

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Gabriel Galhardo Tiburcio

Isabela da Silva Alvarenga

**AS NOVAS APLICAÇÕES DO ALUMÍNIO NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA**

Taubaté – SP

2017

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Gabriel Galhardo Tiburcio

Isabela da Silva Alvarenga

**AS NOVAS APLICAÇÕES DO ALUMÍNIO NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Profa. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

T554n

Tiburcio, Gabriel Galhardo

As novas aplicações do alumínio na indústria automobilística. / Gabriel Galhardo Tiburcio, Isabela da Silva Alvarenga. - 2017.

40f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia
Mecânica e Elétrica, 2017

Orientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira
Lindgren,

Coorientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren,
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Alumínio. 2. Aplicação. 3. Automobilística. 4.
Inovação. I. Título.

Gabriel Galhardo Tiburcio

Isabela da Silva Alvarenga

AS NOVAS APLICAÇÕES DO ALUMÍNIO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade
de Taubaté.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial e autor do nosso destino, guia e socorro presente nas horas da angústia. Aos nossos pais, Benedito Vitor Tiburcio e Mario Bento de Alvarenga, nossas mães, Rosimara Aparecida Galhardo Tiburcio e Renata Aparecida da Silva Alvarenga, e a minha irmã, Rebeca Galhardo Tiburcio

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Paulo Lindgren e Regina Lindgren, pela paciência em conduzir e incentivar nossas ideias, pela orientação certa e pela amizade sincera que fora construída.

Ao amigo e companheiro de TG, Gabriel Galhardo Tiburcio, pelo incentivo e sabedoria em cada detalhe deste trabalho.

A amiga e companheira de TG, Isabela da Silva Alvarenga, pelo incentivo e sabedoria em cada detalhe deste trabalho.

A Novelis do Brasil, pela grande ajuda com o fornecimento de material para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como foco principal estudar as novas aplicações do alumínio na indústria automobilística, sendo no setor de transporte o maior consumidor de chapas, folhas, perfis forjados e fundidos deste material, que derivam cada vez mais soluções eficientes para o meio automobilístico.

Tendo em vista as vantagens atribuídas tanto em desempenho e durabilidade conclui-se que a aplicação do material reduz o peso de diversos componentes dos auto veículos, minimizando o consumo de combustível, além de apresentar o *cases* de sucessos, tornando viável a construção da carroceria envolvendo alumínio, conquistando sua aprovação no *crash test*.

Palavras-chave: Alumínio. Aplicação. Automobilística. Inovação.

ABSTRACT

The objective of this academic work is mainly the study of innovation in the applicabilities of aluminium at automotive industry, with the area of transports is the main consumer of this material in different parts and structures, trying to increase the development of more efficient solutions for the area.

According to the advantages in performance and durability concludes that aluminium application reduce the weight of many automotive parts minimizing the fuel consume, presenting success cases, enabling the construction of bodywork and motors involving aluminium, achieving the approval on crash test.

Keywords: Aluminium. Application. Automobilitic. Innovation.

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 – Percentual de Alumínio na Carroceria e em Painéis de Fechamento X Tipos de Veículos	33
Gráfico 2 – A Vantagem do Alumínio na Emissão de Gases Poluentes	35
Gráfico 3 – Conjunto Dianteiro	36
Gráfico 4 – Conjunto Central	36
Gráfico 5 – Conjunto Traseiro	37
Gráfico 6 – Redução Máxima de Peso X Componentes	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cronologia do Alumínio	14
Figura 2 - Mineração da Bauxita	15
Figura 3 – Processo Bayer	16
Figura 4 – Transformação da Alumina	17
Figura 5 - Laminação a Quente	19
Figura 6 - Laminação a Frio	20
Figura 7 - Processo de Estampagem	21
Figura 8 - Forjamento	22
Figura 9 - Processo de Fundição em Areia	22
Figura 10 - Processo de Fundição Sob Pressão	23
Figura 11 - Processo de Fundição em Coquilha	23
Figura 12 - Processo de Fundição Tixofundição	24
Figura 13 - Carroceria do Jaguar XE	25
Figura 14 - Monobloco de Alumínio da Jaguar Land Rover Discovery 4	27
Figura 15- Projeto Ford para Veículo de Baixo Peso	28
Figura 16 - Motor Honda B18C1 com Bloco e Cabeçote em Alumínio	30
Figura 17 - Motor Ford com Componentes em Alumínio	31
Figura 18 – Carroceria do Modelo Jaguar F-Pace	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	12
1.2 Delimitação do Estudo	12
1.3 Relevância do Estudo	12
1.4 Organização do Trabalho	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 História do Alumínio.....	13
2.2 Processo de Transformação do Alumínio.....	14
2.2.1 Mineração da Bauxita	14
2.2.2 Refinaria da Bauxita em Alumina.....	15
2.2.3 Redução da Alumina para Obtenção do Alumínio.....	16
2.3 Processo de Produção do Alumínio	17
2.3.1 Método de Laminação	18
2.3.2 Processo de Estampagem.....	20
2.3.3 Processo de Forjamento.....	21
2.3.4 Processo de Fundição.....	22
2.4 Aplicação do Alumínio na Indústria Automobilística.....	24
3 METODOLOGIA	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 Aplicações do Alumínio em Motores	28
4.2 Carroceria em Alumínio.....	31
4.3 Emissões de Gases Poluentes X Massa	33
4.4 Reduções de Peso entre Alumínio X Aço de Alta Resistência.....	35
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

O aumento do uso do alumínio em geral é uma tendência em todo o mundo. Do powertrain à carroceria, o alumínio melhora a performance, a segurança e o consumo energético dos automóveis, contribuindo significativamente para uma produção veicular sustentável, de alta eficiência energética e baixa emissão de CO₂ (principal gás do efeito estufa).

Estruturas com taras de baixo peso específico consomem menos combustível e permite maior volume de carga transportada, com conseqüente redução do custo do frete e otimização de peças, pneus, freios e suspensão. São desempenhos operacionais e econômicos que consolidam o uso do alumínio em caminhões furgão, furgões sobre chassi e semirreboque, basculantes, veículos leves, esportivos entre outros.

Como veículos mais leves consomem menos combustível e são menos poluentes, substituir materiais com massas mais elevadas pelo alumínio – dois terços mais leve que aço, além de ser completamente reciclável – na fabricação e nas linhas de montagem automotivas é uma alternativa eficaz e viável.

As características do alumínio permitem que ele tenha uma vasta gama de aplicações. Por isso, o metal é um dos mais utilizados no mundo todo. Produtos que utilizam o alumínio ganham também competitividade, em função dos inúmeros atributos que este metal incorpora, e é sobre estes assuntos que serão discorridos a partir de agora com o presente estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho de graduação tem como objetivo pesquisar as aplicabilidades do alumínio na indústria automobilística, ilustrar as novas tecnologias e vantagens que esse mercado dispõe abordando exemplos para estudos de casos de acordo com as diferentes partes em que o material é produzido.

1.1.2 Objetivos Específicos

Apresentar comparativos e vantagens do alumínio na indústria automobilística por meio de pesquisas bibliográficas e técnicas, além de reunir dados que possam embasar as novas aplicações do alumínio em auto veículos.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O alumínio possui vários campos de atuação devido a sua versatilidade, propriedades e custo tanto de compra quanto de produção.

Devido a grande variedade de informações e aplicações, este trabalho ficará restrito a abordar o setor industrial automobilístico, com o intuito de apresentar as novas tecnologias e melhorias que este mercado vem aplicando em seus produtos com diferentes nichos de consumidores.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Este estudo vem a ser de suma importância para centros de coletas, indústria automobilística e o consumidor direto, devido às melhorias no desempenho estrutural e mecânico, além da sua fácil reutilização, logística reversa envolvendo a reciclagem e conseqüentemente a diminuição do custo de fabricação e manutenção.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos, sendo que no capítulo um encontra-se a Introdução, Objetivos, Delimitação e Relevância do estudo realizado.

No segundo capítulo, denominado de Revisão de Literatura, é retratado num contexto geral sobre a história do alumínio, processo de transformação e fabricação do alumínio, com foco em aplicações automobilísticas.

No capítulo três tem-se a Metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho.

No quarto e quinto capítulos são abordados os Resultados, as Discussões e a Conclusão do trabalho, respectivamente.

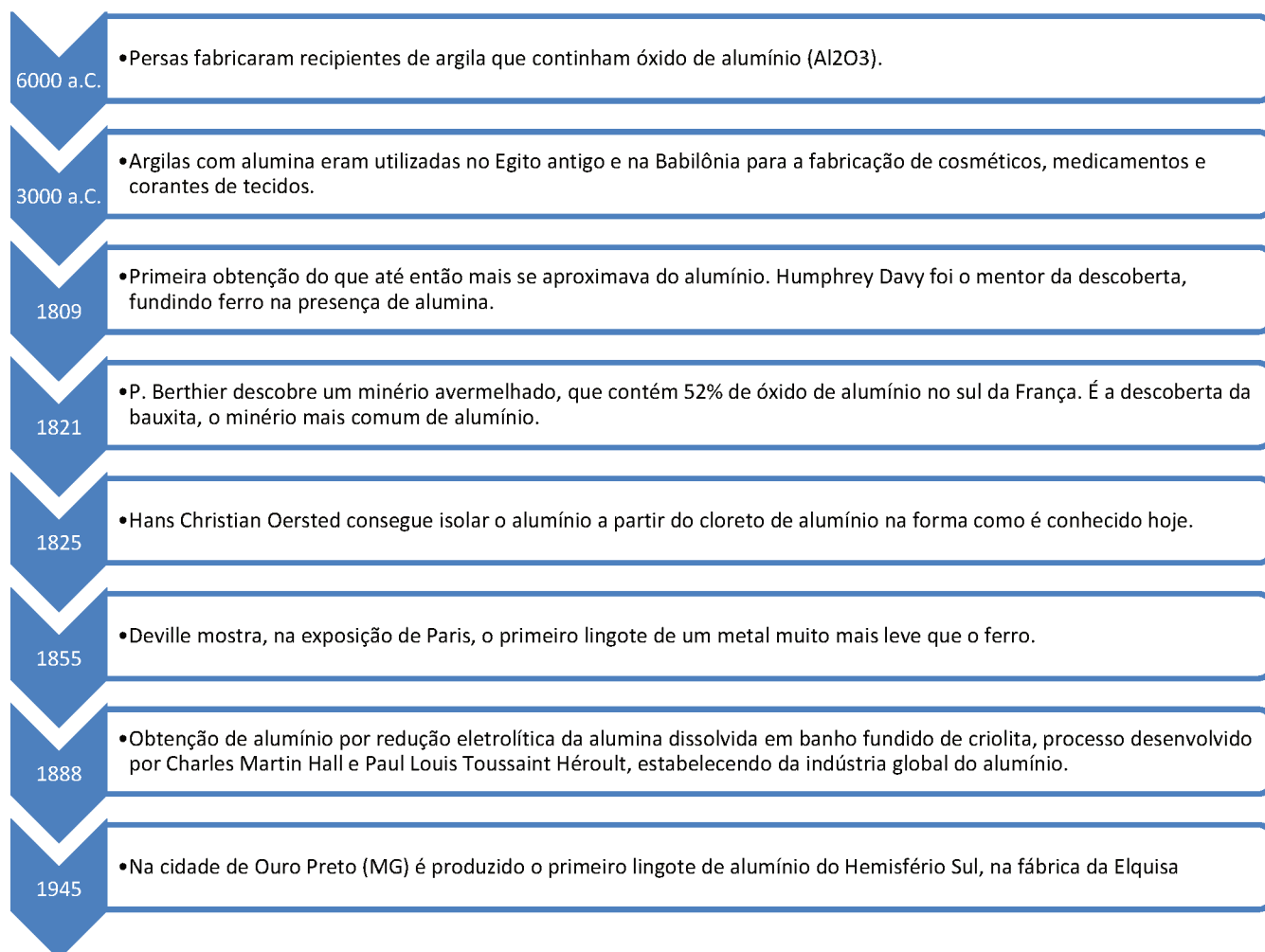
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A HISTORIA DO ALUMÍNIO

A história do alumínio e de suas múltiplas aplicações inseridas em um contexto tecnológico é longínqua. Apesar de ser o mais farto metal do planeta, não é possível encontrá-lo naturalmente em sua forma metálica. Somente em 1825 que Hans Christian Oersted obteve sucesso no isolamento do alumínio em sua forma atual. Hoje o material é atribuído em inúmeras áreas de aplicações, como na fabricação de peças automotivas, equipamentos eletrônicos, construção civil, latas de bebidas e embalagens alimentícias. (BERNHARDT, 2013)

Embora a forma mais conhecida do alumínio seja a metálica, antes das descobertas de Charles Martin Hall e Paul-Louis-Toussaint Héroult em 1888, o metal foi considerado tão raro e precioso que chegou a ser exibido ao lado de joias da coroa, e também utilizado em lugar do ouro em jantares da nobreza no século XIX. Por outro lado, os compostos de alumínio tem serventia para a humanidade há mais de 4000 anos. Os egípcios aplicavam o alúmen como mordente e os gregos e os romanos também o utilizavam para fins medicinais, como adstringente. Dentre as aplicações do alumínio e seus compostos, destacam-se o tratamento para obtenção de água potável, o tingimento de tecidos, a manufatura de produtos de higiene, medicamentos, refratários e catalisadores. (INSTITUTO DE QUIMICA, USP. 2002)

A cronologia do alumínio (Figura 1) demonstra que, mesmo nas civilizações mais antigas, o metal já era um símbolo de modernidade e sofisticação usado nos mais diferentes utensílios, mesmo não se conhecendo o material tão profundamente como é feito atualmente, pois o alumínio somente começou a ser produzido comercialmente por volta de 150 anos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMINIO, ABAL. 2017).

FIGURA 1: Cronologia do Alumínio

Fonte: Adaptado pelos autores – 2017

2.2 PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DO ALUMÍNIO

2.2.1. Mineração da bauxita

O alumínio é obtido a partir da bauxita, um minério que pode ser encontrado em três principais grupos climáticos: o Mediterrâneo, o Tropical e o Subtropical. Para que a produção de alumínio seja economicamente viável, a bauxita deve conter no mínimo 30% de óxido de alumínio (Al₂O₃) aproveitável. As reservas brasileiras de bauxita estão entre as maiores do mundo, além da ótima qualidade do minério. A mineração desta matéria-prima pode ser exemplificada, conforme Figura 2. (ABAL, 2017).

Figura 2: Mineração da bauxita

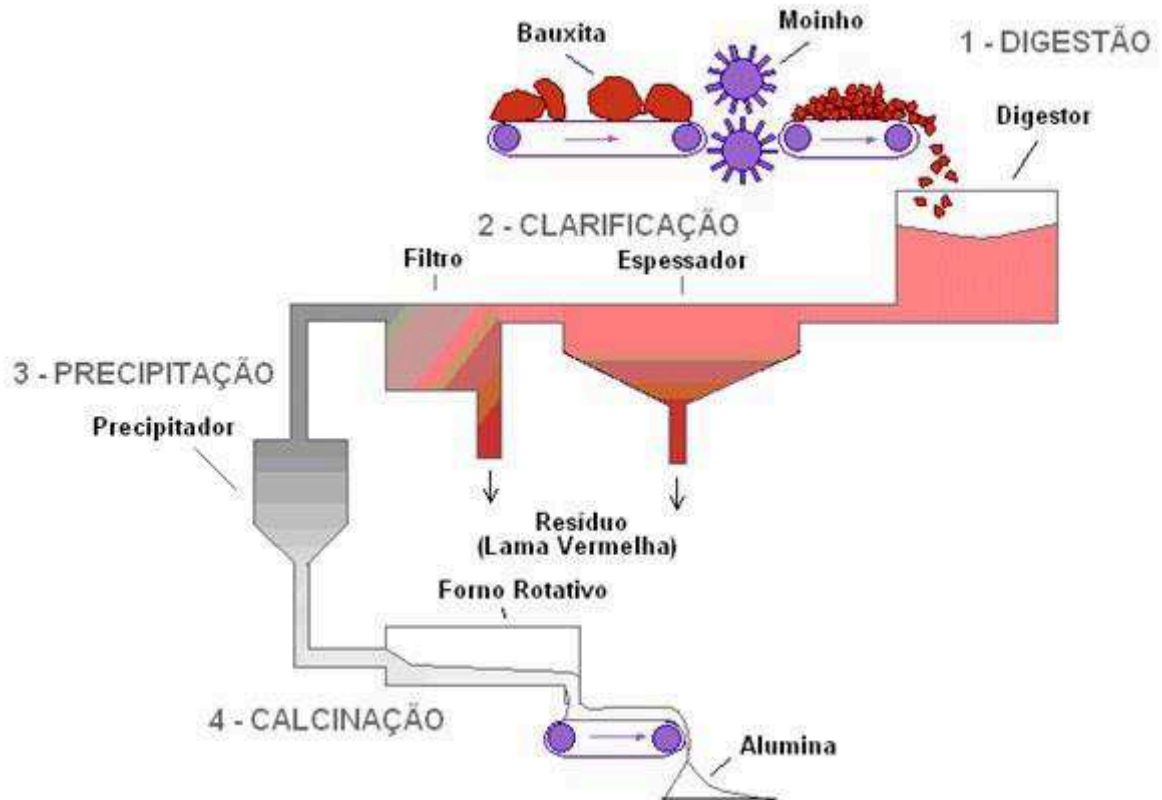


Fonte: ABAL – 2017

2.2.2. Refinaria da bauxita em alumina

A alumina tem uma vasta gama de aplicações como a fabricação de materiais refratários, uso em produtos abrasivos e para polimento, tratamento de água potável, na fabricação de velas de ignição em auto veículos, entre outros. A fase de refinaria é insumo para a obtenção do alumínio primário e o processo mais utilizado para obtenção de alumina é Bayer, conforme Figura 3. (ABAL, 2017).

Figura 3: Processo Bayer



Fonte: Fluxograma e Esquema de Processo Bayer (Adaptado de WAO – 2003)

2.2.3 Redução da alumina para obtenção do alumínio

No processo conhecido como Hall-Héroult, a obtenção do alumínio ocorre pela redução da alumina calcinada, em altas temperaturas, em cubas eletrolíticas. Para execução deste processo é necessária a razão de duas toneladas de alumina para uma tonelada de metal primário. A transformação da alumina calcinada em alumínio metálico pode ser exemplificada na Figura 4. (ABAL, 2017)

Figura 4: Transformação da alumina



Fonte: ABAL – 2017

2.3 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO

Uma das características mais importantes do alumínio é a facilidade que possui de ser transformado através de uma grande variedade de processos. Este metal pode ser laminado em qualquer espessura e extrusado em inúmeros perfis de seção transversal constante, podendo também ser facilmente forjado, fundido ou estampado. Um fator muito explorado pela indústria é a trefilação do alumínio, pois se origina fios que são transformados em cabos condutores de eletricidade, já que condutividade é uma propriedade em que o alumínio se destaca, dando ainda mais versatilidade ao material.

A praticidade para usar o alumínio é outro importante fator que contribui para difundir o uso desse material e que também aceita, praticamente, todos os métodos de união, tais como rebiteamento, soldagem, brasagem e colagem. Além disso, para a maioria das aplicações do alumínio não são necessários revestimentos de proteção. (ABAL, 2007).

2.3.1 Método de Laminação

O processo de laminação conforma mecanicamente o metal pela redução da seção transversal de um lingote através da compressão do material entre dois cilindros de eixos paralelos de aço ou ferro fundido que rotacionam em torno cada um do próprio eixo. Esta seção transversal é retangular, e os lingotes são produtos laminados de alumínio e suas ligas, compreendendo desde chapas com espessuras de 150 mm, usadas em algumas espécies de usinas, até folhas de 0,005 mm de espessura, usadas em condensadores. Existem dois processos utilizados tradicionalmente para laminação de alumínio: laminação a quente e a frio. (ABAL, 2007).

A partir da laminação a quente executa-se consecutivas reduções da seção transversal sendo o metal pré-aquecido a uma temperatura mínima de aproximadamente 350°C, temperatura na qual ocorre a recristalização do alumínio, nesta temperatura que se obtém a máxima ductilidade do metal conseqüentemente gerando uma recristalização dinâmica durante a deformação plástica. O processo transcorre da seguinte forma, como ilustrado na Figura 5: (ABAL, 2007).

1º Estágio: Uma placa do lingote de alumínio (matéria-prima inicial) é fabricada na refusão, através de fundição semi contínua ou em molde com sua seção transversal retangular, a placa pode receber faceamento, que se designa por uma usinagem superficial, para remoção da camada de óxido de alumínio, dos grãos colunares (primeiro material solidificado) e das impurezas provenientes do processo em questão.

2º Estágio: A placa é aquecida até a temperatura em que ela se torna sem plástica.

3º Estágio: A laminação a quente ocorre em laminadores reversíveis duplos que possuem dois cilindros, ou quádruplos, contendo dois cilindros de trabalho e dois de apoio, também chamados de encosto.

4º Estágio: Desloca-se o material laminado entre os cilindros passe a passe, sendo que a abertura dos mesmos define a espessura do passe. A redução da espessura por passe é cerca de 50% e depende da dureza da liga específica que está sendo laminada. No último passe de laminação, o material apresenta espessura de aproximadamente 6 mm, sendo enrolado ou cortado em chapas planas,

constituindo desta maneira a matéria-prima para o processo posterior de laminação a frio.

Concepções mais tecnológicas e modernas deste processo podem apresentar em linha, após o desbastamento, em um laminador reversível, uma cadeia de vários laminadores, denominada de “tandem”, que reduz a seção do material para cerca de 2 mm de espessura.. (ABAL, 2007).

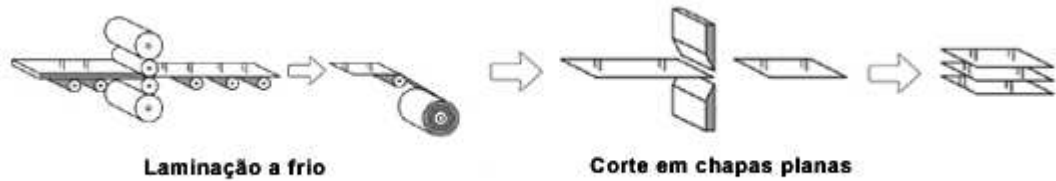
Figura 5: Laminação a quente



Fonte: ABAL – 2017

Já na laminação a frio, é realizado em temperaturas bem inferiores às de recristalização do alumínio. A matéria-prima é oriunda diretamente da laminação a quente. A laminação a frio é executada em laminadores quádruplos reversíveis ou não, conforme Figura 6, sendo este último mais empregado. O número de passes que será aplicado depende da espessura inicial da seção da matéria-prima, da espessura final, da liga e também da têmpera do produto final desejado. Os laminadores padrões são dimensionados para reduções de seções entre 30% e 70% por passe, dependendo das características do material em questão. Laminadores mais tecnológicos possuem sistemas de controle de espessura e planicidade computadorizados. Na laminação a frio são utilizados dois recursos: tensões avante e tensões a ré. (ABAL, 2007).

Tanto as tensões avante como a ré aliviam os esforços de compressão aplicados pelos cilindros ou aumentam a razão de redução por passe. Estes recursos também são responsáveis pela redução da espessura da seção, no caso de laminação de folhas finas, em que os cilindros de laminação estão em contato e praticamente sem abertura perceptível. (ABAL, 2007).

Figura 6: Laminação a frio

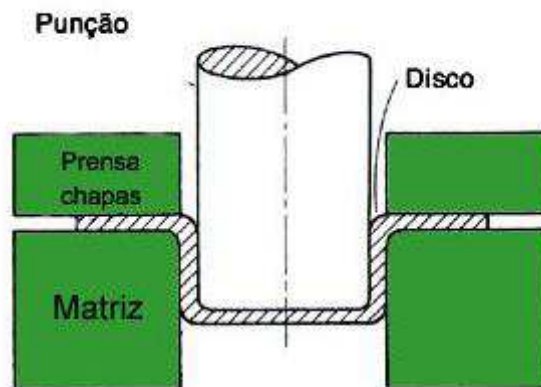
Fonte: ABAL – 2017

2.3.2. Processo de Estampagem

Discos e chapas de alumínio são amplamente aplicados na repuxação e estampagem. Nesse processo (Figura 7), o material é pressionado por um punção contra uma matriz com o molde do produto desejado, como acontece com os utensílios domésticos e latas de bebidas e alimentos. Estas operações requerem material com grande plasticidade, ductilidade alta e com uma taxa de encruamento relativamente baixa. Os melhores resultados são obtidos quando o metal possui um grão de tamanho pequeno e uniforme por toda a sua estrutura. Assim, as ligas das séries 1XXX e 3XXX são constantemente utilizadas para estas aplicações, exceto que os componentes acabados tenham que apresentar uma maior resistência. (ABAL, 2007).

Outro método utilizado para verificar se um material foi escolhido adequadamente para o processo é um simples teste de dobramento, realizado em chapas de espessura pré-definida, o qual se determina o menor raio em que elas podem ser dobradas sem se romperem. 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. (ABAL, 2007).

Figura 7: Processo de Estampagem



Fonte: ABAL – 2017

2.3.3. Processo de Forjamento

O forjamento é um processo de conformação mecânica pelo qual se obtém a forma final desejada de uma peça através do martelamento ou aplicação gradativa constante de uma determinada pressão, e em sua grande maioria, as operações são feitas a quente. A indústria atualmente faz uso do método de forjamento em matriz aberta, matriz fechada com rebarba e matriz fechada sem rebarba. (ABAL, 2007).

No processo de forjamento do alumínio, como demonstrado na Figura 8, um tarugo, bloco ou perfil é aquecido e pressionado contra uma matriz bipartida escavada a forma da peça em negativo, onde o metal escoá, preenchendo a cavidade gerando a forma final da peça.

O alumínio é um dos metais mais utilizados para o processo de forjamento sendo empregado principalmente na indústria aeronáutica e bélica, também sendo demasiadamente utilizado em transportes, máquinas e equipamentos em geral. Sua aplicação não se restringe somente a peças como rodas e eixos, mas também em peças de bicicletas, motores, rotores, engrenagens, pistões, longarinas e bielas, demonstrando a utilidade do alumínio forjado como substituto situacional de diversos outros materiais. (ABAL, 2007).

Figura 8: Forjamento

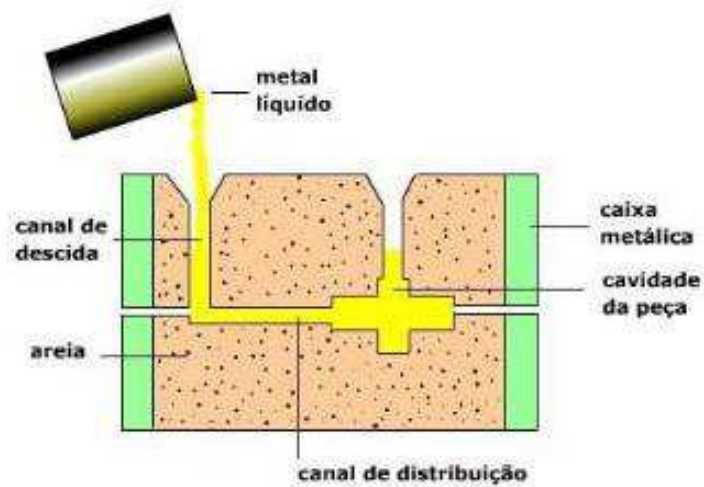
Fonte: ABAL – 2017

2.3.4. Processo de fundição

A fundição foi um dos primeiros processos industriais empregados na produção de artigos metálicos. Este processo com relação ao alumínio pode ser feita por gravidade, com a utilização de areia ou molde metálico, e sob pressão, (alta ou baixa). Além dos métodos convencionais, há também processos especiais, com cera perdida e tixofundição. As peças fundidas de alumínio têm suas aplicações principalmente na área automotiva e de transportes em geral, como blocos de motor, carcaças, cabeçotes, caixas de câmbio, e rodas tanto para automóveis como veículos pesados. (ABAL, 2007). As peças de alumínio podem ser produzidas a partir de quatro processos de fundição:

A Figura 9 apresenta o processo de fundição em areia:

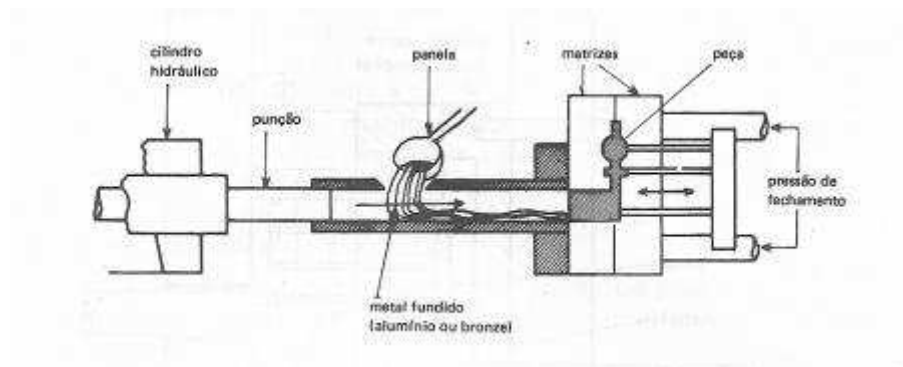
Figura 9 : Processo de Fundição em Areia



Fonte: Escola de Engenharia Industrial – 2010

A Figura 10 apresenta o processo de fundição sob pressão:

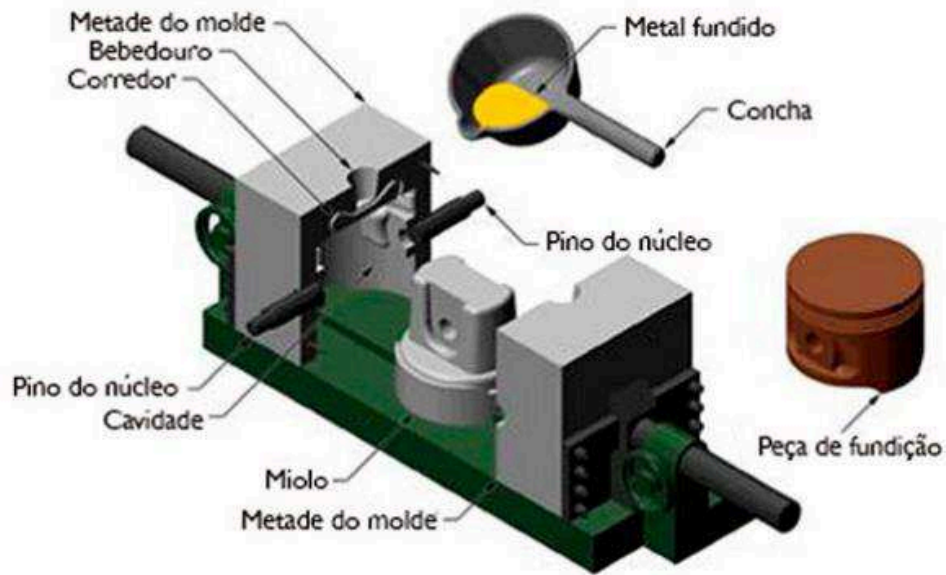
Figura 10: Processo de Fundição Sob Pressão



Fonte: UERJ – 2012

A Figura 11 apresenta o processo de fundição em coquilha:

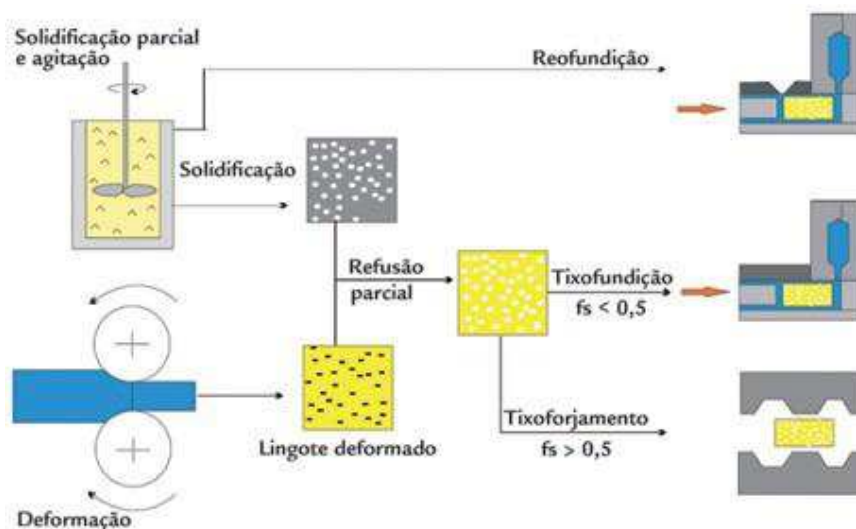
Figura 11: Processo de Fundição em Coquilha



Fonte: Metalúrgica Freamar

A Figura 12 apresenta o processo de fundição tixofundição:

Figura 12: Processo de Tixofundição



Fonte: Departamento de Engenharia de Materiais Universidade de São Paulo – 2011

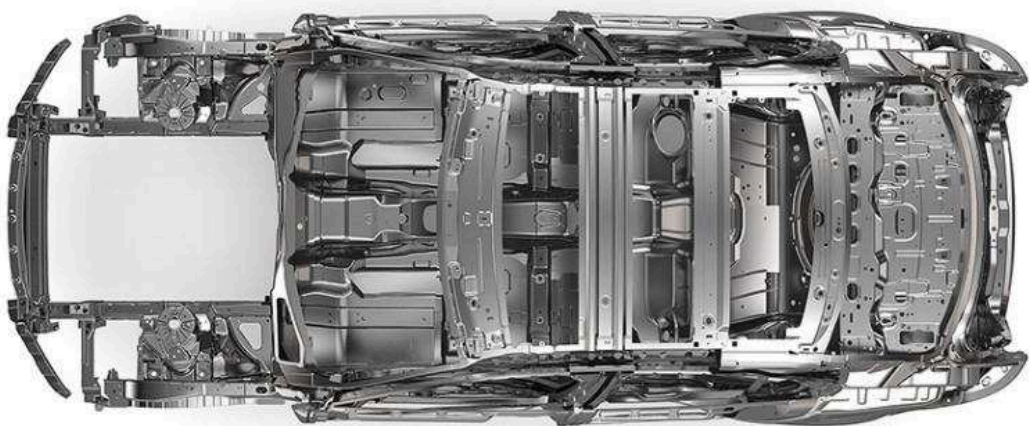
2.4 APLICACAO DO ALUMINIO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILISTICA

O alumínio representa cerca de 20% dos componentes em automóveis modernos, reduzindo seu peso e tornando-os mais econômicos, destacando-se devido o constante aumento no custo do combustível. Em 1899, foi apresentado no Salão Internacional do Automóvel o primeiro carro esportivo feito de alumínio. Dois anos depois, o primeiro motor com peças de alumínio foi constituído por Carl Benz, fabricante de motores mundialmente conhecido. Fora encontrado dificuldades no uso do alumínio em seu processo de fabricação de carros tendo em vista a falta de conhecimento e alto preço do material em massa no início do século XX. Após a segunda guerra mundial, com a queda no valor monetário do alumínio e maior acessibilidade, a fabricante inglesa Land Rover, decidiu então explorar tal material.

Com o decorrer dos anos, viu-se a necessidade em utilizar o alumínio em diversos componentes automotivos, pois sua utilidade representa uma redução nas quantidades de emissões de gases nocivos para atmosfera, além de minimizar o consumo do combustível. (SANTANA, 2015)

A Carroceria do Jaguar XE usufrui de 75% de alumínio reciclado, fruto do projeto REALCAR, que demandou criação da nova liga RC5754, conforme Figura 13: (ISHIKAWA, 2015).

Figura 13: Carroceria Jaguar XE



Fonte: Aluauto – 2015

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa tem finalidade exploratória-bibliográfica, e de acordo com Martinset *al.* (2014), a pesquisa de levantamento exploratória tem por objetivo a ambientação a respeito de um tópico, servindo de base para um levantamento mais profundo, ou seja, buscou-se familiarizar com o assunto através de pesquisas bibliográficas, bem como conhecimentos técnicos.

A análise comparativa, também utilizada nesta pesquisa acadêmica, permite que seja verificada por meio de análises a diferença entre materiais (alumínio, aço e fofo), estabelecendo uma boa tese embasando novos dados para a obtenção de futuros resultados, observando o desempenho de um veículo ao utilizar alumínio em sua fabricação, com o intuito de explorar as novas tendências e aplicações no mercado.

Os dados primários serão coletados por meio da consulta de documentos e das referências bibliográficas com análise qualitativa visando propriedades estruturais e análise de custo x benefício. Além de explorar as novas tendências, aplicações, os métodos e as características do desenvolvimento de um produto e sua fabricação em uma empresa do ramo automobilístico, a qual emprega o uso do alumínio pelo fato de ser mais leve e sustentável, a fim de produzir um veículo mais econômico visando não agredir o meio ambiente. Tendo em vista as vantagens obtidas, tornou-se válido o presente estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em meio a um mercado instável, construir carros mais eficientes, vai muito além de investir em produtos que consumam menos combustível e conseqüentemente, geram menores níveis em emissões de poluentes. Diminuir o peso do conjunto, por meio da adoção de um material mais leve como alumínio, é fundamental para se chegar a um bom resultado.

A utilização do alumínio em automóveis não é recente, visto que em 1899 foi apresentado no Salão Internacional do Automóvel o primeiro carro esportivo feito de alumínio, porém, com o avanço da tecnologia, o uso do alumínio tornou-se mais

frequente. Tais avanços fizeram com que antigas ideias fossem aprimoradas e que novas aplicabilidades fossem desenvolvidas, assim como exemplo, a Jaguar Land Rover Discovery 4 (Figura 14) que possui 85% de sua carroceria em alumínio, reduzindo seu peso em 480 kg.

Figura 14 - Monobloco de Alumínio da Jaguar Land Rover Discovery 4



Fonte: Catálogo Land Rover – 2017

Pode-se notar na Figura 15 a concepção para um automóvel mais leve segundo a empresa Ford é o uso de diversos componentes em alumínio e compostos que juntos possam contribuir para a máxima redução de peso de um veículo comum da linha de produção da empresa, concluindo que o maior aliado que as indústrias buscam para a diminuição de peso é o material que apesar de leve se mostra muito resistente em diversos testes propostos para se utilizar em situações de risco que os veículos passam.

Figura 15: Projeto Ford para um veículo de baixo peso



Fonte: PlanetCarsZ – 2014

4.1 APLICAÇÕES DO ALUMÍNIO EM MOTORES

A tendência do uso do alumínio em motores, principalmente no bloco e cabeçote, vem crescendo desde o final da década de 1990. O uso de um material bem mais leve, com tanta utilidade em resistência e com durabilidade maior que o FoFo (ferro fundido), tem sido foco de inúmeras empresas que alegam que o alumínio é o futuro em motores, sendo que a grande maioria das companhias automobilísticas, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, trazem em seus veículos bloco do motor e cabeçote feitos no material. Há cerca de vinte anos muitos defeitos foram detectados no início do emprego deste material, pois o uso do alumínio reciclado, proveniente de latinhas de bebidas, possuía chumbo na composição da tinta, gerando impurezas no bloco, no qual, por sua vez, quando

superaquecido, surgiam trincas provenientes da baixa temperatura de fusão do chumbo, que é de 327,5 °C, em relação ao alumínio, além de causar empenamento do próprio bloco.

Para solucionar tal problema a indústria automobilística vem trabalhando em diversas ligas de alumínio para que sejam atendidas as exigências de esforços mecânicos solicitados em um motor de combustão interna, além de suportar temperaturas mais elevadas para que, em caso de superaquecimento o material não se deforme ou sofra qualquer alteração, encontrando também soluções que facilitam os processos de conformação do material, para seu uso continuado em cada vez mais partes automotivas.

A empresa HONDA aposta em uma liga de Alumínio e Silício para a formação da Liga HD-2, que possui entre 8% e 12% de silício em sua composição, empregada na construção de blocos de motores, e da liga HD-1, com de 6% a 8% de silício, para a produção dos cabeçotes. A liga HD-2 contém maior percentual de silício, componente químico que confere mais fluidez ao alumínio, para conseguir penetrar em todas as cavidades da peça e completar a forma do bloco, que é mais complexa. Já o cabeçote, por ter uma configuração mecânica mais simples, não exige tanta fluidez e, por isso, a HS-1 tem percentual de silício mais baixo.

Como a camisa dos pistões do bloco é de ferro fundido e a peça como um todo é de alumínio, formas alternativas de corte da peça tiveram que ser desenvolvidas, o que foi desafiador até para empresas de ferramentaria com grande experiência. Para evitar que a peça não empastasse nem quebrasse, e tampouco formasse arestas postigas, a montadora realizou vários testes com as ferramentas de corte utilizadas no processo de fresamento da face de combustão e adotou os parâmetros de corte da matriz, com indicadores de velocidade, rotação e dureza das pastilhas. A qualidade de todas as etapas é devidamente avaliada por inspetores.

Com toda estratégia descritas, estes motores (Figura 16) hoje saem da fábrica com peso de apenas 130 kg, cerca de 30 kg a menos do que os modelos convencionais. O bloco de alumínio da Honda, com a nova liga de alumínio e silício pesa em média 18 kg, se este mesmo fosse feito em ferro fundido, teria no mínimo o dobro disso. Para o engenheiro, a produção de motores de alumínio traz muitas vantagens por ser cerca de 30% mais leve, pois favorece a performance do torque e a potência dos veículos, além de trazer facilidades operacionais como a melhor

transmissão de calor, e esse é um dos motivos que, em diversos países, o uso do alumínio no bloco e cabeçote já é realidade há anos, e em breve será no Brasil.

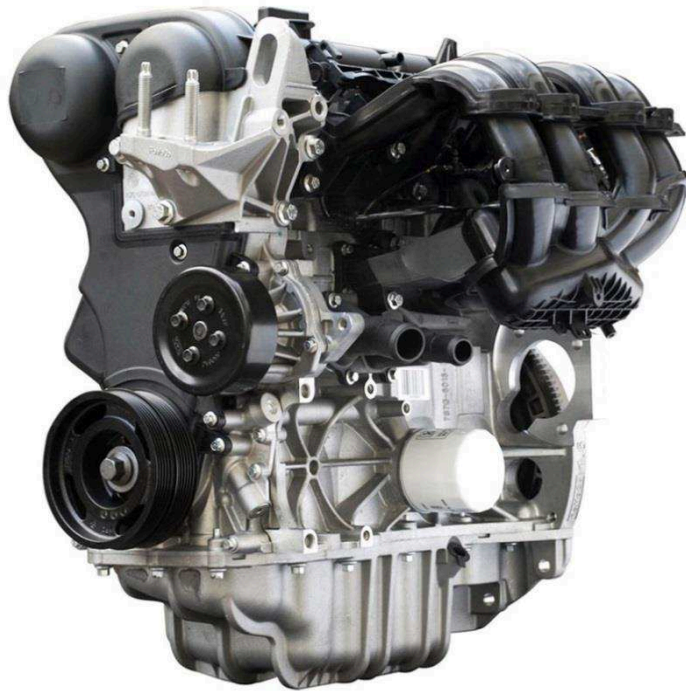
Figura 16 – Motor Honda B18C1 com bloco e cabeçote em alumínio



Fonte: HCDMAG – 2016

A fabricante de motores Sigma, já tradicionais na Europa, aposta principalmente no Brasil o uso do alumínio, não somente no bloco e cabeçote, mas também no cárter e pistões, levantando a questão de quanto tempo levará até a maior parcela de peças dos motores serem feitas em alumínio, um motor mais leve, de maior potência, com menor nível de ruído, em atendimento às normas de emissões e compatível ao uso do biocombustível, é no que a empresa concentra suas pesquisas de desenvolvimento. No Brasil a Sigma trás aos motores da empresa Ford o primeiro motor flex a ter bloco, cabeçote, cárter e pistões em alumínio, conforme Figura 17, pesando apenas 85 kg, motor ilustrado na figura, se preocupando não somente com o desempenho e diminuição de peso, mas focando principalmente na redução de emissão de gases poluentes. Além da significativa redução de peso destaca-se, uma excelente durabilidade principalmente para a utilização do biocombustível no motor, um conjunto mais silencioso, gerando maior nível de conforto para os passageiros e produz um alto torque e estabilidade de combustão em qualquer rotação.

Figura 17: Motor Ford com componentes em alumínio



Fonte: Ford – 2017

4.2 CARROCERIAS EM ALUMÍNIO

A maior preocupação com o uso do alumínio em automóveis é a segurança estrutural em defesa dos passageiros, já que o material é conhecido por ser “leve e fraco”. Porém os avanços tecnológicos e pesquisas, tanto na área automobilística quanto na aeronáutica, desenvolveram inúmeras ligas de alumínio que suportam grandes esforços, em diversas condições, podendo ser conformadas assim como o aço, para vários empregos na carroceria, desde chapas externas até pilares (colunas verticais) e longarinas principais de sustentação da estrutura do monobloco.

O maior exemplo do emprego dessa inovação tecnológica é a Jaguar Land Rover. A empresa britânica vem desenvolvendo o modelo Jaguar XE, que possui sua construção de carroceria, monobloco inteiramente em alumínio, além de também trazer o Jaguar F-Pace que possui 80% de sua construção total em alumínio, conforme Figura 18, reduzindo grandemente seu peso total, tendo as

chapas externas laterais pesando pouco mais de 6 kg. É digno de nota o fato de que muito desse material usado na carroceria é proveniente de processos de reciclagem de alumínio.

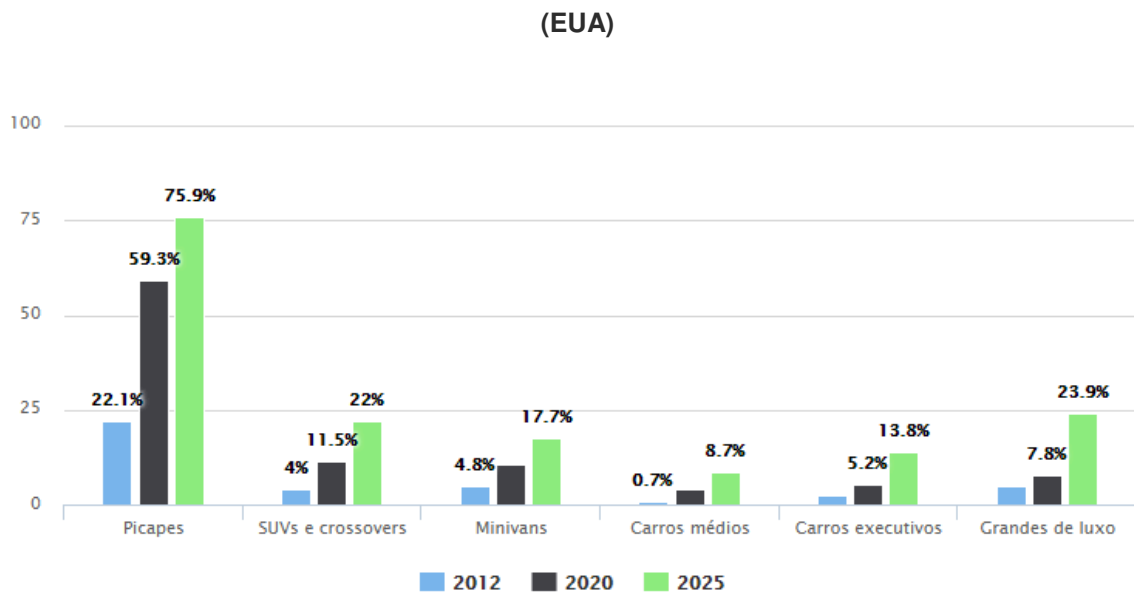
Figura 18 – Carroceria do modelo Jaguar F-Pace



Fonte: New Atlas – 2017

Este monobloco da carroceria em um material com menor peso específico possibilita uma ampla variedade de inovações nos componentes de sustentação, como bandejas da suspensão fundidas em alumínio sustentando tanto quanto bandejas convencionais, porém o peso reduzido da carroceria bem como do motor abortado anteriormente, viabiliza uma maior carga sobre essa suspensão, por este motivo as carrocerias em alumínio vem ganhando espaço nos Picapes e SUVs, como demonstrado no Gráfico 1, principalmente nos Estados Unidos empregado pela empresa Ford no modelo F150 que é o modelo mais vendido da marca no cenário norte americano.

Gráfico 1: Percentual de alumínio na carroceria e em painéis de fechamento x tipo de veículo.



Fonte: Aluauto – 2016

4.3 EMISSÕES DE GASES POLUENTES X MASSA

O uso do alumínio em auto veículos gera questionamentos com relação ao fato do alumínio ser um material apropriado para o segmento automotivo. Baseando-se em pesquisas exploratórias desenvolvidas sobre o material e poluição, foram comparados três materiais, sendo eles, o alumínio, aço e magnésio, em suas diversas etapas no meio automobilístico, para se constatar a quantidade de emissão de poluentes em cada uma dessas etapas.

Na fase de produção, ou seja, desde a matéria prima ser transformada em alumínio, produção de inúmeras ligas, conformação de chapas, trefilação de colunas e pilares, soldagem dos materiais, fundição e todos os outros processos envolvidos até a montagem final do veículo em um ambiente fabril, o alumínio fica em segundo lugar comparado aos demais materiais, enquanto o magnésio torna-se completamente inviável nesta etapa emitindo mais gás carbônico que quando somados o alumínio e aço.

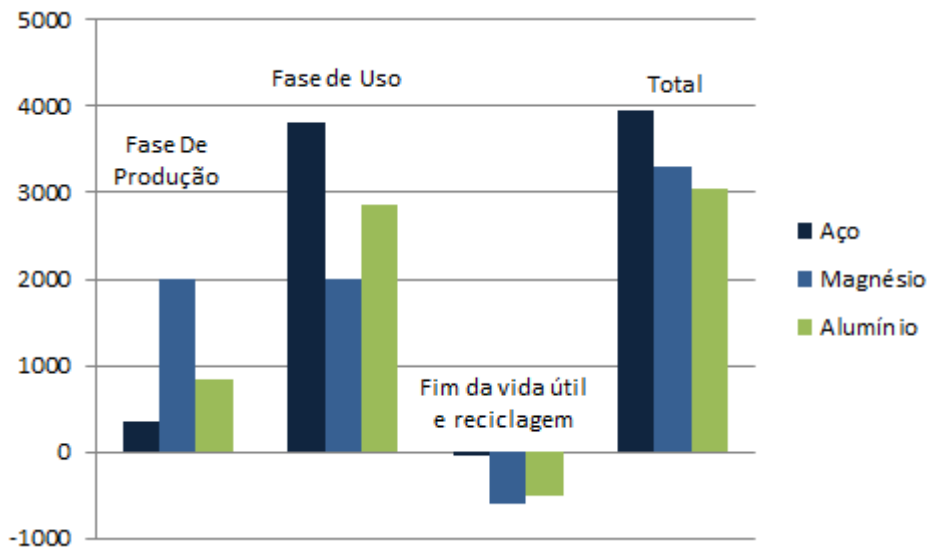
A fase de uso, que em resumo é a quantidade de gases que um determinado veículo emite desde a primeira vez que se movimenta – a partir da primeira emissão

de Dióxido de Carbono na atmosfera – até o fim de sua vida útil. O alumínio permanece em segundo lugar, dessa vez o material cuja emissão de gases poluentes é o aço, porque tal emissão é diretamente proporcional á massa, ou seja, quanto mais pesado for o automóvel, mais poluentes ele irá emitir durante sua vida útil, pois necessita consumir uma quantidade mais elevada de combustível para movimentar uma massa maior.

A última comparação é após o fim da vida útil do material, sendo o momento do processo de reciclagem, de forma que demonstra o quanto de gases poluentes podem ser evitados de serem emitidos através da reutilização de cada um dos materiais. O magnésio é o que mais economiza na emissão de gases, devido a enorme quantidade que poluí em sua fase de produção, ou seja, quanto mais um determinado material poluiu em sua etapa de produção maior será a quantidade evitada de ser emitida se reutilizado, deste modo o alumínio não possui um rendimento tão significativo quanto o magnésio nessa etapa por conta de sua fase de produção cuja emissão é baixa.

Ao fim do Gráfico 2 pode-se observar a somatória de todas as fases relacionadas, concluindo-se que, apesar do alumínio ser mantido em segundo nos comparativos anteriores, ao final é o material que menos emite uma menor quantidade de gases poluentes, especialmente dióxido de carbono, conseqüentemente tornando-se o material mais adequado para aplicação em auto veículos se comparados em emissão de poluentes.

Gráfico 2 - A vantagem do alumínio na emissão de Gases poluentes



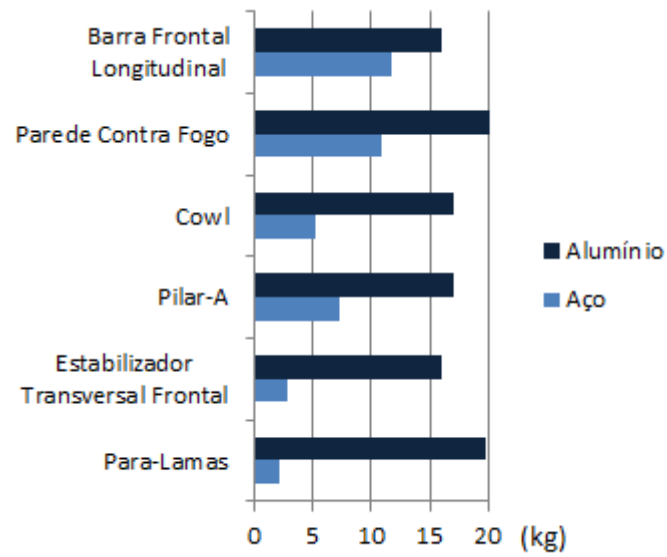
Fonte: Aluauto - 2017

4.4 REDUÇÕES DE PESO ENTRE ALUMINIO X AÇO DE ALTA RESISTENCIA

Qual o material mais efetivo na diminuição da massa de veículos: o alumínio ou o aço de alta resistência? Segundo o estudo, a resposta é inquestionável: enquanto as ligas de alumínio (com limite de escoamento em torno de 400 MPa) oferece potencial de redução de peso de até 40% para os principais componentes automotivos, os aços de alta resistência (com limite de escoamento de até 1.200 MPa) garantem apenas 11% de diminuição.

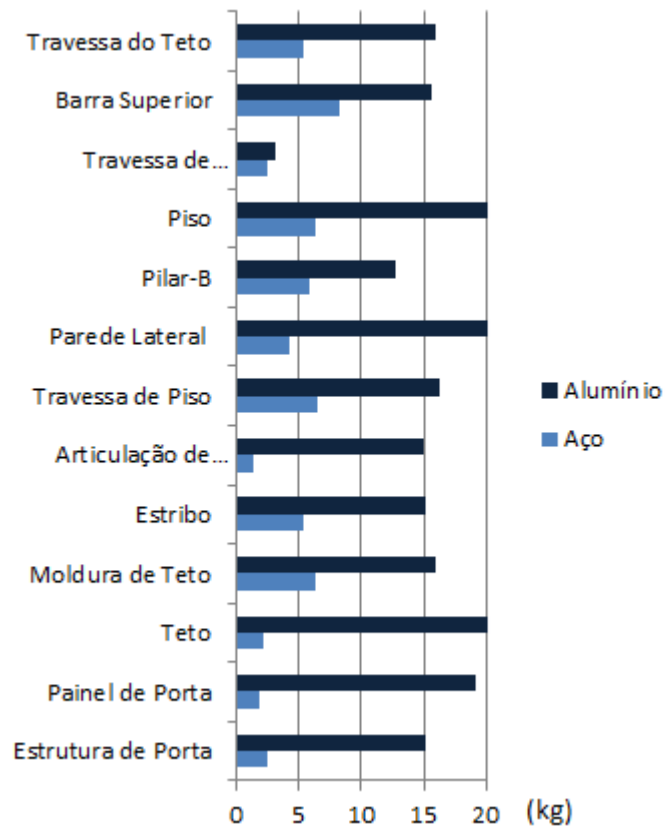
Para uma melhor leitura do percentual baseado na redução de peso de um automóvel, dividimos os componentes da carroceria em três partes: conjunto dianteiro conforme (Gráfico 3), conjunto central (Gráfico 4) e conjunto traseiro (Gráfico 5).

Gráfico 3 – Conjunto Dianteiro



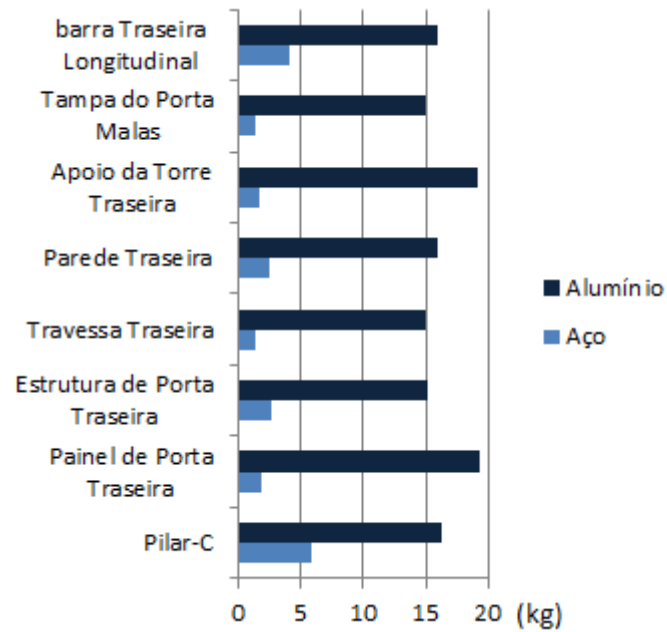
Fonte: Adaptado pelos autores – 2017

Gráfico 4 – Conjunto Central



Fonte: Adaptado pelos autores – 2017

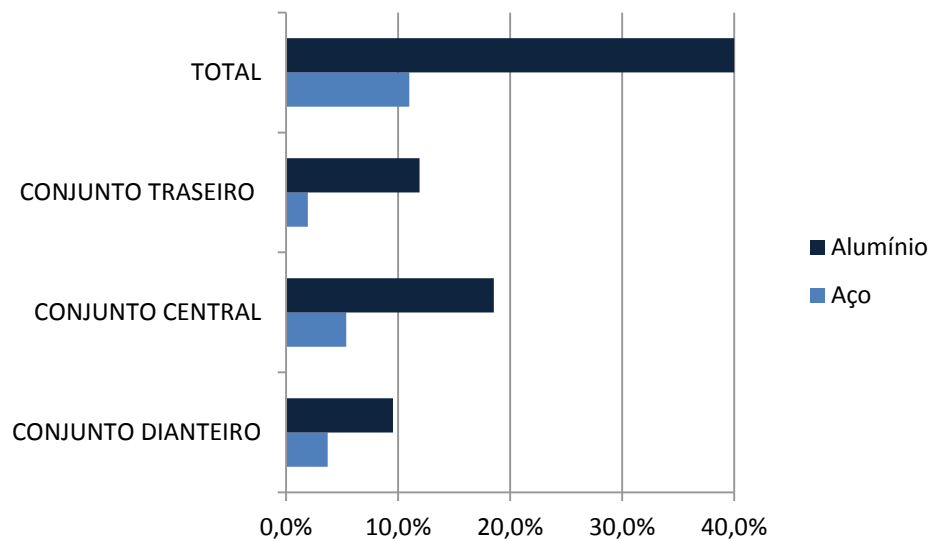
Gráfico 5 – Conjunto Traseiro



Fonte: Adaptado pelos autores – 2017

Finalizando, temos o seguinte resultado, conforme Gráfico 6:

Gráfico 6: Redução máxima de peso x componente



Fonte: Adaptado pelos autores – 2017

5 CONCLUSÃO

O alumínio pode substituir vários componentes em veículos estruturados em aço e ferro fundido. Dentre as utilidades deste material, sem deixar de lado a resistência para componentes estruturais ou que necessitam resistir maiores esforços dinâmicos, destacam-se diminuição do consumo de combustível, conseqüentemente uma menor emissão de dióxido de carbono, melhora a longevidade de pneus, já que há uma quantidade menor de massa sobre os mesmos, isto também possibilita o carregamento de uma carga maior, pois um menor peso sobre a suspensão, oriundo da carroceria ou motor, possibilita a maior sustentação sobre o sistema de suspensão e rodas de um veículo.

Entretanto, o custo da produção do alumínio é três vezes maior que a do aço, isso impossibilita sua produção em automóveis de um custo menor para os consumidores, que são os veículos populares, porém diversas empresas vêm desenvolvendo métodos que possam reduzir o custo de produção de alumínio, esse é o ponto crucial para o uso mais amplo do material atualmente na indústria automobilística, principalmente no mercado brasileiro.

Conclui-se que por ser um tema indicado para muitas aplicações na indústria automobilística, deve ser um tema abordado com maior ênfase e pesquisa, uma vez que no exterior já se encontra aplicado em completas estruturas e de design nos automóveis, viabilizando a economia no decorrer da vida útil deste. Mas com o avanço tecnológico, atualmente é possível empregar maior quantidade de alumínio em componentes que já o utilizavam no parque automotivo brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **História do alumínio.** Disponível em: < <http://abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Processos de produção.** Disponível em: < <http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/>>. Acesso em: 25 de maio de 2017.

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Cadeia primária.** Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>>. Acesso em: 01 de junho de 2017.

ALUAUTO. **Alumínio reduz peso em relação a aço de alta resistência.** Disponível em <https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7076-aluminio-reduz-peso-em-relacao-a-aco-de-alta-resistencia/>. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

ALUAUTO. **Ciclo de vida do alumínio é mais ecológico que aço e magnésio.** Disponível em <<http://aluauto.com.br/ciclo-de-vida-do-aluminio-e-mais-ecologico-que-aco-e-magnesio/>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

ALUAUTO. **Land Rover Discovery estreia arquitetura de alumínio.** Disponível em <<http://aluauto.com.br/land-rover-discovery-aluminio/>>. Acesso em: 30 de julho de 2017.

ALUAUTO. **Motores de alumínio: preferência nacional.** Disponível em <<http://aluauto.com.br/motores-de-aluminio-preferencia-nacional/>>. Acesso em: 26 de setembro de 2017.

ALUAUTO. **O desafio da reparabilidade do alumínio.** Disponível em <<http://aluauto.com.br/o-desafio-da-reparabilidade-do-aluminio/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

BERNHARDT, E. **Centro de informações sobre reciclagem e o meio ambiente.** Disponível em <<http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/metals/aluminio/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2017

BOTTREL, C. C. **Materiais Metálicos para Engenharia.** 1. ed. Belo Horizonte: Fundação Christian Ottoni, 1992. 405 p.

CALMON, F. **Indústria entra na "era do alumínio" para ter carro mais econômico.** Disponível em <<https://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2014/05/23/industria-entra-na-era-do-aluminio-para-ter-carro-mais-economico.htm>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

DEPARTAMENTO DE QUIMICA FUNDAMENTAL. **Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita.** Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000300024>. Acesso em: 23 de agosto de 2017.

HYDRO. **Como usamos o alumínio.** Disponível em <<https://www.hydro.com/pt-BR/A-Hydro-no-Brasil/Sobre-o-aluminio/Por-que-o-aluminio/Como-usamos-o-aluminio/>>. Acesso em 23 de setembro de 2017.

JORNAL DO CARRO. **Benefícios do alumínio e da fibra de carbono.** Disponível em <<http://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/beneficios-do-aluminio-e-da-fibra-de-carbono/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

PENTEADO NETO, E. L. **A tendência do uso do alumínio na indústria automobilística.** 1. Ed. São Paulo: Alcan, 1995.

VEIGA, E. **Processo de Soldagem MIG/MAG.** São Paulo: Globus, 2011. 156 p.