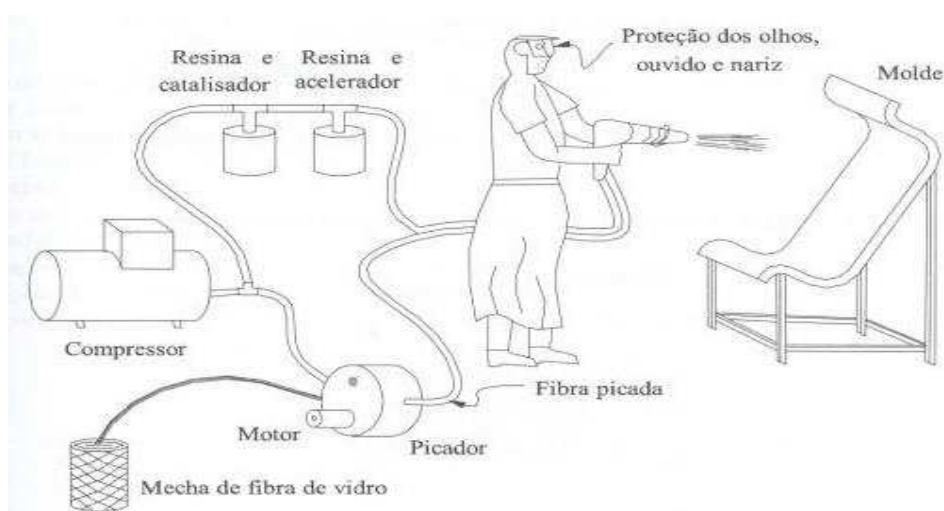
Os materiais utilizados para esse processo são semelhantes ao processo anterior descrito, resinas, *gel coat*, tecidos e rolo tira bolhas para assentamento das fibras. Diferenciando pela particularidade de uso de pistola, rede de ar comprimido e equipamentos de bombeamento e mistura (resina/ catalisador) como ilustrado na figura 3. As fibras utilizadas são do tipo *roving* contínuo, que são cortadas na pistola de aplicação (PETERHANS, 2014).

Procedimentos: o *gel coat* é aplicado no molde com o uso de pincel ou pistola, após o tempo de toque do gel pode ser iniciado a laminação com aplicação de resina e *roving* contínuo picotado sobre a camada de gel, nessa etapa a pistola realiza o corte das fibras, catalisação da resina e o direcionamento no molde é realizado pelo aplicador. Podem ser realizadas camadas sucessivas respeitando o

tempo de cura a cada 6mm de espessura para aplicação das próximas camadas, um detalhe relevante para o processo no uso da pistola é a viscosidade da resina (MATHEUS, 2010).

As principais vantagens desse processo é a alta produtividade para fabricação de peças de médio e grande formato (casco, piscinas, banheiras e etc.), onde se obtém apenas uma face regular. A outra vantagem é que o processo pode ser automatizado e a portabilidade dos equipamentos permite uma fabricação dinâmica (FELIPE, p.36, 2008).

Figura 3: Esquema ilustrativo da laminação por *Spray-up*.



Fonte: Greene (1999).

2.4.3 Laminação a Vácuo

Esse processo segundo Levy & Pardini (2012, p.172):

“É um melhoramento dos processos de moldagem manual e moldagem por aspersão. Nesse processo, a qualidade do componente melhora, devido a uma maior eficiência na retirada do excesso de resina que porventura seja adicionada durante o processo de moldagem, e pela retirada de voláteis e de bolhas de ar que porventura possam comprometer as propriedades mecânicas do componente. [...]. Com a moldagem a vácuo pode-se obter compósitos com frações volumétricas de fibras até 50% e frações volumétricas de vazios inferiores a 5%. ”

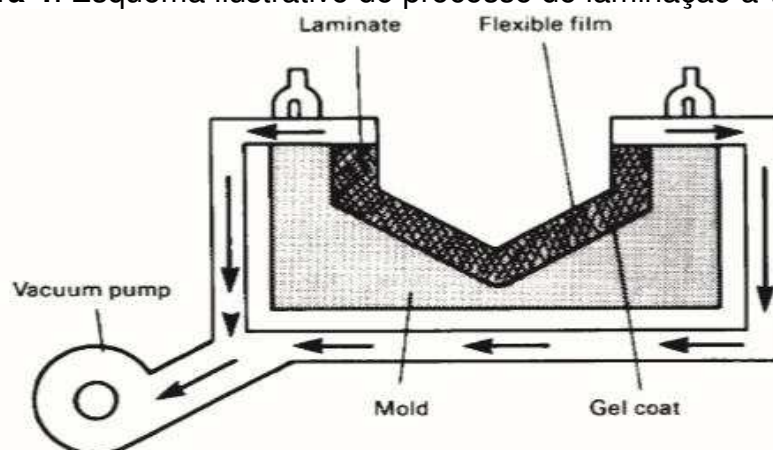
Para obter uma melhor compactação do laminado e acabamento superficial nas duas faces se faz necessário o uso de alguns produtos descartáveis, o que implica em um custo mais elevado do que os processos anteriores, porém, o menor consumo de resina, redução de peso, melhor resistência do laminado compensa o investimento.

Os materiais descartáveis têm a função de facilitar a permeabilidade da resina por toda a peça, eliminando o excesso de resina e bolhas, são eles: filme perfurado, *peel ply*, material absorvente de excesso de resina, fita *tacky tape* para fechamento da bolsa de vácuo. Para a retirada de ar usa-se uma bomba de vácuo e para controle da pressão um manômetro (NASSEH, 2011).

Procedimentos: em um molde aberto é iniciado uma laminação semelhante a *hand lay-up*, após o assentamento e impregnação da resina catalisada nas fibras são adicionadas as camadas de material para garantir a permeabilidade e exaustão de excesso de resinas e bolhas encerrando assim o procedimento manual com a bolsa de vácuo.

Antes do fechamento da bolsa podem ainda ser adicionados núcleos ao laminado, após o fechamento da bolsa se aplica a pressão com a bomba de vácuo e espera-se o tempo de cura da resina. Tendo como particularidade nesse processo os moldes necessitam de abas para o fechamento da bolsa e acomodação das mangueiras de vácuo como mostrado na figura 4 (GREENE, p.282, 1999).

Figura 4: Esquema ilustrativo do processo de laminação a vácuo.



Fonte: Greene (1999).

2.4.4 Laminação por Infusão

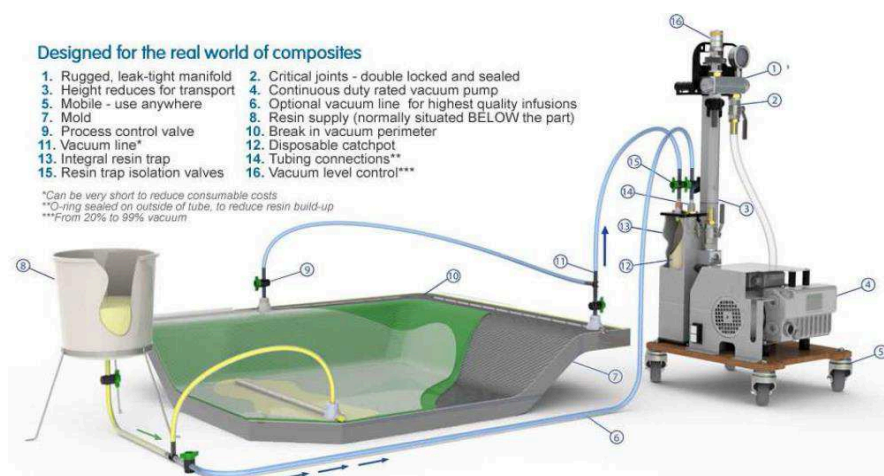
Usado desde o século XVII para construção de embarcações o processo de laminação por infusão a vácuo tem sido amplamente aplicado para obtenção de peças com alto grau de qualidade, o processo é semelhante a laminação a vácuo, no entanto, o fechamento da bolsa é realizado com o material seco dentro do envelope plástico, depois a resina é transferida para dentro das camadas de fibra pelo diferencial de pressão causada por uma bomba de vácuo (NASSEH, 2011).

Também conhecido como moldagem por compressão a frio, a cura pode ser feita em temperatura ambiente ou em estufa, os materiais utilizados são praticamente os mesmos da laminação a vácuo, com a particularidade de haver a necessidade de entrada de resina além apenas da saída de ar do laminado (PEREIRA, p.14, 2003).

Procedimentos: após a preparação do molde com o desmoldante, os tecidos secos são depositados em seu interior, após são alocados os reforços e então disposto os materiais para melhorar a permeabilidade (mangueiras, absorventes, bicos de entrada de resina e saída de ar).

Após o fechamento da bolsa de vácuo, são posicionados conforme a figura 5, os reservatórios de entrada de resina, e a bomba de vácuo. Iniciado o processo de injeção de resina, só é encerrado após o tempo de cura de toda a peça. Sendo essa uma das criticidades do processo, o risco de perder uma peça e material é grande se não forem feitas devidas considerações para infusão da resina em todo laminado.

Figura 5: Esquema ilustrativo do processo de laminação por infusão.



Fonte: VACMOBILES (2016).

3. METODOLOGIA

A metodologia científica utilizada nesse projeto tem como importância fortalecer o estudo através da técnica de pesquisa experimental buscando por meio das análises e sínteses experimentais, onde segundo Cervo, Bervian & Silva (2007, p. 34) análise e síntese experimentais “operam sobre fatos ou seres concretos, sejam materiais ou imateriais. [...] constituem o cerne de toda experiência científica na pesquisa de laboratório”.

Este projeto tem como propósito construir um molde, suas técnicas de fabricação seguem os mesmos padrões e procedimentos da construção de um casco em escala real, que se diferem na proporção de tamanhos, reforçando assim o conceito de técnica experimental, onde Cervo, Bervian & Silva (2007, p. 39) comentam que “o princípio geral no qual se fundamentam as técnicas da experimentação é o do determinismo, que se anuncia assim: nas mesmas circunstâncias, as mesmas causas produzem os mesmos efeitos, ou ainda, as leis da natureza são fixas e constantes”.

A pesquisa experimental referente ao objeto de estudo demonstrará em detalhes os instrumentos, as etapas, os materiais, sua utilização e execução para o desenvolvimento do molde e obter o resultado desejado, segundo Cervo, Bervian & Silva (2007, p. 63) “a pesquisa experimental pretende dizer de que modo ou porque o fenômeno é produzido”.

Inicialmente foi ajustado o modelo do projeto do casco e então encaminhado ao LabCam para o tratamento computacional para a usinagem. Em paralelo foi efetuada a pesquisa bibliográfica para embasamento da fundamentação teórica para pesquisa dos processos de fabricação possivelmente adotados e os materiais utilizados nos procedimentos a seguir descritos.

Segundo Nasseh (2011), os processos de fabricação de modelos em escala são idênticos aos praticados para produzir embarcações escala real, diferenciando apenas no seu tamanho e adequação de alguns materiais devido ao fator de escala adotado.

O fator de escala nesses casos é de extrema importância, pois em função desse valor serão definidas as dimensões do modelo a ser produzido para então

posteriormente ser conteúdo e fundamentado esse valor para aplicação em análises e testes futuros com os modelos produzidos a partir do molde.

Com isso, será feito uma abordagem descritiva dos métodos dos procedimentos utilizados no mercado atual para desenvolvimento de embarcações, caracterizando os materiais e os pontos importantes de cada processo para tomada de decisão do procedimento a ser adotado.

4. RESULTADOS

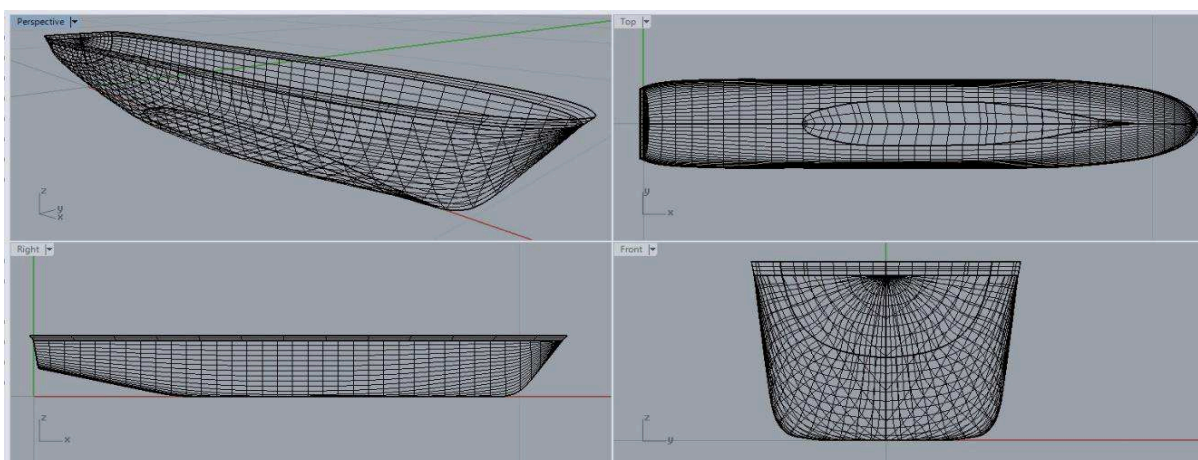
Nos resultados serão apresentadas todas as etapas dos procedimentos práticos para alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

O projeto utilizado para confecção do molde foi resultado de um trabalho realizado anteriormente pelos alunos Marlon Batistella e Frederico Dolgener Cantú bolsistas do Laboratório de Fabricação de Modelos (LabMod UFSC - Joinville) em colaboração com o professor de arquitetura naval, Luiz Eduardo Bueno Minioli. Nele foi realizado um desenho de um cargueiro contido como demonstração do software DELFTtship, e com o auxílio do software Rhinoceros, foram realizadas algumas alterações no desenho para adequar o projeto a necessidade do laboratório.

O desenho final foi fornecido para aplicação dos conceitos de fabricação para moldes no presente trabalho. Importante salientar que as linhas do casco respeitam as condições previamente descritas em relação à ausência de cantos vivos e concentradores de tensões, assim como os ângulos de saída para uma correta desmoldagem.

O desenho também foi alterado de forma que a escala de 1:130 metros estivesse dentro das dimensões previstas para o casco ser utilizado em um tanque estático também presente na UFSC Joinville, de forma a realizar futuras medições hidrostáticas. Na figura 6, são apresentadas as linhas do casco em diferentes vistas.

Figura 6: Vistas do casco gerado em software computacional.



Fonte: Gerado em Rhinoceros por Frederico Dolgener e Marlon Batistella.

Após o recebimento do desenho e projeto da embarcação foram decididos os passos que serão descritos levando em consideração a escolha de materiais e processos. O trabalho e os passos estão descritos de forma temporal.

4.1 OBTENÇÃO DO *PLUG*: EXPANSÃO DO BLOCO DE POLIURETANO

O material escolhido para a confecção do *plug* foi a espuma de poliuretano, nesse processo foi utilizado o material da Amino Química fornecida a equipe de competição Babitonga. O produto é inicialmente líquido e viscoso sendo composto por dois elementos extraídos da cadeia petrolífera, são eles o Polioli e o Isocianato, que juntos e muito bem misturados formam o poliuretano, que é uma espuma expansiva de densidade livre aproximadamente $30\text{-}35\text{ kg/m}^3$, os dados da expansão estão melhores descritos abaixo.

A escolha do material se deve a sua facilidade de usinagem, possibilidade de expansão a formas e quantidades exigidas em projeto, e a disponibilidade do material para uso cedido pela equipe de competição da UFSC Joinville do Barco Solar Babitonga.

Para a expansão do produto foi seguido as recomendações do fabricante (Amino Química) fornecidas junto as especificações técnicas dos componentes. O molde de expansão foi dimensionado para conter o volume do casco (de aproximadamente 1,20 metros de comprimento por 0,20 metros de largura, e seção retangular) a ser posteriormente usinado, considerando algumas margens para trabalho de acabamento antes de iniciar a usinagem em uma máquina de Controle Numérico Computadorizado (CNC).

4.1.1 Detalhes da expansão do bloco

Para realizar a expansão foi necessário adequar um misturador no qual o laboratório não dispõe, foram usados materiais metálicos como: haste roscada, porcas e lâminas, mostrado na figura 7.

Figura 7: Poliuretano em estado líquido sendo depositado no molde.



Fonte: Gerado pelo autor.

Nas especificações dos produtos recomenda-se uma mistura de 100 partes de Amipol (poliol) e 110 partes de Amiso (isocianato). Considerando o volume total e uma margem mencionada anteriormente, o volume final da expansão foi contabilizado em 120 litros. Em um pré-teste conforme figura 8, constatou-se uma taxa de expansão de 10 vezes o volume inicial dos dois líquidos juntos, portanto a mistura antes do início da expansão deve resultar um volume de 12 litros. Seguindo a recomendação do fornecedor os valores dos volumes obtidos são respectivamente 6,28 litros de AmISO (isocianato) e 5,72 litros de AmiPOL(poliol).

Figura 8: Pré-teste realizado em laboratório para conferir a estabilidade do material.



Fonte: Gerado pelo autor.

4.2 OBTENÇÃO DO *PLUG*: CORTE E FACEAMENTO

Esse procedimento se faz necessário pois o molde de expansão utilizado é para densidade livre, os reforços são nas extremidades e o plástico usado para desmoldagem não garantem homogeneidade nas faces.

Com isso, após o tempo de cura (24 horas) foi feito a desmoldagem e notou-se um leve abaloamento nas laterais. Portanto, o bloco foi levado a uma marcenaria com capacidade de facear todos os lados e dividir ao meio, conforme a figura 9, por necessidade de atender aos limites de dimensões da CNC como mostrado na figura 10.

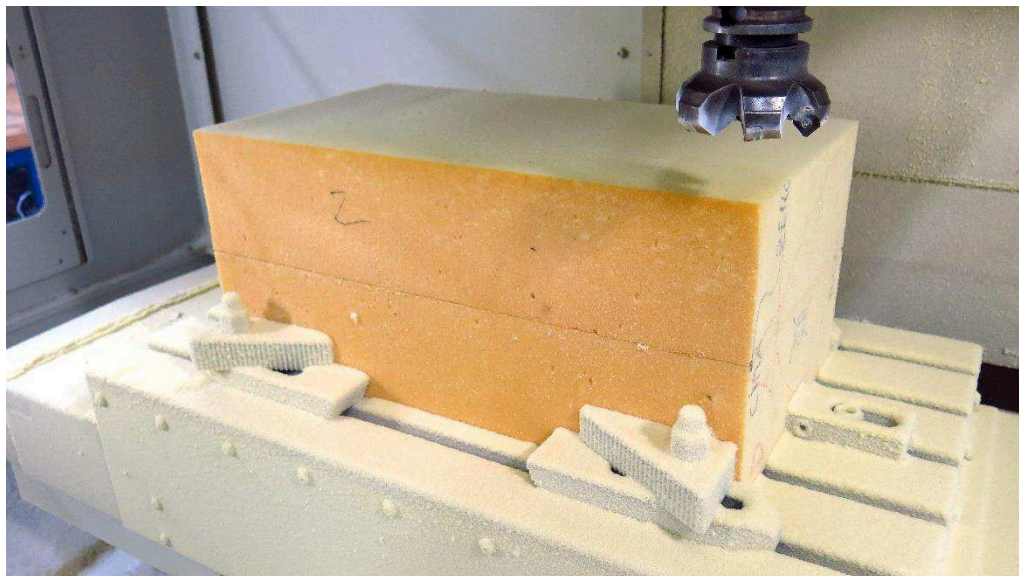
Ao final, já com dois blocos paralelepípedos, foi realizado o primeiro passo de usinagem para deixar as faces bem paralelas para posteriormente referenciar os próximos passos.

Figura 9: Bloco de poliuretano já faceado.



Fonte: Gerado pelo autor.

Figura 10: Parte do bloco na mesa de usinagem da CNC.



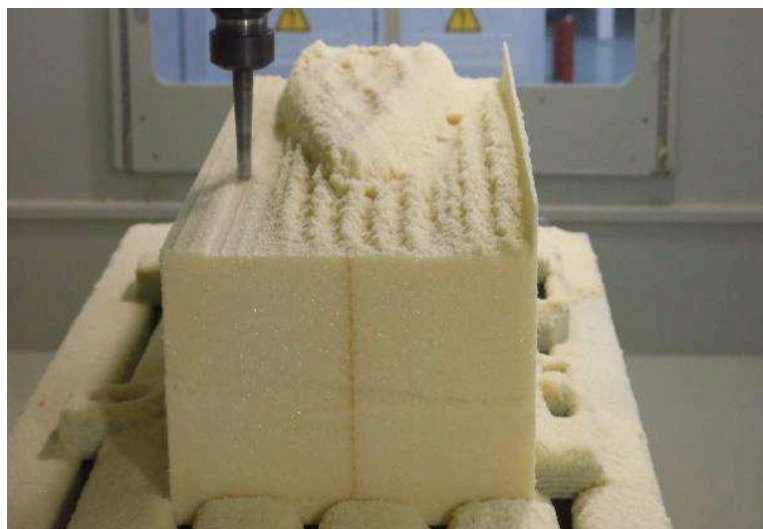
Fonte: Gerado pelo autor.

4.3 OBTENÇÃO DO *PLUG*: USINAGEM DOS BLOCOS EM CNC

Em função das limitações da máquina CNC, foi necessário fazer algumas alterações no projeto original. Inicialmente a mesa de usinagem permite no máximo um comprimento de 600mm, isso implicou em partir o modelo ao meio. O segundo problema foi referente ao pontal do casco, que pela altura, durante a simulação conferia um choque do cabeçote com o fundo do casco, danificando assim a peça. Como solução foi adicionado um ressalto lateral em cada bordo do modelo, que posteriormente seria retirado manualmente.

Para conseguir uma boa superfície para os passos seguintes de laminação, é necessário realizar a usinagem da forma em dois processos, o primeiro de desbaste, onde é dada a forma do casco com uma ferramenta mais agressiva como mostrado na figura 11. O segundo de acabamento que refina e acentua as marcas da ferramenta de desbaste, deixando a superfície pronta para colagem, alinhamento e o acabamento do *plug* como mostrado na figura 12.

Figura 11: Proa do *plug* sendo usinada em CNC.



Fonte: Gerado pelo autor.

Figura 12: Proa usinada com detalhe ao ressalto lateral.



Fonte: Gerado pelo autor.

4.4 OBTENÇÃO DO *PLUG*: COLAGEM E ALINHAMENTO

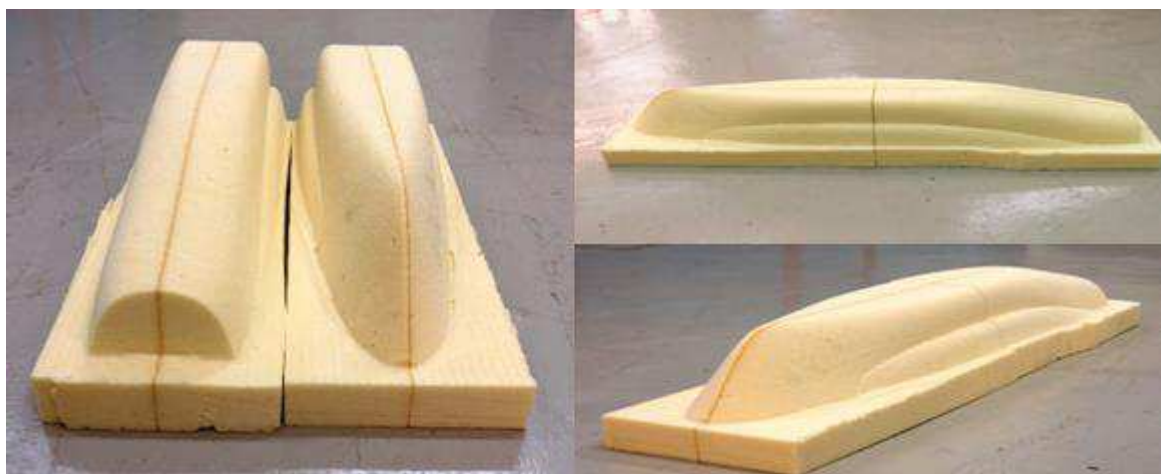
O poliuretano apresenta uma superfície porosa e de fácil degradação mecânica, portanto para realizar uma junção eficiente, estável e permanente se fez o uso de um produto em teste, que é uma cola bi componente ecologicamente correta, extraída da síntese de vegetais transformadas em um polioliol, reagida com um

isocianato sem agentes de expansão e aditivos dando origem a uma cola poliuretana.

Para o alinhamento das duas partes, como mostrado na figura 13, usaram-se referências da forma do casco, e dos planos gerados como base, paralelos ao fundo do casco.

Para garantir a estabilidade estrutural durante a colagem e fortalecer a união foi introduzido estruturas de madeiras na direção horizontal a meia nau. As dimensões totais após a colagem ficaram com um comprimento de 1,07 metros, boca de 0,14 metros e pontal de 0,16 metros conforme a figura 13.

Figura 13: Colagem e alinhamento das partes usinadas.



Fonte: Gerado pelo autor.

4.5 OBTENÇÃO DO *PLUG*: SELAMENTO

Como mencionado anteriormente o PU apresenta uma superfície porosa, por isso, faz-se necessário eliminar essa porosidade e dar suporte à aplicação da massa plástica. Para essa função optou-se por usar resina poliéster ortoftálica em duas camadas, com a intenção de eliminar a característica de esfarelamento e eliminar os poros. O procedimento adotado é uma pintura manual com pincéis, e foi tomado em toda a superfície onde seria feita aplicação da massa plástica como mostrado na figura 14.

Figura 14: Selagem do poliuretano para acabamento com massa.



Fonte: Gerado pelo autor.

4.6 OBTENÇÃO DO *PLUG*: ACABAMENTO COM MASSA PLÁSTICA

A massa é utilizada para dar acabamento superficial ao *plug* após o processo de usinagem, possibilitando lixar e polir para obter uma superfície lisa e livre de imperfeições (Nasseh, 2011).

Após aplicação da resina a superfície ainda não apresenta o acabamento esperado para laminação, para conseguir esse acabamento é necessário realizar aplicações de massa plástica a base de poliéster seguido de acabamento com lixa, assim sucessivamente até atingir uma superfície lisa e livre de imperfeições. Para esse objetivo fez-se ainda o uso de massa de acabamento de secagem rápida da marca ANJO que proporciona um resultado dentro do esperado. A massa plástica foi usada para cobrir toda a superfície mostrada na figura 15, eliminando grandes rugosidades, e a massa de acabamento apenas em locais pontuais que necessitavam de pequenas correções, apresentado na figura 16.

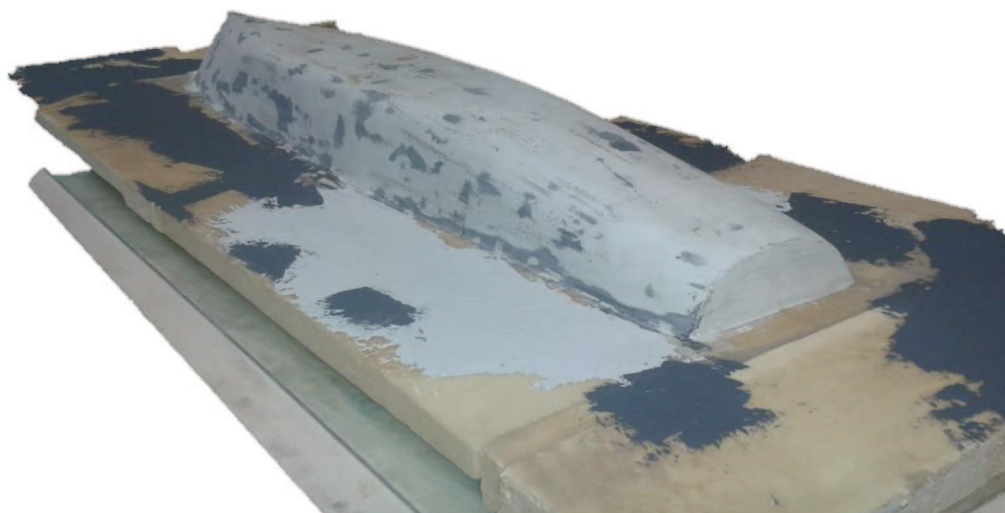
Figura 15: Acabamento com massa plástica a base de poliéster.



Fonte: Gerado pelo autor.

Após as primeiras camadas de massa plástica foram inseridas as abas de suporte a laminação e também feito sobre estas o acabamento com massa para obter uma superfície lisa e livre de imperfeições. Após as aplicações de massa foi feito um primeiro acabamento utilizando a seguinte sequência de lixas: 200, 320, 400 e 600, esta última prepara a superfície para pintura.

Figura 16: Acabamento com massa rápida e adição das abas de suporte a laminação.



Fonte: Gerado pelo autor.

4.7 OBTENÇÃO DO *PLUG*: PINTURA DE GEL COAT

Buscando atender aos requisitos esperados para um casco de uma embarcação, no qual a superfície deve ser bem lisa e brilhosa, para oferecer um bom escoamento do fluido, foi realizado uma pintura de *gel coat* a base de poliéster diluído em uma porcentagem de 20% de monômero de estireno.

A pintura foi realizada com uma pistola própria para aplicação de gel coat, dentro das dependências da empresa Brunswick em Joinville. Lembrando que o acabamento esperado no molde é o acabamento deixado no *plug*, portanto vale a pena nessa fase dedicar um pouco de tempo e trabalho a obter uma superfície que facilite a desmoldagem e garanta um acabamento desejado.

Portanto, recomenda-se uma pintura de *gel coat*, figura 17, antes do início da laminação, que fornece uma impermeabilização da camada de massa com as superiores, limitando assim qualquer tipo de reação entre ambas, garantindo a integridade do molde e da peça.

Figura 17: Pintura de gel coat.



Fonte: Gerado pelo autor.

4.8 OBTENÇÃO DO MOLDE

Após a pintura, para que o molde tenha uma superfície lisa, livre de imperfeições e poros, que favoreça uma boa desmoldagem, é necessário um tratamento superficial da peça com processo manual de lixação, aumentando a granulometria de lixa progressiva na seguinte ordem: 320, 400, 600, 800, 1000, além

de lixas 1500 e 2000 com lixa d'água. Nesta etapa, busca-se um acabamento aprimorado para o polimento e início da laminação, como apresentado na figura 18.

Figura 18: Manchamento do *plug* para acabamento com lixas.



Fonte: Gerado pelo autor.

Para alcançar um molde pronto para laminação, foi necessário selar a superfície utilizando uma combinação de agentes desmoldantes. Para isso foi utilizado o selador e desmoldante da marca Chem Trend, o selador Cheamlease 15 Sealer EZ e o desmoldante o Cheamlease 75 NEB, aplicando sucessivas camadas.

Após o selador foi aplicado o desmoldante, também sucessivas camadas intercalando com intervalos de tempo, chegando a uma superfície espelhada e pronta para o início da laminação, como pode ser visto na figura 19.

Figura 19: Superfície pronta para início da laminação do molde.



Fonte: Gerado pelo autor.

Com isto, o *plug* está pronto para o início da laminação e obtenção do molde, cujo processos serão descritos nas próximas etapas.

4.9 OBTENÇÃO DO MOLDE: PLANO DE LAMINAÇÃO

Quando se imagina em fazer a laminação a partir de materiais compósitos, faz-se necessário o gerenciamento de um plano de laminação, onde devem constar as quantidades de material a serem utilizadas, mediante o tamanho e forma do molde.

Com estas informações, é possível garantir que em uma produção contínua as peças sairão com as mesmas características e também garantir que a peça está dentro dos requisitos de projeto. Portanto, para o presente trabalho não se fez diferente a seguir o plano de laminação idealizado para o projeto. As etapas do desenvolvimento do plano de laminação utilizado neste trabalho serão apresentadas a seguir.

Plano de laminação

Com base em uma conversa com o professor, Ricardo Aurélio do curso de engenharia naval da UFSC-Joinville, foram levantados alguns pontos importantes para laminação do molde. Abaixo estão os mesmos listados em tópicos:

- ✓ Molde de 6 a 8 mm espessura.
- ✓ Utilizar reforços para impedir empenamento (Material de núcleo inercial)
- ✓ A camada de *gel coat* recomendada para embarcações é de 0,6 mm a 0,8 mm, entretanto para moldes a camada é de 1,2 mm;
- ✓ Uma camada de manta para iniciar tecidos e uma camada ao final (200-500 g/m²);
- ✓ Camadas de tecidos dependem da disponibilidade do material: Serão necessárias ao menos duas direções distintas: duas camadas de tecidos unidimensionais e uma multidimensional;
- ✓ Considerar abas no molde para auxílio aos processos de laminação do tipo a vácuo.

Com base nos pontos levantados, foram calculadas as áreas das abas e área total da peça, assim como a quantidade de materiais necessários.

4.9.1 Cálculo da área de laminação

Área da Aba

$$A_{ab} = (1,08 + 0,4) \times (0,15 + 0,4) \cong 0,8085 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

Porém, foi considerado uma área de 0,8 m². Podem ser retalhos/tiras do mesmo material do molde.

Área Total

$$A_t = 2x(1,10 \times 0,18) + (1,10 \times 0,15) + (0,18 \times 0,15) \cong 0,588 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

Considerando casco básico de navio de $C_b=0,80$:

$$A_{tc} = A_t \times C_b \cong 0,5 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

Assim,

$$A_{TT} = A_{tc} + A_{ab} = 0,5 + 0,8 \cong 1,3 \text{ m}^2 \quad (4.4)$$

Ou seja, serão 1,3m² por camada.

4.9.2 Cálculo da espessura do laminado

Com o processo utilizado para laminação do molde foi a laminação manual e *spray-up*, a relação aproximada é de 35% de reforço, para 65% de resina.

A relação de espessura de laminado com gramatura de tecido e manta, sendo que as mantas destacadas serão usadas para a laminação:

Tabela 2: Relação Manta x Espessura.

| Manta (g/m ²) | Espessura (mm) |
|---------------------------|----------------|
| 230 | 0,61 |
| 305 | 0,81 |
| 460 | 1,22 |
| 610 | 1,63 |

Fonte: Gerr (2000).

Tabela 3: Relação Tecido x Espessura.

| Tecido (g/ m ²) | Espessura (mm) |
|-----------------------------|----------------|
| 475 | 0,61 |
| 542 | 0,7 |
| 610 | 0,79 |
| 814 | 1,05 |

Fonte: Gerr (2000).

Obs.: Valores relacionados levando em consideração laminação manuais.

Soma de espessuras das Camadas conforme informações da tabela 4:

Tabela 4: Espessuras do laminado

| Materiais | Espessuras(mm) |
|------------|----------------|
| Gel Coat | 1,2 |
| Rovin 305 | 0,8 |
| Tecido 814 | 1,1 |
| Rovin 305 | 0,8 |
| Rovin 305 | 0,8 |
| Total | 4,7 |

Fonte: Gerada pelo autor.

Deste modo, a soma das camadas presentes no trabalho será de 4,7 mm.

4.9.3 Cálculo da quantidade de materiais necessários

a) *Gel Coat*

Sabendo que a área total é $1,3 \text{ m}^2$, e que o modelo será utilizado como molde (camada de gel coat de $1,2 \text{ mm}$), o volume de gel coat que será necessário é:

$$V_{gc} = A_{tt} \times 1,2 \text{ mm} = 1,56 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

A densidade do gel coat é $\rho_{gc}=1,2(\text{Kg}/\text{m}^3)$. Para saber a massa necessária de gel coat fizemos:

$$m_{gc} = V_{gc} \times \rho_{gc} = 1,56 \times 10^{-3} \times 1,2 = 1,87 \times 10^{-3} \text{ Kg} \quad (4.6)$$

b) *Manta*

Como há três camadas de manta:

$$3 \times 0,8 \text{ mm} (\text{espessura de cada camada de manta}) \cong 2,4 \text{ mm} \quad (4.7)$$

Entretanto a área total de manta será:

$$3 \times 1,3 \text{ m}^2 (\text{área de laminação}) = 3,9 \text{ m}^2 \quad (4.8)$$

Sabendo a gramatura da manta é de aproximadamente $300 \text{ g}/\text{m}^2$, calcula-se a massa da manta:

$$3,9 \times 0,300 = 1,172 \text{ Kg} \quad (4.9)$$

c) *Tecido*

Entretanto com o tecido, há uma camada, ou seja:

$$1 \times 1,10 \text{ mm} (\text{espessura do tecido}) \cong 1,1 \text{ mm} \quad (4.10)$$

Com a área total que será utilizada é de $1,3 \text{ m}^2$:

$$1 \times 1,3(\text{área de laminação}) = 1,3 \text{ m}^2 \quad (4.11)$$

Como a gramatura do tecido é de aproximadamente 800 g/m², a massa necessária de tecido será:

$$1,3 \times 0,800 = 1,04 \text{ Kg} \quad (4.12)$$

No total, teremos 2,22 Kg de reforço, que como citado será proporcional a 35% na composição da laminação.

d) Resina

Se o reforço é responsável por 35%, e a resina por 65%, logo é possível calcular o quanto será utilizado de resina.

$$m_{\text{resina}} = \frac{2,2 \times 65}{35} = 4,08 \text{ Kg} \quad (4.13)$$

Resumo do Plano de Laminação

Todos os materiais com as suas respectivas quantidades estão listados na tabela 5:

Tabela 5: Materiais e quantidades para a laminação do molde.

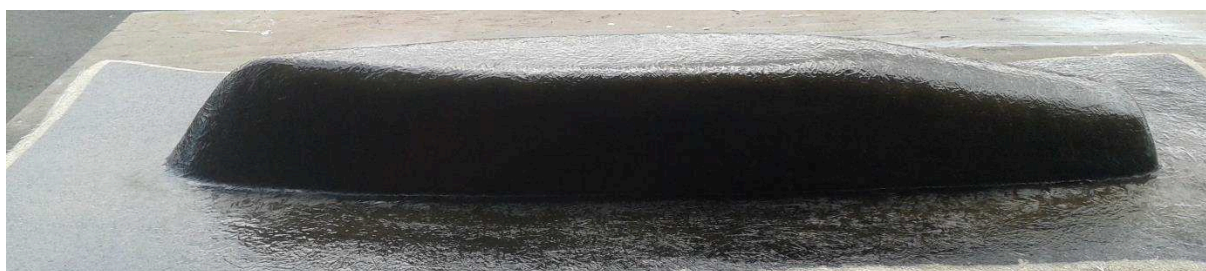
| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| Gel Coat | 400g |
| Manta (fibra de vidro) | 1,172 Kg / 3,9 m ² |
| Tecido (Fibra de vidro) | 1,04 Kg / 1,3 m ² |
| Resina | 4,10Kg |

Fonte: Gerado pelo autor.

4.10 OBTENÇÃO DO MOLDE: LAMINAÇÃO

Todo trabalho realizado na preparação do molde tem como principal objetivo obter no interior do nosso molde uma superfície lisa e com bom acabamento para refletir nos cascos posteriormente laminados no molde. Portanto a primeira camada de laminação é uma pintura de gel própria para moldes como mostrado na figura 20.

Figura 20: Primeira camada de *gel coat* para moldes.



Fonte: Gerado pelo autor.

O ***Gel coat*** específico para moldes tem características diferentes dos outros como citado acima. Por isso, deve-se ter o cuidado na aplicação para que fique homogênea e garanta integridade do molde e bom acabamento. O material utilizado é de coloração preta e foi obtido na empresa SAMA Joinville.

Nessa etapa optou-se por utilizar uma combinação de materiais e processos. Como citado acima Nasseh (2011), recomenda sempre intercalar camadas de tecidos e manta para evitar deslocamento. Portanto, acima do gel foram aplicadas duas camadas de manta pelo processo de *spray-up* com fios 300g/m^2 , em seguida foi aplicado uma camada de tecido combinado com manta e tecido de 45/45 mostrado na figura 21 a seguir. Encerrando a laminação após a alocação dos reforços estruturais, de mais uma camada de *spray-up* de tecido 300g/m^2 .

Figura 21: Camada de tecido combinado com manta.



Fonte: Gerado pelo autor.

A resina utilizada foi poliéster ortoftálica, levando em conta que para moldes não existe uma criticidade para o uso de resinas especiais. Por isso a opção pela resina de mais baixo custo.

Reforços estruturais: para garantir a integridade de forma do molde e a repetição idêntica seriada adiciona-se um cavernamento externo para essa função. Em nosso caso optou-se pelo uso de núcleo de PVC expandido, da marca Divinicell, com densidade de 40kg/m^3 . O cavernamento foi fixado com massa poliéster e foram eliminados os cantos vivos e possíveis cavidades geradoras de bolhas para enfim encerrar a laminação.

Importante lembrar que foi adicionado entre a camada de tecido e reforços estruturais tiras de Coremat, material a base de poliéster usado como núcleo fino bloqueador de impressão para evitar que os reforços reflitam no interior do molde, sempre abaixo de todos os reforços como mostrado na figura 22.

Figura 22: Reforços estruturais do molde.



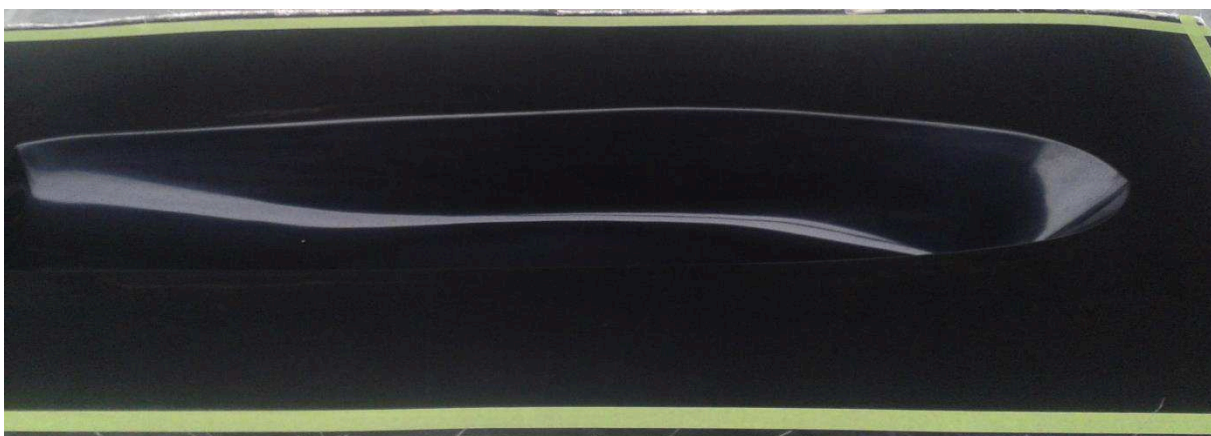
Fonte: Gerado pelo autor.

4.11 OBTENÇÃO DO MOLDE: DESMOLDAGEM

A desmoldagem é o ponto onde se põe a prova todos os processos anteriores, pois se foram feitos de forma correta e com qualidade, será uma desmoldagem tranqüila, porém caso não tenham sido tomadas as devidas precauções nesse passo pode-se danificar a peça ou mesmo o molde.

Dependendo da complexidade do molde se faz necessário o uso de bicos injetores de ar, em nosso caso por ser uma forma não muito complexa e os procedimentos terem sido seguidos a risca obtivemos sucesso na desmoldagem garantindo a integridade de nosso molde e a superfície desejada no casco como mostrado na figura 23.

Figura 23: Molde pronto para corte de rebarbas



Fonte: Gerado pelo autor.

Com o molde pronto foi realizado uma breve preparação do mesmo para uma laminação da peça para garantir a eficiência do produto gerado durante o objeto de estudo. Com isso a figura 24, ilustra o molde e a primeira peça extraída.

Figura 24: Molde rebarbado e peça tirada do molde.



Fonte: Gerado pelo autor.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em consequência de algumas etapas terem sido realizadas dentro da empresa Brunswick, foi possível notar que os procedimentos e materiais utilizados para confecção desse trabalho, um modelo em escala, são extremamente semelhantes ao de construção de embarcações em tamanho real, se diferenciando pelos volumes de materiais envolvidos e adequação de alguns fatores como camadas e tipos de fibras a utilizar.

Porém o cuidado com acabamento e cálculos das quantidades necessárias em projeto são fatores relevantes para obtenção de um bom produto final em ambas as situações. Importante ressaltar que todos os passos, não apenas de produção, mas também na fase de projeto se diferenciam apenas pela escala do objeto em estudo.

Os materiais citados como *gel coat*, resinas, aceleradores, catalizadores e agentes desmoldantes tem a mesma formulação e não se diferenciam nas aplicações, já as fibras devem ser mais dimensionadas devido aos esforços exercidos em cada aplicação, bem como a espessura de camada e quantidades de resina. Levando em conta os fatores do tamanho da peça os equipamentos a serem usados também podem sofrer devidas alterações ou adaptações.

Importante lembrar que no momento de execução dos processos é imprescindível a conferência das dimensões desejadas, pois após os processos de usinagem e de acabamento são retirados e adicionados materiais que podem resultar em dimensões finais diferentes das esperadas.

Contudo é importante que para a construção de moldes pode ser tomado como base, realizando as devidas considerações, o projeto de estudo como base para execução de projetos futuros de laminação, levando em conta a sua imensa proximidade com a prática de construção de embarcações reais, ressaltando ainda que os equipamentos utilizados foram os mesmos usados para a construção de embarcações de até 40 pés.

6. CONCLUSÃO

Segundo as pesquisas feitas nas bibliografias citadas, foi possível adquirir o conceito e detalhes para realizar os procedimentos contidos no presente trabalho, seguindo as teorias, observações e métodos dos autores unindo com os conhecimentos adquiridos em sala de aula no decorrer da formação acadêmica conseguiram-se atingir os objetivos específicos e então chegar ao resultado final do objetivo geral proposto inicialmente, de desenvolver e construir um molde de um casco em escala reduzida com eficiência e durabilidade para apoio didático no Laboratório De Modelos.

Com isso ficam aqui algumas sugestões para trabalhos futuros a serem realizados com o objeto desse estudo, que permanecerá no LabMod para futuros desenvolvimentos:

- ✓ Laminação de uma peça para estudos hidrostáticos no tanque de provas da UFSC-Joinville.
- ✓ Realização de ensaios hidrodinâmicos para obter a resistência ao avanço e outros dados do casco desenvolvido.
- ✓ Laminação de uma peça e adicionar os itens extraídos para confecção do molde e mensurar a influência dos mesmos (Bulbo e Bosso do eixo).
- ✓ Com um casco laminado adicionar sistema de propulsão e governo para analisar a capacidade de manobra do modelo.

REFERÊNCIAS

ALMACO. Compósitos 2: tecnologia de processos. [s. d.].

ALMACO. Compósitos 4: moldes. [s.d].

CERVO, Amado Luiz. BERVIAN, Pedro Alcino. SILVA, Roberto da. **Metodologia científica.** 6 ed. São Paulo:Pearson Prentice Hall, 2007.

CPIC FIBERGLASS. **Processos: Laminação Manual / Hand Lay Up.** Disponível em <<http://br.cpicfiber.com/processos.asp?codigo=1&cat=Processos>>. Acesso em Nov/2016.

FELIPE, Renata Carla T. S. **Apostila Materiais Compostos.** 2008.

GERR, Dave. **The Elements of Boat Strength: for builders, designers, and owners.** EUA: International Marine, 2000.

GREENE, Eric. **Marine Composites.** 2 ed. Annapolis: Eric Greene Associates, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Posição e Extensão.** Disponível em <<http://teen.ibge.gov.br/mao-na-roda/posicao-e-extensao>>. Acesso em 04/out/2015.

KLINK , Amyr. **Linha d'água.** São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

LEVY, Flamínio Neto. PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia.** São Paulo: Blucher, 2012.

MARINUCCI, Gerson. **Materiais Compósitos Poliméricos: fundamentos e tecnologia.** São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MATHEUS, Marco Antonio. **Fiberglass: aprenda fibra de vidro.** 2.ed. São Paulo: M A Matheus, 2010.

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

PEREIRA, José Carlos. **Apostila Curso de Projeto Estrutural com Materiais Compostos.** 2003.

PETERHANS, Horst. **PRFV – Plástico Reforçado com Fibra de Vidro.** Blumenau: Nova Letra, 2014.

VACMOBILES. **Benefits: The benefits of using a Vacmobile for resin infusion and other vacuum bagging processes.** Disponível em <<http://www.vacmobiles.com/benefits.html>> Acesso em Nov/2016.