

1 INTRODUÇÃO

O alumínio, dado ser considerado um elemento bastante “popular”, está presente em quase todas as esferas das atividades humanas.

As diversas aplicações em vários setores da indústria (transportes, construção civil, eletroeletrônicos, petroquímica, metalúrgica, entre outras), além da presença frequente em nosso dia-a-dia (móveis, eletrodomésticos, brinquedos, utensílios de cozinha, embalagens de alimentos, latas de refrigerante, produtos de higiene, cosméticos e produtos farmacêuticos) mostram claramente a sua importância econômica para o mundo atual, sendo por esse motivo o alvo de nossas pesquisas.

O trabalho está constituído por quatro capítulos, assim descritos:

No primeiro, será feita uma apresentação do Alumínio, abordando-se sua história, origem, qualidades apresentadas, precauções quanto ao seu uso, processos produtivos. No segundo, serão abordados os diversos processos de produção desse metal.

O terceiro capítulo versa sobre as ligas de alumínio e as formas como são utilizadas, bem como suas aplicações. No quarto capítulo trataremos da aplicação do alumínio na construção naval. Concluindo a pesquisa teremos um comparativo entre a utilização do alumínio e o aço na indústria naval e demais aplicações do mesmo.

2 A BAUXITA

A bauxita, minério que origina a obtenção de alumínio foi identificada pela primeira vez, na localidade de Les Baux, ao Sul da França, em 1821 por Pierre Berthier, físico e mineralogista francês e recebeu o nome de Bauxita em alusão à cidade onde foi descoberto. Naquela época, o alumínio ainda não era conhecido, pois só foi isolado em 1824 pelo físico e químico dinamarquês Hans Christian Oersted, pois o alumínio não é encontrado em estado nativo na natureza mas, decorrente de processamentos químicos.

Foi através de um processo químico realizado por Sainte-Claire Deville, que se obteve pela primeira vez o alumínio de forma industrial. Tal fato aconteceu em 06 de fevereiro de 1854 e já no ano seguinte, numa exposição em Paris, apresentou o primeiro lingote.

O processo químico inicial utilizado por Deville - usando cloreto duplo de alumínio e sódio fundido, reduzindo-o com sódio - foi substituído com sucesso pelo processo eletrolítico por meio de corrente elétrica, descoberto por Paul Louis Toussaint Heroult (Normandia-França) e Charles Martin Hall (Ohio - Estados Unidos). Heroult e Hall, sem se conhecerem, inventaram ao mesmo tempo o procedimento de que marcou o início da produção do alumínio.

A bauxita é encontrada principalmente nas regiões tropicais e subtropicais da terra, apresentando-se de forma granulosa ou rochosa e em cores de acordo com a sua composição.

A produção do alumínio purificado está diretamente ligada ao nível de desenvolvimento econômico das regiões beneficiadoras de bauxita, onde são muito importantes os fatores de infraestruturais, como os recursos hidráulicos e energéticos da região e a capacidade de recuperação dos resíduos produzidos no processo de obtenção desse metal. No final do século XX, os principais produtores do alumínio refinado eram os Estados Unidos, seguidos por Canadá, Austrália, Brasil e Alemanha.

Atualmente, a produção mundial (de primeira fusão) aproxima-se dos 13 milhões de toneladas por ano, quando foram mais que quadruplicado nas duas últimas décadas, embora seu ritmo de crescimento venha decrescendo já há alguns anos. A geografia da produção não é coincidente com a da extração da bauxita, a matéria-prima, pois alimentando indústrias sofisticadas, requer grandes quantidades

de eletricidade (12 a 15kWh por quilo de metal), fator essencial da implantação das usinas de eletrólise, a produção de alumínio fica restrita principalmente aos países altamente desenvolvidos, sendo que os EUA fornecem quase a metade da produção mundial; enquanto que a Rússia produz cerca de 1/6, seguido pelo Japão e o Canadá, e pelo bloco de países da Europa Ocidental e a Noruega, país que dispõe de abundantes recursos hidrelétricos, a Alemanha Ocidental, a França e a Grã-Bretanha.

Em relação à produção de bauxita, o panorama é o seguinte: o Brasil é o terceiro entre os maiores produtores mundiais e a terceira maior reserva de bauxita do mundo. Segundo dados de 2004 do Departamento Nacional de Pesquisas Minerais (DNPM), a Austrália é maior produtora com 38,1% do total mundial; seguida por Guiné (11,1%) e Brasil (9,4%). A principal e maior jazida brasileira encontra-se no vale do rio Trombetas, afluente do rio Amazonas, em Oriximiná, Estado do Pará. A maior parte de bauxita extraída no Brasil é exportada para o Canadá; enquanto que a menor parcela destina-se ao mercado interno. Trabalhando no segmento temos a Companhia de Mineração Rio do Norte (CMRN) que explora cerca de 70% do total, sendo a maior produtora mundial particular de bauxita. A Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) é a maior acionista da CMRN, que possui ainda vários investidores internacionais, como a ALCOA (EUA) e Shell (Holanda e Inglaterra), além dos acionistas nacionais, como a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), pertencente ao grupo Votorantin.

A energia elétrica necessária à transformação da bauxita em alumínio é fornecida pela hidrelétrica de Tucuruí, também situada no estado do Pará, no rio Tocantins, possibilitando dessa forma que surgisse o projeto Albras-Alunorte, situado em Barcarena, Pará e ligado à CMRN, com a finalidade de produzir alumínio para abastecimento do mercado externo. O complexo do alumínio é servido pelo porto de Vila do Conde, que está situado a 35 Km de Belém.

Existe ainda o projeto Alumar, no estado do Maranhão cujo controle acionário pertence ao grupo norte-americano Alcoa, que segue os moldes do projeto Albras.

Outra região onde se explora a bauxita está situada no estado de Minas Gerais, onde a CVRD opera através da Aluvale, com a participação da BHP Biliton. Em Poços de Caldas (MG), o minério é explorado pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), pertencente ao grupo Votorantim, que mantém uma indústria no município paulista de Alumínio.

Hoje, a indústria brasileira de alumínio apresenta grande relevância, haja vista ser responsável por cerca de 3,9% das exportações do país e 2,8% do produto interno bruto industrial.

Figura 1: Exemplo de minério de Bauxita



Fonte: Abal, 2004.

3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ALUMÍNIO

O alumínio é considerado como o elemento de maior abundância na natureza, chegando a constituir aproximadamente 8% da crosta terrestre. No entanto, não é encontrado puro, mas sim como óxidos, em forma de silicatos. É sólido, com densidade 2,7 g/cm³, em torno de 1/3 da encontrada no aço, o que o faz ter uma grande resistência mecânica, tornando-o extremamente útil na construção naval, automotiva, de aeronaves. Sua fundição dá-se a 660° C, além de ser um bom condutor de calor e eletricidade.

O alumínio é um metal, de símbolo Al, número atômico 13, massa atômica 26,98, que apresenta as seguintes características e vantagens:

- a) cor branca;
- b) superfície brilhante;
- c) não - ferroso;
- d) leve;
- e) dúctil;
- f) maleável;
- g) pouco alterável pelo ar;
- h) não é ferromagnético;
- i) não é tóxico;
- j) é resistente à oxidação progressiva, pois seus átomos em contato com os do oxigênio da atmosfera, formam uma camada de óxido protetor, impedindo a deterioração do material.

3.1 Obtenção do alumínio primário

A obtenção do alumínio é feita a partir da bauxita, a qual deve apresentar no mínimo 30% de alumina aproveitável para que a produção de alumínio tenha viabilidade econômica.

O processo de obtenção de alumínio primário divide-se em três etapas: Mineração, Refinaria e Redução.

3.1.1 Mineração

Como o alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico na crosta terrestre, sua obtenção depende de etapas de processamento até chegar ao estado em que normalmente é visto. O processo da mineração da bauxita, que origina o alumínio, pode ser exemplificado da seguinte maneira:

- 1º) Remoção planejada da vegetação e do solo orgânico;
- 2º) Retirada das camadas superficiais do solo, ou seja, argilas e lateritas;
- 3º) Beneficiamento:
 - Inicia-se na britagem, para que se reduza o tamanho;
 - Lavagem do minério com água para reduzir, se for necessário, o teor de sílica que está contida na parcela mais fina;
 - Secagem.

3.1.2 Refinaria

É a fase do processo que transforma a bauxita em alumina calcinada, tendo como procedimento mais utilizado o método Bayer. Constitui-se na primeira etapa até se chegar ao alumínio metálico.

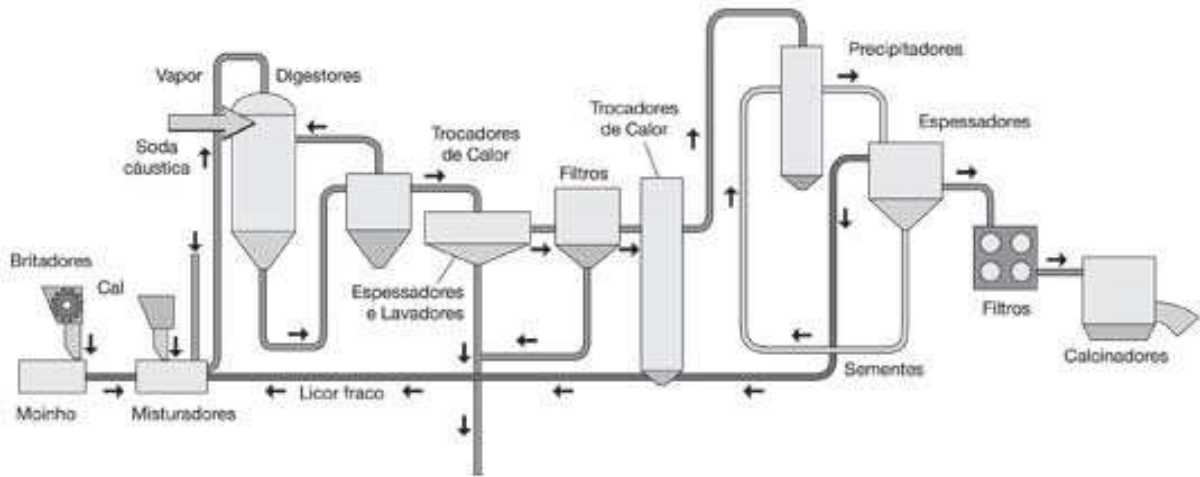
- a) Dissolução da alumina em soda cáustica;
- b) Filtração da alumina para separar o material sólido;
- c) O filtrado é concentrado para a cristalização da alumina;
- d) Os cristais são secados e calcinados para eliminação da água;
- e) O pó branco de alumina pura é enviado à redução;
- f) Na redução, ocorre o processo conhecido como Hall-Heroult, por meio da eletrólise, para obtenção do alumínio.

As principais fases da produção de alumina, desde a entrada do minério até a saída do produto final são:

- a) Moagem
- b) Digestão
- c) Filtração/evaporação
- d) Precipitação
- e) Calcinação.

As operações de alumina têm um fluxograma de certa complexidade, que pode ser resumido em um circuito básico simples, conforme Figura 2.

Figura 2: Exemplo de operações de Alumina



Fonte: Abal, 2004.

Para se produzir uma tonelada de alumina, necessita-se além da bauxita e de combustíveis energéticos, de outros insumos, cujo consumo depende da qualidade do minério.

Parâmetros de consumo da alumina	
Bauxita (t/t)	1,85 a 3,4
Cal (kg/t)	10 a 50
Soda cáustica (kg/t)	40 a 140
Vapor (t/t)	1,5 a 4,0
Óleo combustível - calcinação (kg/t)	80 a 130
Floculante sintético (g/t)	100 a 1000
Energia elétrica (kwh/t)	150 a 400
Produtividade (Hh/t)	0,5 a 3,0
Água m ³ /t	0,5 a 2,0

Fonte: Boletim Técnico - ABAL/Produtores de Alumínio Primário

3.1.3 Redução

É o processo de transformação da alumina em alumínio metálico:

- a) Dissolve-se a alumina em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio em baixa tensão, decompondo-se em oxigênio;
- b) O oxigênio ao se combinar com o ânodo de carbono, desprende-se na forma de dióxido de carbono, e em alumínio líquido, o qual se precipita no fundo da cuba eletrolítica;
- c) Através de cadinhos, o metal líquido (já alumínio primário) é transferido para a refusão;
- d) São produzidos os lingotes, as placas e os tarugos (alumínio primário).

Mesmo que sejam necessários apenas 1,6 V para a eletrólise propriamente dita, a voltagem de cada uma das cubas, ligadas em série, varia de 4 V a 5 V. A diferença de voltagem é necessária para vencer resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito em fusão.

Na Figura 3 será ilustrada uma Sala de Cubas.

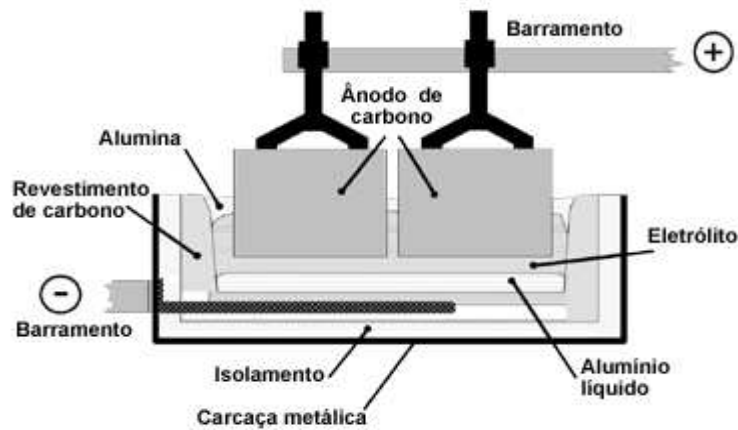
Figura 3: Exemplo de Sala de cubas



Fonte: Abal, 2004.

Para se produzir 2 toneladas de alumina, são necessárias cerca de 5 t de bauxita. Já para a produção de 1 tonelada de alumínio são necessárias 2 toneladas de alumina, pelo processo de Redução, Figura 4.

Figura 4: Exemplo de um Diagrama de Redução



Fonte: Abal, 2004.

Como o ponto de fusão da alumina, Al_2O_3 , é muito alto, 2060°C , é necessário o uso de um material fundente para permitir que a eletrólise ocorra a uma temperatura mais baixa.

Usa-se como fundente da alumina o fluoreto duplo de sódio e alumínio, $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$, também conhecido como criolita, um mineral encontrado apenas na Groenlândia, mas que pode ser produzido artificialmente. A mistura alumina mais criolita funde a 1000°C , e os íons Al^{3+} e O^{2-} ficam livres. Dissociação: $2\text{Al}_2\text{O}_{3(l)} \rightarrow 4\text{Al}^{3+} + 6\text{O}^{2-}$

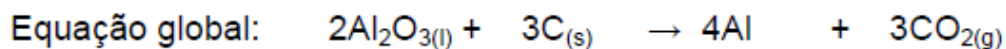
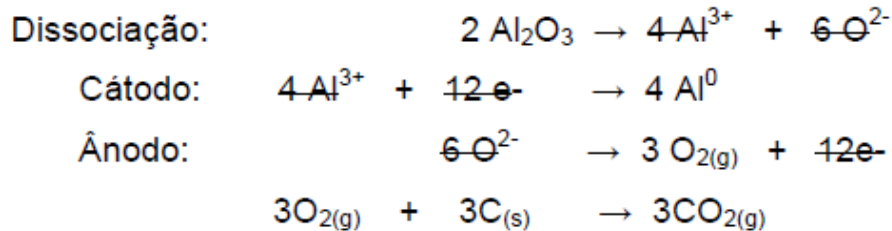
A mistura de alumina e criolita fundida fica contida em recipientes de aço, cujas paredes são o pólo negativo da eletrólise (o cátodo) onde ocorre a redução: $4\text{Al}^{3+} + 12\text{e}^- \rightarrow 4\text{Al}$.

Como o alumínio funde a 660°C e é mais denso que a mistura alumina+criolita, ele vai se acumulando na forma líquida, no fundo do recipiente, onde é vazado periodicamente.

O ânodo ou pólo positivo é uma série de cilindros de grafita fabricados com coque de petróleo. Neles ocorrem a reação de oxidação: $6\text{O}^{2-} \rightarrow 12\text{e}^- + 3\text{O}_{2(g)}$.

O oxigênio aí formado reage com o carbono desse eletrodo, formando gás carbônico: $3\text{O}_{2(g)} + 3\text{C} \rightarrow 3\text{CO}_{2(g)}$

A equação global dessa eletrolise será então:



No quadro abaixo estão listados os principais insumos necessários à produção de alumínio primário durante o processo de redução:

Insumos para a produção de alumínio primário (ano-base 2003)	
Alumina	1919 kg/t Al
Energia elétrica	15,0 MWhcc/t Al
Criolita	8,0 kg/t
Fluoreto de alumínio	19,7 kg/t
Coque de petróleo	0,384 kg/kg Al
Piche	0,117 kg/kg Al
Óleo combustível	44,2 kg/t

Fonte: Abal, 2004.

3.2 Características Físicas e Químicas do Alumínio

3.2.1 Propriedades Mecânicas

Determinadas através de ensaios rotineiros de amostras selecionadas as quais funcionam como representativas do produto. Como estes ensaios são normalmente destrutivos não devem ser realizados em produtos acabados, pois alteram suas condições de funcionalidade. São obtidos corpos-de-prova de amostras que tenham sido elaboradas da mesma forma que o produto, exceto no caso de peças fundidas e forjadas. Os ensaios de peças fundidas são feitos em corpos-de-prova do mesmo

vazamento do metal da peça fundida e elaborados ao mesmo tempo. Com as peças forjadas, os ensaios, geralmente, são feitos em pedaços cortados do mesmo metal da peça.

3.2.2 Limite de resistência à tração

É a tensão máxima que o material resiste antes de ocorrer sua ruptura. É calculado dividindo-se a carga máxima (em quilogramas) aplicada durante o ensaio, pela seção transversal em milímetros quadrados do corpo-de-prova. Para o alumínio puro recozido, essa razão é de aproximadamente 48MPa ($4,9 \text{ kg/mm}^2$).

O valor aumenta em função da liga, do trabalho a frio e do tratamento térmico (quando possível).

3.2.3 Limite de escoamento

Representa a tensão com que o material começa a deformar-se plasticamente e que para o alumínio é de 0,2% do comprimento original medido em um corpo-de-prova normal. É fundamental que seja definido este grau de deformação permanente porque as ligas de alumínio não possuem limite de escoamento tão pronunciado como a maioria dos aços. O limite do alumínio puro é de aproximadamente 12,7 Mpa ($1,3 \text{ kg/mm}^2$).

3.2.4 Alongamento

É expresso em porcentagem relativamente ao comprimento original medido em um corpo-de-prova normal e é calculado pela diferença entre os pontos de referência, antes e depois do ensaio de tração. Esse alongamento indica a ductilidade do metal ou da liga. Quanto mais fino o corpo-de-prova, menor será o alongamento e vice-versa.

3.2.5 Dureza

É definida como a medida da resistência de um metal à penetração, existindo várias formas para se determinar a dureza de um material. No caso dos metais, os mais comuns são os métodos de Brinell, Vickers e Rockwell. É importante salientar que não existe uma relação direta entre o valor da dureza e as propriedades mecânicas das várias ligas de alumínio. Os elementos de liga aumentam em muito sua resistência com o alumínio, assim como o tratamento térmico e o endurecimento pelo trabalho a frio. Entretanto a dureza é significativamente mais baixa do que a maioria dos aços.

3.2.6 Módulo de elasticidade (Young)

O módulo de elasticidade do alumínio é de 7030 kg/mm^2 e a adição de outros materiais nas ligas não produz alterações a esse valor de forma considerável, que pode chegar a até 7500 kg/mm^2 . Daí que o índice do alumínio representa um terço do módulo de elasticidade do aço. Essa propriedade dá ao alumínio a vantagem de dar às estruturas de alumínio uma elevada capacidade de amortecer golpes e reduzir as tensões produzidas pela variação da temperatura.

3.2.7 Tensão de fadiga

Quando se aplica uma tensão oscilante várias vezes sobre um mesmo material, mesmo que os impactos tenham força inferior ao seu limite de resistência à tração, é previsível uma falha por fadiga. Em muitas ligas de alumínio não há um limite inferior de tensão abaixo do qual a fadiga nunca possa ocorrer, mas quanto menor a tensão, maior o número de ciclos necessários para produzir a falha. No alumínio, em testes normais, o limite de resistência chega a 50 milhões de inversão de tensão e pode variar de 25% a 50% da tensão de ruptura, conforme a liga.

3.2.8 Temperaturas elevadas

Conforme já visto, o alumínio puro funde a 660°C e várias ligas possuem um ponto de fusão inferior a esse. O metal puro e muitas ligas perdem um pouco a sua

resistência, ficando sujeitas a uma lenta deformação plástica, chamada de fluência, se permanecer sob tensão por longos períodos em temperaturas acima de 200°C. Por outro lado, ligas feitas para serviços em altas temperaturas, como às usadas em pistões, retêm suas propriedades adequadamente, funcionando satisfatoriamente dentro da faixa de temperatura de trabalho requerida.

3.2.9 Temperaturas baixas

Mesmo na exposição a temperaturas abaixo de zero, o alumínio não fica frágil. Sua resistência aumenta sem perder a ductilidade. Esta é a característica que leva uma liga de AlMg ser escolhida para a construção de tanques soldados para armazenamento de gás metano liquefeito, em temperaturas de -160°C.

O alumínio ocupa o terceiro lugar em relação ao peso, entre os elementos constitutivos da crosta terrestre. Entra na composição de inúmeras rochas e pedras preciosas.

Entre as rochas estão os feldspatos, as micas, a turmalina, a bauxita e a criolita. Dentre as pedras preciosas estão os coríndons, as safiras e os rubis.

Sua condutividade elétrica é alta e não se altera ao entrar em contato com o ar ou em presença de água, pois sua fina camada de óxido o protege desses ataques. No entanto, ao entrar em contato com outros elementos, como o oxigênio, sofre reação de combustão e libera grande quantidade de calor. Na combinação com halogênios, como o cloro, o flúor, o bromo, o iodo e o enxofre, imediatamente são produzidos os respectivos haletos e sulfetos de alumínio.

No quadro abaixo estão resumidas as propriedades físicas e químicas do alumínio:

Número atômico	13
Peso atômico	26,9
Ponto de fusão	660° C
Ponto de ebulição	2.467°C
Densidade	2,7
Gravidade específica	Rede cúbica de face centrada
Raio atômico	1,43 A
Estados de oxidação	+ 3
Configuração eletrônica	1s22s22p63s23p1

3.3 Precauções quanto ao uso do alumínio

Aparentemente o alumínio, apesar de ser um dos poucos elementos abundantes na natureza, parecem não apresentar nenhuma função biológica significativa. No entanto, algumas pessoas manifestam alergia ao alumínio, sofrendo dermatites ao seu contato, inclusive sofrendo problemas digestivos ao ingerir alimentos cozinhados em recipientes de alumínio. Para as demais pessoas o alumínio não é considerado tão tóxico como os metais pesados, ainda que existam evidências de certa toxicidade quando ingerido em grandes quantidades. Em relação ao uso de recipientes de alumínio não se têm encontrado problemas de saúde, estando estes relacionados com o consumo de antiácidos e antitranspirantes que contêm este elemento. Tem-se sugerido que o alumínio possa estar relacionado com o mal de Alzheimer, ainda que esta hipótese não tenha comprovação conclusiva.

A ingestão do alumínio pode acontecer através da comida, do ar e contato com a pele. A ingestão por muito tempo do alumínio em concentrações altas pode levar a sérios problemas de saúde como:

- a) demência;
- b) danos ao sistema nervoso central;
- c) perda de memória;
- d) surdez;
- e) fortes tremores.

Nas fábricas onde este elemento é utilizado no processo de produção, a sua ingestão em pó pode levar à fibrose pulmonar e a outros problemas do pulmão, sendo este efeito conhecido como Mal de Shaver e é complicado pela presença no ar de sílica e óxido de ferro. Na diálise renal ele pode penetrar nos rins e causar danos.

3.4 Aplicações do Alumínio

Exemplo de utilização do Alumínio na Figura 5.

Figura 5: Exemplo de Utilização do Alumínio



Fonte: Abal, 2004.

O alumínio é utilizado na indústria de acordo com o seu segmento, cada qual o utiliza conforme suas finalidades. Vejamos:

- a) perfis extrudados – são produzidos pelo processo denominado extrusão, no qual o alumínio é submetido a uma prensa hidráulica de grande capacidade, e que o força a passar por uma matriz de aço com a forma desejada, transformando-se em esquadrias (portas e janelas), forros, divisórias, acessórios para banheiros, estruturas pré-fabricadas, carrocerias para caminhões, autopeças, componentes de bicicletas, frisos para eletrodomésticos, componentes de máquinas, dissipadores de calor, vagões ferroviários, além de elementos para decoração. A indústria da construção civil absorve aproximadamente 60% dos extrudados de alumínio;
- b) chapas e laminados – são transformados em latas de alumínio, pisos e carrocerias para ônibus e caminhões, construção naval, telhas e fachadas, além de utensílios domésticos, tais como tubos e bisnagas para dentifrícios e aerosóis;
- c) folhas – de acordo com as várias espessuras em que são produzidas servem para embalagens rígidas, flexíveis, descartáveis, etc;
- d) fios e cabos – possuem larga aplicação nos serviços de transmissão de energia elétrica, como condutores, através de cabos isolados ou nus;
- e) fundidos e forjados – aplicados principalmente na indústria de transportes, onde aproximadamente 60% do consumo de alumínio dá-se através de componentes fundidos, como as caixas de câmbio, carcaça de motores e rodas de veículos;

- f) pastas e pó – nesta forma as aplicações são extremamente variadas, pois podem servir como desoxidantes na indústria siderúrgica e explosivos para mineração até medicamentos antiácidos, como hidróxidos e cloridróxidos de alumínio, passando por tintas, produtos químicos, farmacêuticos e para tratamento de água de piscinas, na forma de sulfato de alumínio;
- g) aluminas especiais – são transformadas em refratários, revestimentos cerâmicos, abrasivos, vidros, porcelanas, massas de polimento, isoladores elétricos, pastilhas de freio, tintas e corantes, entre outros.

Outra utilização do Alumínio ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Exemplos de Utilização do Alumínio



Fonte: Abal, 2004.

Vê-se com os exemplos acima que as aplicações do alumínio estão numa enorme lista, servindo para todos os tipos de indústrias, inclusive a de construção naval, objeto deste trabalho.

Na indústria de transportes, o alumínio é largamente utilizado, sendo de uso principalmente na indústria aeronáutica onde participa com aproximadamente 80% em peso, pelo desenvolvimento de ligas com resistência mecânica mais elevada.

Na construção naval, pela melhoria das técnicas de soldagem e o desenvolvimento das ligas de AlMg, que resistem à corrosão da água salgada, o alumínio tem sido muito utilizado neste mercado, permitindo a confecção de barcos, canoas e botes, lanchas (patrulhas, passeios e serviços), catamarãs, trimarãs, navios e submarinos, exemplificados na Figura 7 e Figura 8.

Figura 7: Exemplo de Utilização em Produção Naval



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

Figura 8: Utilização em Embarcação 100% Alumínio



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

3.5 Qualidades do alumínio

- a) Leveza - Característica essencial na indústria de transportes, pois representa menor consumo de combustível e de desgaste, mais eficiência e capacidade de carga. Para o setor de alimentos, traz funcionalidade e praticidade às embalagens por seu peso reduzido em relação a outros materiais;
- b) Condutibilidade - O alumínio apresenta-se como um excelente meio de transmissão de energia, seja elétrica ou térmica. O metal oferece um bom ambiente de aquecimento e resfriamento. Trocadores e dissipadores de calor em alumínio são bastante utilizados nas indústrias de alimentos, automobilística, química, aeronáutica, petrolífera, etc. Em relação às embalagens e utensílios domésticos, essa característica confere ao alumínio a condição de melhor condutor térmico, fato extremamente importante na cozinha;

- c) Impermeabilidade e opacidade – constitui-se numa característica essencial nas embalagens de alumínio para alimentos e medicamentos, pois o alumínio não permite a passagem de umidade, oxigênio e luz. Essa propriedade faz com que o metal evite a deterioração de alimentos, remédios e outros produtos consumíveis;
- d) Alta relação resistência/peso – qualidade muito importante para a indústria automotiva e de transportes, ao possibilitar um desempenho excelente a qualquer parte de equipamento de transporte que consuma energia para se movimentar. Em relação aos utensílios domésticos possibilita uma maior durabilidade e segurança no manuseio, facilitando a conservação;
- e) Beleza – é o seu aspecto exterior que além de conferir um bom acabamento apenas com sua aplicação pura, dá sensação de modernidade a qualquer aplicação por ser um material nobre, limpo e que não se deteriora ao longo do tempo;
- f) Resistência à Corrosão - O alumínio possui uma auto-proteção natural, só destruída por uma condição agressiva ou por determinada substância que dissipe sua película de óxido de proteção. Essa qualidade facilita a conservação e a manutenção das obras, em produtos como portas, janelas, forros, telhas e revestimentos usados na construção civil, bem como em equipamentos, partes e estruturas de veículos de qualquer porte. Em relação às embalagens é fator decisivo quanto à higienização e barreira à contaminação;
- g) Moldabilidade e soldabilidade – Por ser bastante maleável e dúctil o alumínio permite que a indústria o utilize de várias formas, além de que suas propriedades mecânicas facilitam a conformação, possibilitando a construção de formas adequadas aos projetos mais diversos;
- h) Resistência e dureza – Apesar de ser muito maleável, o alumínio também pode ser trabalhado de forma a aumentar sua robustez natural. Com uma resistência à tração de 90 Mpa, por meio do trabalho a frio, essa propriedade pode ser praticamente dobrada, permitindo seu uso em estruturas, com excelente comportamento mecânico, aprovado em aplicações como aviões e trens;
- i) Possibilidade de muitos acabamentos – Ou através da anodização ou da pintura, o alumínio assume a aparência adequada para aplicações em construção civil, através de acabamentos que reforçam mais ainda a resistência natural do material à corrosão;

j) Reciclabilidade - Uma das principais características do alumínio é poder ser reciclado, já que após muitos anos de vida útil, com segurança e eficiência, o alumínio pode ser reaproveitado, recuperando-se uma parte significativa do investimento, com economia de energia, como no caso da lata de alumínio. E a consequência mais visível está no meio ambiente, que é beneficiado pela redução de resíduos e economia de matérias-primas propiciadas pela reciclagem.

4 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO

Sabe-se que o alumínio é proveniente da bauxita, um metal facilmente extraído da natureza. No entanto para transformá-lo em alumínio é necessário um complexo processamento.

Para se produzir o alumínio divide-se a produção em duas partes: primária e secundária.

O alumínio primário necessita do processo Hall-Héroult: a alumina (óxido de alumínio) que é obtida pelo refino da bauxita, é dissolvida num banho de criólitos e sais fluoretos, os quais possuem a função de controle da temperatura, densidade e resistividade do banho e a solubilidade da alumina.

Sistemas de vácuo ou sifão removem o metal separado no processo para o interior de cadinhos, os quais são transferidos para unidades de fundição, de onde saem refundidos ou em forma de lingotes.

Figura 9: Produção de Alumínio Primário

<p>Os parâmetros de consumo de matérias-primas, combustíveis fósseis e outros itens na produção de alumínio primário são:</p> <p><i>The figures for the consumption of raw materials, fossil fuels and other items in the production of primary aluminum are:</i></p>	Alumina	1930 kg/t Al	Alumina	1930 kg/t Al
	Energia elétrica	14 a 16,5 kWh _{cc} / kg Al	Electric power	14 to 16.5 kWh _{cc} / kg Al
	Criolita	12 kg/t Al	Cryolite	12 kg/t Al
	Fluoreto de alumínio	20 a 30 kg/t Al	Aluminum fluoride	20 to 30 kg/t Al
	Coque de petróleo	0,4 a 0,5 kg/kg Al	Petroleum coke	0.4 to 0.5 kg/kg Al
	Piche	0,1 a 0,15 kg/kg Al	Pitch	0.1 to 0.15 kg/kg Al
	<p>Em 1999, registrou-se um consumo médio de 14,8 kWh_{cc}/kg Al, indicando redução de 0,5 kWh_{cc}/kg Al, comparado ao ano de 98.</p>		<p>In 1999, average consumption was 14.8 kWh_{cc}/kg Al, a reduction of 0.5 kWh_{cc}/kg Al, compared with 1998.</p>	

Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

A desvantagem desse método é que o alumínio resultante apresenta uma quantidade muito grande de impurezas.

Figura 10: Fluxo da cadeia de produção do alumínio primário



Fonte: <http://2.bp.blogspot.com>.

Os maiores exportadores de alumínio primário do mundo hoje são a Rússia, Canadá.

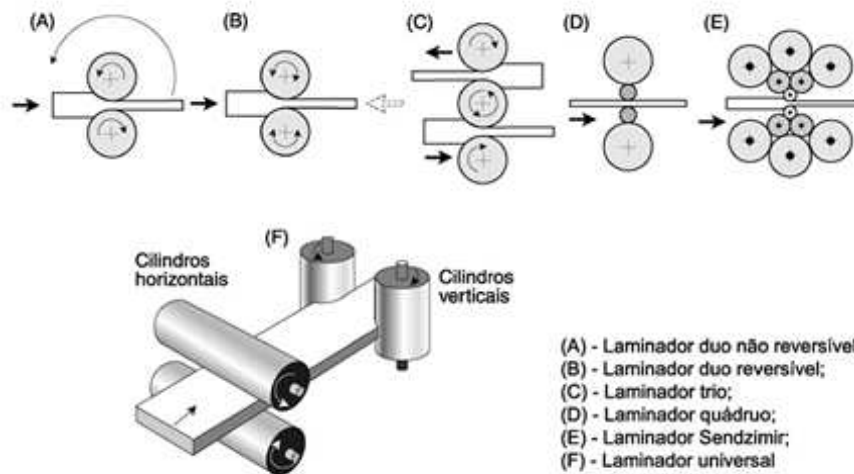
O alumínio secundário é conseguido partindo da reciclagem de sucata. Constitui uma fonte de produção do metal muito valorizada atualmente, pois significa economia de energia elétrica.

4.1 Processos de Produção

4.1.1 Laminação

É um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, por meio da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos. Esta seção transversal é retangular e refere-se a produtos laminados planos de alumínio e suas ligas, compreendendo desde chapas grossas com espessuras de 150 mm, usadas em usinas atômicas, até folhas com espessura de 0,005 mm, usadas em condensadores, ilustrado na Figura 11.

Figura 11: Exemplo do Processo de Laminação



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

São dois os processos tradicionais de laminação de alumínio: **laminação a quente** e **laminação a frio**, embora atualmente, a indústria também utilize a **laminação contínua**.

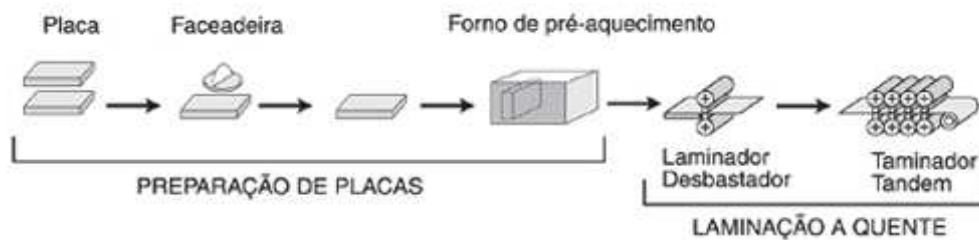
4.1.1.1 Laminação Quente

Leva a reduções da seção transversal com o metal a uma temperatura mínima de aproximadamente 350°C (igual à temperatura de recristalização do alumínio). A ductilidade do metal a temperaturas desta ordem é máxima e, nesse processo ocorre a recristalização dinâmica na deformação plástica. O processo transcorre da seguinte forma:

- uma placa (matéria-prima inicial), cujo peso varia de alguns quilos até 15 toneladas, é produzida na refusão, por meio de fundição semi - contínua, em molde com seção transversal retangular. Este tipo de fundição assegura a solidificação rápida e estrutura metalúrgica homogênea. A placa pode sofrer uma usinagem superficial (faceamento) para remoção da camada de óxido de alumínio, dos grãos colunares (primeiro material solidificado) e das impurezas provenientes da fundição;
- posteriormente, a placa é aquecida até tornar-se semiplástica;
- a laminação a quente se processa em laminadores reversíveis duplos (dois cilindros) ou quádruplos (dois cilindros de trabalho e dois de apoio ou encosto);

d) o material laminado é deslocado, a cada passada, por entre os cilindros, sendo que a abertura dos mesmos define a espessura do passe. A redução da espessura por passe é de aproximadamente 50% e depende da dureza da liga que está sendo laminada. No último passe de laminação, o material apresenta-se com espessura ao redor de 6 mm, sendo enrolado ou cortado em chapas planas, constituindo-se na matéria-prima para o processo de laminação a frio.

Figura 12: Laminação Quente



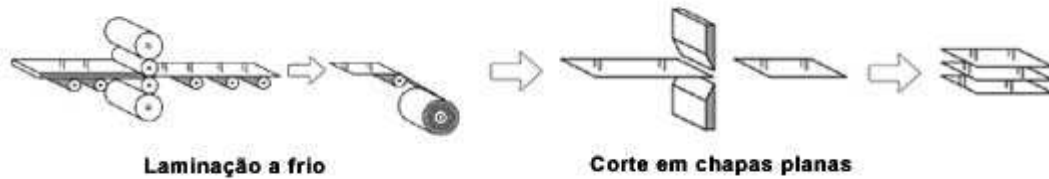
Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

4.1.1.2 Laminação Frio

É processada em temperaturas bem inferiores às de recristalização do alumínio. A matéria-prima vem da laminação a quente. A laminação a frio é executada, geralmente, em laminadores quádruplos, reversíveis ou não, sendo este último o mais empregado. O número de passes depende da espessura inicial da matéria-prima, da espessura final, da liga e da têmpera do produto desejado. Os laminadores estão dimensionados para reduções de seções entre 30% e 70% por passe, dependendo, também, das características do material em questão. Laminadores mais sofisticados possuem sistemas computadorizados de controle de espessura e de planicidade. Na laminação a frio utilizam-se dois recursos: tensões avante e tensões a ré.

Ambas aliviam o esforço de compressão exercido pelos cilindros ou aumentam a capacidade de redução por passe. Estes recursos são também responsáveis pela redução da espessura no caso de laminação de folhas finas, em que os cilindros de laminação estão em contato e praticamente sem abertura perceptível, Figura 12.

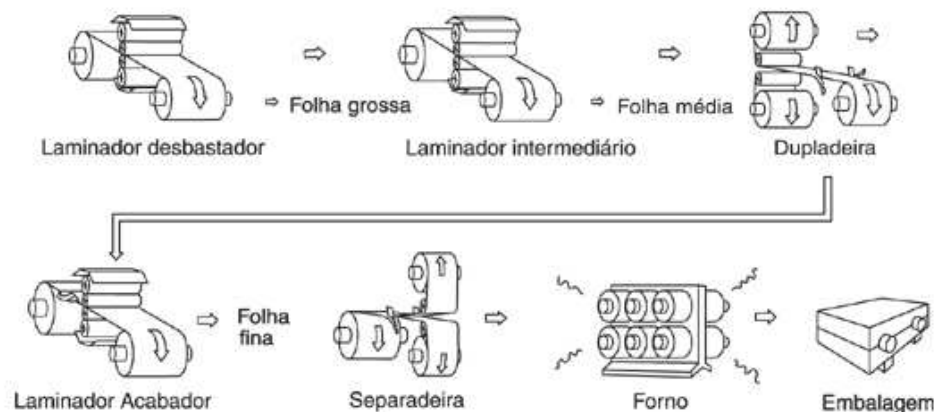
Figura 13: Laminação Frio



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

A deformação a frio leva ao encruamento o alumínio. Aumenta os limites de resistência à tração e ao escoamento, com diminuição do alongamento. Esse procedimento produz um metal com bom acabamento superficial e preciso controle dimensional. Os produtos laminados de alumínio são utilizados em todas as operações metalúrgicas usuais de chapas, incluindo aquelas que exigem do metal de excepcional ductilidade, como é o caso de processos como **estampagem**, **extrusão por impacto**, perfilação (roletagem), etc. Recozimentos intermediários podem ser realizados para amolecimento (recristalização) e para facilitar posterior laminação ou determinar têmperas específicas, Figura 13.

Figura 14: Deformação a Frio



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

a) laminação Contínua: Atualmente está sendo muito utilizado o processo de laminação contínua o qual elimina a etapa de laminação a quente. O alumínio é solidificado entre dois cilindros refrigerados internamente por água, que giram em torno de seus eixos, produzindo uma chapa com seção retangular e espessura aproximada de 6 mm. Posteriormente, esta chapa é enrolada, obtendo-se assim um produto similar àquele obtido por laminação a quente. Porém, este produto

apresentará uma estrutura bruta de fusão bastante refinada, devido a alta eficiência do refinador de grão utilizado no vazamento.

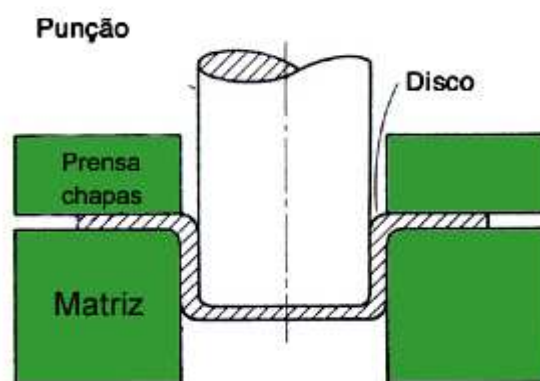
4.1.2 Estampagem

Nesse processo, o material é pressionado por um punção contra uma matriz, como acontece com os utensílios domésticos e latas de bebidas. Chapas e discos de alumínio são amplamente utilizados para repuxação e estampagem profunda. Para serem realizadas, estas operações requerem material com grande plasticidade, alta ductilidade e com uma baixa taxa de encruamento.

Obtém-se os melhores resultados quando o metal possui um tamanho de grão pequeno e uniforme. Assim, as ligas das séries 1xxx e 3xxx são mais utilizadas para estas aplicações, a não ser que os componentes acabados tenham que ter maior resistência.

Outro método para se confirmar se um determinado material foi escolhido adequadamente é um simples teste de dobramento, que é realizado em chapas de espessura fina em que se determina qual o menor raio em que elas conseguem ser dobradas sem se romper. Enquanto um material recozido pode ser dobrado completamente, um raio cujo dobramento é de cinco vezes a espessura pode ser o mínimo obtido para material duro, totalmente tratado termicamente, Figura 15.

Figura 15: Estampagem



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

4.1.3 Extrusão por Impacto

Também denominado de extrusão a frio, esse processo aumenta a resistência do material, melhorando o acabamento superficial e permitindo tolerâncias dimensionais mais estreitas. O material sofre um súbito impacto por meio de um punção, provocando o seu estiramento, como é o caso dos tubos de remédio e de aerossóis.

4.1.4 Forjamento

Por esse processo, o alumínio é bastante utilizado, principalmente nas indústrias aeronáutica, bélica, transportes, máquinas e equipamentos, abrangendo em sua aplicação peças como rodas, eixos, longarinas, bielas, peças de bicicletas, motores, rotores, engrenagens, pistões, etc.

Pelo forjamento se obtém a força desejada de uma peça, seja por martelamento ou aplicação gradativa de uma pressão, sendo que a maioria das operações de forjamento são feitas a quente. A indústria utiliza três métodos de forjamento:

- a) Matriz aberta;
- b) Matriz fechada sem rebarba;
- c) Matriz fechada com rebarba.

A escolha do processo mais apropriado deve ser de acordo com o formato da peça, da sofisticação do projeto da peça e do custo. Normalmente, dois ou mais métodos de forjamento são combinados para se obter o formato desejado, Figura 15.

Figura 16: Forjamento



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

Para fazer o forjamento do alumínio, aquece-se um bloco, tarugo ou perfil e se pressiona contra uma matriz bipartida, na qual foi escavada a forma da peça em negativo. O metal escoá, preenchendo a cavidade formada pelo ferramental, tomando a forma da peça. Depois das ligas ferrosas, o alumínio é o metal mais utilizado para forjamento. As ligas de alumínio podem ser forjadas em qualquer tipo de equipamento para forjamento utilizado para outros metais (de martelo a prensa até máquinas de forjamento especializadas). Entretanto, essas ligas são raramente forjadas em martelos.

Abaixo apresentamos um quadro referente às temperaturas necessárias para o forjamento:

Temperatura de trabalho		↓ Dificuldade crescente de forjamento
Ligas de alumínio	400 – 550°C	
Ligas de magnésio	250 – 350°C	
Ligas de cobre	600 – 900°C	
Aço carbono e aço baixa liga	850 – 1150°C	
Aços inoxidáveis	1100 – 1250°C	
Ligas de titânio	700 – 950°C	

Fonte: Associação Brasileira de Alumínio, 2004

4.1.5 Fundição

É considerado como um dos primeiros processos industriais para se produzir artigos de metal. As propriedades do alumínio, aliadas à tecnologia moderna oferecem excelentes condições, com facilidades para se efetivar controles científicos adequados, a fim de que se possam produzir grandes quantidades de peças mantendo uma qualidade uniforme. O mercado conta atualmente com excelentes ligas de alumínio que podem ser usadas para inúmeras variedades de peças fundidas. Dentre as principais temos:

- a) Baixa temperatura de fusão;
- b) Forte tendência à oxidação;
- c) Baixa densidade;
- d) Alta condutividade térmica;
- e) Elevado coeficiente de dilatação.

O ato de vazár metal líquido em moldes de areia é uma das mais antigas artes industriais, sendo ainda utilizado quando as peças fundidas são requeridas em

pequenas quantidades, de tamanho excepcionalmente grande ou muito intrincadas. Para peças com melhor acabamento superficial utiliza-se a fundição em matriz por gravidade, quando o metal é vazado dentro de uma matriz de ferro ou de aço. Este processo é econômico quando a demanda é para um número considerável de peças.

Quando as peças estão em grandes volumes, a fundição em matriz sob pressão é a mais vantajosa. Nesse caso, o metal é forçado a penetrar em matrizes de aço sob a força de pressão hidráulica. É dessa maneira que se produzem os fundidos com grande precisão de detalhes. O método tem sido cada vez mais empregado em peças fundidas até o tamanho de blocos de cilindros

Por outro lado, quando um alto grau de precisão dimensional é requerido, mas o número de peças é relativamente pequeno, é utilizado um processo mais antigo: a cera perdida. Nele, um modelo consumível é revestido com uma fina camada refratária, a qual é subsequente e endurecida em estufa para formar o molde. A Figura 16 mostra uma série de peças fundidas:

Figura 17: Peças Fundidas



Fonte: Revista Alumínio.

Conforme já exposto em item anterior, as peças fundidas de alumínio têm suas principais aplicações na área automotiva e de transportes, que representam cerca de 60% do consumo do alumínio neste segmento.

A fundição pode ser feita por:

- a) gravidade, com uso de areia ou molde metálico;
- b) sob pressão (alta ou baixa);
- c) com cera perdida;
- d) fundição centrifugada.

4.1.5.1 Tipos de fundição

a) fundição em areia: Esse processo pode ser feito por moldagem em areia verde ⁽¹⁾ e em cascas de Shell, cura a frio, com dióxido de carbono e loast foam. Esse material é constituído por granulados refratários chamados de areias-base e por um produto com capacidade de coesão e plasticidade – o aglomerante – que neste caso é a argila.

As areias de fundição podem ser naturais, semi-sintéticas (com adições para correção ou melhoria das propriedades naturais) e sintéticas (obtida pela mistura dos constituintes básicos isoladamente tais como areia, aglomerantes, aditivos e plastificantes);

(1) Areias verdes são areias aglomeradas com argila no estado úmido

b) fundição em coquilha: Esse processo é feito por gravidade e consiste em obter peças por meio do vazamento do metal líquido em um molde metálico, denominado de coquilha. A introdução do metal é essencialmente determinada pela força da gravidade;

c) fundição por pressão: Este processo consiste na injeção de um metal líquido colocado em um recipiente - câmara de injeção - para o interior da cavidade de um molde fabricado em aço, por meio de um pistão. Numa primeira fase, o ar é eliminado da câmara de injeção. Após, há um rápido preenchimento da cavidade do molde para evitar o resfriamento do metal. E na última etapa faz-se a compactação do metal para diminuir o volume das microporosidades decorrentes da contração de solidificação do metal.

Figura 18: Matriz Sob Pressão



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

4.1.6 Tixofundição ou Fundição de ligas semi-sólidas de alumínio

Este processo ainda é novo no Brasil, porém de grande utilização em países desenvolvidos como Japão, Estados Unidos, Alemanha e Itália. Em vez de usar o alumínio líquido, o que se usa é o metal em "pasta", evitando o desgaste no contato entre o metal e o molde e aumentando a produtividade. É bastante utilizado na indústria automotiva, na fabricação de peças como suspensões, carcaças e discos de embreagem.

Desde 1982, utiliza-se essa técnica que tem como uma de suas principais vantagens o menor desgaste das peças usadas no processo. Por ser um material 60% sólido e 40% líquido, a fundição de semi-sólidos permite um menor atrito entre o molde e o metal, aumentando sua vida útil e, conseqüentemente, a produtividade. Dessa forma, o material fundido não apresenta porosidades, tampouco segregação de elementos de liga, oferecendo um resultado de melhor qualidade ao produto final.

Para efeito de demonstração, o uso do processo de fundição de ligas semi-sólidas de alumínio permite que uma peça como o suporte do motor tenha seu peso reduzido de 5 kg para 3 kg com a tixofundição.

4.1.7 Soldagem

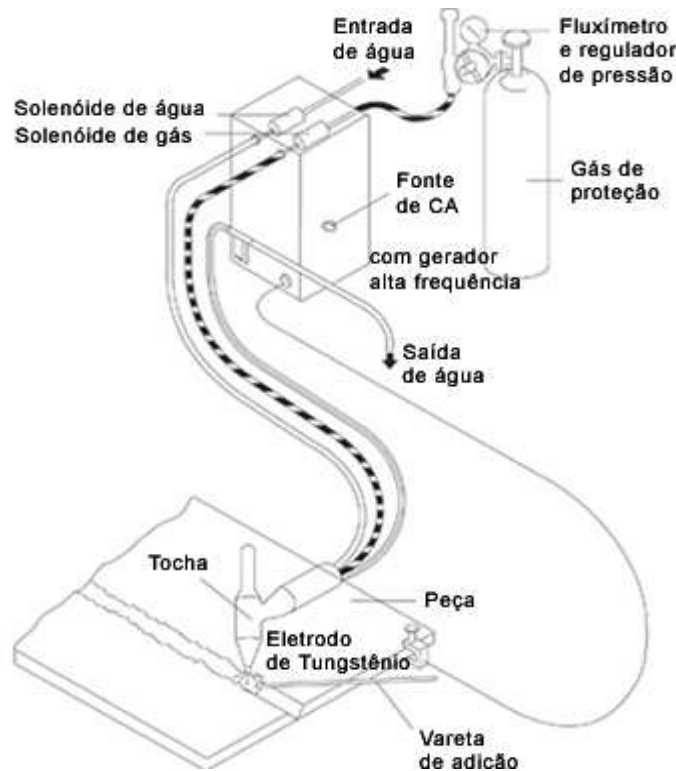
Ao se desenvolverem métodos para a soldagem do alumínio e suas ligas abriu-se um novo segmento de mercado em aplicações, como pontes, construções, transportes, incluindo-se aqui o segmento da construção naval, objeto de nosso estudo, etc. O alumínio e suas ligas podem ser soldados de forma satisfatória desde que a escolha da liga de adição seja a adequada, por meio da utilização de técnicas apropriadas, visto que as linhas de solda são bastante resistentes para as suas várias aplicações.

Para se efetivar a escolha do processo de soldagem deve-se ter determinada a espessura do material, tipo de cordão de solda, requisitos de qualidade, aparência e custo. A soldagem engloba a fusão conjunta das bordas a serem unidas, frequentemente pela adição de metal líquido para preencher um canal com a forma de V. O cordão de solda é composto, parcial ou totalmente, por um metal-base de ressolidificação com uma estrutura bruta de fusão. Tradicionalmente, a solda de

oxiacetileno utiliza um fluxo de sal líquido para dissolver o óxido de alumínio e cobrir o metal líquido. A maioria dos métodos modernos protege o alumínio líquido com um gás inerte (argônio ou hélio), sendo que os dois processos mais conhecidos e utilizados são o MIG e o TIG.

Primeiro a ser desenvolvido, o processo TIG é o mais aplicado na soldagem das ligas de alumínio com proteção de gás inerte adequado para soldar o alumínio. Na soldagem TIG, o arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça, numa atmosfera de gás inerte. Seguindo este processo, o arco elétrico pode ser obtido por meio de corrente alternada (CA), corrente contínua (CC) e eletrodo positivo, Figura 18.

Figura 19: Diagrama Esquemático do Processo TIG

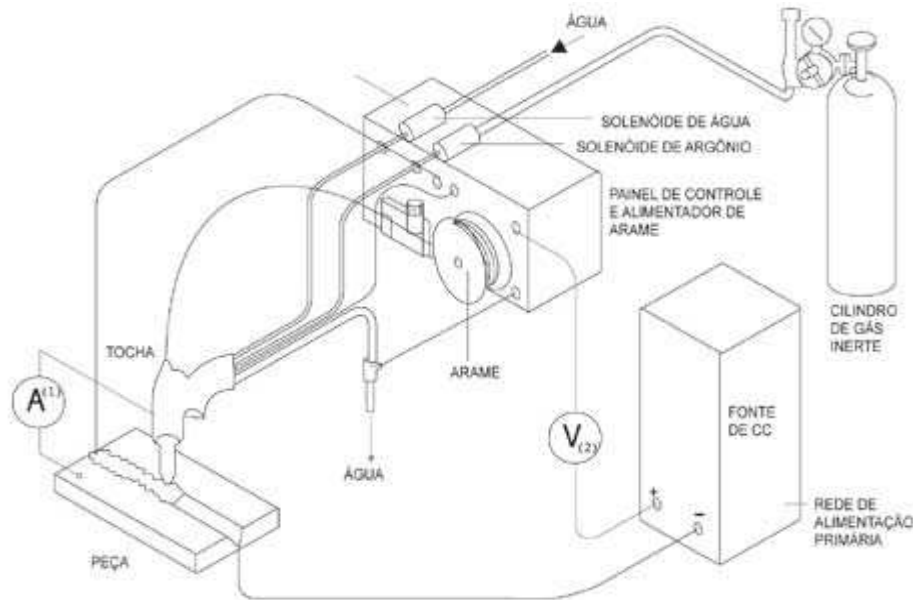


Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

A soldagem MIG é um processo em que o arco elétrico é estabelecido entre a peça e um arame de alumínio ou liga de alumínio, que combina as funções de eletrodo e metal de adição, numa atmosfera de gás inerte, obtido por meio de uma corrente contínua. No processo MIG o eletrodo é sempre o pólo positivo do arco elétrico. Utilizando-se as versões automática e semi-automática é possível soldar o alumínio desde espessuras finas, até espessuras sem limites.

Tal como no processo TIG, o gás inerte protege a região do arco contra a contaminação atmosférica durante a soldagem. Na soldagem MIG do alumínio, normalmente, são utilizados os gases argônio, hélio ou uma mistura de argônio/hélio, Figura 19.

Figura 20: Diagrama Esquemático do Processo MIG



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

4.1.8 Usinagem

Mesmo que praticamente todas as ligas possam ser usinadas, a ação de corte da ferramenta apresenta-se mais efetiva em materiais de ligas completamente envelhecidas termicamente, com baixo alongamento, pois produzem cavacos menores, contrastando com as características das aparas contínuas dos materiais mais moles e mais dúcteis.

As ligas especiais de fácil usinagem, que são desenvolvidas para trabalhos em tornos automáticos de alta velocidade, contêm adições de elementos de ligas, tais como chumbo, bismuto, antimônio ou estanho e a presença destes elementos na estrutura do metal proporciona a quebra de cavacos em fragmentos menores na ferramenta de corte.

Ligas de fundição com alto teor de silício, de maneira contrária, necessitam de menores velocidades e retificação mais constante da ferramenta de corte, devido às partículas abrasivas de silício presentes na microestrutura.

Figura 21: Sala de Fornos



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

4.1.9 Acabamentos

Acabamentos superficiais: É necessário frisar que o alumínio normalmente é utilizado sem quaisquer acabamentos especiais e este fato se aplica a todas as variadas formas de alumínio, como as chapas para telhas, perfis extrudados para construção de estufas, móveis tubulares para jardim, pistões fundidos para veículos automotores ou folha para embalagem de alimento, ou seja, o acabamento natural do alumínio é totalmente satisfatório, seja quanto à aparência ou em relação à durabilidade. O alumínio serve a inúmeros acabamentos superficiais de proteção e decoração, alguns próprios dele e outros que também se aplicam a outros metais.

A anodização é o processo no qual um filme de óxido natural é produzido artificialmente no alumínio, por meio do ânodo de um eletrólito. O filme anódico recentemente formado, antes do estágio final de selagem, é poroso, podendo absorver material de coloração. Está aqui a base da maioria dos acabamentos coloridos anodizados que possibilitam a impressão em determinadas áreas, reproduzindo claramente pequenos detalhes. Pela anodização, também podem ser obtidas várias cores para aplicações arquitetônicas, sem a necessidade de uma separação pelo tratamento de coloração. Uma porcentagem controlada de silício e outros elementos são introduzidos e a composição do eletrólito é modificada. A

durabilidade das cores independe da solidez à luz dos corantes ou dos pigmentos e eles são, por isso, especialmente duráveis.

A anodização de coloração natural também é largamente empregada para possibilitar uma resistência adicional à corrosão. Neste caso, podem-se exemplificar os acessórios interiores de alumínio, como maçanetas de portas. O filme é uniforme e duro, são frequentemente anodizados para aumentar sua resistência ao uso e ainda no caso de peças de entradas de ar para aviões, que estão sujeitas aos efeitos abrasivos das pistas de pouso.

Por possuir boas propriedades dielétricas, o óxido de alumínio é utilizado no bobinamento de alumínio para equipamentos elétricos, o qual pode também ser feito com arame de alumínio anodizado ou chapa fina sem qualquer isolamento adicional.

Figura 22: Anodização de Peças



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

4.1.9.1 Acabamentos mecânicos

O alumínio dá uma resposta positiva às operações de polimento mecânico normal e de lustramento, além de poder receber texturas decorativas por processos mecânicos, quando as lavragens são realizadas em chapas por cilindros gravados com o relevo desejado. Para se obter efeitos de acabamento acetinado podem ser feitos o escovamento, o jateamento ou aplicação de um composto de polimento sem gordura.

4.1.9.2 Pintura

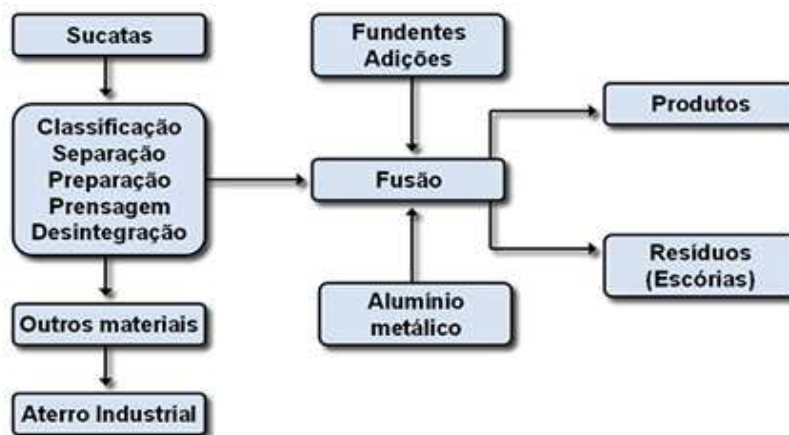
Adicionando-se aos sistemas convencionais de pintura, geralmente aplicada sobre um "primer" de cromato de zinco, novos tipos de pintura, baseadas em

acrílicos, vinilas e outros plásticos, surge uma ampla gama de acabamentos para o alumínio, especialmente para aplicação em chapas da construção civil e na manufatura dos vários tipos de móveis.

4.1.10 Reciclagem

A reciclabilidade sem perda de propriedades físico/químicas é um fator diferencial do alumínio, tornando o metal uma excelente escolha, principalmente para as embalagens de bebidas carbonatadas (refrigerantes, cervejas, etc.).

O processo de reciclagem é extremamente importante para a preservação ambiental, bem como para a economia de energia, estando aqui uma das suas maiores vantagens - utiliza apenas 5% da energia necessária para a produção do metal primário a partir do minério. O processo industrial de reaproveitamento da sucata do alumínio obedece às seguintes etapas:



Apresento abaixo uma figura ilustrativa de um forno de fusão:

Figura 23: Forno de Fusão



Fonte: <http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp>.

Estes tipos de fornos são próprios para a fundição da sucata de alumínio: rotativos, rotativos selado, sidewell sem sal, de indução (pouco utilizados) e de plasma (em desenvolvimento).

O rendimento dos mais antigos, de tecnologia já ultrapassada, têm rendimento metálico entre 50% e 60%, enquanto que os fornos rotativos selados com sal de cobertura podem atingir um aproveitamento de até 85% e apresentam pouca geração de borra preta. Os fornos do tipo sidewell, também chamados de revérberos, são de tecnologia mais moderna, ideais para retalhos de baixas espessuras (0,15-0,20mm).

Resultado da recuperação da sucata do alumínio, as ligas secundárias permitem que o metal seja utilizado na fabricação de diversos semi-elaborados e elaborados, como chapas, perfis, etc., prontos para reutilização nos mais diversos segmentos da indústria do alumínio.

5 LIGAS DE ALUMÍNIO

Quando fundido, o alumínio dissolve outros metais e substâncias metalóides como o silício, que atua como metal. Quando o alumínio é resfriado, se solidificando, alguns dos constituintes da liga podem ser retidos em solução sólida, fazendo com que a estrutura atômica do metal fique mais rígida. Podemos visualizar os átomos como sendo arranjados em uma rede cristalina regular formando moléculas de tamanhos diferentes daqueles do elemento de liga principal.

As ligas de alumínio têm como principal função aumentar a resistência mecânica sem prejudicar as outras propriedades, por isso é que novas ligas têm sido desenvolvidas combinando as propriedades adequadas a aplicações específicas.

Quando o metal está quente pode manter mais elementos de liga em solução sólida do que quando frio. E ao contrário, quando resfriado, ele tende a precipitar o excesso dos elementos de liga da solução. Este precipitado pode ser na forma de partículas duras, consistindo de compostos intermetálicos, tais como: CuAl_2 ou Mg_2Si . Estes agregados de átomos metálicos tornam a rede cristalina ainda mais rígida e endurecem a liga.

Quando se descobriu o “envelhecimento” das ligas que contêm magnésio e silício foi possível chegar ao desenvolvimento das principais ligas estruturais utilizadas atualmente na engenharia, sendo considerado um trabalho pioneiro no campo das ligas de alumínio-magnésio, muito utilizadas atualmente na indústria naval.

5.1 Elementos da liga

Pelo fato de poder ser combinado com a maioria dos metais de engenharia, chamados de elementos de liga, é que as ligas de alumínio são consideradas atraentes como materiais de construção mecânica. Pois assim é possível se obter várias características tecnológicas que se ajustam de acordo com a aplicação do produto final. No entanto, é necessário o conhecimento das vantagens e limitações de cada elemento para poder fazer a melhor seleção.

As ligas oferecem à indústria uma enorme variedade de combinações de resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas,

condutibilidade elétrica, usinabilidade, ductibilidade, formabilidade, entre outros benefícios.

De acordo com a quantidade dos elementos que estão na liga e sua interação com os demais elementos, é que sua função é determinada.

De forma geral, os elementos são divididos como:

- a) Elementos que conferem à liga a sua característica principal - resistência mecânica, resistência à corrosão, fluidez no preenchimento de moldes, etc.;
- b) Elementos que possuem função acessória, como o controle de microestrutura, de impurezas e traços que prejudicam a fabricação ou a aplicação do produto, os quais devem ser controlados no seu teor máximo.

5.2 Composição Química

A composição química do alumínio e suas ligas são expressas em percentagem, obedecendo à Norma NBR 6834 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a qual abrange sistemas de classificação das ligas trabalháveis, das ligas para fundição, peças, lingotes e de alumínio primário, além de densidade nominal das ligas trabalháveis de alumínio.

5.3 Grupos de ligas trabalháveis

5.3.1 Ligas da série 3XXX

É uma das mais utilizadas. Sua conformabilidade e a resistência à corrosão assemelham-se às do alumínio comercialmente puro (ligas da série 1XXX), porém possuem propriedades mecânicas um pouco maiores, particularmente quando deformadas a frio.

5.3.2 Ligas da série 5XXX

São as mais resistentes. São disponibilizadas em vários formatos, como lâminas, chapas, perfis, tubos, arames, etc. Elas também possuem elevada resistência à corrosão e são facilmente produzidas e soldadas.

5.3.3 Ligas tratadas termicamente de média resistência

Contêm magnésio e silício (ligas da série 6XXX), possuindo alta resistência à corrosão, mas perdem um pouco da sua capacidade de serem trabalhadas, apesar de ser irrelevante nos serviços efetuados em seções estruturais retas, muito difundidas em aplicações estruturais.

5.3.4 Ligas tratadas termicamente de elevada resistência

O cobre (série 2XXX) e o zinco (série 7XXX) são os principais elementos de liga e são tão resistentes quanto o aço estrutural, porém necessitam de proteção superficial. Utilizam-se essas ligas quando o fator resistência/peso for o principal, como na aviação. O uso crescente do alumínio e suas ligas são atribuídos ao conjunto de suas propriedades específicas, bem como à viabilidade técnico-econômica da sua utilização substituindo os demais materiais. E como um fator importante temos a redução de peso, o que possibilita um funcionamento bem mais eficiente e econômico. Temos ainda o aspecto estético e sua alta resistência à corrosão e a desmistificação em relação à soldagem do alumínio.

Hoje, as ligas de alumínio tem um vasto campo de aplicação praticamente em todos os setores do mercado, vindo a assumir um papel fundamental na matriz de produção de materiais para a construção/fabricação.

No quadro abaixo estão apresentadas as várias espécies de ligas de alumínio trabalháveis:

Ligas de Alumínio Trabalháveis		
Liga	Características	Aplicações
1050 1100	Alumínio comercialmente puro, muito dúctil no estado recozido, indicado para deformação a frio. Estas ligas têm excelente resistência à corrosão, a qual é crescente com o aumento da pureza da liga	Equipamentos para indústrias alimentícias, químicas, bebidas, trocadores de calor ou utensílios domésticos.
1350	Alumínio 99,5% de pureza, com condutibilidade mínima de 61% IACS.	Barramentos elétricos, peças ou equipamentos que necessitem de alta condutibilidade elétrica.

2017 2024 2117 2219	Ligas de AlCu, com elevada resistência mecânica, alta ductibilidade, média resistência à corrosão e boa usinabilidade.	Peças usinadas e forjadas, indústria aeronáutica, transporte, máquinas e equipamentos.
3003	Ligas de AlMn, com boa resistência à corrosão, boa conformabilidade e moderada resistência mecânica. São ligas de uso geral.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, reboques, vagões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil e fachadas.
4043 4047	Ligas de AlSi utilizadas em varetas de solda.	Soldagem das ligas das séries 1XXX, 3XXX e 6XXX.
5005 5052 5056	Ligas de AlMg são dúcteis no estado recozido, mas endurecem rapidamente sob trabalho a frio. Alta resistência à corrosão em ambientes marítimos. Em geral a resistência mecânica aumenta com os teores crescentes de Mg.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações.
6053 6061 6063 6351	Ligas de AlMgSi, tratáveis termicamente com excelente resistência mecânica na têmpera T6.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais,

		utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações.
7075 7178	Ligas de AlZn, tratáveis termicamente, alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e boa conformabilidade.	Peças sujeitas aos mais elevados esforços mecânicos em indústria aeronáutica, militar, máquinas e equipamentos, moldes para injeção de plástico e estruturas.

5.4 Ligas de fundição

Enquanto que as ligas trabalháveis estão sujeitas a uma variação dos processos de aquecimento e de resfriamento, as ligas de fundição ganham suas propriedades na condição de fundida, sendo em alguns casos com tratamento térmico. Dessa forma, um grupo diferente de ligas tem sido feito para a produção de peças fundidas.

As ligas utilizadas nas aplicações gerais de engenharia normalmente contêm silício para melhorar suas características de fundição, como fluidez (no vazamento) e resistência a trincas de contração, que ocorre quando o metal quente se solidifica e se contrai.

Um dos elementos mais utilizados como um elemento de liga é o cobre, a fim de proporcionar às propriedades mecânicas uma maior dureza e resistências exigidas em serviço.

As ligas alumínio-magnésio apresentam maiores problemas na fundição, mas possuem boa resistência e ductilidade. Elas são amplamente utilizadas, particularmente em ambientes agressivos, como, por exemplo, em peças e acessórios de navios.

Numa proporção bem menor encontramos o magnésio em algumas ligas, o qual em conjunto com o silício torna a liga mais suscetível a tratamentos térmicos.

6 O ALUMÍNIO NA CONSTRUÇÃO NAVAL

O uso do alumínio na construção naval dá-se principalmente em:
Lanchas Patrulhas

Figura 24: Exemplo de Lancha de Patrulha



Fonte: Diretoria de Portos e Costas.

São dotadas de um perfil considerado “agressivo” e com nova estética, diferenciando-as das convencionais.

O critério adotado como “um compartimento alagável” e a funcionalidade de todos os espaços da embarcação, levou à subdivisão, abaixo do convés, na casa das máquinas, casa dos auxiliares, zona habitacional (pequena sala, coberta, sanitário e cozinha) e paiol da amarra, e, acima do convés, ponte de navegação e paiol de materiais diversos.

Ressaltamos também os estudos ergonômicos realizados que, juntamente com as variáveis acima referidas, coordenaram a concepção dessas lanchas, conforme veremos a seguir:

6.1 Casco

Sua construção é totalmente em alumínio naval, desta forma, estas lanchas possuem um casco planante puro, o que lhes permite atingir velocidades superiores à “velocidade de casco” através da geração de sustentação dinâmica. Esta forma de casco, dotada de quinados e fundo em V profundo, com um ângulo e pé de caverna de 21° a meio navio, aumentando substancialmente para vante, possibilita atingir velocidades elevadas sem comprometer um bom comportamento em mar agitado.

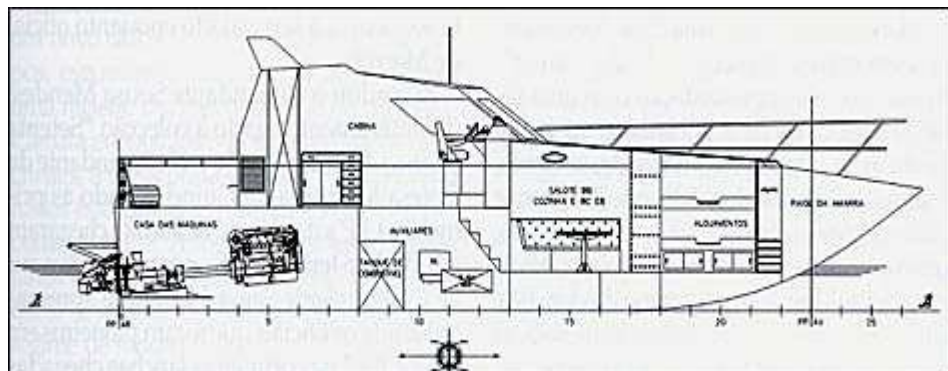
6.2 Estrutura

A estrutura das lanchas classe “Bolina” foi dimensionada através das Regras para “Special Service Craft”, da Lloyd’s Register of Shipping, de forma a possibilitar a operação em mar de força 6 (altura significativa de onda 5 m), podendo manter a velocidade de 15 nós em mar de força 5 (altura significativa de onda 3.5 m). A estrutura do fundo permite resistir a pressões da ordem dos 90 KN/m², a que correspondem acelerações de 3.1g.

Devido à necessidade do casco aliar uma elevada resistência mecânica ao baixo peso, foi necessário adotar uma estrutura do tipo longitudinal, bastante otimizada e, como tal, porém pouco uniforme. Por sua vez, os detalhes estruturais requerem muitos cuidados, devido o alumínio se tratar de um material sem “patamar de fadiga”.

Estes dois aspectos traduzem-se num arranjo estrutural bastante complexo, apesar das relativamente reduzidas dimensões das embarcações.

Figura 25: Exemplo de Estrutura de Lancha de Patrulha



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

6.3 Propulsão

A propulsão é alcançada através de dois motores propulsores marca Scania, mod. DI12 43M, que debitam 460 Kw às 2200 rpm, acionando, através de veios universais, dois jatos de água Utradynamics, mod. UJ376.

Este tipo de propulsão, apesar de comportar um custo inicial superior se comparado com a propulsão convencional por hélices, numa visão além da excelente manobrabilidade, permite, devido à ausência de apêndices e ao baixo calado da lancha, navegar em áreas mais rasas, características essenciais para uma

lança de fiscalização costeira, tornando-a particularmente adequada à missão de patrulha em águas costeiras com a possibilidade de abordar facilmente outras embarcações.

Figura 26: Exemplo Motor de Propulsão



Fonte: Arte Naval.

6.3.1 Características e equipamentos principais

Comprimento total	16,1 m
Comprimento entre PP	13,8 m
Boca máxima	4,4, m
Pontal	2, 6 m
Deslocamento carregado	19, 3 t
Velocidade máxima	29 nós
Combustível	2.500 l
Autonomia	200 (mais 100) milhas
Aguada	200 l
Tripulação	3 + 1
Motores propulsores	Scania D112 /43M/ 2x460KW
Jatos de água	UI 376
Diesel/gerador	Fischer Panda
Radar	Simrad RA 42
Sonda/odômetro	B & G série H 1000
DGPS	Simrad GN 33D
Transreceptor VHF	Sailor RT 4822
Sistema de extinção de incêndio	LPG
Sistema de detecção de incêndio	Siemens

6.3.2 Geração e distribuição de energia elétrica

Essas lanchas possuem duas redes de produção de energia elétrica. Uma é a rede primária que funciona a 24 V DC, garantida por dois geradores de 120 A,

acoplados aos motores propulsores. A rede de 24 V DC alimenta todos os sistemas operacionais da lancha.

Outra é a rede secundária de energia elétrica a 231 V, 50 Hz, é assegurado por um GE de 14 KVA, que alimenta os sistemas de lazer, cozinha, ar condicionado e carregadores de baterias.

6.4 Navegação e controle

Figura 27: Exemplo de Navegação e Controle



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

As lanchas dispõem de Software de cartografia (Chartplotter) e registro de dados via interface NMEA 0183 marca MAXSEA, modelo POWER e este sistema permite a interligação do sistema de instrumentação B&G (anemômetro, sonda, odômetro) ao DGPS SIMRAD GN33D e ao radar SIMRAD RA42.

O sistema funciona também como um coletor de todos os dados (Data Logger) para análise posterior.

6.5 Ar condicionado

O sistema instalado, da marca VECO, é composto por duas unidades com uma capacidade de frio de 15232 e 21500 Btu/h.

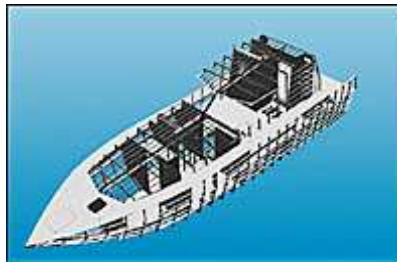
6.6 Estabilidade

A lancha cumpre, satisfatoriamente os critérios de estabilidade intacta segundo as normas da IMO, Resolução A167. Embora não aplicáveis, porque demasiadamente exigentes para embarcações com esta dimensão, cumpre ainda os critérios de mau tempo da mesma Resolução.

6.7 Proteção catódica

A fim de garantir proteção adequada contra a corrosão, dispensando a necessária substituição periódica dos zínco, determinante num sistema de proteção por anodos sacrificiais, as lanchas possuem um moderno sistema de proteção catódica por correntes impostas da marca PROYTEC.

Figura 28: Exemplo de Lancha com Proteção Catódica



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

Figura 29: Exemplo de Lancha com Proteção Catódica



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

Lanchas para Passeio

Figura 30: Exemplo de Lancha de Passeio



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

Canoas e Botes

Figura 31: Exemplo de Canoa



Fonte: Arte Naval.

Lanchas de Serviços

Figura 32: Exemplo de Lanchas de serviço da Petrobras



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

Figura 33: Exemplo de Lanchas de serviço da Petrobras

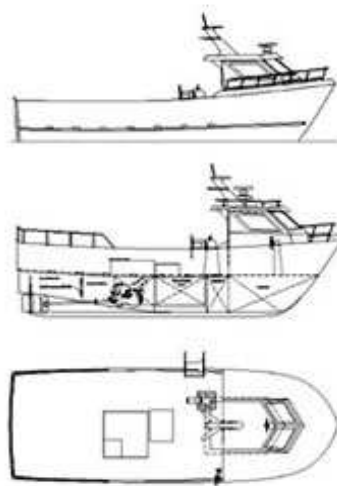


Fonte: Estaleiro Rio Negro.

“Altar de Fátima” Características

Tipo de Embarcação:	Pesca Local Redes e Armadilha
Porto origem:	Viana do Castelo
Armador:	Alfredo Pacheco
Material Construção:	Alumínio
C.f.f.:	8.95 metros
Boca:	3.08 metros
Pontal:	1.00 metros
Motor Principal:	Iveco Aifo
Transmissão:	Technodrive

Figura 34: Exemplo de Lanchas de serviço da Petrobras



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

“Fátima Torrão” Características

Tipo de Embarcação:	Pesca Local Cerco
Porto origem:	Povoa de Varzim
Armador:	António Torrão
Material Construção:	Alumínio
C.f.f.:	8.95 metros
Boca:	3.40 metros
Pontal:	1.20 metros
Motor Principal:	Sisu Valmet
Transmissão:	Technodrive
Diesel:	2000 litros

Figura 35: Exemplo de Fátima Torrão



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

Embarcações rápidas para transporte de passageiros

Figura 36: Exemplo de Embarcações Rápidas para Transporte de Passageiro



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

Catamarãs e Trimarãs

Figura 37: Exemplo de Catamarãs e Trimarãs



Fonte: Estaleiro Rio Negro.

O casco em alumínio ou fibra de vidro juntamente com a utilização de motores diesel de alta rotação ou turbinas em sala de máquinas não tripuladas, possibilitou ao catamarã uma diminuição do peso leve e uma mudança da faixa de velocidade operacional de 25 a 30 nós, saltando, rapidamente, para um patamar mais elevado de 35 a 40 nós e apresentando ainda tendências de crescimento.

O comportamento no mar das embarcações do tipo catamarã, inicialmente não indicava este modelo para o transporte marítimo ficando sua aplicação restrita às operações em águas abrigadas. Entretanto com o avanço tecnológico principalmente dos estabilizadores longitudinais, os catamarãs passaram a competir com seus competidores de melhores características de movimento na presença de ondas.

Com o desenvolvimento dos materiais e dos conhecimentos estruturais, a cada dia os catamarãs vêm ganhando mais espaço nos meios de navegação, seja para o transporte de passageiros ou de veículos, como no caso dos ferry boats, seja para lazer, como os veleiros e lanchas de competição e de cruzeiro.

Na área de transporte, o catamarã tem se mostrado uma excelente solução para linhas curtas de até 1000 Km (540 milhas), com velocidades superiores a 30 nós, tornando-se um concorrente efetivo aos já saturados meios de transporte dos grandes centros de produção.

A união dos dois cascos concentra os esforços a que o barco está submetido o que exige uma estrutura reforçada que acarreta em aumento de peso. Com o surgimento de novos materiais já é possível fazer uma estrutura mais leve, porém ainda mais cara do que a de um monocasco equivalente. A estabilidade do catamarã permite que seus cascos sejam mais estreitos do que um monocasco de mesmo comprimento o que evita que a resistência de onda cresça muito com a velocidade.

6.8 Utilização do alumínio pela Plataforma P-52

Projeto estratégico para que o Brasil alcance a autonomia na produção de petróleo, a plataforma P-52, é a primeira na América do Sul a utilizar um módulo de acomodação totalmente de alumínio. Ícone da valorização da indústria nacional, a P-52, localizada no Rio de Janeiro, recebeu investimentos totais de US\$ 923 milhões. A plataforma se destina ao campo de Roncador, na Bacia de Campos e ficará posicionada a 110 km da costa do Estado do Rio de Janeiro, em águas de 1.800 metros de profundidade, o que a torna o equipamento de produção em águas mais profundas do país. A P-52, teve início de operação previsto para 2007, podendo produzir por dia 180 mil barris de petróleo e 9,3 milhões de metros cúbicos de gás. Esta é a primeira plataforma nacional a utilizar o alumínio em sua estrutura. O módulo de acomodação terá 300 dormitórios e salas de controle, numa área de quatro andares. Segundo a Petrobras, durante a execução do projeto básico da P-52, a engenharia de controle de peso concluiu que a utilização do alumínio, mais leve que o aço, seria ideal na construção do módulo, uma vez que liberaria peso para incluir outros componentes da plataforma que, obrigatoriamente, são construídos com aço.

Além da leveza, a opção da Petrobras pelo alumínio também levou em conta a maior resistência à corrosão do material. O alumínio é três vezes mais leve do que o aço e se adapta melhor ao ambiente marinho, altamente corrosivo devido ao elevado teor de cloreto de sódio dentro e fora da água.

A Alcoa desenvolveu os perfis de alumínio extrudado específicos para o projeto flutuante da Petrobras. Os perfis têm até 14 metros de comprimento e só podem ser construídos em prensas grandes. A companhia possui uma prensa de 5,5 mil toneladas, a maior do continente, na planta de Santo André em São Paulo. Por isso, puderam atender a encomenda.

A Alcan também se beneficiou do empreendimento ao passar a fornecer as chapas de fechamento do módulo de acomodação. A empresa adequou seu produto às exigências mecânicas do projeto da plataforma, como a maior propriedade de alongamento, por exemplo. Para a fabricação das chapas, a empresa está produzindo um alumínio com alto teor de magnésio. A liga utilizada é mais resistente e se destina à aplicação em embarcações, sendo altamente adequada ao ambiente marítimo. A parceria entre Alcoa e Petrobras permite a inclusão da companhia na lista restrita de empresas nacionais que estão tecnologicamente capacitadas para fornecer produtos para plataformas. É um marco da indústria brasileira do alumínio, não só pelo volume do fornecimento, mas por sua aplicação diferenciada. É importante destacar também a busca da nacionalização do projeto, que contribui para o desenvolvimento tecnológico da indústria do alumínio no país.

7 COMPARATIVOS ENTRE ALUMÍNIO E AÇO

Utilizar o alumínio ou o aço? Este trabalho buscou por meio de pesquisas entre comparativos entre os mesmos, relevando as qualidades mais importantes do alumínio e do aço, dados importantes para sua utilização na indústria naval, apesar de que o exemplo abaixo se aplica a um automóvel podemos também aplicar a uma embarcação de pequeno porte em alumínio.

A produção de alumínio provoca muitas vezes efeitos ambientais e energéticos em comparação com outros materiais alternativos como o aço. Um exemplo disso ocorre nos automóveis particulares em que o alumínio substitui muitas vezes peças de aço. Uma redução de peso de 100 kg é totalmente razoável, substituindo-se 182 kg de aço por 82 kg de alumínio.

Se não for utilizado alumínio ou aço reciclado, os componentes de alumínio requerem mais 2.740 MJ de energia para o processo produtivo do que as peças de aço substituídas. Contudo, ao longo de toda a vida útil do automóvel, pode-se economizar 640 litros de combustível devido à redução do peso, o que corresponde a 23.000 MJ no total.

Se é verdade que 90% das peças de alumínio e de aço são fabricadas a partir de metal reciclado, o alumínio requer menos energia do que o aço, já durante o fabrico.

Se não for utilizado alumínio nem aço reciclado, durante a vida útil do automóvel, o fluxo de energia adicional é economizado no total mais de oito vezes.

Durante o processo produtivo, as peças de alumínio podem provocar a emissão de 100 kg mais de CO₂ do que as peças de aço. Esta carga ambiental acrescida é compensada muitas vezes devido ao consumo reduzido de combustível, o qual se traduz em emissões de CO₂ que reduzem em cerca de 1.500 kg durante a vida útil do automóvel.

Quanto a sua estrutura espacial, uma técnica moderna de fabrico de caixas de automóvel compreende um esqueleto feito de extrusões de alumínio (Estrutura Espacial) cobertas por chapas de alumínio. Chega a atingir-se uma redução de 200 kg por automóvel, o dobro do ganho ambiental em comparação com o exemplo anterior.

Ao substituir-se a caixa do automóvel de aço por alumínio, o peso é reduzido. Isto traduz-se em reduções no consumo de combustível e nas emissões, em

segurança acrescida contra a colisão, no risco reduzido de corrosão e no impacto ambiental reduzido.

Em relação ao aço, o alumínio tem um custo alto quando no processo de produção, pois a demanda de energia elétrica é grande e uma das maneiras de tornar a utilização do alumínio o mais economicamente viável é buscar alternativas em pesquisas recentes tais como as que descobriram como o alumínio poderá ser produzido a temperaturas mais baixas:

Como descrito anteriormente, que o alumínio é retirado de um minério chamado alumina, que é um trióxido do elemento (Al_2O_3), em células eletrolíticas. Nestas células, a alumina, dissolvida em um eletrólito fundido, tem seus átomos de oxigênio arrancados por uma forte corrente elétrica. O processo se dá a uma temperatura de 960°C , porém pesquisadores do Argonne National Laboratory, Estados Unidos, e da empresa NorandaFalconbridge, fabricante de alumínio que opera em 18 países, conseguiram desenvolver um novo processo produtivo que consegue baixar em quase 300°C a temperatura na qual é produzido o alumínio.

John Hryn, coordenador do projeto, afirma que poucos materiais conseguem resistir ao oxigênio liberado no interior da célula, que é capaz de oxidar o que encontrar pela frente. O processo hoje empregado mundialmente utiliza anodos de carbono. Na medida em que o oxigênio é retirado das moléculas de alumina, ele reage com o carbono do anodo, sendo liberado como dióxido de carbono. O anodo, obviamente, desgasta-se muito rapidamente, o que é um elemento de custo importante na produção do alumínio.

Tentando otimizar o desempenho das células eletrolíticas, os pesquisadores descobriram que podem substituir os anodos de carbono, que se desgastam continuamente, por outros, mais duráveis, desde que consigam baixar a temperatura da reação. "Uma temperatura mais baixa abre a possibilidade para alguns outros materiais para o anodo," afirma Hryn.

Baixando a temperatura da reação para 700°C , 260 graus a menos do que a técnica atual, os pesquisadores conseguiram utilizar anodos de uma liga de alumínio e bronze. Em escala de laboratório, a nova célula eletrolítica operou por 100 horas sem qualquer corrosão apreciável dos novos anodos.

Além de tornar o processamento do alumínio mais barato, o novo processo libera oxigênio, ao invés do dióxido de carbono e do perfluorcarbono, dois gases que causam o efeito estufa.

Mas o Dr. Hryn avisa que os maiores desafios ainda estão por vir. O novo processo deverá ser testado sucessivamente em escalas cada vez maiores, cada teste envolvendo correntes elétricas mais altas e funcionando por maiores períodos de tempo.

7.1 Vantagem sobre outros metais

Se o alumínio começa agora a substituir o aço e o inox na parte de fora dos eletrodomésticos, desde meados da década de 80, o produto é utilizado na fabricação de diversos componentes, sobretudo em motores e sistemas de refrigeração, no lugar do cobre. As vantagens do alumínio são grandes. Além de três vezes mais leve, o preço do alumínio é metade do valor do cobre. Algumas unidades fabris como a localizada em Itu (SP), fabrica tubos de alumínio trefilados e multicanais, utilizados na produção de sistemas de troca de calor e ar condicionado para a indústria automotiva e de refrigeração.

As propriedades do alumínio como maior condutibilidade térmica e maior resistência à corrosão fizeram com que 100% dos condensadores, evaporadores e tubos dos refrigeradores e freezers, itens que compõem o sistema de funcionamento interno desses produtos, sejam fabricados com esse metal. Todo o sistema de troca térmica é de alumínio. O metal é mais eficiente, além de inerte em relação ao gás de refrigeração. Segundo o gerente de Embalagens da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), Fábio Caveiro, está havendo um maior consumo de alumínio no país, pois o material compete com vantagens contra diversos materiais, entre eles madeira, plástico, cobre, aço e inox, e ganha a disputa por conta de suas propriedades específicas - sobretudo o peso inferior e o tempo de vida útil superior. "A ampliação da utilização do alumínio em diversos produtos e o crescimento da produção industrial brasileira estão fazendo com que a CBA amplie as vendas no mercado interno, em detrimento das exportações."

O homem, desde que dominou as técnicas para construir um equipamento que resistisse fisicamente ao contato com o mar, rumou em direção ao desconhecido e desenvolveu materiais para que pudesse utilizá-los em suas viagens

pelas águas de rios e mares abertos. E nessa trajetória experimentou vários materiais até chegar ao alumínio. Mesmo com outros materiais empregados atualmente na indústria naval como o kevlar (fibra sintética) e a fibra de carbono - ambos ainda em pequena escala -, é no alumínio que se baseiam os produtos náuticos destinados a levar o homem ao mar e aos rios deste e de outros países, seja para o trabalho, diversão ou qualquer outro fim. A pescaria amadora, por exemplo, utiliza pequenas embarcações feitas em alumínio, que são ideais para a prática da atividade.

Barcos Mogi Mirim fabrica embarcações de pequeno porte que levam de duas a seis pessoas e medem de três a seis metros, sendo que 95% do material usado nesses produtos é alumínio. Mensalmente, a empresa, sediada no interior paulista, constrói uma média de 25 barcos, que usam na sua estruturação chapas de alumínio 5052 H 34 e perfilados 6261 e 6351 T6.

Outra empresa do mesmo setor que também opta pelo metal ao construir suas embarcações é a Metalglass, estaleiro sediado em Campinas (SP) e que também direciona sua produção de 100 barcos mensais ao cliente-pescador. Os produtos variam de tamanho, com capacidade para carregar de 2 a 16 pessoas. São 12 modelos fabricados que utilizam 95% de alumínio naval (liga) 5052 em cada um.

Presença comum em barcos de tamanhos variados e usos distintos, a capota é um desses componentes da cadeia industrial naval que, em um primeiro instante, pode parecer um acessório dispensável, mas mostra-se efetivamente útil para quem fica por horas a fio em alto mar pescando, mergulhando ou mesmo passeando, seja motorizado ou não. E para se fabricar uma cobertura de alta durabilidade, com flexibilidade para moldar e que não pese sobre o casco, é quase uma imposição usar o alumínio em conjunto com outro material como o toldo.

Empresas como a niteroiense Bailly Capotaria, há 18 anos, vem usando em larga escala o alumínio para moldar seus mais de dois mil modelos de capota, destinadas a barcos de todos os tipos - do pequeno bote ao grande iate, a vela ou motor. Com uma produção mensal de 140 peças, o metal é usado como esqueleto de uma cobertura, geralmente articulada, envolta por um toldo ou lona acrílica. A liga que a empresa usa é a 6063 T6, que vem de vários fornecedores também e que, depois de transformada em produto com valor agregado, vira item de exportação (60% da produção).

O engenheiro e proprietário da Farol Náutica, Niels Peter Charles Rump, usa alumínio na confecção de mastros, principalmente destinados a equipar veleiros de 16 pés até 50 pés de comprimento. Sediada também no Rio Grande do Sul, a empresa fabrica essas peças em tamanhos que variam de 5,6 metros de altura a 24 metros, pesando respectivamente de 6 kg até 280 kg, em formato retangular. Nos últimos cinco anos, de sua linha de produção, saíram de 80 a 100 mastros para o mercado nacional. Todos os produtos são feitos quase que inteiramente em alumínio, excetuando-se algum eixo ou roldana, que geralmente são em aço.

Afora os grandes estaleiros espalhados principalmente pelo litoral sul brasileiro e os de médio porte, também se encontra no segmento de construção naval quem utilize o alumínio para atender somente a encomendas especiais que chegam de vários cantos do Brasil e até do exterior; melhor dizer que o planeta se torna o destino de barcos paradoxalmente construídos em uma cidade da Grande São Paulo, onde não há mar, nem rios navegáveis.

A Oficina Naval da Equipe Thierry Stump foi a que construiu o veleiro brasileiro mais famoso que já navegou pelas águas nacionais e rompeu limites de mares internacionais, chegando até os dois pólos terrestres. O Paratii-2, de Amyr Klink, construído em alumínio, ganhou mares e fama mundo afora.

Apesar da consagração apontada por muitos fabricantes tanto de embarcações quanto de equipamentos e acessórios, o alumínio, como metal, requer alguns cuidados quando usado em barcos que se utiliza de instalações elétricas. Os chicotes e as conexões podem ser arranjados de duas maneiras.

Uma delas é a opção pela instalação totalmente isolada do restante do barco e a outra é o aterramento no casco. Sua preferência, adianta, é isolar a fiação do contato com qualquer parte do barco onde há presença de metal. As misturas de alumínio de ligas diferentes devem ser evitadas para a prevenção contra a corrosão em águas salgadas.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de embarcações em alumínio pelos estaleiros desmonta o mito do preço proibitivo e das limitações quanto à operacionalidade, pois estes barcos destinam-se a pequenas companhias de pesca e à atuação em áreas pequenas e com limitada capacidade de carga, provando que possuem grande flexibilidade e são adaptáveis a uma grande variedade de usos, bem além das patrulhas ou passeios turísticos.

A construção modulada e em grande escala barateia o preço unitário e reduzem o tempo de construção.

Uma particularidade observada é o variado uso de um mesmo casco, mostrando a vantagem do desenho modular e sob este aspecto observamos que estaleiros pequenos, que anteriormente destinava-se à construção em madeira adaptaram-se plenamente a construção com alumínio, um salto ambicioso já que envolvem desafios técnicos tidos como intransponíveis como o emprego de soldas especiais.

Uma das maiores vantagens para se optar pelo uso do alumínio, seja para construir um barco à vela ou a motor, é a capacidade que o metal tem em reduzir substancialmente o peso final da embarcação. A parte estrutural da embarcação feita em alumínio reduz em até 30% o peso total, aliviando a potência instalada com motorização e proporcionando economia de combustível, além da não necessidade de pintura do casco pois todas as embarcações, independente do material de que são feitas, recebem uma camada de tinta venenosa sobre uma base epóxi, a fim de evitar que animais marinhos grudem na parte do casco que fica abaixo da linha d'água. Outro ponto a favor diz respeito à corrosão, pois se uma chapa do casco sofre algum tipo de arranhão ou amassamento, não acontece a corrosão como aconteceria em um barco feito em aço e além de que o alumínio é mais confiável do que a fibra, que apresenta maior risco no composto em que é feita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da marinha, 2002.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química**: físico-química. São Paulo: FTD, 1992.

ASSOCIAÇÃO brasileira de Alumínio. Disponível em: < www.abal.com.br >. Acesso em: 10 set. 2014.

ESTALEIRO Rio Negro Ltda. Disponível em: < www.erin.com.br >. Acesso em: 10 set. 2014.

INOVAÇÃO e Sustentabilidade Alumínio. Disponível em: < www.revistaaluminio.com.br >. Acesso em: 10 set. 2014.

Revista de Engenharia e Computação. Universidade Mackenzie. Ano 1 Número 1, 2000.

Figura 9: **Produção de Alumínio Primário**. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/servicos/publicacoes.asp> >. Acesso em: 10 set. 2014.

Figura 10: **Fluxo de Cadeia de Produção do Alumínio Primário**. Disponível em: < http://2.bp.blogspot.com/_P8fJxPMeriA/TMxJy4LJCKI/AAAAAAAAAA0/-AxU-Puo6RY/s1600/Fluxo_Abal.jpg >. Acesso em: 10 set. 2014.

CDCC. Disponível em: <www.cdcc.sc.usp.br>. Acesso em: 10 set. 2014.

SAPA Group. Disponível em:< www.sapagroup.com>. Acesso em: 10 set. 2014.

INOVAÇÃO tecnológica. Disponível em: <www.inovacaotecnologica.com.br>. Acesso em: 10 set. 2014.

CBA. Disponível em: <www.cba.com.br>. Acesso em: 10 set. 2014.