

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

SCNS EDSON SEGAL

MATERIAIS COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO NAVAL MILITAR:
a importância do uso do plástico reforçado na construção de navios de guerra.

Rio de Janeiro

2015

SCNS EDSON SEGAL

MATERIAIS COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO NAVAL MILITAR:
a importância do uso do plástico reforçado na construção de navios de guerra.

Monografia apresentada à Escola de Guerra
Naval, como requisito parcial para a conclusão
do Curso de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: Prof. Dr. Nival Nunes de Almeida

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Nival Nunes de Almeida, pelas precisas orientações e pela forma amigável e motivadora que me tratou na condução deste trabalho.

Ao Contra-Almirante (EN) Mario Ferreira Botelho, por ter tornado possível esta oportunidade de aumentar meus conhecimentos por meio do Curso de Política e Estratégia Marítimas de 2015.

A Deus que, pela inspiração e presença constante, não me deixou esmorecer no enfrentamento dos desafios.

Aos meus colegas da turma do C-PEM 2015, pelo companheirismo no convívio diário e pela oportunidade de novas amizades.

À minha amada esposa Jasmim Maria, pela tolerância e compreensão nas muitas horas que não lhe pude dar atenção e pelo afago nos momentos de muita ansiedade que eu passei.

Por fim, também faço um especial agradecimento à minha saudosa mãe (*in memoriam*) que, de onde quer que ela esteja, com certeza intercedeu para que eu tivesse sucesso nesta minha jornada.

RESUMO

Nos últimos anos, tem havido uma crescente demanda por veículos marinhos de alta velocidade, desde barcas para transporte de passageiros e automóveis a navios de guerra, tais como, barcos patrulha e corvetas. Nessas embarcações, o peso estrutural é de grande importância; já que menor peso leva a uma maior velocidade, cargas e economia de combustível. Os materiais compósitos oferecem o potencial de poupança de peso estrutural e têm sido empregados com sucesso na construção de uma variedade de navios pequenos e de médio porte. Esta monografia trata de tecnologias atuais dos plásticos reforçados com fibras, materiais e processos utilizados na fabricação de estruturas navais de alto desempenho. Quatro tipos de resinas são exibidos: poliéster, epóxi, éster-vinílica e fenólica. Em sequência, os três principais processos de laminação são detalhados: laminação manual, infusão e prepreg. Estruturas do tipo sanduíche são introduzidas como meio de aumentar a rigidez das placas de compósito. A apresentação destaca, ainda, os benefícios que os materiais compósitos podem proporcionar ao Poder Naval, quando aplicados em navios militares. Um cenário de combates litorâneos propiciou uma proposição do autor para obtenção de três modelos de navios de guerra escandinavos, construídos totalmente em compósitos, pela Marinha do Brasil. A pesquisa também levanta alguns aspectos relativos à transferência de tecnologia e a questões básicas da prática de acordos de compensação (*offset*).

Palavras-chave: Materiais Compósitos, Estruturas Sanduíche, Navios de Guerra, Transferência de Tecnologia, Marinha do Brasil.

ABSTRACT

In recent years, there has been a growing demand for high-speed marine vehicles, from barges to passenger transport/cars to warships, such as patrol boats and corvettes. In these vessels, the structural weight is of great importance; lower weight leads to a higher speed, load and/or fuel economy. Composite materials offer the potential of structural weight savings and have been used successfully in the construction of a variety of small and medium-sized ships. This monograph deals with current technologies of fiber reinforced plastics, materials and processes used in the manufacture of high-performance marine structures. Four types of resins are displayed: polyester, epoxy, vinyl ester and phenolic. Following are the three main lamination processes are detailed: hand lay-up, infusion and prepreg. Sandwich structures are introduced as a means to increase the stiffness of the composite plates. The presentation also highlights the benefits that composites can provide the naval power, when applied to military ships. A coastal combat scenario provided an author's proposition to obtain three models of Scandinavian warships, built entirely in composites, by the Brazilian Navy. The research also addresses some aspects of technology transfer and the basic questions of the practice of compensation arrangements (offset).

Keywords: Composite Materials, Sandwich Structures, Warships, Technology Transfer, Brazilian Navy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Acordo de Compensação
AMRJ	Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
C&T	Ciência e Tecnologia
CIAA	Centro de Instrução Almirante Alexandrino
C-PEM	Curso de Política e Estratégia Marítimas
DEN	Diretoria de Engenharia Naval
EDVM	Embarcação de Desembarque de Viaturas e Material
EDVP	Embarcação de Desembarque de Viaturas e Pessoal
EMA	Estado-Maior da Armada
EMGEPRON	Empresa de Gerenciamento de Projetos Navais
END	Estratégia Nacional de Defesa
HH	Homem Hora
MB	Marinha do Brasil
MD	Ministério da Defesa
NAPAFLU	Navio Patrulha Fluvial
NPG	Neo-pentil-glicol
PACTI	Plano de Ação para a Ciência Tecnologia e Inovação
PAEMB	Plano de Articulação e Equipamento da Marinha do Brasil
PND	Política Nacional de Defesa
PREPREG	Pré-impregnado
PRF	Plástico Reforçado com Fibra
PRFV	Plástico Reforçado com Ffibra de Vidro
PROSUB	Programa de Desenvolvimento de Submarinos
PVA	Álcool Polivinílico
PVC	Policloreto de Polivinila
ROV	Veículo Operado Remotamente
SecCTM	Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha
SPTMB	Sistema de Prospecção Tecnológica da Marinha

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO NAVAL NO AMRJ.....	13
3	MATERIAIS COMPÓSITOS.....	21
3.1	Conceitos básicos sobre os materiais compósitos.....	21
3.2	Os plásticos reforçados.....	23
3.2.1	As resinas.....	26
3.2.1.1	Resinas poliéster.....	27
3.2.1.2	Resinas epóxi.....	28
3.2.1.3	Resinas éster-vinílicas.....	29
3.2.1.4	Resinas fenólicas.....	30
3.2.1.5	Aditivos das resinas.....	31
3.2.2	Processos de fabricação.....	32
3.2.2.1	Laminação manual (<i>hand lay-up</i>).....	33
3.2.2.2	Infusão a vácuo.....	35
3.2.2.3	Técnica de prepreg.....	36
3.2.3	Estruturas sanduíche de plástico reforçado.....	39
3.3	Breve consireração.....	43
4	COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO NAVAL.....	44
4.1	Introdução.....	44
4.2	Aplicações de compósitos na construção de navios e estruturas marítimas.....	45
4.3	Compósitos na construção de navios militares.....	48
4.3.1	Histórico.....	48
4.3.2	Aplicações de compósitos na construção naval militar.....	49

5	CONTRIBUIÇÃO DOS COMPÓSITOS PARA O PODER NAVAL.....	57
5.1	Conceitos.....	57
5.2	Compósitos no Poder Naval.....	58
5.2.1	O Plano de Articulação e Equipamento da Marinha do Brasil.....	59
5.2.2	Navios contramedida de minagem (caça-minas).....	60
5.2.3	Corvetas <i>stealth</i>	62
5.2.4	Navios patrulha.....	64
6	TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA.....	67
6.1	Conceituação.....	67
6.2	A prática de <i>offset</i>	72
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	REFERÊNCIAS.....	79
	ANEXO A.....	83
	ANEXO B.....	86

1 – INTRODUÇÃO

Os compósitos estão se tornando um material de interesse para aplicação em navios de guerra. Atualmente, requisitos de construção *stealth*¹, reduzidos peso e manutenção estão forçando a mudança de metais tradicionais para os compósitos nos meios navais.

Para a Marinha do Brasil, a ampliação de meios navais em quantidade está diretamente ligada à capacidade de realização das quatro tarefas básicas do Poder Naval: negar o uso do mar, controlar as áreas marítimas, projetar poder sobre terra e contribuir para a dissuasão. Tais tarefas têm o propósito de garantir a soberania brasileira no mar e nas águas interiores, além de proteger o patrimônio marítimo brasileiro.

Numa época em que os recursos financeiros necessários para uma expansão dos meios navais, a um número desejável, não estão disponíveis, há de se pensar em uma alternativa exequível. Uma frota em menor número, porém com mais qualidade, ou seja, com mais eficiência, eficácia e efetividade pode ser, salvo melhor juízo, repensada até que a recuperação orçamentária nos próximos anos aconteça. Nesse sentido, é imperativa a busca por conhecimentos, afetos aos novos paradigmas da ciência, tecnologia e inovação, que contribuam para alavancar a aplicação do Poder Naval. Portanto, há a necessidade de algo que demande uma postura aberta a novas abordagens.

A pesquisa, ora proposta, vislumbra o incremento de materiais compósitos, mais especificamente os plásticos reforçados, na construção de navios de guerra e submarinos. Resumidamente, os compósitos são construídos a partir de dois ou mais materiais básicos, pela associação de fibras de alta resistência, uma matriz de resina e até mesmo em núcleo de espuma rígida tipo sanduíche. Apresentam excelentes qualidades que os fazem substituir, com

¹ Uma embarcação *stealth* é aquela que, por meio da difusão de ondas eletromagnéticas, não é completamente detectada pelo sistema de radar de outros navios em missões de ataque rápido. São navios com baixas assinaturas térmica, acústica e eletrônica.

vantagem, os materiais convencionais, como o alumínio, o aço e a madeira, para aplicações navais. Eles englobam em um único material varias propriedades de excelência que definem sua moderna e ampla aplicabilidade. Leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência, adaptabilidade são algumas das propriedades que fazem com que engenheiros e técnicos procurem cada vez mais os compósitos como solução para os seus projetos de engenharia. Sua grande versatilidade também permite seu uso em aplicações particulares em que materiais convencionais não podem ser empregados.

Notadamente, o aço é o material tradicional para navios de guerra, como também é para navios civis. Isto é devido ao baixo custo e alta resistência do aço e porque a construção em aço é bem conhecida pelos estaleiros navais e Marinhas. No entanto, por vezes, os materiais compósitos são escolhidos porque eles podem oferecer propriedades que são particularmente atraentes para uma aplicação específica. Por exemplo, os compósitos são utilizados em navios caça-minas devido às propriedades não magnéticas do compósito, nas superestruturas de grande navios de guerra e em embarcações rápidas de patrulha devido ao baixo peso específico e as possibilidades de reduzidas **assinaturas**² oferecidos por construções em compósitos. Recentemente, a Marinha dos Estados Unidos decidiu adotar superestruturas de compósito em futuros contratorpedeiros e cruzadores, sendo que o primeiro contratorpedeiro *stealth* da classe “ZUMWALT” (DDG1000) tem previsão para entrar em operação no final de 2015 (CAVAS, 2014). Pelo exposto, os compósitos são usados em embacções militares porque eles são diferentes do aço e oferecem vantagens quando usados sabiamente em casos específicos.

Embora um navio de guerra construído totalmente de aço tenha custo semelhante ao de um navio construído totalmente de compósito, os custos de operação (gastos com combustível) e de manutenção do chapeamento do casco e superestrutura (gastos com

² Assinatura neste texto significa a intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite diferentes tipos de radiação, possibilitando ou não a sua detecção por diversos sensores (acústico, magnético, radar, térmico, etc.).

substituição de chapas), são menores no navio totalmente de compósito. Tais fatos, dentre outros que serão abordados ao longo da pesquisa, já justificariam a opção de se utilizar materiais compósitos no projeto de construção de navios de guerra.

A importância da pesquisa realizada é relativa ao número de fatores que fazem do compósito um material particularmente adequado para as estruturas marítimas militares. A liberdade do projeto dessas estruturas significa que as formas do casco ou da superestrutura de um navio de guerra podem ser facilmente adequadas para alcançar qualquer requisito necessário. Ademais, o ambiente marinho é altamente agressivo devido à atmosfera salina, o que provoca corrosão nas estruturas metálicas, entretanto, estruturas fabricadas em compósitos não estão sujeitas ao processo de corrosão.

Pelas razões supracitadas, faz-se fundamental um estudo acerca desse importante material, visando a sua aplicação na indústria de construção naval militar brasileira.

O projeto de uma Força plenamente capaz de cumprir a nobre missão de defender a Pátria, garantindo os interesses e o patrimônio brasileiro no mar, requer meios navais que envolvem tecnologias de projeto, construção e sistemas que não estão disponíveis no Brasil, sejam nas indústrias ou nas universidades. A prática adotada, pela Marinha, para aquisição de novos navios de guerra e submarinos do exterior inclui a transferência de tecnologia por intermédio de acordos de compensação, chamados *offset*. O segmento do plástico reforçado também tem sido contemplado nesses acordos, portanto, se torna oportuna uma discussão desse processo de transferência de tecnologia utilizado pela Marinha na presente pesquisa.

Cumprir registrar que muito do que está descrito nesta monografia é baseado na experiência profissional do autor, obtida atuando como engenheiro naval na área do plástico reforçado com fibras de vidro, desde 1999, no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro.

Esta monografia está dividida em sete capítulos. No capítulo dois é mostrado um histórico da construção naval no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), inserindo nesse contexto as realizações na área do plástico reforçado.

Já o capítulo três conceitua o termo compósito e apresenta os principais materiais e processos de laminação utilizados na fabricação de estruturas de plásticos reforçados com fibras, quando aplicados na construção naval. Além disso, uma breve noção de estrutura sanduíche de compósito é apresentada.

O capítulo quatro expõe os motivos pelos quais os materiais compósitos têm sido aplicados na construção de navios, principalmente nos de guerra.

No capítulo cinco, o propósito é apresentar três tipos de meios navais totalmente construídos em compósitos que podem contribuir para o incremento do Poder Naval da Marinha do Brasil, no caso de serem contemplados na obtenção de meios prevista no Plano de Articulação e Equipamentos da Marinha do Brasil.

O capítulo seis analisa o processo de transferência de tecnologia e faz uma explanação sobre a prática de *offset*.

Nas considerações finais, o autor apresenta sua apreciação acerca da aplicação dos compósitos em navios de guerra e faz comentários sobre as razões desse material ainda não ter maior aceitação para uso militar; além de propostas de futuros trabalhos na área.

2 – HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO NAVAL NO AMRJ

O contexto histórico da construção naval militar no Brasil se entrelaça com a história da construção naval no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). Isso porque a grande maioria dos navios de guerra e todos submarinos construídos nessa nação foi parte do rol das belonaves construídas no AMRJ. A história da utilização do plástico reforçado no AMRJ se inseriu mais recentemente, uma vez que estruturas e algumas pequenas embarcações em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) foram construídas para fazerem parte dessas belonaves ou para apoio.

O Arsenal de Marinha é uma organização militar da marinha secular, fundada em 29 de dezembro de 1763, pelo Conde da Cunha, e instalado no sopé do Mosteiro de São Bento, com a finalidade de construir e reparar os navios da Marinha de Portugal. Desde então, foram construídas no AMRJ a grande maioria dos navios de guerra no Brasil, sendo a primeira a Nau “São Sebastião”, lançada ao mar em 1767, e a última a Embarcação de Desembarque de Viatura e Material (EDVM) “Cotunduba”, com lançamento e entrega em 2013 (ARSENAL..., 2013). A relação completa das construções pode ser vista no anexo A desta monografia.

Inicialmente, após a construção da Nau “São Sebastião”, a atividade principal do Arsenal foi o reparo e a manutenção dos navios da esquadra real e dos que aportavam no Rio de Janeiro. A construção da corveta “CAMPISTA”, em 1827, marcou a retomada da construção naval no Arsenal. Além disso, foi construída a corveta “D. Amélia” que depois da abdicação de D. Pedro I, em 1831, passou a se chamar “SETE DE ABRIL” (Ibidem).

Com o Arsenal já localizado na Ilha das Cobras, simultaneamente com as obras de infraestrutura (diques, cais, carreiras, edifícios, água, esgoto, ar-comprimido e energia elétrica) e montagem de suas oficinas, que ocorreram entre 1936 e 1946, foram construídos: um

monitor fluvial, batizado com o nome “PARNAÍBA”, seis navios mineiros, depois convertidos em cobertas classe “C”, nove contratorpedeiros classes “M” e “A” e cinco embarcações auxiliares (ARSENAL..., 2013).

Contudo, a construção de Navios de Guerra no Arsenal foi muito prejudicada no período após a segunda guerra mundial, devido às aquisições de navios usados no exterior pela Marinha (as chamadas “compras de oportunidade”), as quais passaram a ocorrer com muita frequência, antes as aquisições eram raras. Houve um período sem construções de vulto para o Arsenal de Marinha, era mais fácil adquirir ou receber, por empréstimo, navios velhos dos Estados Unidos. Foram recebidos, da Marinha Norte Americana, contratorpedeiros e submarinos da segunda guerra mundial para reaparelhamento da esquadra brasileira (FREITAS, 2006).

O reinício da construção de navios no Arsenal de Marinha aconteceu na década de 1960, com o início da construção de navios de pequeno porte: três navios hidrográficos e seis navios-patrolha costeiros (ARSENAL..., 2013).

Nessa década, foi criada a oficina de plástico reforçado do AMRJ que se situava no edifício nº 17, mais precisamente no andar acima da marcenaria. Também nesse período, foram produzidas as primeiras embarcações miúdas em plástico reforçado com fibra de vidro, sendo a primeira uma chalana, que foi laminada por intuição, isto é, sem um plano de laminação. Até então, todas as embarcações miúdas eram produzidas totalmente em madeira ou com os cascos de madeira revestidos com camadas de plástico reforçado com fibra de vidro³.

Nas décadas de 1960 e 1970, foram construídas no ARMJ obras Extra-Marinha, dentre as quais se destacam as construções das barcas “Vital Brasil”, “Santa Rosa” e “Boa Viagem”, cada uma com capacidade de dois mil passageiros, para a travessia Rio-Niterói.

³ Essa informação foi colhida por meio do depoimento do Sr. Adamastor Duarte da Costa que foi admitido no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro em 1949 e, desde então, trabalha nos setores de carpintaria naval e plástico reforçado. O anexo B apresenta uma declaração de veracidade das informações por ele prestadas.

Duas importantes datas ficaram marcadas na história da construção naval militar no AMRJ: setembro de 1979 e setembro de 1980 foram as datas nas quais as etapas industriais de construção das Fragatas “Independência” e “União”, respectivamente, terminaram. Para isso, equipes de operários, técnicos, e engenheiros do AMRJ tiveram que ser enviados ao Estaleiro Vosper Thornycroft, na Inglaterra para absorverem a tecnologia da construção, cada um na sua especialidade (FREITAS, 2006).

Aproveitando a mão de obra que ficava disponível com o término das atividades da construção das fragatas, o Arsenal também construiu na década de 1970, baseado em projeto dos Estados Unidos, três Embarcações de Desembarque de Carga Geral: “GUARAPARI”, “TAMBAÚ” e “CAMBORIÚ” (ARSENAL..., 2013).

Paralelamente à construção das fragatas, o Arsenal estava engajado na construção de mais duas barcas para transporte de passageiro para a travessia Rio – Niterói, iniciadas em janeiro de 1978 e prontificadas, em novembro de 1981, e a construção de um navio patrulha para o Paraguai, que foi o primeiro navio de guerra brasileiro exportado.

Na década de 1980, foram construídos diversos navios, dentre os quais se destaca o navio Balizador “Comandante Varela”, prontificado em novembro de 1982; esse tipo de navio executa tarefas ligadas ao sistema de sinalização náutica. Nesse período, foram construídas duas chatas de óleo (1980/1981), uma chata de munição (1983), uma chata de transporte de combustível de JP-5 (1985/1986) e um batelão com propulsão para abastecimento (1987/1988). Também nesse período, foi possível construir, no Arsenal, um moderno Navio-Escola, o NE “BRASIL”, empregando um projeto nacional desenvolvido pela Diretoria de Engenharia Naval, derivado das fragatas classe “NITERÓI”, que até hoje faz viagens de instrução ao redor do mundo com as turmas de Guardas-Marinha (ARSENAL..., 2013).

A continuidade da construção naval no Arsenal de Marinha foi fundamental para manter a tecnologia adquirida e possibilitar o seu progresso, assim o Arsenal projetou e cons-

truiu, a partir de 1982, dois navios de assistência hospitalar, o “OSWALDO CRUZ” e o “CARLOS CHAGAS”, encomendados pelo Ministério da Saúde.

Em setembro de 1983, no Arsenal de Marinha, foi iniciada a construção da primeira corveta Classe “Inhaúma”, de duas que competiam ao AMRJ construir. As construções se estenderam até o início da década de 1990, quando a corveta “Jaceguai” foi incorporada. Essa nova classe de navios de guerra foi concebida para prover escolta a comboios de cabotagem ou transoceânicos e para executar tarefas de patrulha costeira. Elas foram construídas com o intuito de substituir as corvetas da classe “Imperial Marinheiro”.

A fim de prover domos de sonar, que passaram a ser fabricados em plástico reforçado com fibra de vidro, para as quatro corvetas que estavam sendo construídas, duas no Arsenal e duas no estaleiro Verolme, o AMRJ enviou, em 1984, uma equipe técnica, com profundos conhecimentos na área do plástico reforçado, à firma TODS OF WEYMOUTH, na Inglaterra, com a finalidade de absorver a tecnologia do processo de fabricação dos domos, para depois construí-los na oficina de plásticos reforçados do AMRJ. Essa equipe constatou que um dos requisitos para a fabricação de um domo era a existência de uma sala de laminação com ambiente controlado na oficina. A oficina de plásticos, que estava localizada no edifício nº 17, tinha dimensões acanhadas e não comportava uma sala de laminação com as dimensões necessárias. A oficina de plásticos, então, foi transferida para a ala direita do edifício nº 2 e ganhou amplas e modernas instalações para os padrões da época, ficando plenamente capaz de produzir domos de sonares tanto para corvetas quanto para fragatas⁴.

Conforme placa comemorativa, em 15 de outubro de 1986, foram inauguradas as novas instalações de uma das Divisões da Produção, o AMRJ-247, ficando sob sua responsabilidade as obras de marcenaria, estofamento, lustro e laminação em fibra de vidro. A Divisão de Oficinas de Plásticos e Madeiras (AMRJ-247) tem sido bastante produtiva e reconhecida

⁴ O autor, que trabalha há 35 anos e sete meses no AMRJ, testemunhou a implantação da nova oficina de plásticos reforçados.

pela qualidade de sua marcenaria naval, com obras de excelente acabamento e pela sua seção de Plásticos Reforçados, que dentre outras obras, já produziu:

- 18 Embarcações de Desembarque de Viaturas e Pessoal – EDVP de 11,00 m;
- 04 Embarcações de Desembarque para os NAPAFLU – EDVP de 7,5 m;
- 17 Lanchas VEDETTA de 26`;
- 13 Lanchas Baleeiras para a Esquadra;
- 20 Escaleres padrão Escola Naval;
- 18 Lanchas tipo FLANCTON de 15`;
- 01 Lancha de Representação do AMRJ;
- 01 Lancha Patrulha de 42`;
- 05 Domos de Sonar das Corvetas classe “Inhaúma” e carenagens; e
- 02 Domos de Sonar das Fragatas classe “Niterói” e carenagens.

A construção dos cinco conjuntos de domo de sonar e carenagem hidrodinâmica para as corvetas brasileiras foi uma atividade pioneira na América do Sul e representou mais um êxito da construção naval do AMRJ no aparelhamento dos navios da esquadra da Marinha do Brasil. Inicialmente construídos em aço, os domos de sonar, a partir dos anos 80, começaram a ser projetados e construídos em plástico reforçado com fibra de vidro, pela grande vantagem deste material ser resistente estruturalmente, suportar ambientes marinhos, apresentar excelente estabilidade dimensional e, principalmente, influir muito pouco na transmissão da energia acústica gerada pelo equipamento transdutor de sonar, a quem o domo deve, por obrigação precípua, proteger.

Para permitir a construção de submarinos, foi necessária a construção de um dique flutuante, fundamental para a união das seções do submarino e seu lançamento no mar, o di-

que “ALMIRANTE SHIECK” foi prontificado no final da década de 80, e até hoje se encontra em operação, realizando docagens de manutenção em submarinos e navios de pequeno e médio porte⁵.

Na década de 1990, foram construídos no Arsenal dois Navios-Patrolha “GRA-JAÚ e GUAÍBA”, cuja missão é efetuar patrulha costeira em águas de jurisdição nacional, assim como rebocar embarcações de porte semelhante ao seu, realizar fainas de reabastecimento no mar e apoiar operações de mergulho livre e autônomo.

Durante a década de 1990, também foram construídas duas Lanchas-Patrolha e Polícia Naval, prontificadas em junho de 1992 e janeiro de 1993, projetadas para serviços de patrulha costeira até 30 milhas da costa, proteção das instalações de *offshore* e da pesca, combate ao contrabando e policiamento naval.

O AMRJ também construiu, nos anos 90, duas Lanchas Balizadoras “DHN” e CALHA NORTE, uma Embarcação de Desembarque de Viaturas e Materiais, e Chatas de Água e Óleo.

A década de 1990 foi a época dos submarinos brasileiros, assim, foram construídos, no Arsenal, os submarinos da classe “TUPI” (IKL-209-1400): Tamoio (1993), Timbira (1996) e Tapajó (1999). A construção destes submarinos exigiu um grande esforço do Arsenal de Marinha no sentido de adequar a sua capacidade industrial à avançada tecnologia de fabricação e ao projeto importado por meio dos contratos firmados entre a Marinha do Brasil e o consórcio HDW-Ferrostaal, da Alemanha.

A estratégia que possibilitou a aquisição dos conhecimentos técnicos necessários à construção dos submarinos teve como base o acompanhamento das principais etapas da construção do primeiro submarino (S “TUPI”), nas instalações do estaleiro HDW em Kiel (Alemanha), por oficiais engenheiros, engenheiros servidores civis, técnicos e operários, de acordo

⁵ O autor participou do lançamento do dique “Almirante Shieck” ao mar, na carreira 2 do AMRJ, como encarregado da faina em um dos bordos.

com as especializações técnicas de cada um. A área de estruturas em plásticos reforçados com fibras foi, inicialmente, acompanhada por dois oficiais engenheiros que geraram relatórios que compõem o acervo técnico da oficina de plásticos.

Vale registrar que a oficina de plásticos reforçados do AMRJ-247 participou efetivamente da construção dos três submarinos que cabiam ao Arsenal construir, fabricando, em PRFV, todos os conveses da superestrutura, parte da vela e o revestimento dos anéis de reforços internos ao casco resistente.

Na década de 2000, a construção de submarinos no AMRJ teve continuidade com a construção do S. “TIKUNA”, o primeiro da série de projeto mais moderno que a da classe “Tupi”, compreendendo diversas inovações tecnológicas, objetivando a redução dos níveis de ruído e do tempo de exposição do submarino durante operações de recarga de baterias com o navio esnorqueando. O submarino “TIKUNA” foi lançado em março de 2005 e entregue em julho de 2006.

Uma das inovações tecnológicas do S. ”TIKUNA” foi o domo do sonar, que deixou de ser fabricado em estrutura de aço inoxidável para ser constituído de uma estrutura de PRFV. A fim de absorver essa nova técnica de fabricação, um engenheiro, um técnico, e dois operários da seção de plásticos reforçados do AMRJ-247 foram enviados ao estaleiro HDW, na Alemanha, em julho de 2001, para realizarem o curso “Sonar Dome Course”, entretanto o domo acabou não sendo fabricado no Arsenal de Marinha, sendo adquirido já pronto da HDW. O treinamento realizado pela equipe do AMRJ-247, na Alemanha, não foi em vão, isso porque numa grande faixa do domo existe uma janela acústica, ou seja, uma estrutura de compósito tipo sanduíche com núcleo de uma espuma sintática, e esta janela acústica também estava presente nos conveses da superestrutura do S. “TIKUNA”, nas regiões onde há senso-

res do sonar passivo, os quais foram fabricados na oficina de plásticos reforçados com a mesma técnica aprendida no curso⁶.

Também na década de 2000, com base nas experiências adquiridas na construção e operação das corvetas classe “Inhaúma”, o Arsenal construiu a Corveta “Barroso”, que foi incorporada à Armada em 19 de agosto de 2008, traduzindo a concretização de mais um importante passo para a consolidação da tecnologia de construção naval da Marinha do Brasil.

Em novembro de 2009, o AMRJ construiu a chata para transporte de óleo combustível “BIQUA”. Esta chata possui casco duplo, em atendimento às normas ambientais, e tem capacidade para transportar até 600.000 litros de óleo MF-40. Na construção foi utilizado o sistema FORAN como ferramenta de projeto, detalhamento e edificação.

Na década de 2010, atendendo à demanda apresentada pelo programa Antártico brasileiro, o Arsenal prontificou, em outubro de 2012, a construção de uma nova chata de cargas para o transporte de contêineres, tratores e máquinas pesadas, que permitiu a retirada da sucata produzida pelo desmonte das estruturas da Estação Antártica Comandante Ferraz.

Entre março de 2012 e dezembro de 2013, o Arsenal construiu e entregou ao Setor Operativo cinco Embarcações de Desembarque de Viaturas e Material, a EDVM “COTUNDUBA” foi a última da série. A superação das restrições orçamentárias e das dificuldades administrativas e técnicas de execução, aliadas à determinação das equipes envolvidas nas obras, permitiram a construção. A entrega das EDVM representou mais um importante passo para a consolidação do processo de retomada da Construção Naval Militar no Arsenal de Marinha (PODER NAVAL, 2013).

⁶ O autor participou ativamente do treinamento no estaleiro HDW, em Kiel (Alemanha), no período de 02/07/01 a 03/08/01.

3 – MATERIAIS COMPÓSITOS

Este capítulo apresenta uma explanação sobre os materiais compósitos, adstringindo-se aos plásticos reforçados com fibras. Serão mostrados materiais e processos de laminação utilizados na produção desses materiais. Também é trazida uma visão sobre as estruturas sanduíche de plástico reforçado.

3.1 – Conceitos básicos sobre os materiais compósitos

Os compósitos são materiais constituídos por uma mistura de fases macrocomponentes compostas de materiais que estão no estado dividido e que, geralmente, são diferentes sob o ponto de vista de composição química e forma. Os principais macrocomponentes são as fibras, partículas, lâminas, escamas e substâncias de enchimento (CHIAVERINI, 1986).

O corpo do material é a “matriz”, a qual envolve os componentes e compõe a forma do material. Os componentes determinam a natureza interna do compósito. A matriz pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico (Ibidem).

Existem, em princípio, cinco tipos de compósitos baseados na estrutura: fibroso, composto de fibras, com ou sem matriz; particulado, composto de partículas, com ou sem matriz; lamelar, composto de camadas de constituintes laminados; escamado, composto de escamas achatadas, com ou sem matriz; e enchido, composto de um esqueleto (matriz), preenchido com outro material (Ibidem).

Ademais, as propriedades dos compósitos são dependentes da natureza e das propriedades dos componentes, que atuam geralmente como substância de reforço ou enchimento da matriz, proporcionando alta resistência mecânica, elevado módulo de elasticidade, dentre outras.

A matriz atua como uma base que confere ductilidade e mantém a estrutura coesa e que, em resumo, contribui para que o conjunto se caracterize por boas condições de fabricação e a necessária flexibilidade (CHIAVERINI, 1986).

O grupo mais importante de compósitos em termos de desempenho e campo de aplicações é o de matriz polimérica. Um material polimérico pode ser considerado como constituído por muitas partes, unidas ou ligadas quimicamente entre si, de modo a formar um sólido. Esse material encontra-se dividido em dois grupos, e dependendo do modo como estão ligados quimicamente e estruturalmente, eles podem ser classificados em termoplásticos ou termofixos (Denículi, 1999). A principal diferença entre os dois plásticos é que os termoplásticos, após o processo de polimerização, ao serem aquecidos amolecem, adquirem outras formas e tornam-se mais fluidos quando submetidos a um calor adicional, enquanto que os termofixos tornam-se permanentemente rígidos, uma vez endurecidos, e mesmo quando submetidos a uma fonte de calor não amolecem para permitir retrabalho ou retorná-los ao estado líquido para reuso.

O que é mais notável nos materiais compósitos está no fato de eles reunirem as melhores qualidades de seus constituintes, obtendo-se então, grandes vantagens em termos de propriedades.

Em outras palavras, o termo compósito se refere a qualquer material constituído de dois ou mais distintos componentes, combinados para fornecer melhores desempenhos mecânicos e propriedades (HASNINE, 2010).

Os tipos de compósitos comumente utilizados na indústria de construção naval são os poliméricos fibrosos, dentre eles os plásticos reforçados com fibras, e os lamelares, por exemplo, as estruturas sanduíche de plástico reforçado.

Doravante, a fim de facilitar o entendimento, o termo compósito se referirá nesta monografia ao plástico reforçado, ou seja, irá concentrar-se em materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras.

3.2 - Os Plásticos Reforçados

Os plásticos reforçados ocupam uma posição ímpar entre os materiais de engenharia. Tanto no que diz respeito a suas principais características (flexibilidade de projeto, leveza, resistência à corrosão, e outras mais), como no referente aos vários processos de fabricação, cada um deles adequado à peça a ser moldada e sua escala de produção. O plástico reforçado vem somando virtudes com virtudes e permite a obtenção da solução mais apropriada, tanto econômica como técnica de vários problemas atinentes aos materiais de engenharia.

São materiais em que o componente principal é um reforço fibroso de alta resistência e o componente secundário é uma resina orgânica aglutinante, referida como matriz. Os polímeros termofixos compreendem a maioria das resinas dos plásticos reforçados e consistem principalmente das famílias químicas que incluem a poliéster, a fenólica, a éster-vinílica e a epóxi.

A resina mais comumente usada para aplicações em estruturas marítimas é a poliéster insaturada do tipo isoftálica ou ortoftálica. A ortoftálica apresenta o mais baixo custo, todavia, também o menor desempenho. A isoftálica possui melhor resistência à osmose e, também, melhores propriedades mecânicas do que a ortoftálica. Resinas epóxi e éster-vinílica são as mais utilizadas em estruturas que requerem alta resistência, tenacidade e rigidez. As resinas fenólicas estão se tornando atrativas para a indústria naval por causa de seu bom desempenho ao fogo. As fibras de reforço incluem o vidro E, o vidro S, a aramida (kevlar) e o carbono. Essas fibras são utilizadas isoladamente ou como híbridos, sob a forma de tecidos,

mantas, fios e fitas. As fibras de vidro do tipo E são as fibras mais utilizadas em embarcações devido ao seu balanço de propriedades mecânicas e baixo custo. As fibras de vidro tipo S são utilizadas quando se exige uma maior resistência, mas o custo é significativamente mais alto. As fibras aramidadas, mais conhecidas pelo nome comercial de Kevlar, são fibras sintéticas, e estão entre as fibras de maior resistência específica por causa de sua baixa densidade; também são bastante utilizadas em aplicações sujeitas a alto impacto devido à sua alta tenacidade, por exemplo, na fabricação de coletes à prova de balas. Propriedades de resistência à fadiga em estruturas de plástico reforçado com fibra (PRF) podem ser melhoradas quando se substitui o vidro pelo kevlar. As fibras de carbono têm a maior rigidez e a maior resistência à tração do que as outras fibras supracitadas. Quando as fibras de carbono forem usadas exclusivamente, a construção tenderá a ser mais cara, por esse motivo, as fibras de carbono são aplicadas somente em estruturas de alto desempenho (NASSEH *et al*, 2002).

A matriz é um plástico rígido, mas relativamente fraco, que é reforçado pelas mais fortes fibras. A matriz polimérica mantém as fibras juntas. Um feixe de fibras soltas não seria de muito uso. Essas fibras podem ser alinhadas numa mesma direção, tornando o compósito mais resistente quando submetido a uma força de tração na mesma direção, entretanto, quando se traciona a um ângulo reto da direção das fibras, ela não é muito forte. Isso nem sempre é ruim, porque às vezes se requer que o compósito seja resistente em apenas uma direção, mas quando se necessita de resistência em mais de uma direção, aplica-se, então, fibra em mais de uma direção. Isto se faz pelo uso de tecidos de fibra para reforçar o compósito. Os tecidos de fibra conferem aos compósitos boa resistência em muitas direções. A matriz pode absorver energia, deformando sob tensão. Isso quer dizer que a matriz adiciona tenacidade ao compósito. E finalmente, enquanto que as fibras têm boa resistência à tração (ou seja, elas são fortes ao puxá-las), elas geralmente têm baixíssima resistência à compressão, isto é, elas flambam quando esmagadas. A matriz fornece resistência compressional ao compósito (MASUELLI,

2013). A matriz tem as seguintes funções: a) transferir esforços entre as fibras; b) prover uma barreira contra um meio ambiente agressivo; e c) proteger a superfície da fibra da abrasão (HASNINE, 2010).

Nem todas as fibras são iguais, pode parecer estranho que o vidro, sendo realmente fácil de quebrar, é usado como reforço. Mas, por alguma razão, quando o vidro é transformado em fibras, ele atua muito diferente. Fibras de vidro são fortes e flexíveis, mas ainda há fibras mais fortes, porém mais caras, como o Kevlar e as fibras de carbono, que podem ser usadas quando o vidro não é forte e tenaz o suficiente (MASUELLI, 2013). Em alguns casos, as fibras de vidro são combinadas com outras fibras, como as de carbono ou aramidas, criando um compósito híbrido que combina as propriedades de mais de um material de reforço.

Uma vantagem importante dos plásticos reforçados com fibra (PRF) é que as suas propriedades podem ser adequadas para satisfazer aos requisitos da aplicação estrutural, por meio da variação da orientação das fibras e da posição do tecido nas camadas a serem laminadas. Se projetadas corretamente, estruturas de PRF proporcionam boa resistência para um baixo peso, especialmente quando os tecidos otimizados uniaxiais ou multiaxiais são usados. Também, materiais de PRF são facilmente moldados em formas complexas, embora possa ser difícil de controlar as direções de fibra em alguns casos (NOURY *et al*, 2002).

Plásticos reforçados com fibra sofrem pouca ou nenhuma corrosão, se usados corretamente. Tais materiais são praticamente livres de manutenção, dando baixos custos operacionais. As concentrações de tensões são menos críticas do que com metais. Para prevenção, reforços contínuos de fibra são utilizados. Por essa razão, trinca por fadiga é um problema menor. A maioria dos materiais de PRF também têm uma baixa condutividade, de modo que os efeitos do fogo pode ser mais facilmente contidos do que com estruturas metálicas (NOURY *et al*, 2002).

As propriedades que os projetistas de estruturas, geralmente, acham atrativas nos plásticos reforçados com fibras, abrangem as seguintes: baixa densidade, alta resistência e rigidez, resistência à corrosão, resistência ao desgaste, baixa transmissão de calor e bom isolamento elétrico (MAYER, 2012).

3.2.1 – As Resinas

A matriz de um compósito polimérico utilizado na construção de estruturas navais é um plástico termofixo resultante da polimerização de uma resina termofixa. As resinas termofixas, que se apresentam habitualmente na forma de líquidos, mais ou menos viscosos, e, por efeito de um agente especial iniciador (catalisador), sofrem uma reação de polimerização que provoca o endurecimento de maneira irreversível.

As resinas termofixas, tais como poliésteres, éster-vinílicas, epóxis e, em menor extensão, fenólicas, são utilizadas quase que exclusivamente como matrizes orgânicas em plásticos reforçados para aplicação naval (GRABOVAC; TURLEY, 1993).

Tendo em vista que não está no escopo desta monografia entrar nos detalhes do que corresponde à química de tais produtos (para isso, podem ser consultados os próprios fabricantes de resina e outros tipos de publicação especializada), será suficiente uma breve menção ilustrativa, para somente individualizar as classes de resina mais comumente usadas na construção de estruturas navais e destacar algumas de suas modalidades e propriedades, para uma primeira orientação.

3.2.1.1 – Resinas Poliéster

As resinas poliésteres são compostos orgânicos fabricados basicamente a partir de derivados do petróleo, que passam do estado líquido ao estado sólido por um processo chamado de polimerização. Sua aparição no mundo dos plásticos data da década de 1930. A manipulação de alcoóis orgânicos e ácidos permite a fabricação de resinas poliéster, conseguindo-se enorme variedade de resinas mediante a alteração dos componentes e das proporções em que participam, oferecendo ao mercado muitas opções para dar a resposta adequada a cada necessidade industrial, tanto por suas propriedades químicas como por suas características mecânicas (BRASIL. CIAA, 2001).

Essas resinas endurecem à temperatura ambiente, ou mais rapidamente com controle de aquecimento; podem, também, moldar-se ou estratificar-se sem pressão, ou com pressão muito reduzida, geralmente inferiores a 10 kg/cm² (FONSECA, 2005).

No comércio, se apresentam, normalmente, como líquidos incolores ou ligeiramente amarelados, em uma ampla gama de viscosidades, sendo, formados por: um poliéster não saturado (polímero), um produto monômero não saturado, e um estabilizante que impede o desencadeamento de uma reação de polimerização, enquanto a resina está armazenada.

À temperatura ambiente, essas misturas têm comumente a duração de quatro a seis meses, porém, conservadas em câmaras frigoríficas, a cerca de 10 °C, sua conservação ultrapassa um ano e meio.

Os catalisadores, geralmente um peróxido orgânico ou um hidroperóxido, se apresentam usualmente na forma líquida, e, juntamente com os aceleradores (naftenato ou octoato de cobalto), atuando à temperatura ambiente, quando adicionados à resina, dão lugar a uma reação exotérmica.

A resina poliéster isoftálica com NPG (neo-pentil-glicol) é a mais utilizada no AMRJ na construção de escaleres e outras embarcações em plástico reforçado com fibra de vidro. O NPG reduz a absorção de água pelo laminado quando a embarcação permanece por longo período flutuando na água.

3.2.1.2 – Resinas Epóxi

As resinas epóxi são obtidas normalmente por reação de um fenol ou de um composto polioxidrílico sobre a epícloridrina (um derivado da glicerina), dando origem a um polímero de cadeia linear que, analogamente às resinas poliésteres, endurece pela ação oportuna de um agente catalisador ou endurecedor. O bisfenol A representa comumente o constituinte oxidrílico mais empregado na produção das resinas epóxi, mas também se usam outros polifenóis, que, juntos na proporção em que podem combinar-se os dois componentes básicos, dão lugar a toda uma ampla gama de resinas que se apresentam na forma de líquidos mais ou menos viscosos. A transformação dessas resinas em polímeros duros e infundíveis, mediante a formação das correspondentes ligações transversais cruzadas, pode realizar-se com endurecedores (aminas aromáticas ou do ciclo alifático e derivados) (FONSECA, 2005).

As resinas epóxi se diferenciam das outras especialmente por sua exígua contração e seu forte poder adesivo. Possuem, ainda, uma excelente resistência química aos solventes orgânicos e compostos inorgânicos, como também aos ácidos e álcalis. Suas propriedades mecânicas e em particular sua resistência à umidade, devido a sua melhor aderência ao reforço de fibra de vidro e a sua exígua absorção de água, apresentam geralmente vantagem sobre as resinas poliésteres comuns, sobressaindo-se também, com respeito a essas últimas, por suas melhores qualidades elétricas, sua resistência ao arco e por sua baixa inflamabilidade, com a única desvantagem de um custo de aquisição sensivelmente maior (Ibidem).

Como exemplo de utilização da resina epóxi no AMRJ, cita-se o revestimento anticorrosivo dos eixos propulsores e intermediários das fragatas classe “Niterói” e corvetas classe “Inhaúma”. Nesse revestimento são utilizadas fitas de fibra de vidro embebidas com resina epóxi catalisada, as quais são enroladas em volta de todo o comprimento dos eixos.

3.2.1.3 – Resinas Éster-Vinílicas

Associando a facilidade de aplicação e cura das resinas poliéster e as excelentes propriedades de resistência da resina epóxi, as resinas éster-vinílicas têm sido utilizadas cada vez mais na indústria náutica. A formação química da resina parte de um radical epóxi, e por esse motivo também tem de ser acelerada e catalisada em proporções precisas.

A resina éster-vinílica é similar à resina poliéster que reage com estireno, normalmente na quantidade de 45 por cento, e na sua cadeia o processo de cura é iniciada pela adição de um catalisador e um acelerador (cobalto).

Laminados fabricados com resina éster-vinílica apresentam excelente resistência ao ataque de produtos químicos e a altas temperaturas (ÉSTER-VINÍLICAS...,2010), e também uma menor absorção de água e menor hidrólise, que nada mais é que a quebra da cadeia molecular pela ação d’água, quando comparada com as resinas convencionais de laminação. Isso ocorre principalmente devido a dois fatores: menos polaridade das resinas éster-vinílicas e reduzidos pontos de ataque químico (BRASIL. CIAA, 2001).

As resinas ester-vinílicas são, de fato, algo entre as poliéster e as epóxi, quando comparadas em termos de propriedades mecânicas, adesão, resistência à hidrólise e preço. Para se evitar as bolhas osmóticas no laminado de embarcações, sempre observadas com as resinas poliésteres, é ideal o uso das éster-vinílicas (ÉSTER-VINÍLICAS...,2010).

No Arsenal de Marinha, a resina éster-vinílica é empregada na produção de um laminado sólido reforçado com fibra de vidro, que reveste internamente as cubas de aço para armazenar soluções com ácido sulfúrico do processo de limpeza química de tubulações.

3.2.1.4 – Resinas Fenólicas

São, em geral, produtos que resultam da condensação em proporção variável de fenol e do formaldeído, acelerando-se a reação por meio de catalisadores ácidos ou básicos. No seu trabalho de pesquisa, Santos (2008, p. 7) descreve as resinas fenólicas:

São polímeros termorrígidos considerados como os primeiros materiais poliméricos totalmente sintéticos e foram patenteadas pela primeira vez em 1899 por A. Smith. Desde então, estas resinas têm sido usadas em diversas aplicações, tais como adesivos para compensados, recobrimento de superfícies, matrizes na fabricação de compósitos na indústria aeroespacial, automobilística e naval (manufatura de componentes mecânicos e estruturais, equipamentos elétricos), em espuma para isolamento térmico e acústico, entre outras.

O mercado dispõe de resinas fenólicas especiais, denominadas de baixa pressão, que podem moldar-se com pressões tão reduzidas como de 1 a 3 kg/m². Elas se apresentam habitualmente na forma de soluções aquosas estabilizadas que contêm uma pequena quantidade de álcool, porém, ao contrário do que acontece com as poliésteres, o dissolvente não interveém na polimerização e deve eliminar-se antes da moldagem. Também se diferenciam das poliésteres, já que só admitem, no momento, a polimerização a quente, a temperaturas de uns 120 a 150°C, exigindo, às vezes, períodos posteriores, curando à temperatura de 200°C (FONSECA, 2005).

Além disso, as resinas fenólicas de baixa pressão se condensam, pondo em liberdade certa quantidade de água, portanto, seu emprego requer algumas precauções para conseguir produtos homogêneos e de boas características mecânicas, que não são necessárias quando se opera com resinas que endurecem sem despreendimento de subprodutos voláteis.

As principais vantagens dessas resinas, que parecem adquirir cada vez maior importância, residem essencialmente no fato de que seu emprego permite fabricar elementos estruturais em PRFV de maior rigidez do que com qualquer outra resina, e de sua capacidade em conservar, na maior parte, suas excelentes propriedades mecânicas, mesmo em elevadas temperaturas (FONSECA, 2005).

Deve ser ressaltado, ainda, que as resinas fenólicas possuem excelente estabilidade térmica, sendo resistentes à chama (cerca de 900 °C), provocando pouca fumaça e baixa emissão de gases tóxicos, quando comparadas às resinas poliésteres e epoxídicas, características fundamentais em ambientes em que a segurança contra o fogo é fundamental, por exemplo, compartimentos de navios de guerra e submarinos (SANTOS, 2008).

3.2.1.5 – Aditivos das Resinas

Os aditivos são substâncias químicas destinadas a proporcionar determinadas propriedades às resinas. A seguir, são descritas algumas dessas substâncias.

a) Inibidores

Como o próprio nome supõe, os inibidores retardam a cura das resinas e estendem as suas vidas úteis, aumentando o tempo de armazenagem sem alterar as características de processamento (BRASIL.CIAA, 2001). Eles são fundamentais para se evitar a gelificação. Como exemplo, pode ser citado a hidroquinona.

b) Agentes tixotrópicos

Estes agentes são substâncias (cargas minerais) que tem por finalidade aumentar a viscosidade da resina, Isso se faz necessário para evitar que a resina escorra (MATHEUS, 2002), quando a laminação acontece em superfícies verticais ou inclinadas próximas da vertical. Como exemplo, pode ser citado o aerosil.

c) Retardantes à chama

Existem algumas resinas muito resistentes às chamas, porque, em sua formulação, entram monômeros especiais. As resinas poliésteres mais comuns são geralmente combustíveis, portanto só podem adquirir certo grau de garantia contra fagulhas, fósforos, cigarros acesos e outros agentes comburentes, mediante a agregação de produtos especiais, como, por exemplo, o trióxido de antimônio (FONSECA, 2005).

d) Corantes

Uma importância especial está na coloração das resinas para os plásticos reforçados com fibras, que conduziu ao desenvolvimento de uma gama de corantes especiais, sejam transparentes ou opacos, que se apresentam sob a forma de pastas ou de pigmentos solúveis, inorgânicos ou orgânicos, dispersos em veículos apropriados. As resinas que mais facilmente podem ser coloridas em uma variedade de matizes e tonalidades são, em primeiro lugar, as epoxídicas e, depois as poliésteres (FONSECA, 2005).

3.2.2 – Processos de Fabricação

Componentes e estruturas de compósitos são fabricados por impregnação de fibras de reforço com resina líquida, podendo-se usar vários processos, entretanto, neste subitem serão descritos apenas três: a laminação manual (*hand lay-up*), que é o processo utilizado na oficina de plásticos reforçados do AMRJ; o processo de infusão a vácuo, que é largamente empregado na indústria de construção de embarcações; e a técnica prepreg, que é um dos processos que está sendo utilizado na construção dos submarinos previstos no Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), da Marinha do Brasil⁷.

⁷ Essa informação foi obtida pelo autor com os técnicos do AMRJ envolvidos no projeto.

A seleção de resina da matriz desempenha um papel dominante na determinação do desempenho ao fogo e à resistência química dos compósitos. A seleção de fibra desempenha um papel dominante nas propriedades mecânicas finais do compósito. De igual modo, a escolha do processo de fabricação desempenha um papel dominante no custo das estruturas de compósitos. Em nenhum lugar isso é mais verdadeiro do que nas grandes e complexas estruturas navais militares.

3.2.2.1 – Laminação manual (*hand lay-up*)

Conforme experiência deste autor, a técnica de laminação manual é o método mais simples de processamento de compósitos. Trata-se de um método essencialmente artesanal e, portanto, lento, que requer alguma habilidade manual para se conseguir resultados satisfatórios. A infraestrutura necessária é mínima e as etapas de processamento são bastante simples. Primeiro de tudo, um agente desmoldante⁸ é aplicado sobre a superfície do molde para evitar a aderência do laminado à superfície. Uma fina película de *gelcoat*⁹ é pulverizada sobre a superfície do molde. Reforços sob a forma de tecidos ou mantas são cortados de acordo com o tamanho do molde e colocados na superfície do molde. Em seguida, o polímero termofixo na forma líquida (resina) é misturado minuciosamente na proporção adequada com um prescrito endurecedor (agente de cura) e derramado sobre a superfície do reforço já posicionado no molde. O polímero é uniformemente espalhado com a ajuda de um rolo de lã de carneiro. A segunda camada de reforço é então posicionada sobre a superfície do polímero e um rolete é movido com uma leve pressão sobre a camada do polímero para remover qualquer ar retido,

⁸ O emprego de tal agente é sempre necessário, porque a maior parte das resinas que se usam na fabricação dos plásticos reforçados possui um alto poder adesivo e tendem, portanto, a ficar unidas às superfícies com que entram em contato. Basicamente são de dois tipos: álcool polivinílico e cera de carnaúba.

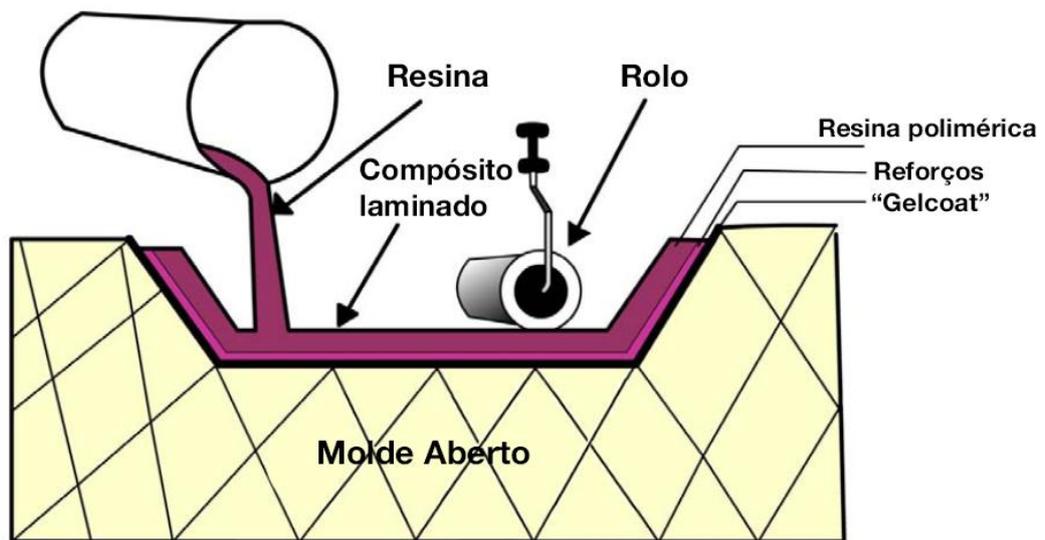
⁹ *Gelcoat* é um produto feito a partir de resinas adequadas, tixotropos e pigmentos, utilizado para dar acabamento e proteção às peças de plástico reforçado. As resinas podem ser ortoftálicas, isoftálicas, isoftálicas com neopentil-glicol ou retardantes de chama.

bem como o excesso de polímero (resina) presente. O processo é repetido para cada camada de polímero e reforço, até que as camadas necessárias estejam todas laminadas. Após a cura, seja à temperatura ambiente ou a alguma temperatura específica, a peça de compósito é desmoldada e levada para acabamento.

O esquemático do processo *hand lay-up* é mostrado na figura 1. O tempo de cura depende do tipo de polímero utilizado no processamento de compósito. Por exemplo, para o sistema epóxi, o tempo normal de cura, à temperatura da sala de laminação, é de 24 a 48 horas. O processo de laminação manual tem aplicação em muitas áreas, como componentes de aeronaves, peças automotivas, cascos de embarcações, domos de sonar, conveses de submarinos, entre outras.

Figura 1 - Processo de laminação manual.

Laminação Manual (“Hand Lay-Up”)



Fonte: Lecture 5.4 - Hand Lay-up and Spray Lay-up¹⁰.

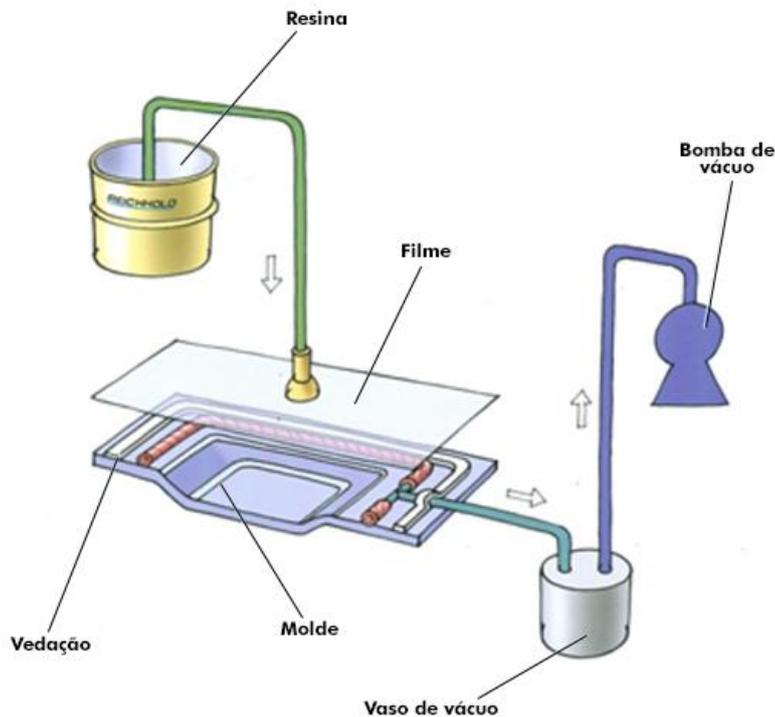
¹⁰ Disponível em: <<http://nptel.ac.in/courses/112107085/module5/lecture4/lecture4.pdf>>. Acesso em 25 de março de 2015.

3.2.2.2 - Infusão a vácuo

A infusão é um processo no qual toda a estrutura fibrosa da peça desejada é disposta sobre o molde (com desmoldante aplicado), podendo já estar com o *gelcoat* e camadas de acabamento necessárias, tais como barreira de osmose. Esta estrutura é formada, normalmente, por uma camada de mantas e tecidos; em seguida aplicam-se os núcleos inerciais e, por fim, mais uma camada de mantas e tecidos, conforme o plano de laminação. As camadas são cuidadosamente dispostas sobre um molde aberto, ainda secas. Sobre isso são distribuídos alguns materiais auxiliares para condução e também para a contenção do fluxo da resina. Então, é colocado um filme plástico de alta resistência, segundo uma técnica específica, o qual tem que ser perfeitamente selado com adesivos especiais. Sob essa bolsa plástica, aplica-se vácuo forte, o que compacta o reforço, reduzindo em até 30 por cento a espessura das camadas. Feito isso, abre-se a mangueira de alimentação e o peso do ar da atmosfera encarrega-se de injetar a resina, impregnando todo o reforço e núcleos. Aí, então, a alimentação de resina é cortada e a peça é mantida sob vácuo até a cura do laminado, quando a peça pode ser desmoldada.

Esse sistema consegue reduções de até 30 por cento na quantidade de resina em relação ao processo de laminação manual, reforço mais compacto e ausência de bolhas, resultando, assim, em um laminado com elevados teores de fibra, de superior qualidade e resistência, além da eliminação do vapor de estireno, típico em sistemas abertos, reduzindo os custos com equipamentos de exaustão na oficina de laminação. O esquemático do processo de infusão a vácuo é mostrado na figura 2.

Figura 2 - Processo de infusão a vácuo.



Fonte: Brochura técnica da firma Reichhold – Infusão a vácuo¹¹.

3.2.2.3 – Técnica de prepreg

O termo "prepreg" é na verdade uma abreviação para a frase pré-impregnado. Um prepreg é um reforço de PRF que é pré-impregnado com uma resina. Na maioria das vezes, a resina é do tipo epóxi, no entanto, outros tipos de resinas podem ser utilizadas. Esse sistema de resina (tipicamente epoxi) já inclui o agente de cura adequado. Como um resultado, o prepreg está pronto para ser colocado no interior de um molde aberto, sem a adição de qualquer resina a mais. Para que o laminado cure, é necessário a utilização de uma combinação de pressão e calor.

¹¹ Disponível em: <[http://www.reichhold.com/brochures/composites/Vacuum%20Infusion%20\(Brazil\).pdf](http://www.reichhold.com/brochures/composites/Vacuum%20Infusion%20(Brazil).pdf)>. Acesso em 30 de março de 2015.

O tecido prepreg é fornecido com uma folha protetora, que é facilmente removida e o material fica imediatamente pronto para ser laminado. Para a cura completa do prepreg, calor e pressão são necessários. Embora a pressão possa ser conseguida utilizando uma prensa, o método mais típico é o ensacamento a vácuo.

Os requisitos de calor, em geral, exigem um forno, a fim de se controlar a temperatura de rampa acima, rampa para baixo, e para sustentar uma temperatura uniforme numa duração recomendada.

Primeiro, a preparação do molde é feita normalmente. Para se obter uma peça acabada brilhante, é necessário ter um molde impecável que foi encerado e revestido com álcool polivinílico (PVA). O prepreg é fornecido entre duas folhas de proteção, que precisam ser retiradas antes de colocar o tecido no interior do molde. Por causa da superfície do prepreg ser muito pegajosa, é necessário se colocar o material cuidadosamente para dentro do molde. O reposicionamento vai puxar para cima o PVA. Recomenda-se continuar a colocação de camadas uma cima do outra, até uma espessura total de um quarto de polegada em uma única vez.

O prepreg é curado parcialmente, o que significa que ele pode ser aparado, plissado, e formado com uma faca ou uma tesoura. O prepreg é manuseado muito facilmente e por causa de sua aderência, ele vem a ficar fixado firmemente no molde. Depois de colocado as camadas no molde, o prepreg deve ser comprimido para permitir a adesão, para remover qualquer ar retido entre as camadas e para escorrer qualquer excesso de resina. Apesar de haver muito pouco excesso, a resina vai naturalmente tornando-se mais fina como a temperatura elevada e haverá um fluxo de resina antes da cura completa da resina.

Com o tecido prepreg, há um benefício de se ter bastante tempo para preparar o ensacamento e levar a peça pronta para o forno. Não haverá luta contra o tempo de gel da resina, no entanto, quanto mais camadas se coloca no molde, haverá provavelmente mais ar preso entre as camadas.

Após as camadas atingirem a espessura desejada, o saco de vácuo é construído e selado, portanto, tudo está pronto para puxar vácuo e se iniciar o ciclo de calor.

Completado o ciclo de calor, a peça é esfriada a temperatura ambiente, os materiais de ensacamento a vácuo são retirados, e a peça é liberada do molde. A peça deve estar totalmente curada e pode ser colocada em serviço imediatamente.

Uma grande vantagem do prepreg é que após a cura e arrefecimento, camadas adicionais podem ser colocados sobre a peça sem a necessidade lixamento de ancoragem ou preparação adicional da superfície. Mais uma vez, até um quarto de polegada pode ser colocado em uma única vez, com a mesma consideração de não retenção de ar entre as camadas.

Existem várias vantagens de se utilizar um prepreg em vez de usar uma laminação manual tradicional, a saber:

1 - Máximas propriedades de resistência.

Em uma laminação manual, se alcança 50% de conteúdo de resina. Isto significa que o laminado acabado, em peso, é 50% de resina e 50% de tecido. Laminados manuais típicos, mesmo quando ensacados a vácuo, acabam com uma quantidade significativa de excesso de resina. O excesso de resina aumenta a fragilidade e reduz completamente as propriedades. Por outro lado, a maioria dos prepregs contêm cerca de 35% de resina. Isso é ideal para as propriedades máximas e geralmente é impossível de se alcançar em uma laminação manual normal.

2 - Uniformidade e repetibilidade da peça.

Sem as armadilhas de técnicas de laminação manual, não haverá nem áreas ricas em resina nem manchas secas. Espessura será uniforme e cada peça que sai do molde tem uma probabilidade teórica de ser idênticas. Há ainda uma margem de erro em técnicas de ensacamento a vácuo, mas prepregs reduzem esses problemas de forma significativa.

3 - Menos bagunça e menos resíduos.

Prepregs acabam com todos os excessos da laminação manual - copos de resina, rolos impregnados, gotejamentos - não são mais um problema.

4 - Menos tempo de cura.

Após o ciclo de cura térmica ser concluído, a peça está pronta para o serviço. Não existe a necessidade de ter que esperar o padrão de 48 horas para permitir uma cura completa, como em uma típica laminação manual.

5 - Melhor cosméticos.

Preparação de moldes e de liberação de molde ainda é necessária e irá afetar diretamente os cosméticos da peça como no laminado manual. No entanto, prepregs praticamente eliminam as bolhas de ar e uma superfície lisa, brilhante é mais facilmente atingível.

6 - Mais tempo de armazenagem.

O tempo de armazenagem pode chegar a um ano à temperatura ambiente. No entanto, o calor pode curar o prepreg. Ambientes quentes irá reduzir a vida em prateleira. Mantendo-se o material sob refrigeração, o tempo de armazenagem se prolonga de forma significativa ¹².

3.2.3 – Estruturas Sanduíche de Plástico Reforçado

Os subitens anteriores mostraram uma visão sobre os materiais de reforço e resinas que são usados na construção de estruturas laminadas em material compósito. Muitas são construídas utilizando estes materiais na forma de laminados sólidos. Apesar das diversas vantagens que os laminados de fibra exibem sobre outros materiais, a propriedade de rigidez, ou seja, a resistência à flexão, não é um dos pontos mais fortes dos plásticos reforçados.

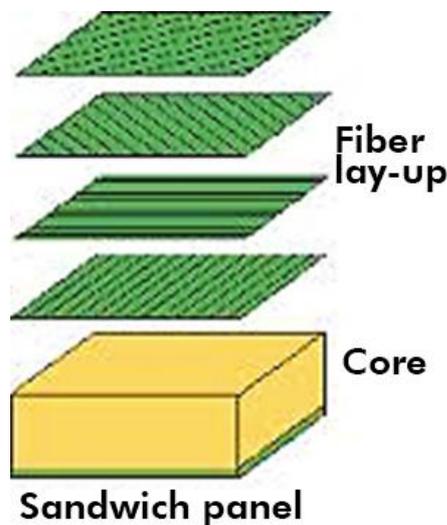
¹² Todas as informações contidas neste subitem estão disponíveis em: <http://www.fibreglast.com/product/about-prepregs/Learning_Center>. Artigo técnico da empresa Fibre Glast. Acessado em 19 de abril de 2015.

Apesar do uso de materiais de alto módulo de elasticidade, como as fibras de carbono, e sofisticados métodos de produção fornecerem uma maior rigidez, os laminados em fibra têm rigidez inferior, se comparados com outros materiais. Existem várias formas em que a rigidez de um painel de fibra pode ser melhorada, como a utilização de reforços que se estendem nas direções longitudinais e transversais para reduzir a área livre do painel sem apoio, mas o melhor método para o aumento da rigidez de um painel de fibra é a construção em sanduíche.

Notadamente, verifica-se que painéis de laminados sólidos possuem uma quantidade de reforços, normalmente em forma de “U” invertido. Não existe nada de errado em fabricar painéis com essa configuração, mas dificilmente a velocidade de fabricação, custo e peso podem superar uma construção em sanduíche.

O princípio da construção tipo sanduíche se baseia na teoria da “viga I”. Descobriu-se que uma viga podia ficar mais rígida e mais leve com a eliminação de alguns materiais supérfluos, deixando dois flanges horizontais separados por uma alma vertical que os mantinha ligados rigidamente. Essa descoberta foi a queda de uma barreira no desenvolvimento de vários tipos de estruturas e muitas aplicações da engenharia moderna são baseadas nesse princípio. A construção sanduíche em um laminado oferece as mesmas vantagens que uma viga I em uma estrutura metálica, mas em vez de uma alma e dois flanges, a construção em sanduíche faz uso de um material de núcleo de baixa densidade, que é faceado em ambos os lados por laminados de fibra, conforme pode ser visto na figura 3 (BRASIL.CIAA, 2001).

Figura 3 - Painel Sanduíche de Plástico Reforçado.



Fonte: Empresa ALFGAM Optimering AB¹³.

A solução mais simples para o enrijecimento de painéis de fibra seria, obviamente, o aumento da espessura destes, de modo que a adição de reforços transversais e longarinas não fossem necessárias. No entanto, o resultado disso seria um laminado muito pesado, com uma resistência desnecessária, além de ser extremamente caro. Fazendo uso da construção tipo sanduíche, uma espessura extra pode ser adicionada com um pequeno aumento de peso, custo, e uma facilidade de construção que a torna favorável, quando comparada com a construção convencional de laminados sólidos (BRASIL.CIAA, 2001).

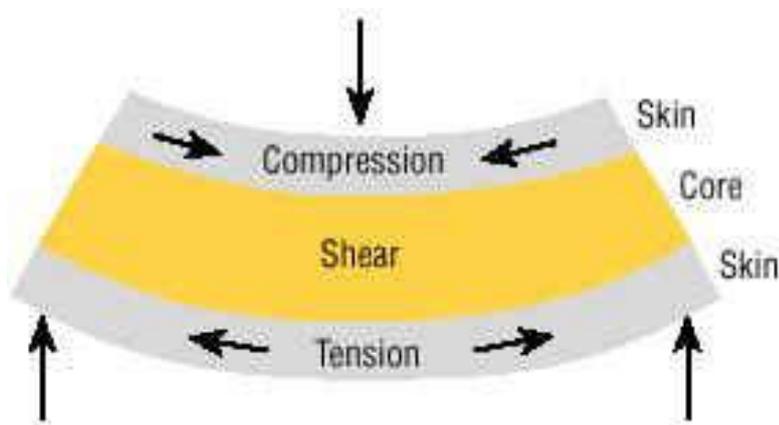
O laminado sanduíche consiste de duas faces de um laminado de alta resistência e um núcleo de baixa densidade. O papel das faces na estrutura é suportar os momentos de flexão no painel, resistindo aos esforços de tração e compressão desenvolvidos nas camadas opostas quando o painel está sob carregamento. Além de resistir às tensões de tração e compressão, as faces devem ter espessura suficiente para resistir à flambagem e avarias por impactos localizados.

¹³ Disponível em: <<http://www.alfgam.se/cases/ys2000.htm>>. Acesso em 29 de março de 2015

Na maioria das aplicações de estruturas sanduíche, o que interessa é em um núcleo razoavelmente forte e de baixo peso, que permita ao laminado ter a espessura suficiente para aumentar a rigidez sem o aumento excessivo de peso. Existe uma grande quantidade de núcleos disponíveis para a construção sanduíche, variando desde a madeira balsa, compensado tipo naval, uma variedade de materiais de espuma sintética e colmeias. Espumas de policloreto de polivinila (PVC) são, provavelmente, o tipo de núcleo mais utilizado na construção de embarcações atualmente.

O núcleo deve ter resistência à compressão suficiente para resistir à falha ocasionada por um carregamento normal à face do painel ou tensões compressivas devido a sua flexão, conforme mostrado na figura 4.

Figura 4- Carregamento Normal ao Laminado Sanduíche.



Fonte: Web site – FRAM building & sailing pages¹⁴.

A estrutura sanduíche deve ter rigidez suficiente ao cisalhamento e à flexão para evitar deflexões excessivas devido ao carregamento.

Esse conceito técnico de laminados tipo sanduíche trouxe uma solução para a limitação que apresenta o emprego dos plásticos reforçados na construção de estruturas, e anula

¹⁴ Disponível em: < <http://www.fram.nl/faq/how/how.htm>>. Acesso em 02 de abril de 2015.

a desvantagem de que é menor a resistência à deformação por flexão quando em comparação com os metais e outros materiais de construção (FONSECA, 2005).

3.3 – Breve Consideração

Diante do exposto, pode-se observar que a questão dos materiais compósitos é muito importante para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado, tais como embarcações de pequeno e médio porte, e outras estruturas de aplicação naval; também para a conquista da autonomia pela capacidade de aplicar o conhecimento de uma forma contínua, mesmo que ora reduzida ou ora acelerada, de acordo com as condições econômicas do país. Nesse sentido, a Marinha do Brasil, representada pelo AMRJ, em face desta tecnologia, teve a iniciativa de conceber a oficina de plásticos reforçados do AMRJ-247, que vem desempenhando bem o seu papel, apesar de um número reduzido de pessoal.

4 – COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO NAVAL

Neste capítulo, serão mostradas as aplicações dos materiais compósitos em embarcações, com ênfase nos navios de guerra, bem como as vantagens da utilização destes materiais em relação aos materiais metálicos, tais como o alumínio e o aço.

4.1 – Introdução

Os materiais compósitos são relativamente novos para a indústria naval e vieram a ser utilizados no Brasil apenas na década de 1960, quando o plástico reforçado passou a ser propagado na indústria náutica e alguns barcos da época foram construídos em madeira e posteriormente tiveram o casco revestido com um laminado de fibra de vidro. Materiais tradicionais de construção naval foram a madeira, o aço, e o alumínio. Apesar de navios de maior porte serem construídos principalmente de aço, compósitos às vezes são usados em superestruturas e componentes internos.

Durante as últimas três décadas, o uso de compósitos poliméricos reforçados com fibra levou a um grande desenvolvimento da fabricação de estruturas leves na construção naval e na indústria *offshore*. Recentemente, compósitos também têm encontrado aplicação em pequenos veículos subaquáticos. Submersíveis não tripulados para águas profundas confiam muito no uso de compósitos. O interesse crescente na utilização de materiais compósitos visa à redução do peso e do custo da manutenção da estrutura, além da durabilidade (aumento do ciclo de vida). Apesar de laminados sólidos fabricados a partir de fibras de vidro, carbono ou aramida terem boas resistências quando aplicados em estruturas, a sua rigidez é baixa devido à sua espessura reduzida. Esses painéis tem geralmente sua resistência aumentada pela inserção de reforços com a penalidade de adição de peso para a estrutura e redução de espaços li-

vres de interferências. A adição de reforços leva à complexidade na análise e construção.

4.2 - Aplicações de Compósitos na Construção de Navios e Estruturas Marítimas

Os materiais compósitos estão sendo mais amplamente utilizadas na construção de navios e estruturas marinhas do que nunca. As aplicações atuais incluem um difundido uso em cascos de iates, embarcações de recreio, barcos de corrida, botes salva-vidas e pequenos navios comerciais para pesca e transporte de passageiros. Um dos motivos para o seu uso é porque os compósitos são muito fortes para o seu peso relativo, e menos peso significa uma velocidade máxima superior e melhor manobrabilidade. O interesse no uso de materiais compósitos para navios de maior porte tem vindo a aumentar nos últimos anos, principalmente para embarcações de passageiros de alta velocidade. Sua resistência à corrosão, baixa manutenção e facilidade de reparação fazem deles alternativas atraentes para os materiais metálicos tradicionais aplicados na construção naval, tais como o alumínio e o aço (SORATHIA, 2004).

Na construção de navios de superfície, submarinos e estruturas *offshore*, há uma crescente demanda por estruturas de alta resistência e leves, onde os materiais compósitos podem oferecer redução de peso de até 25-50% em comparação com o alumínio e o aço. Compósitos tem excelente resistência à corrosão, que reduz a manutenção, baixa condutividade térmica, eles não são magnéticos e quando danificados, as estruturas de plástico reforçado com fibra de vidro são facilmente reparadas (GRABOVAC E TURLEY, 1993).

As razões para a aplicação de materiais leves, como os compósitos, em navios incluem o seguinte:

- Permitem uma maior capacidade de carga para um determinado tamanho ou peso do navio;
- Permitem atingir velocidades mais elevadas;

- Reduzem o consumo de combustível e as emissões ambientais para uma determinada carga e distância percorrida;
- Melhoram a estabilidade; e
- Às vezes, requerem reduzidos espaços devido a soluções mais compactas.

Para navios com muitos conveses, tais como navios de cruzeiro, o uso de soluções de estruturas leves em conveses superiores ajuda a baixar o centro de gravidade, melhorando assim a estabilidade. Além disso, algumas soluções são compactas, como a aplicação de compósitos de estrutura sanduíche, dando reduzido requisito de espaço e levando a uma menor distância vertical entre conveses (NOURY *at al*, 2002).

As atuais e potenciais aplicações de materiais compósitos em navios estão relacionados principalmente à alta velocidade de ferries de passageiros e automóveis, embarcações de patrulha e salvamento, navios de guerra menores (por exemplo, navios contramedida de minagem), embarcações de recreio e iates à vela. No entanto, eles também são usados em superestruturas de navios de cruzeiro e dos navios de guerra maiores (por exemplo, fragatas), que são denominados navios de estruturas híbridas. Além disso, eles são usados extensivamente nas estruturas secundárias e componentes para todos os tipos de navios, de mastros e envólucros a rampas e conveses móveis de veículos.

A estrutura do navio de compósito pode ser projetada para ser significativamente mais leve do que uma de aço e, como consequência requer até 25 por cento menos potência instalada para uma de equivalente desempenho. Isso permite a seleção de motores menores e mais leves, criando um melhor acesso para manutenção dos mecanismos e permitindo um conceito de manutenção com base na rápida remoção para a oficina, revisão e recolocação, minimizando o tempo parado do navio e maximizando a disponibilidade operacional (RUSSELL, 2005).

Atualmente, a maioria das embarcações marítimas são construídas usando compósitos de poliéster reforçado com fibra de vidro, embora compósitos sanduíche e materiais de PRF avançados, contendo fibras de carbono ou aramida com resinas éster-vinílicas ou epóxi sejam usados na construção de navios de mais alto desempenho estrutural.

Compósitos usando fibras de vidro, kevlar e fibras de carbono têm excelente desempenho estrutural, quando aplicados na construção de navios, e pode ser otimizado com a utilização de processos de fabricação cada vez mais sofisticados, especialmente quando usado em construções sanduíche, eliminando cavernas e longarinas, permitindo a estrutura se tornar muito leve e rígida. O custo dos materiais para a construção em PRF é competitivo quando em comparação com o alumínio e aço, no entanto, a maior economia ocorre na velocidade de construção, na fácil reprodutibilidade e no baixo investimento inicial.

A construção de embarcações em PRF tem a vantagem de não necessitar de equipamentos industriais, tais como, máquinas de solda, de corte e pontes rolantes. Com pouco treinamento, um laminador já estará preparado para executar suas tarefas, enquanto que nas construções em alumínio, se exige uma mão de obra altamente especializada em soldagem. Os materiais compósitos têm características de alta produtividade, especialmente quando se fabrica um grande número de navios, o que é difícil de se obter com o alumínio e outros metais, sem um aumento significativo no custo de produção. Assim, o PRF possibilita uma variedade de propriedades mecânicas, combinada com a facilidade de construção, que a maioria dos metais não possuem (MORAES E WILSON, 2013).

4.3 - Compósitos na Construção de Navios Militares

4.3.1 – Histórico

A primeira aplicação marítima de material compósito de polímero reforçado por fibra (PRF) foi na construção de barcos, logo após a Segunda Guerra Mundial. Construtores de barcos começaram a utilizar compósitos de PRF em vez de madeira, que era tradicionalmente utilizada em pequena embarcação marítima, porque a madeira estava se tornando cada vez mais escassa e cara. O abandono do emprego da madeira foi favorável para muitos construtores e proprietários, isto porque barcos de madeira eram facilmente degradados pela água do mar e pelos organismos marinhos, portanto, era necessária uma manutenção contínua e reparos que podiam ser dispendiosos. As primeiras tentativas de se fabricar casco de barco em PRF foi em 1947, quando doze pequenos barcos surfe foram feitos para a Marinha dos Estados Unidos (SELVARAJU E ILAIYAVEL, 2011).

Na época da guerra do Vietnam, existiam acima de 3.000 lanchas de serviço, barcos patrulha e embarcações de desembarque e reconhecimento construídos de material compósito. Antes de 1950, os barcos de compósito atingiam 16 metros de comprimento, entretanto, nos recentes anos, os comprimentos têm aumentado de forma constante e nos dias de hoje há navios de guerra totalmente de compósito de até 80-90 metros de comprimento (VINSON E SIERAKOWSKY, 2006). Se a tendência continuar, ajudada pelas melhorias tecnológicas, então, os cascos para navios de guerra de médio porte, como fragatas que são tipicamente entre 120 e 160 m de comprimento, poderão ser construídos de materiais compósitos por volta do ano 2020, entretanto, isso só será viável se o custo de construção for menor que a construção em aço (MOURITZ *at al*, 2001).

Desde meados da década de 1980, o uso de compósitos na construção naval aumentou consideravelmente, quando os militares se empenharam para reduzir os custos de aquisição e de manutenção, e para melhorar os desempenhos operacional e estrutural das embarcações navais de tamanho médio (HELLBRATT, 2009).

4.3.2 – Aplicações de Compósitos na Indústria de Construção Naval Militar

A aplicação de compósitos de PRF em embarcações militares foi inicialmente conduzida por uma necessidade de barcos navais leves, fortes, resistentes à corrosão e duráveis. A maioria destas aplicações iniciais foram impulsionadas pela necessidade para superar os problemas de corrosão experimentados com o aço ou as ligas de alumínio ou a degradação ambiental sofrida pela madeira. Outra razão para se utilizar o compósito era de reduzir o peso, particularmente o peso alto de navios. A alta transparência acústica dos compósitos também resultou no seu uso em radomes de navios e domos de sonar em submarinos.

As primeiras aplicações em meios navais militares dos compósitos foram:

- Varredor de minas (15,5 metros);
- Embarcação de desembarque (15,2 metros);
- Lancha de serviço (7,9 metros);
- Revestimento de cascos de madeira;
- Domo de sonar de submarino;
- Carenagem de submarino;
- Embarcação de desembarque e reconhecimento (15,8 metros); e
- Invólucro não resistente de submarinos.

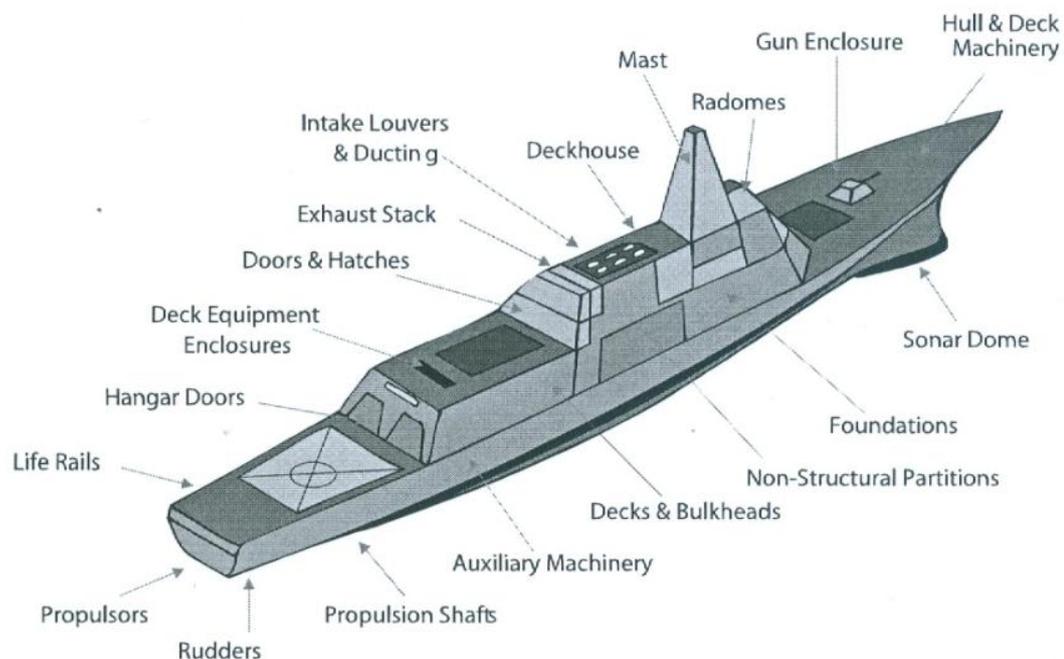
Barcos de patrulha naval têm características de alto desempenho, e também se requer deles um extenso raio de ação e que sejam capazes de suplantar severas condições de serviço. Essas qualidades conduzem a uma escolha de um material, para a construção, com alta resistência específica (resistência/densidade), excluindo-se, assim, os materiais pesados, dentre eles o aço. O material a ser utilizado deve ter boa resistência ao impacto e à fadiga, fora excelente resistência e rigidez, face à possibilidade de choques e explosões de minas (ANÁLISE..., 2011).

Diante disso, os barcos de patrulha naval estão, cada vez mais, sendo construídos com um projeto totalmente de compósito ou com um casco de compósito equipado com uma superestrutura de alumínio. A crescente popularidade do barco patrulha de PRF é principalmente devido à sua excelente resistência à corrosão, que reduz custos de manutenção, e leveza. Isto pode resultar numa maior rapidez e economia de combustível. Estima-se que os barcos de patrulha de compósito são, em geral, aproximadamente 10 por cento mais leve do que um barco de alumínio e mais de 35 por cento mais leve do que um barco de aço com o mesmo tamanho. Os compósitos de fibra de carbono são pouco usados em embarcações navais por causa dos seus altos custos. A viabilidade do uso de compósitos em uma ampla variedade de estruturas secundárias e equipamentos de navios de guerra e submarinos estão sob investigação. Por exemplo, um grande esforço tem sido feito para o desenvolvimento de hélices e eixos de propulsão em material compósito. Dos compósitos, são esperados que ofereçam uma série de importantes benefícios, quando utilizados em sistemas de propulsão, incluindo menor custo, peso reduzido, menor assinatura magnética, melhores propriedades de amortecimento de ruído e superior resistência à corrosão. Prevê-se que eixos de propulsão produzidos em compósito serão de 18 a 25 por cento mais leves do que os eixos de aço do mesmo tamanho, e reduzirão o custo de ciclo de vida em pelo menos 25 por cento por causa de menos problemas associados à corrosão e fadiga. Eixos propulsores de compósito só foram instalados em um

pequeno número de barcos de patrulha, contudo, a utilização de compósitos nestas aplicações deverá aumentar, embora a uma taxa lenta. Os compósitos também estão a ser avaliados para utilização em lemes para navios e de controle de superfícies para submarinos (SELVARAJU E ILAIYAVEL, 2011).

As atuais e potenciais aplicações dos compósitos em navios de superfície e submarinos são mostradas nas figuras 5 e 6, que incluem, dentre outras, domos de sonar, superestruturas, mastros, torretas, chaminés, anteparas, conveses, portas estanques, jazentes de máquinas, tubulações, dutos de ventilação, eixos propulsores, pás de hélices, estrados e balaústres (SORATHIA, 2004).

Figura 5 - Atuais e potenciais aplicações dos compósitos em navios de superfície.

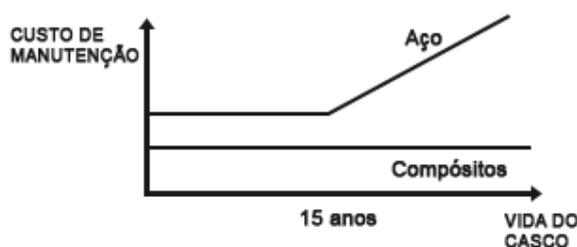


Fonte: Materials in Military Applications – Chapter 9¹⁵.

requeridas para o navio que se queira construir. Para as pequenas embarcações rápidas, toda a estrutura de compósito pode ser melhor. Para um navio maior, toda a estrutura em aço pode ser melhor, mas um casco de aço com uma superestrutura de compósito pode ser ainda melhor, devido à redução de assinaturas e a possibilidade de se localizar equipamentos mais pesados a uma posição mais elevada, sem comprometer a estabilidade.

Numa análise sobre a durabilidade, verifica-se que enquanto ambas as estruturas de cascos de navios em alumínio e em aço podem experimentar razoavelmente constantes custos de manutenção no decurso dos primeiros 15 anos de vida em serviço, posteriormente os custos de manutenção começam rapidamente a subir com o início da corrosão do aço e das rachaduras do alumínio por fadiga. Para pequenos navios de guerra com escantilhões de casco relativamente leves, 20 por cento do chapeamento do casco de aço normalmente precisa ser substituído na marca dos 15 anos. Por comparação, a tecnologia dos compósitos de hoje eliminou a osmose, assim, os navios de compósito mantêm as suas estéticas e não apresentam deterioração estrutural e não experimentam nenhuma escalada de custo com manutenção ao longo e além dos 20 anos do ciclo de vida. A comparação é representada no gráfico 1. É importante ressaltar que o adicional tempo fora de serviço requerido para a manutenção de ambos os cascos de aço e alumínio das frotas de barcos patrulha para além dos 15 anos, reduziria ainda mais sua relativa disponibilidade operacional (RUSSEL, 2005).

Gráfico 1 - Custos de manutenção X Ciclo de vida.



Fonte: RUSSELL, 2005, P.38.

Uma estrutura de compósito oferece a clara vantagem de não ter nenhuma suscetibilidade à corrosão ou tina por fadiga, combinado com alta resistência a danos por colisão e relativa facilidade de reparação localizada. Experiências em serviço com navios de guerra de compósitos, tais como caça-minas, têm demonstrado que a eliminação da necessidade de manutenção estrutural serve para minimizar o tempo fora de serviço em doca seca e adicionalmente libera a tripulação do tradicional dia a dia pintando para a proteção contra a corrosão. Além do mais, danos estruturais de navios de compósitos, resultantes de colisões com cais de concreto e até mesmo encalhes em recifes, tem geralmente sido mostrado ficar restrito ao *gel-coat* e as primeiras camadas do laminado, e são facilmente reparáveis (RUSSEL, 2005).

Uma importante razão para se usar o plástico reforçado com fibras (PRF) em navios de guerra tem sido sua propriedade não magnética, fazendo dele adequado para navios de contramedida de minagem. Baixo peso também tem sido um importante fator na sua introdução em embarcações de alta velocidade, especialmente navios patrulha e mais recentemente embarcações rápidas de ataque, tais como o navio patrulha norueguês “Skjold” e a corveta sueca “Visby”. A combinação da propriedade não magnética e um baixo peso foi um essencial fator na escolha da estrutura sanduíche de PRF para a construção dos vários navios noruegueses de guerra de minas classes “Oksoy” e “Alta”. A possibilidade de se alcançar um baixo peso foi um forte elemento na escolha de compósitos sanduíches em PRF para a maior parte da superestrutura da fragata francesa classe “La Fayette”, e também tem levado outras Mari-nhas a considerar tais soluções quando está difícil acomodar necessários equipamentos dentro dos limites de peso e estabilidade. Nos recentes anos, um aumento de motivação para usar materiais de PRF tem sido a possibilidade para construir não apenas propriedades mecânicas feitas sob medida, mas também outros aspectos relacionados a assinaturas e sensores. Isso tem levado ao extensivo uso de tais materiais em mastros e radomes, bem como em numerosas

outras estruturas secundárias e componentes em diferentes tipos de navios de aço (HAYMAN *at al*, 2001).

Os componentes de PRF na superestrutura dos navios tem uma dual vantagem de baixar o centro de gravidade (e, portanto, aumentar a estabilidade) e prover melhor proteção contra fragmentos afiados em combate.

Um número de fatores faz da estrutura sanduíche de compósito especialmente adequada para estruturas de navios militares. A liberdade de projeto significa que as formas do casco ou superestrutura podem ser facilmente moldadas para alcançar qualquer requisito necessário. No caso de navios com características *stealth*, o requisito de planicidade dos painéis é muito alto. A forma com aparência “cavalo esfomeado” do chapeamento de um casco em aço ou alumínio aumenta a seção transversal de radar¹⁸ a um grau inaceitável. Com painéis sanduíche laminados pelo processo de infusão, o acabamento e a planicidade da superfície dos painéis podem facilmente atingir os requisitos necessários.

Cascos construídos de metal normalmente necessitam ser isolados termicamente, entretanto, em estruturas sanduíche de compósito o isolamento térmico vem integrado na estrutura, devido às excelentes propriedades de isolamento do material do núcleo. Isso também irá reduzir a assinatura térmica infravermelha, devido à blindagem da fonte de calor dentro do navio. Também as assinaturas acústica, hidroacústica e de ruídos transmitidos pela água são minimizadas pelo amortecimento da estrutura de sanduíche.

A manutenção de navios de metal compõe uma grande parte do custo total do ciclo de vida para essas embarcações. Por meio da construção em estruturas sanduíche, o custo de manutenção pode ser minimizado. De acordo com um estudo do custo de manutenção para os navios da Real Marinha da Suécia, um navio de sanduíche de compósito requer apenas entorno de 20 por cento de HH (homens hora aplicados em manutenção) de um navio de me-

¹⁸ Seção transversal de radar é uma medida de reflectividade do radar.

tal do mesmo tamanho. Isto é devido a vários fatores: em navios de estrutura sanduíche de plástico reforçado, os tanques integrados ao casco só necessitam de limpeza, enquanto um tanque de aço normalmente precisa tanto de pintura quanto de reparos estruturais durante o seu tempo de vida; um casco sanduíche não precisa da mesma quantidade de cavernas, resultando em um ambiente interior mais limpo e organizado, o que torna a limpeza e qualquer pintura mais rápidas; o adicional material de isolamento térmico num navio de aço requer manutenção e também pode ser um esconderijo para a umidade acelerar a corrosão (HIGH..., 2002).

Como para as recompensadoras aplicações em navios de superfície, as estruturas híbridas também são favoráveis para submarinos, particularmente em termos de componentes estruturais externos ao casco resistente. Os benefícios relativos à aplicação dos compósitos em submarinos incluem: maior eficiência do sonar, fuga de intrincados procedimentos de desmagnetização atinentes a complexas formas estruturais, e simplificação das operações de trimagem e lastro. Por estas razões, domo do sonar, tanques de lastro, conveses, vela (carenagens), lemes, propulsores, tubos lançadores e escotilhas são todos bons candidatos para a substituição do metal pelo compósito, para possibilitar uma significativa melhoria estrutural e eficiência do combate (SHKOLNIKOV, 2014).

O desempenho ao fogo continua a ser um emotivo problema para a utilização dos compósitos em embarcações militares, por causa do risco inerente à vida. No entanto, tintas retardantes ao fogo e películas de barreira de fogo fornecem excelente proteção. Ademais, existe a possibilidade de se adicionar retardantes de chama à resina poliéster no processo de laminação, ou se optar pelo uso da resina fenólica, em vez da epóxi ou poliéster, que confere bom desempenho em termos de resistência ao fogo, enquanto que as propriedades mecânicas podem ser comparáveis à resina poliéster, especialmente após a cura em altas temperaturas.

5 – CONTRIBUIÇÃO DOS COMPÓSITOS PARA O PODER NAVAL

Este capítulo trata dos conceitos de Poder Naval e poder Marítimo, bem como do que é composto o poder Naval. Nesse caso, serão mostrados três tipos de navios de guerra construídos em material compósito, com a finalidade de se apresentar uma alternativa plausível no processo de decisão de quais projetos de navios serão mais adequados para serem contemplados nas obtenções previstas no Plano de Articulação e Equipamento da Marinha do Brasil, e que possam contribuir com algo mais para o incremento do Poder Naval brasileiro.

5.1 – Conceitos

O Poder Naval representa a componente militar do amplo e abrangente Poder Marítimo, e deve ter um potencial para garantir o cumprimento das seguintes tarefas: controle de áreas marítimas, negação do uso do mar ao inimigo, projeção de poder sobre terra e contribuição para a dissuasão. Para a Marinha do Brasil, esse potencial será refletido no aumento da contribuição do país para operações de paz e ações humanitárias, enfatizando a segurança da navegação, salvaguarda da vida humana no mar e a prevenção e luta contra as "novas ameaças" (BONILLA, 2013).

O Poder Marítimo é a soma das capacidades de um país para implementar os seus interesses no oceano, usando as áreas oceânicas para atividades políticas, econômicas e militares em paz ou em guerra, a fim de atingir os objetivos nacionais. Como componentes principais de poder marítimo são o Poder Naval, a ciência do oceano, a indústria do oceano e o comércio do oceano (SAUER e KAISER, 2013).

O Poder Naval de um país diz respeito aos meios que estão disponíveis para serem empregados em determinado momento e é composto das seguintes unidades:

- Navios (de superfície e submarinos)
- Aeronaves (caças e helicópteros)
- Viaturas de fuzileiros navais (blindadas e não blindadas)

O Poder Naval tem característica dinâmica, isto é, os meios que estão disponíveis poderão perder essa condição e os meios não disponíveis poderão ficar disponíveis.

É um erro imaginar que se faz uma marinha de guerra apenas com a característica de dissuasão. É necessário que se tenha um Poder Naval adequado, aprestado e balanceado, que inspire credibilidade quanto ao seu emprego, que também se evidencie por atos de presença ou demonstrações de força, quando e onde for oportuno, para coibir qualquer ameaça que se apresente (PIERMATEI FILHO, 2009).

5.2 – Compósitos no Poder Naval

De acordo com Koburger (1997), no século XXI, muitos dos navios, aviões, armas e táticas empregadas com tanto sucesso durante a guerra fria já não serão econômicos ou mesmo eficazes. Os campos de batalha do futuro irão mudar o local da ação naval do alto mar para águas litorâneas, exigindo operações sustentadas em águas relativamente rasas e estreitas. As Forças Navais no século XXI não só deverão cumprir os tradicionais requisitos de comando do mar, ou seja, efetuar presença avançada, resposta a crises, dissuasão estratégica e transporte de tropas, mas também deverão ter as capacidades operacionais da guerra de litoral. Por essas razões, será necessária uma frota completamente diferente para operar em mares estreitos, da necessária no oceano aberto. Um Estado deverá evitar o uso de navios de alta capacidade e alto custo para tarefas rotineiras que poderão ser realizadas de forma mais eficaz e mais barata por navios menores e menos dispendiosos.

Partindo deste princípio, os navios de guerra construídos em compósitos terão grande espaço na constituição do Poder Naval por serem leves e menores, por conseguinte, mais velozes.

Uma forma de se antecipar cenários futuros para o emprego de novas tecnologias de materiais compósitos na construção de navios de guerra é a utilização dos métodos de prospecção tecnológica, que vêm sendo utilizados nas últimas décadas, no Brasil, por organizações públicas e privadas, como uma ferramenta para orientar esforços empreendidos para o desenvolvimento de tecnologias.

Tendo em vista o interesse da Marinha do Brasil em prospectar capacitação tecnológica que atenda às demandas intelectuais em suas áreas de atuação, a Secretaria de Ciência, tecnologia e Inovação da Marinha emitiu, em 2014, a publicação Normas para o Sistema de Prospecção Tecnológica da Marinha (SPTMB), SecCTM-402, que tem o propósito de estabelecer a base conceitual sobre prospecção tecnológica, bem como o conceito, os requisitos, a organização, a estratégia e o funcionamento do SPTMB. A norma explicita que é desejável que o conhecimento científico-tecnológico, de interesse da MB, esteja fortemente dominado pela indústria nacional e que um dos requisitos para se classificar os conhecimentos como “tecnologia-chave”¹⁹ é que influenciem direta e majoritariamente na eficácia do Poder Naval.

5.2.1 – O Plano de Articulação e Equipamento da Marinha do Brasil

No Brasil, a Política Nacional de Defesa (PND) e a Estratégia Nacional de Defesa (END) orientam o planejamento setorial de alto nível, e estabelecem os objetivos e as diretrizes para o preparo e o emprego das Forças Armadas no cumprimento da missão de defesa da

¹⁹ Tecnologias-chave são aquelas das quais se deseja obter elevado grau de domínio, uma vez que, por razões técnicas, econômicas ou políticas, julga-se que a ausência de conhecimento endógeno poderá colocar em risco a capacidade de atingir o propósito do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha.

pátria e garantia dos poderes constitucionais. A PND determina os objetivos da Defesa Nacional, enquanto que a END estabelece como fazer para se alcançar o que foi fixado pela Política (Brasil, 2012).

Em decorrência da END, o Comando da Marinha tem a atribuição de elaborar O Plano de Articulação e Equipamento da Marinha do Brasil (PAEMB), que contempla uma proposta de quantificação dos meios necessários ao atendimento eficaz das hipóteses de emprego estabelecidas na Estratégia Nacional de Defesa.

O efeito desejado desse Plano é a obtenção de capacidade plena para o cumprimento das tarefas básicas do Poder Naval. Além disso, o PAEMB buscou capacitar a Força para o cumprimento, com eficácia, das atividades subsidiárias afetas à Autoridade Marítima, bem como para a realização de operações de paz, sob a égide de organismos internacionais, operações humanitárias e de resgate de não combatentes no exterior.

O que se pretende nesta pesquisa é exemplificar, a seguir, alguns tipos de navios de guerra construídos com materiais compósitos que poderiam ser contemplados com a obtenção de meios prevista nos subprojetos do PAEMB, a fim de contribuir para a efetividade do Poder Naval da MB, no que se refere ao emprego do material e a tecnologia.

5.2.2 – Navios contramedidas de minagem (caça-minas)

A Marinha do Brasil tem mostrado interesse pelos mais recentes modelos de navios contramedida de minagem construídos pela indústria de construção naval militar da Suécia. Essas embarcações são consideradas adequadas para substituírem os navios varredores de minas da classe “ARATU” (Schültze Klasse da Alemanha), que têm o casco produzido em madeira e há mais de 40 anos estão em operação na Força de Minagem e Varredura, sediada na Bahia (LOPES, 2014).

A Diretoria de Engenharia Naval da Marinha (DEN) tem realizado contatos com representantes do estaleiro Kokums AB, da cidade de Malmo, na Suécia, empresa do grupo SAAB, com objetivo de examinar as características das embarcações suecas de contraminagem (LOPES, 2014). Esse estaleiro sueco construiu sete caça-minas da classe “Landsort” para a Marinha sueca; o primeiro da classe foi comissionado em 1984 e o último em 1992. Todos os navios já sofreram modernizações, as quais terminaram em 2008, sendo que cinco deles foram reclassificados para classe “Koster” (LANDSORT/KOSTER..., 2011).

Os Navios da classe “Landsort”/”Koster” pertencem ao mais recente desenvolvimento sueco nesse segmento de embarcações, vide figura 7. Cada unidade tem 270 toneladas de deslocamento (360 ton com plena carga) e mede os mesmos 47,5 metros de comprimento dos navios varredores da classe “Aratu”, tem estabilidade aumentada pela boca de 9,6 metros (contra os 7,2 metros da embarcação alemã), e a despeito de ter maior porte e ser muito mais bem equipado do ponto de vista de sensores e sistemas eletrônicos, requer uma tripulação 20 por cento menor que a classe “Aratu” (LOPES, 2014).

Os navios de contraminagem sueco tem o casco produzido de material compósito, mais precisamente de plástico reforçado com fibra de vidro de alta rigidez. Esse material composto proporciona uma redução nas assinaturas acústica e magnética da embarcação, ainda confere certa resistência à estrutura da embarcação, no caso de uma eventual onda de choque causada por explosões subaquáticas próximas ao casco. Ele também é altamente durável, fácil de reparar, isola o calor, absorve o ruído e é mantido apenas por pintura. Ademais, tem impressionado bem os engenheiros da DEN, o fato de os navios suecos usarem plataformas marítimas controladas à distância para penetrar em áreas marítimas minadas pelo inimigo, e de também trabalharem com veículos operados remotamente, os chamados ROV (Ibidem).

Nos últimos seis anos, estudos do Estado-Maior da Armada e do Comando de Operações Navais vêm recomendando a transformação da atual Força de Minagem e Varredura

em Força de Contramedidas de Minagem. Esta medida implicaria, obviamente, na substituição das atuais embarcações varredoras de minas (LOPES, 2014).

O PAEMB, em um de seus subprojetos, contempla a obtenção de oito navios caça-minas, a serem contratados até 2031.

Figura 7 - Navio contramedida de minagem sueco classe “Landsort”.



Fonte: Informativo Poder Naval de 2 de dezembro de 2014²⁰.

5.2.3 – Corvetas *Stealth*

A corveta YS 2000 ou classe “Visby” é o navio precursor de uma nova classe de corvetas multipropósito da Marinha da Suécia. O projeto do casco é altamente inovador com uma forte ênfase em baixa visibilidade ou características *stealth*, ou seja, com grandes e planas superfícies anguladas (LINDBLUM, 2003). A construção da primeira, de cinco unidades encomendadas, começou em 1996 no estaleiro Kalrskrona da empresa Kockums, Suécia, e foi

²⁰ Disponível em: <<http://www.naval-technology.com/projects/landsort/>>. Acesso em 21 de abril de 2015.

entregue à administração de material de defesa da Suécia em 2002. As duas últimas da série foram entregues em dezembro de 2009 (VISBY..., 2010).

As corvetas classe “Visby”, vide figura 8, estão entre os maiores navios de compósito, até agora, já construídos, e são capazes de realizar várias tarefas, tais como: escolta naval, caça-minas, colocação de minas, guerra antissubmarina, operações de ataque de superfície e serviço de patrulha. Um helicóptero pode pousar, decolar e reabastecer do seu convés de voo (Ibidem).

O material de todo o navio, da quilha ao mastro, é uma construção em compósito sanduíche, compreendendo um núcleo de PVC com laminados de resina éster-vinílica reforçados com fibra de carbono. Este material oferece alta resistência e rigidez, baixo peso, boa resistência ao choque e baixas assinaturas de radar e magnética. Menos peso significa uma velocidade máxima superior e melhor manobrabilidade. O desenho angular da “Visby” reduz a sua assinatura de radar (ou seção transversal de radar). O tubo alma do canhão de 57 milímetros pode ser rebatido para dentro da torreta para reduzir a sua seção transversal (Ibidem).

A fim de se atingir os benefícios da fibra de carbono durante a construção, a utilização da técnica de laminação manual não era o processo ideal. Em vez disso, a técnica de infusão de resina, usando vácuo, foi desenvolvida e introduzida. Painéis com área de até 60 m² foram infundidos. As vantagens de se usar a laminação por infusão a vácuo, na qual o trabalho é menos intenso (ou seja, redução de custos), incluem a baixa emissão de estireno e a produção de um laminado com alto teor de fibras, baixo teor de bolhas e superfícies perfeitamente lisas, necessárias para se obter corretas propriedades de seção transversal de radar (LINDBLÖM, 2003).

As características gerais das corvetas classe “Visby” são: 73 metros de comprimento; 10,4 metros de boca; 2,4 metros de calado; 640 toneladas de deslocamento; e veloci-

dade máxima de 35 nós produzida por propulsores de jato de água. O navio comporta uma tripulação de 43 homens (VISBY..., 2010).

O PAEMB, em um de seus subprojetos, contempla a obtenção de 21 navios escolta (nos quais se enquadram as corvetas), a serem contratados até 2036.

Figura 8 - Corveta classe “Visby”.



Fonte: naval-technology.com²¹.

5.2.4 – Navios Patrulha

O veloz navio patrulha da classe “Skjold” está em serviço na Marinha da Noruega e é caracterizado pela sua alta velocidade, assinaturas reduzidas, tamanho reduzido com pesada carga de armas e sua capacidade de combate no litoral. Uma série de seis navios foi construída no estaleiro Umoe Mandal, na Noruega, dos quais o primeiro da classe foi comissionado em 1999 e o último foi entregue à Real Marinha Norueguesa em novembro de 2012 (SKJOLD..., 2013).

²¹ Disponível em: <<http://www.naval-technology.com/projects/visby/visby5.html>>. Acesso em 21 de abril de 2015.

O navio da classe “Skjold”, vide figura 9, tem casco catamarã com um sistema de colchão de ar (efeito de superfície) que, com o jato de água de propulsão, proporciona alta velocidade e manobrabilidade. Ele é considerado a embarcação armada mais rápida do mundo, com 60 nós (110 Km/h) de velocidade (SKJOLD..., 2013).

Um recurso importante do “Skjold” é a sua capacidade operacional dissimulada na guerra de litoral para executar vigilância e iniciar um ataque a forças hostis a uma curta distância, sem ser detectado. O pequeno calado de 0,9 metros, com colchão de ar, permite que o navio acesse a águas costeiras muito rasas, o que é negado a outros navios, e confere uma menor vulnerabilidade ao impacto de minas e outros fragmentos (Ibidem).

O casco é construído com material compósito, mais precisamente plástico reforçado com fibra de vidro e carbono. Na laminação, foram utilizadas as resinas poliéster e éster-vinílica, e o processo empregado foi a infusão. As fibras de carbono foram selecionadas para as vigas, mastros e estruturas de apoio, que necessitam de alta resistência à tração (Ibidem).

O navio tem superfícies externas extensivamente planas e facetadas, que visa direcionar a reflexão de ondas de radar para longe da fonte emissora, e são revestidas de materiais absorventes de ondas eletromagnéticas de radar. As portas, escotilhas e janelas estão alinhadas com as superfícies e sem braçolas visíveis. Os compósitos, além de melhorar as características *stealth*, também fornecem resistência e resiliência para resistir aos impactos da estrutura com as ondas, quando o sistema de propulsão impulsiona a embarcação a velocidades de até 55 nós ou mais (SHKOLNIKOV, 2014).

Segundo Junior (2015), numa época em que as atenções se voltam para a guerra litorânea, a “Skjold” aparece como uma das embarcações que se encaixam perfeitamente nessa tarefa. Ele também considera esta embarcação a mais adequada para missões de patrulha marítima costeira para a Marinha brasileira, devido a sua extrema velocidade e capacidade de

combate convincente. Além disso, sua furtividade seria útil para não alertar eventuais intrusos e assim ser capaz de dar-lhes uma sólida resposta.

As características gerais dos navios patrulha classe “Skjold” são: 47,5 metros de comprimento total; 13,5 metros de boca; 2,3 metros de calado sem colchão de ar; 0,9 metro de calado com colchão de ar; 270 toneladas de deslocamento carregado; e velocidade máxima maior que 55 nós. O navio comporta uma tripulação de 15 homens (SKJOLD..., 2013).

O PAEMB, em um de seus subprojetos, contempla a obtenção de quatro navios patrulha de 200 toneladas, a serem contratados até 2018.

Figura 9 - Navio patrulha Classe “Skjold”.



Fonte: naval-technology.com²².

²² Disponível em: <<http://www.naval-technology.com/projects/skjold/>>. Acesso em 21 de abril de 2015.

6 - TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

Neste capítulo será feita uma análise do processo de transferência de tecnologia, iniciando-se com uma discussão do que se entende por tecnologia e finalizando com uma explicação sobre a prática de compensação na área de defesa, conhecida como *offset*.

6.1 – Conceituação

Na obra de Drucker (1993), *A sociedade pós-capitalista*, ele afirma: “hoje, o recurso realmente controlador, o fator de produção absolutamente decisivo, não é o capital, a terra ou a mão-de-obra, é o conhecimento”. O autor também assinala que o valor é criado pela produtividade e pela inovação, que são aplicações do conhecimento ao trabalho. Nessa obra, Drucker cunhou a expressão “sociedade do conhecimento”, que entendia ser de emprego ainda prematuro (e certamente presunçoso), mas que certamente já vivenciávamos uma sociedade pós-industrial.

Nessa mesma linha de raciocínio, Castells (1999) também anunciou a superação da sociedade industrial, afirmando que “uma revolução tecnológica concentrada nas tecnologias da informação está remodelando a base material da sociedade em ritmo acelerado” e que “a revolução da tecnologia da informação foi essencial para a implementação de um importante processo de reestruturação do sistema capitalista a partir da década de 1980”. O autor emprega as expressões “sociedade pós-industrial” e “sociedade informacional” e afirma que no novo modo informacional de desenvolvimento, a fonte de produtividade acha-se na tecnologia de geração de conhecimentos.

Quando alguém se propõe a falar sobre tecnologia, encontra a dificuldade da exata compreensão dos termos utilizados com mais frequência no trato desse assunto. A própria

palavra tecnologia é empregada com mais de um sentido por diferentes autores, provocando sérios enganos mesmo em pessoas diretamente ligadas ao seu uso, geração ou política. Sendo as tecnologias modernas impregnadas de conhecimentos científicos, salienta-se também a necessidade da compreensão do que se entende por ciência (LONGO, 2007).

Segundo o texto de Longo (2007), ciência pode ser entendida como o processo de investigação ou o estudo da natureza, direcionado à explicação do universo e de seus fenômenos, como o corpo organizado de conhecimentos adquiridos por meios de tal investigação ou pesquisa. Ou seja, define-se ciência como atividade ou como um sistema de conhecimento. De acordo com os dois pontos de vista, têm-se as seguintes definições: a) ciência é uma atividade dirigida à aquisição e ao uso de novos conhecimentos sobre o universo, compreendendo metodologia, meios de comunicação e critérios de sucesso próprios, e b) ciência é o conjunto organizado dos conhecimentos relativos ao universo, envolvendo seus fenômenos naturais, ambientais e comportamentais.

Quanto à tecnologia, a palavra tem sua origem no substantivo grego *techne* que significa arte ou habilidade. Alguns autores consideram a tecnologia como sendo ciência aplicada. Na realidade, a definição pode não ser sempre verdadeira, embora no mundo atual, a tecnologia dependa cada vez mais de conhecimentos científicos.

Para Longo (2007), a tecnologia pode ser, simplificada, definida como sendo o conjunto organizado de todos os conhecimentos científicos, empíricos ou intuitivos empregados na produção e comercialização de bens e serviços.

De acordo com Sáenz e Capote (2002) a tecnologia, assim como a ciência, pode ser conceituada sob duas óticas: como um conjunto de conhecimentos ou como uma atividade. No primeiro caso a tecnologia seria o conjunto de conhecimentos científicos e empíricos, de habilidades, experiências e organização requeridos para produzir, comercializar e utilizar bens e serviços. Inclui tanto conhecimentos teóricos como práticos, meios físicos, *know how*,

métodos e procedimentos produtivos, gerenciais e organizacionais, entre outros. Como atividade, a tecnologia seria entendida como: “a busca de aplicações para conhecimentos já existentes”.

Modernamente, a estreita ligação entre a ciência e a tecnologia fez com que surgisse, no trato dos assuntos a elas pertinentes, o binômio Ciência e Tecnologia, referido no singular e designado pela sigla C&T. O entrelaçamento ciência/tecnologia tornou-se mais próximo ainda, a partir do momento em que o método científico passou a ser utilizado na geração de conhecimentos associados à criação ou melhoria de bens ou serviços, ou seja, para a inovação tecnológica.

Ser detentor de um acervo de conhecimentos específicos que constituiu a tecnologia capacita para a elaboração de instruções requeridas à produção de bens e de serviços. A simples posse dessas instruções (plantas, desenhos, especificações, normas, manuais), que são expressões materiais e incompletas dos conhecimentos e a capacidade de usá-las, não significa que, automaticamente, o usuário tornou-se detentor dos conhecimentos que permitiram a sua geração, ou seja, da tecnologia. Frequentemente, tem sido empregado o termo tecnologia para indicar tais instruções, e não os conhecimentos que propiciaram a base para a sua geração, e que, em geral, estão armazenados em cérebros de pessoas. Isso tem sérias implicações na correta compreensão do que seja o potencial ou independência tecnológica de uma indústria ou mesmo de uma nação (LONGO, 2007a).

Segundo Longo (2007a), “as instruções, o saber apenas como fazer (*know how*) para produzir algo, e não porque fazer (*know why*), é o que se deve entender por técnica. Porém, diversos autores, principalmente da área do direito, usam equivocadamente a palavra tecnologia como tradução de *know how*”.

Uma grande confusão no entendimento da questão tecnológica pode ser o resultado do fato de que quando o detentor dos conhecimentos, que resultaram numa dada tecnologi-

a, transferir para um terceiro apenas as instruções de como fazer um bem ou serviço, este terá absorvido apenas técnica. Desse modo, o que para um é, intrinsecamente, tecnologia, para o outro pode ser apenas uma técnica. Um exemplo disso é a chamada “transferência de tecnologia” que, muito comumente, pode não passar de uma venda, aluguel ou cessão de instruções (LONGO, 2007a).

Um outro fato é que a capacidade de um país ou empresa para receber a tecnologia é dependente do seu nível básico de conhecimento para aplicá-la e desenvolver novas aplicações.

Geralmente, o que se entende por uma dada tecnologia, que ao ser empregada resulta num produto ou processo, envolve conhecimentos decorrentes de aplicações das ciências naturais, de conhecimentos ligados a regras empíricas (técnicas) e de conhecimentos oriundos da aplicação da metodologia científica de pesquisa na compreensão e solução de problemas surgidos durante o processo de concepção e/ou produção.

Outro aspecto, além de fator de produção, é que a tecnologia tem a característica de uma mercadoria, visto que é objeto de operações comerciais, tendo preço e dono, por conseguinte, trata-se de um bem privado. A fim de robustecer a argumentação da sua condição de mercadoria, basta lembrar que a tecnologia pode ser vendida, comprada ou alugada, ficando, ainda, sujeita à sonegação, ao contrabando e ao roubo (LONGO, 2007).

Caracterizando-se a tecnologia como uma mercadoria, um bem privado, se torna relevante a aceitação de sua propriedade pelo sistema econômico. Por tratar-se de um bem intangível, a sociedade criou convenções, normas e instituições específicas a fim de qualificar e proteger a propriedade tecnológica. Na verdade, o aparato legal da propriedade tecnológica, também chamada de propriedade industrial, faz parte do direito mais amplo que é tratado pela propriedade intelectual. A propriedade industrial compreende, basicamente, a proteção de invenções e de modelos de utilidade, de desenhos industriais, marcas, direitos sobre softwa-

res, do uso de indicação geográfica, máscaras de micro circuitos eletrônicos, cultivares, de seres vivos e de outros bens procedentes da concepção do homem que evidenciem valor comercial (LONGO, 2007a).

Além do seu valor mercantil, Longo (2007, p.3) assevera que:

A tecnologia tem um valor estratégico cada vez maior, comprovado pelo fato de expressões como "dependência tecnológica", "neocolonialismo tecnológico", "exclusão tecnológica" e "autonomia tecnológica", serem cada vez mais correntes nas avaliações políticas, econômicas e militares de nações. Tais expressões indicam a existência de nações que possuem capacidade de desenvolver tecnologias e de nações que não a possuem, e que, portanto, dependem do exterior para o seu desenvolvimento e para a sua própria defesa e segurança.

Essa mesma tecnologia de geração de conhecimento tem sido pauta de acordos de cooperação internacional. A importância da cooperação internacional para a construção de capacidades em ciência e tecnologia (C&T) e para o aprimoramento da pesquisa se apresenta, atualmente, como consequência de seu inédito crescimento e no progressivo reconhecimento de que grandes avanços atuais em C&T são muitas vezes resultado de colaborações e/ou consórcios internacionais. A dimensão internacional é inerente à organização social da ciência (MERTON, 1977) e a produção do conhecimento encontra-se, hoje, baseada cada vez mais na interação entre cientistas, indivíduos e organizações (WAGNER *et al.*, 2001).

No Brasil, a ciência está em franco crescimento e a cooperação internacional é, sem dúvida, um importante fator deste aumento. Além de conferir espaço em comunidades científicas internacionais, a cooperação gera reconhecimento do trabalho de brasileiros e aumenta a visibilidade da produção científica nacional. O tema de cooperação internacional em C&T ganhou maior projeção no país a partir dos anos 2000, quando documentos nacionais específicos para a C&T foram publicados, contendo diretrizes e recomendações de ações nestas esferas (como o Plano de Ação para Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional – PACTI - e o Livro Azul) e discussões nacionais e internacionais foram organizadas.

Outro grande desafio para os próximos anos é o fortalecimento da Indústria Nacional de Defesa. A perspectiva de expansão da demanda por produtos estratégicos de defesa oferece uma excelente oportunidade para o desenvolvimento e fortalecimento da Base Industrial de Defesa. Há, contudo, desafios como o de aumentar os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação; expandir a participação nos mercados interno e externo; e fortalecer a cadeia de fornecedores no Brasil (BRASIL, 2012). Além disso, seria importante a busca pelo domínio de tecnologias de emprego dual, que favoreceria a utilização para fins militares e não militares.

6.2 – A prática do *Offset*

A prática de compensação comercial, industrial e tecnológica, o chamado *offset*, é um instrumento que contribui para o esforço exportador e para o desenvolvimento tecnológico e industrial, possibilitando, dessa maneira, o fortalecimento da inserção competitiva brasileira no cenário internacional. Os ganhos com essa prática são relevantes, principalmente para os países em desenvolvimento, a saber: novos investimentos, geração de empregos, aumento dos fluxos de comércio, oportunidades para pequenas e médias empresas e especialmente a transferência de tecnologia capaz de tornar possível ao país recebedor desenvolver novas indústrias de ponta (WARWAR, 2004).

A prática de *offset* já vem sendo utilizada por vários países há algum tempo e, quando bem aplicada, tem se mostrado instrumento plenamente eficaz para as políticas de desenvolvimento industrial e de comércio exterior, na medida em que gera benefícios de natureza tecnológica, industrial e comercial ao país importador. Esses benefícios chegaram a tal ponto que as compensações oferecidas em um contrato comercial passaram a competir com o

preço e a qualidade do produto principal, e em muitos casos se tornaram o fator determinante na escolha do fornecedor.

No Brasil, a compensação na área de defesa acontece quando as Forças Armadas celebram um contrato de compra no exterior com valor igual ou acima de US\$ 5 milhões, e requerem que o país tenha uma contrapartida pelas suas despesas, proporcionalmente ao montante de recursos financeiros despendidos na importação (PODER AÉREO, 2009). A forma contratual mais empregada é a de coprodução, mediante acordo intergovernamental ou interempresarial, cujo principal objetivo é a transferência de tecnologia e licença para a manufatura total ou parcial do bem negociado (WARWAR, 2004).

As práticas de Compensação Comercial, Industrial, e Tecnológica ganharam força como um assunto de extrema importância nas discussões sobre o mercado de defesa internacional a partir da década de 1990, e, no Brasil, foi estimulada sobretudo pelos Programas de Reaparelhamento das Forças Armadas que passaram a ser considerados extraordinariamente relevantes para o desenvolvimento de uma Base Industrial de Defesa sólida e para a conquista da independência tecnológica do exterior (DEFESANET, 2012).

O instrumento legal sobre a prática do *offset* que estabeleceu a Política e as Diretrizes de Compensação Comercial, Industrial e Tecnológica do Ministério da Defesa (MD) foi a Portaria Normativa nº 764/MD, de 27 de dezembro de 2002. Nessa Portaria, *offset* ou compensação é definida por

Toda e qualquer prática compensatória acordada entre as partes, como condição para a importação de bens, serviços e tecnologia, com a intenção de gerar benefícios de natureza industrial, tecnológica e comercial. Esses benefícios poderão ser concretizados na forma de: a) coprodução; b) produção sob licença; c) produção subcontratada; d) investimento financeiro em capacitação industrial e tecnológica; e) transferência de tecnologia; f) obtenção de materiais e meios auxiliares de instrução; g) treinamento de recursos humanos; e h) contrapartida comercial.

A obrigatoriedade de acordos *offset* em contratos de aquisição dos setores de defesa fora do país se impõe como uma estratégia do governo brasileiro, objetivando agregar

tecnologia e alavancar exportações. A filosofia do MD tem sido que a transferência de tecnologia é a condição fundamental para a aquisição de meios e equipamentos no exterior. Os últimos contratos de compra no exterior de meios navais apontam para uma posição mais rígida do governo, a fim de garantir a obtenção de tecnologia de ponta para a indústria de defesa brasileira. Como exemplo, pode ser citado o contrato com a França para a construção do submarino à propulsão nuclear que resultará na incorporação de novas tecnologias para a Marinha, conseqüentemente, com um arrasto de conhecimentos para o país (PODER AÉREO, 2009).

As compensações podem ser de dois tipos: diretas ou indiretas. As compensações diretas são aquelas diretamente relacionadas com o objeto do contrato de importação de bens e serviços. Como exemplo, pode-se citar a transferência de tecnologia para a construção dos submarinos convencionais e nucleares que está prevista como medida de compensação no escopo do Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB). Já as compensações indiretas ocorrem quando as operações de compensação não estão diretamente relacionadas com o objeto do contrato de importação (BRASIL, 2002), podendo ser exemplificadas pelo fornecimento de assistência técnica para o Navio-Aeródromo São Paulo e pela modernização do dique Almirante Régis do AMRJ, como formas de compensações acordadas no *offset* do PROSUB (MARTINS, 2013).

No âmbito da MB, pode ser citado como modelo exemplar de *offset* o contrato de obtenção das Fragatas Classe “Niterói”, onde, dos seis navios previstos na compra, quatro foram construídos na Inglaterra e dois, as Fragatas Independência e União, foram inteiramente construídos no AMRJ. Além dessas duas fragatas construídas no país, também é possível citar como produtos dessa tecnologia absorvida a construção do Navio-Escola Brasil e das Corvetas Classe “Inhaúma”. Dos acordos de *offset*, atualmente em andamento na MB, o mais importante é o acordo de compensação do PROSUB e o mais recente é o decorrente da

aquisição dos Navios-Patrolha Oceânicos Classe Amazonas, cujas operações de compensação de ambos os contratos gerarão benefícios para a Marinha e para o Brasil em diversos setores, contribuindo para o desenvolvimento da indústria de defesa nacional (SILVA, 2013).

Ainda na Marinha do Brasil, a publicação emitida em 2002, pelo Estado-Maior da Armada, EMA-420 – Normas para Logística de Material tem o propósito de definir a sistemática para execução da Política de Compensação Comercial, Industrial e Tecnológica da MB, destinada ao desenvolvimento da indústria de bens e serviços do setor naval, pela absorção de novas tecnologias e incremento das exportações. Esse instrumento normativo aborda os principais conceitos relacionados à prática de *offset*, além de atribuir responsabilidades internamente para a implementação e acompanhamento do Acordo de Compensação (AC), designando a Empresa Gerencial de Projetos Navais (EMGEPRON) como responsável por assessorar a condução das negociações dos AC no âmbito da MB.

Em relação ao setor do plástico reforçado, a transferência de tecnologia ocorreu por meio do acordo de *offset*, quando da construção dos quatro submarinos de projeto alemão no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, sendo três da classe “TUPI” e o S. “Tikuna”. Como foi dito no capítulo 2 desta monografia, dois oficiais engenheiros²³ e quatro servidores civis foram enviados do AMRJ para HDW, em Kiel (Alemanha) para absorverem a técnica de fabricação das estruturas de compósitos que compunham os submarinos alemães. A construção dos IKL-1400 e do *Tikuna* foi uma etapa marcante no desenvolvimento técnico da Marinha.

²³ Os oficiais do corpo de engenheiros da Marinha que receberam treinamento da tecnologia na área dos compósitos foram o Capitão-de-Corveta (EN) Edson Rodrigues Esterminio e o Capitão-Tenente (EN) Arthur Paraizo Campos. Cabe registrar que as patentes desses oficiais são da época do treinamento, no final dos anos 1980.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após tudo o que foi exposto nesta monografia, este autor considera que os materiais compósitos são uma alternativa atraente e viável para substituírem os tradicionais materiais metálicos em estruturas navais, como, por exemplo, aço e alumínio, face aos benefícios que esses materiais podem proporcionar, especialmente quando empregados na construção de navios de guerra.

A aplicação de materiais compósitos em embarcações tem sido bem sucedida no critério de redução de peso, e também onde são necessárias estruturas com resistência e rigidez. Em navios de alta velocidade, os materiais compósitos oferecem um nível de custos competitivos, devido ao menor custo de ciclo de vida, que é, basicamente, obtido durante a operação, e menor consumo de combustível. Os gastos com manutenção também têm uma influência positiva, uma vez que aparecem repetidamente, e são favoráveis para estruturas de compósitos. Nos navios velozes, os benefícios estão prontamente aparentes, como no caso de uma redução significativa do consumo de combustível, que é um critério importante para a tomada de decisão sobre qual material aplicar na concepção de uma embarcação. Em grandes navios, mais lentos, os benefícios não são facilmente constatáveis, mas eles podem ser obtidos com a redução de peso na superestrutura, com ganhos significativos em termos de estabilidade; também podem ser alcançados com uma superestrutura maior ou com a instalação de equipamentos mais pesados nas regiões mais altas da estrutura. A combinação do uso do aço com o compósito pode, portanto, ser favorável para navios grandes e lentos, conforme afirmado no capítulo 4.

Tem havido um interesse significativo na utilização de materiais compósitos para se construir navios militares de alta velocidade ao longo dos últimos anos, tais como: fragatas, corvetas e navios patrulha, devido às vantagens da alta resistência, menor peso, assinaturas

reduzidas (radar e magnético) e baixos custos de manutenção preventiva. A fibra de carbono é muito mais enrijecedora do que a fibra de vidro e, portanto, permite que os materiais compósitos sejam viáveis para navios maiores, mas a fibra de carbono continua a ser muito cara. As principais razões por que os compósitos não ganharam maior aceitação para uso nos navios militares são que há, ainda, preocupações com a resistência ao fogo e toxicidade da queima das resinas; e que as propriedades do material da estrutura estão ainda altamente dependentes da habilidade da força de trabalho e pode variar consideravelmente de estaleiro para estaleiro, ou seja, o sucesso da aplicação está diretamente relacionado à qualidade dos profissionais envolvidos e exigências no decorrer da obra.

O benefício demonstrável para as Marinhas dos cascos de materiais compósitos em serviço é uma maior disponibilidade operacional dos navios e dos membros das tripulações, por conseguinte, contribuindo para o fortalecimento do Poder Naval.

De acordo com o estabelecido na Estratégia Nacional de Defesa, a Marinha do Brasil tem como prioridade assegurar os meios para negar o uso do mar a qualquer concentração de forças inimigas que se aproximem do Brasil por vias marítimas. De forma a atender essa tarefa estratégica, este autor é de opinião que a MB deveria investir na construção ou obtenção de embarcações totalmente ou parcialmente em compósito, pelos benefícios ao núcleo do Poder Naval que este material gera, os quais foram expostos nesta monografia. Exemplos de embarcações que têm estruturas de material compósito como a corveta sueca classe “VISBY”, o contratorpedeiro norte-americano classe “ZUMWALT” e a fragata francesa classe “LA FAYETTE” podem servir de subsídios, principalmente no atual momento de restrições orçamentárias.

Quanto à transferência de tecnologia, discutida no capítulo 6, a Marinha do Brasil tem dado prioridade, como forma de compensação (*offset*), por meio da capacitação do próprio pessoal da Marinha e de empresas nacionais, visando à nacionalização de peças e equi-

pamentos. A transferência de tecnologia para empresas nacionais é fundamental para o processo de crescimento dos níveis tecnológico e qualitativo dos setores de interesse da MB e de toda a Base Industrial de Defesa, entretanto, para que a absorção de tecnologia seja eficaz é preciso haver capital humano capacitado a estudar o assunto, fazer perguntas adequadas e processar o conhecimento, além disso, o receptor da tecnologia terá que ser capaz de desenvolver outros produtos ou processos da mesma classe de tecnologia.

Com o intuito de se alcançar certa autonomia, o autor recomenda que seja realizado:

1. Uma proposta de modernização e revitalização da Oficina de Plásticos do AMRJ-247, adequando-a para atender ao desenvolvimento dos novos processos produtivos para fabricação de embarcações, peças e acessórios de plástico reforçado, aí incluindo a previsão: de contratação e capacitação de pessoal (laminadores, técnicos e engenheiros); de aquisição de equipamentos portáteis e estacionários; de reforma das instalações prediais; e de aquisição de *softwares* para projeto e elaboração de planos de laminação, estes para serem utilizados pelo Departamento Técnico do AMRJ.

2. Um estudo utilizando técnicas de prospecção tecnológica, com o objetivo de identificar possíveis avanços futuros na tecnologia dos materiais compósitos, junto a setores da SecCTM, que pudessem contribuir para o preparo e aplicação do Poder Naval da Marinha do Brasil, quando empregados na construção de navios de guerra.

REFERÊNCIAS

- ANÁLISE comparativa entre alumínio e materiais compostos para estrutura de lanchas de patrulha. Barracuda Engineering Services. Technical paper. 2011.
- ARSENAL de Marinha do Rio de Janeiro. **Publicação comemorativa relativa aos seus 250 anos**, Rio de Janeiro, RJ, 2013. Projeto editorial da Assessoria de Comunicação Social do AMRJ.
- BONILLA, Javier. Entrevista Comandante da Marinha do Brasil, almirante Júlio Soares de Moura Neto Frota. Assuntos militares. 2013. Disponível em: <<http://www.assuntosmilitares.jor.br/2013/04/entrevista-comandante-da-marinha-do.html>>. Acesso em: 18 abril 2015.
- BRASIL. Centro de Instrução Almirante Alexandrino. **Apostila de carpintaria naval**. 2ª edição. 2001.
- BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-420**: Normas para a logística de material. Brasília, DF, 2002.
- BRASIL. **Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <<http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/end.pdf>>. Acesso em: 5 Mai. 2015.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria Normativa nº 764/MD**. Aprova a Política e Diretrizes de Compensação Comercial, Industrial e Tecnológica do Ministério da Defesa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, em 31 dez. 2002, seção 1, p. 19.
- BRASIL. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha. **SecCTM-402**. Brasília, DF, 2014.
- CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede**. v. 1. São Paulo: Paz e Terra, 1999.
- CAVAS, Christopher P.. **ZUMWALT (DDG 1000): The Future Is Getting Closer**. Disponível em: <<http://intercepts.defensenews.com/2014/06/zumwalt-ddg-1000-the-future-is-nearly-here>>. Acesso em 10 de agosto de 2015.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento**. Volume III. Editora McGraw-Hill. 1986.
- DEFESANET. **Análise COMDEFESA - Offset: Conceito, entraves e possibilidades**. Brasília, DF, 2012 Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/defesa/noticia/6865/analise-condefesa-offset-conceito-entraves-e-possibilidades/>>. Acesso em 11 jun. 2015.
- DENÍCULI, F. D. **Determinação de propriedades termoelásticas de compósitos particulados de matriz de metal utilizando um modelo micromecânico**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia da UFMG/DEMEC, Belo Horizonte, MG, 1999.
- DRUCKER, Peter. **A sociedade pós-capitalista**. São Paulo: Pioneira, 1993.

ÉSTER-VINÍLICAS: altas temperaturas e alongamentos. revista composites & plásticos de engenharia. Ed. 72. Pág. 24. 2010.

FONSECA, Maurílio M.. **Arte naval**. Volume II. Serviço de Documentação da Marinha. 2005.

FREITAS, Élcio de Sá. **A busca da grandeza**. Revista Marítima Brasileira, v. 126, n. 07/09, jul./set., 2006.

GRABOVAC, I.; TURLEY, D. M.. **Proceedings of the Ninth International Conference on Composite Materials: ICCM-9: Metal Matrix Composites**. Woodhead publishing, 1993.

HASNINE, Md. **Durability of carbon fiber/vinylester composites subjected to marine environments and electrochemical interactions**. Tese de mestrado. Florida Atlantic University. 2010.

HAYMAN, Brian; ECHTERMEYER, Andreas; MCGEORGE, Dag. **Use of fibre composites in naval ships**. Det Norske Veritas AS. 2001. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/242181832_USE_OF_FIBRE_COMPOSITES_IN_NAVAL_SHIPS>. Acesso em 13 de abril de 2015.

HELLBRATT, Sven-Erick. **Time for light weight composite materials to enter the merchant shipbuilding**. Thüssen Krupp Marine Systems, Kockums AB. 2009. Disponível em: <http://www.composite-superstructure.com/time_for.pdf>. Acessado em 29 de abril de 2015.

HIGH performance core materials for patrol boats. Barracuda Advanced Composites, technical services. 2007. Disponível em: <http://www.barracudacomposites.com.br/eng_trabalhos_tecnicos.htm>. Acesso em 22 de abril de 2015.

JUNIOR, Carlos E. S.. Warfare: Classe Skjold. Uma nova geração de patrulheiros navais. Junho de 2015. Disponível em: <[HTTP://www.warfareblog.com.br/2015/06/classe-skjold-uma-nova-geracao-de-html](http://www.warfareblog.com.br/2015/06/classe-skjold-uma-nova-geracao-de-html)>. Acessado em 21 de agosto de 2015.

KOBURGER, Charles W. Jr.. Sea Power in twenty-first century: projecting a naval revolution. Editora Greenwood Publishing Group, 1997.

LANDSORT/KOSTER Class Minehunter, Sweden. Naval-technology.com. 2011. Disponível em <<http://www.naval-technology.com/projects/landsort/>>. Acesso em 21 de abril de 2015.

LINDBLOM, Fredrik. **Use of composites in the Visby class stealth corvette**. ACMC/SAMPE conference on marine composites. Plymouth, September 2003.

LONGO, W. P.. **Conceitos básicos sobre ciência, tecnologia e inovação**. 2007a. Disponível em: <<http://www.waldimir.longo.nom.br/artigos/T6.doc>>. Acesso em 07/05/15.

LONGO, W. P.. **Tecnologia militar: conceituação, importância e cerceamento**. Revista Tensões Mundiais, vol. 3, n. 5, pág. 111-143, Fortaleza/CE, 2007.

LOPES, Roberto. **“Efeito Gripen” alcança a Força de Minagem e Varredura**. Informativo poder naval de 2 dez. 2014. Disponível em: <<http://www.naval.com.br/blog/2014/12/02/efeito-gripen-alcanca-a-forca-de-minagem-e-varredura/>>. Acesso em 20 de abril de 2015.

MARTINS, Carlos H. Vasconcellos. **A prática de offset como instrumento capaz de utilizar o poder de compra do Estado: aplicação na MB e perspectivas futuras**. Escola de Guerra Naval. Monografia, CEPM-2013.

MASUELLI, Martin Alberto. **Introduction of fibre-reinforced polymers-polymers and composites: concepts, properties and processes**. Intech. 2013.

MATHEUS, Marco Antônio. **Fiberglass Aprenda Fibra De Vidro**. Editora livrostecnicos.com. 2002.

MAYER, R. M.. **Design with reinforced plastics: a guide for engineers and designers**. Editora Springer Science & business Media, 2012.

MERTON, Robert. **La sociologia de la ciencia**. Madrid: Alianza Editorial, 1977.

MORAES, Hito Braga de; WILSON, Philip Alan. **Study of different types of materials for use in passenger vessels for the amazon region**. Libro de Ponencias y Conferencias del XXIII Congresso Panamericano de Ingenieria Naval, Costa Afuera e Ingenieria Portuaria COPINAVAL 2013.

MOURITZ, A. P.; GELLERT, E.; BURCHILL, P.; CHALLIS, K.. **Review of advanced composite structures for naval ships and submarines**. Composite structures. Volume 53, edição 1, pg. 21-42, 2001.

NASSEH, Jorge; VEIGA, Augusto; CHAVES, Alessandra; FERNANDES, Alexandre; VELLORAZO, Axel. **Análise comparativa entre alumínio e materiais compostos para estrutura de lanchas de patrulha**. Barracuda Technologies. 2002.

NOURY, P.; Hayman, B.; McGeorge, D.; Weitzenböck, J.. **Lightweight construction for advanced shipbuilding-recent development**. DNV internal report. 2002.

PIERMATEI FILHO, Orestes. **A importância estratégica de uma força naval para o Brasil**. Universidade Federal de Juiz de Fora/Defesa. 2009. Disponível em: <<http://www.ecsbddefesa.com.br/fts/IEFNB.pdf>>. Acesso em 18 de abril de 2015.

PODER AÉREO. **Offset é um bom negócio, mas não garante transferência de tecnologia**. 2009. Disponível em: <<http://www.aereo.jor.br/2009/06/02/offset-e-um-bom-negocio-mas-nao-garante-transferencia-de-tecnologia/>>. Acesso em 11 jun. 2015.

PODER NAVAL. **Mais uma EDVM para a Marinha**. 2013. Disponível em: <<http://www.naval.com.br/blog/2013/12/09/mais-uma-edvm-para-a-marinha/>>. Acesso em 20 de abril de 2015.

RUSSELL, Cameron. **Composites: long-term viability and benefits**. Reinforced plastics, volume 49, edição 9. Outubro de 2005.

SÁENZ, T.W. e CAPOTE, E.G. **Ciência. Inovação e gestão tecnológica.** CNI/IEL/SENAI e ABIPTI. Brasília, DF, 2002.

SANTOS, Alessandra Maciel dos. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos a base de resinas fenólicas e fibra de vidro.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008.

SAUER, Jeremy; KAISER, Michael J.. **Changing the strategic dialogue: new definitions for landpower and land control.** Journal Article, 29 de agosto de 2013.

SELVARAJU, S.; ILAIYAVEL, S.. **Applications of composites in marine industry.** Journal of engineering research and studies, vol. II, edição II. Abril-junho, 2011.

SILVA, Anderson Chaves. **Marinha do Brasil e as Práticas de Compensação Comercial, Industrial e Tecnológica.** MBA em Negócios Internacionais – Centro Universitário UNINTER. Trabalho de Conclusão de Curso, 2013.

SHKOLNIKOV, Vladimir M.. **Hybrid ship hulls: engineering design rationales.** Editora Butterworth-Heinemann. 2014.

SKJOLD Class Missile Fast Patrol Boats, Norway. Naval-technology.com. 2013. Disponível em <<http://www.naval-technology.com/projects/skjold/>>. Acesso em 21 de abril de 2015.

SORATHIA, Usman. **Materials in military applications.** Chapter 9, The McGraw-Hill Companies. 2004.

VINSON, Jack R.; SIERAKOWSKY, Robert L.. **The behavior of structures composed of composite materials.** Editora Springer Science & Business Media, 2ª edição. 2006.

VISBY class, Sweden. Naval-technology.com. 2010. Disponível em <<http://www.naval-technology.com/projects/visby/>>. Acesso em 21 de abril de 2015.

WAGNER, Caroline S.; YEZRIL, Alisson; e HASSEL, Scott. **International cooperation in research and development: an update to an inventory of U.S. government spending.** Santa Monica: RAND, 2001.

WARWAR, Zuhair. **Panorama da prática de offset no Brasil:** uma visão da negociação internacional de acordos de compensação comercial, industrial e tecnológica. Brasília, DF: Livraria Suspensa, 2004.

WHAT are prepregs? Artigo técnico da empresa Fibre Glast. 2011. Disponível em: <http://www.fibreglast.com/product/about-prepregs/Learning_Center>. Acesso em 23/04/2015.

ANEXO A – Navios Construídos pelo AMRJ

NAVIOS CONSTRUÍDOS PELO AMRJ	PRONTIFICAÇÃO
NAU SÃO SEBASTIÃO	08/02/1767
CV CAMPISTA	02/1827
CV D AMÉLIA (Depois CV "SETE DE ABRIL")	24/10/1830
LUGRE ESMENIA	1836
BRIGUE CALIOPE	25/05/1839
BARCO ARGUS	01/06/1840
CV EUTERPE	24/05/1842
GALEOTA	01/06/1842
BARCA TETIS	15/04/1843
CV BAHIANA	10/10/1849
CV IMPERIAL MARINHEIRO	28/08/1851
CV MARANHÃO	17/04/1852
CV TONELERO	23/09/1854
GALEOTA COMETA	1854
IPIRANGA	23/09/1854
CUTER PARAÍBA	29/10/1861
CV NITEROI	28/04/1862
AV TAQUARI	30/01/1865
ENCOURAÇADO TAMANDARÉ	23/06/1865
ENCOURAÇADO BARROSO	04/11/1865
ENCOURAÇADO RIO DE JANEIRO	17/03/1866
BOMBARDEIRO PEDRO AFONSO	17/03/1866
BOMBARDEIRO FORTE COIMBRA	17/03/1866
CV V DE OLIVEIRA	21/03/1867
MONITOR PARÁ	25/05/1867
MONITOR RIO GRANDE	17/08/1867
MONITOR ALAGOAS	30/10/1867
MONITOR PIAUÍ	08/01/1868
MONITOR SANTA CATARINA	26/03/1868
MONITOR CEARÁ	05/05/1868
REBOCADOR LAMEGO	25/02/1869
REBOCADOR BRACONNOT	07/03/1872
CV TRAJANO	10/06/1873
ENCOURAÇADO SETE DE SETEMBRO	16/05/1874
CRUZADOR GUANABARA	03/10/1877
CV PARNAÍBA	18/03/1878
GALEOTA IMPERIAL	1878
CRUZADOR PRIMEIRO DE MARÇO	07/10/1881
CRUZADOR ALMIRANTE BARROSO	17/04/1882
CANHONEIRA INICIADORA	21/04/1883
APRENDIZ MARINHEIRO	24/03/1884
CANHONEIRA MARAJÓ	24/03/1885
CANHONEIRA CAMOCIM	31/07/1886
CANHONEIRA CARIOCA	31/07/1886
CANHONEIRA CABEDELÓ	14/01/1888
CANHONEIRA CANANÉA	11/06/1890

CRUZADOR TAMANDARÉ	20/03/1890
MONITOR PARNAÍBA U-17	06/11/1937
MONITOR PARAGUASSU	1939
NM CARIOCA C-1	22/10/1938
NM CANANEIA C-2	22/10/1938
NM CAMOCIM C-3	28/10/1939
NMCABEDELLO C-4	16/09/1939
NM CARAVELAS C-5	16/09/1939
NM CAMAQUÃ C-6	16/09/1939
CT MARCÍLIO DIAS M-1	20/07/1940
CT MARIZ E BARROS M-2	28/12/1940
REBOCADOR ANTONIO JOÃO	12/08/1940
CT GREENHALGH M-3	08/09/1941
ALVO DE BATALHA Nº3	02/05/1941
CS RIO PARDO	29/11/1943
BATELÃO HÉRCULES	04/01/1943
REBOCADOR MESTRE LISBOA	1942
CT AMAZONAS A-1	29/12/1943
CT ARAGUAIA A-2	29/12/1943
CT ACRE A-3	30/05/1945
CT APA A-4	30/05/1945
CT AJURICARA A-5	14/07/1946
CTARAGUAIA A-6	14/07/1946
BARCA D'ÁGUA PAULO AFONSO	14/09/1950
BARCA ITAPURA	26/12/1950
BARCA D'ÓLEO GASTÃO MOUTINHO	14/09/1950
BARCA D'ÓLEO ANITA GARIBALDI	28/06/1957
Nhi ARGUS H-31	06/12/1957
Nhi TAURUS H-33	07/01/1958
Nhi ORION H-32	05/02/1958
BALSA JACARANDÁ	27/07/1961
BALSA ROÇA GRANDE	18/08/1961
CHATA TANQUE Nº2	1961
CHATA TANQUE Nº3	1961
CHATA TANQUE Nº4	1961
CHATA NHECOLANDIA	02/08/1962
CHATA NABILEQUE	02/08/1962
CHATA PAIAGUAS	27/12/1962
BARCA VITA BRASIL	13/11/1962
BARCA SANTA ROSA	13/11/1962
BARCA BOA VIAGEM	17/12/1962
BARCA JURUJUBA	14/02/1964
BATELÃO JOÃO F DOS SANTOS	06/01/1964
BARCO DE PESCA JOÃOXXIII	23/03/1966
BARCO DE PESCA LUIZ FREIRE	20/04/1966
CHATA APRENDIZ LUIZ LEAL	19/07/1967
CHATA OPERÁRIO UBIRAJARA DOS SANTOS	14/08/1967

NAPACO PIRATINI P-10	30/11/1970
NAPACO PIRAJÁ P-11	16/03/1971
NAPACO PAMPEIRO P-12	16/06/1971
NAPACO PRATI P-13	29/07/1971
NAPACO PENEDO P-14	30/09/1971
NAPACO POTI P-15	29/10/1971
NAPAFLU PEDRO TEIXEIRA P-20	11/06/1972
NAPAFLU RAPOSO TAVARES P-21	11/06/1972
EDCG GUARAPARI L-10	31/03/1978
EDCG TAMBAÚ L-11	31/03/1978
EDCG CAMBORIÚ L-12	10/08/1979
FRAGATA INDEPENDÊNCIA F-44	03/09/1979
FRAGATA UNIÃO F-45	12/09/1980
BARCA BOA VIAGEM	21/01/1981
BARCA URCA	18/06/1981
BATELÃO SARGENTO FREITAS	1981
CHATA CTM-14	1981
NB COMTE VARELLA H-18	28/05/1982
EPP-10	1982
CHATA MUNIÇÃO CMIASMAP	1983
NAPA ITAIPU P-2	16/03/1984
NASH OSWALDO CRUZ U-18	29/05/1984
NE BRASIL U-27	21/08/1986
NAPAFLU ITAIPÚ	02/04/1985
NASH CARLOS CHAGAS U-19	07/12/1984
CORVETA INHAÚMA V-30	13/12/1986
CORVETA JACEGUAÍ V-31	08/06/1987
CHATA DE TRANSPORTE DE JP-5	27/01/1986
CHATA DE TRANSPORTE DE ÓLEO DIESEL	02/02/1987
BATELÃO COM PROPULSÃO PARA ABASTECIMENTO	08/01/1988
DIQUE FLUTUANTE ALMIRANTE SCHIECK	11/10/1989
SUBMARINO TAMOIO S-31	18/11/1993
NAPA GRAJAÚ P-40	21/12/1993
NAPA GUAÍBA P-41	10/09/1994
SUBMARINO TIMBIRA S-32	05/01/1996
SUBMARINO TAPAJÓ S-33	05/06/1999
SUBMARINO TIKUNA S-34	09/03/2005
CHATA BIGUÁ	12/11/2009
CHATA DE CARGA	10/2012
EDVM CAIEIRAS	30/03/2012
EDVM CAGARRAS	19/12/2012
EDVM CATAGUASES	28/05/2013
EDVM COMANDATUBA	26/08/2013
EDVM COTUNDUBA	05/12/2013

ANEXO B – Declaração**Declaração de veracidade das informações prestadas**

Eu, Adamastor Duarte da Costa, declaro formalmente, para os devidos fins, que fui admitido no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro em 1949 e que as informações por mim prestadas e constantes do capítulo dois da monografia do SCNS Edson Segal, a ser apresentada à Escola de Guerra Naval, como requisito parcial para a conclusão do curso de Política e Estratégia Marítimas de 2015, são fieis à verdade e condizentes com a realidade dos fatos à época.

Rio de Janeiro, 23 de Junho de 2015


Assinatura do Declarante.