

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Alexandre Ricardo Brito

Giovani Messias Dias de Moraes Júnior

**A LOGÍSTICA REVERSA DOS METAIS:
Aplicação de ligas de alumínio oriundas de material
reaproveitado no meio industrial.**

TAUBATÉ – SP

2017

Alexandre Ricardo Brito
Giovani Messias Dias de Moraes Júnior

A LOGÍSTICA REVERSA DOS METAIS:
Aplicação de ligas de alumínio oriundas de material
reaproveitado no meio industrial.

Trabalho de graduação apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de Engenharia
Mecânica do departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté,
Professor Orientador: Aluísio Pinto Da Silva

TAUBATÉ – SP

2017

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

B862a Brito, Alexandre Ricardo
A logística reversa dos metais: aplicação de ligas de alumínio oriundas de material reaproveitado no meio industrial. / Alexandre Ricardo Brito, Giovani Messias Dias de Moraes Júnior. - 2017.

51f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Dr. Aluísio Pinto da Silva, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Logística reversa. 2. Alumínio. 3. Ligas de alumínio. 4. Reciclagem. 5. Sustentabilidade. I. Título.

Alexandre Ricardo Brito
Giovani Messias Dias de Moraes Júnior

A LOGÍSTICA REVERSA DOS METAIS

Trabalho de graduação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Mecânica do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. _____ Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, e ter permitido que isso tudo acontecesse.

Ao professor Aluísio, pela orientação, apoio e pelas suas correções.

Agradeço a minha mãe Elaine, heroína que sempre me apoiou, incentivou nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Adriano, assim como meus avós, Arildo e Olga, que sempre se fizeram presente em minha vida.

A minha namorada Talita, que sempre me apoiou e incentivou, nesta jornada.

Por fim aos meus amigos e colegas que, juntos, passamos por bons momentos durante essa etapa que se encerra.

Alexandre Ricardo Brito

Agradeço a minha mãe Eliane de Freitas Sales, ao apoio e convicção ao meu sucesso na vida acadêmica e pessoal.

Aos meus amigos e colegas que proporcionaram bons momentos que me fortaleceram durante toda a vida.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Giovani Messias de Moraes Junior

Minha energia é o desafio, minha motivação é o impossível, e é por isso que eu preciso ser, à força e a esmo, inabalável.

Augusto Branco

RESUMO

Este trabalho propõe demonstrar a viabilidade da utilização de materiais reciclados na fabricação de alumínio. Comparando suas vantagens econômicas, sociais e ambientais, com as de ligas de alumínio primário (obtido através de matéria prima retirada da natureza).

Serão evidenciados dados técnicos de ligas oriundas de material reciclado, tais como, propriedades mecânicas, composição química, propriedade física e fases do processo de fabricação. Provando que materiais de fonte secundária, pode ser classificado como uma liga de acordo com a norma, possibilitando a substituição de ligas primárias, por ligas secundárias. Em um planeta consumista em que vivemos, o uso excessivo de recursos naturais torna-se algo cada vez mais preocupante. O conhecimento, tal como a implantação de meios sustentáveis de produção, é de suma importância à humanidade, como também é uma grande tendência de negócio no ramo industrial, devido a crescente preocupação ambiental em que vivemos hoje em dia.

Concluindo assim, que conceitos de logística reversa, como a reciclagem de alumínio, o metal não-ferroso mais consumido no mundo, é algo relevante a ser estudado.

Palavras-chave: Alumínio; Logística Reversa; Ligas de alumínio; Reciclagem; Sustentabilidade

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alumínio na tabela periódica	15
Figura 2 - Formato dos grãos antes/depois da homogeneização	26
Figura 3 - Granulagem em função do encruamento e da recristalização.....	27
Figura 4 - Fluxo de operação industrial do alumínio secundário	30
Figura 5 - Fluxo reciclagem da lata de alumínio	31
Figura 6 - Escultura em alumínio, Pindamonhangaba.....	34
Figura 7 - Deox.....	35
Figura 8 – Vergalhão	35
Figura 9 – Alumínio Líquido.....	36
Figura 10 – Placa RSI.....	37
Figura 11 – Lingotes.....	38
Figura 12 – Ensaio de Compressão da Peça A	46
Figura 13 – 1ª Análise radiográfica Peça A.....	48
Figura 14 – 2ª Análise Radiográfica Peça A	49
Figura 15 – Análise Radiográfica Peça B.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabelas da composição das diferentes séries dos alumínios para enformação plástica.....	20
Tabela 2- Especificação dos tratamentos por deformação plástica.	21
Tabela 3 – Especificação dos tratamentos térmicos	21
Tabela 4 – Composição ligas de alumínio.....	22
Tabela 5 - Tabela de classificação de sucatas de alumínio.....	32
Tabela 6 – Ligas de alumínio	36
Tabela 7- Comparação química entre as ligas Aldc 3.1 e Aldc 12.....	43
Tabela 8 – Resultados da certificação RoHS da Peça A	44
Tabela 9 - Resultados da certificação RoHS da Peça B	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Trabalho a frio: Porcentagem de redução a partir do estado recozido	25
Gráfico 2 - Índices de reciclagem da lata de alumínio para bebidas – 1991 a 2015 (em %) ...	33
Gráfico 3 – Tensão Deformação Peça A	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Logística Reversa: Razões, conceitos e seus impactos ambientais.	14
2.2 O alumínio	15
2.2.1 Impactos ambientais causados durante a extração da bauxita.....	16
2.2.2 Benefícios do alumínio.....	17
2.3 Ligas de alumínio	18
2.3.1 Definição e fatores que influenciam sua escolha.....	18
2.3.2 Designação e nomenclatura das ligas	20
2.3.3 Propriedades mecânicas.....	22
2.3.4 Têmperas e tratamentos térmicos	24
2.4 Produção Reversa do Alumínio.....	28
2.4.1 Motivos para reciclar	29
2.4.2 Fluxo da logística reversa do alumínio.....	29
2.4.2.1 Classificação das sucatas	31
2.4.3 Reciclagem do alumínio no brasil	33
2.4.3.1 Pindamonhangaba: Capital da reciclagem do alumínio	33
2.4.3.2 Produtos obtidos através da reutilização do alumínio	34
2.4.4 Você pode participar desse fluxo reverso.....	38
3 METODOLOGIA.....	39
3.1 Técnica de Pesquisa.....	39
3.2 Coleta de Dados.....	39
3.3 Métodos de análise	39
4. DESENVOLVIMENTO.....	40
4.1 Caso prático	40
4.1.1 Metodologia do desenvolvimento	40
4.1.1.1 Análise de Composição Química do material:	40
4.1.1.2 Análise de Resistência Mecânica da peça:	41
4.1.1.3 Análise Radiográfica da peça:	41
4.2 Resultados e Discussão.....	41
4.2.1 Descrição das peças	41
4.2.1.1 Composição química:	42
4.2.1.2 Teste RoHS.....	44

4.2.1.3 Resistência mecânica.....	46
4.2.1.4 Análise Radiográfica - Porosidade (raio x)	48
5 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Desde a segunda revolução industrial, a fabricação de metais passou a tomar grandes proporções, devido aos novos processos de produção e pela inserção de máquinas neste meio.

Hoje é fácil perceber que o metal está presente em quase todos os segmentos da indústria. O alumínio é o metal não-ferroso mais consumido no mundo. Sua produção mundial em 2007 foi de aproximadamente 38 milhões de toneladas. Para o mesmo ano, a produção mundial de alumínio secundário (reciclado) foi de aproximadamente 18 milhões de toneladas (IAI, 2009).

Estima-se que, para o ano de 2020 o consumo de alumínio seja de 70 milhões de toneladas, sendo que 30 milhões de toneladas provirão da reciclagem. Segundo Bertram, no ano de 2004 existiam no mundo 1200 plantas de reciclagem de alumínio e 200 plantas de alumínio primário (BERTRAM, 2017).

Embora os metais trouxessem uma grande evolução para o mundo. Sua inserção em massa no mercado mundial causa um grande impacto ambiental, social e econômico. Logicamente, uma grande produção de alumínio convencional, impacta em um alto índice de sucatas geradas pelo seu consumo, aumentando o volume de lixo enviado aos aterros sanitários, assim diminuindo a qualidade ambiental de nossas cidades. Sem contar que as explorações de novas jazidas de minérios são excessivamente exploradas para esse fim. (ABRALATAS, 2017). Devido a esses fatos, é evidente que a logística reversa, que basicamente define-se pelo caminho reverso dos produtos, ou seja, sua reutilização, é de suma importância para a diminuição desses índices.

No Brasil, a reciclagem do alumínio tem início com a própria implantação da sua indústria na década de 20. Naquela época, a matéria prima utilizada na fabricação de utensílios eram sucatas importadas de diversos países. Atualmente, o Brasil é líder mundial na reciclagem de latas de alumínio, reciclando aproximadamente 198,8 mil toneladas. Isso corresponde a um índice de 98,2% do total de latas produzidas no país. Apesar do alto índice da reciclagem de latas, no mundo somente 31,1% do alumínio consumido em produtos domésticos é reciclado (ABAL, 2017).

O principal objetivo deste trabalho é evidenciar a viabilidade das ligas de alumínio secundário (reciclado), comparando-as com ligas convencionais. Mostrando sua vasta aplicação no mercado, e seu impacto reduzido sob o meio ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Artigos e trabalhos que envolvem a logística reversa, reciclagem do alumínio, aspectos sociais e ambientais da utilização do alumínio secundário (reciclado), e análises técnicas das propriedades mecânicas e químicas do material, serviram como embasamento deste trabalho.

2.1. Logística Reversa: Razões, conceitos e seus impactos ambientais.

A logística reversa é, nada mais, que o caminho reverso dos produtos, ou seja, área que trata do fluxo físico de produtos, embalagens e outras matérias desde o ponto de consumo até o local de origem. Essa prática surgiu a partir da necessidade de se dar um destino melhor as sucatas descartadas na natureza. A implantação desse sistema é um grande passo para o desenvolvimento sustentável, pois viabiliza a economia de matéria prima oriunda da natureza. Lacerda (2002 apud GARCIA, 2006, p.4) define que:

“Logística reversa pode ser entendida como um processo complementar à logística tradicional, pois enquanto a última tem o papel de levar produtos de sua origem dos fornecedores até os clientes intermediários ou finais, a logística reversa deve completar o ciclo, trazendo de volta os produtos já utilizados dos diferentes pontos de consumo a sua origem. No processo da logística reversa, os produtos passam por uma etapa de reciclagem e voltam novamente à cadeia até ser finalmente descartado, percorrendo o “ciclo de vida do produto”

A partir da afirmação de Lacerda, Leite e Brito (2003, p.4), ressalta a logística inversa (reversa) da seguinte forma:

A logística reversa pode, portanto, ser entendida como a área da logística empresarial que visa equacionar os aspectos logísticos do retorno dos bens ao ciclo produtivo ou de negócios através da multiplicidade de canais de distribuição reversos de pós-venda e de pós-consumo, agregando-lhes valor econômico, ecológico, legal e de localização.

A expressão logística reversa se encontra hoje em evidência, devido a seus benefícios econômicos e ambientais.

A consciência do desperdício e a preocupação com o meio ambiente estão contribuindo para a integração da logística empresarial com o sistema de gestão ambiental e, conseqüentemente, para o desenvolvimento de canais de retorno, o que permite novas oportunidades de negócio (BALLOU, 2010).

Para Rogers e Tibben-Lembke e Muller (apud GARCIA, 2006, p. 6), os principais motivos que levam as empresas a atuarem em Logística Reversa são:

1. Legislação Ambiental que força as empresas a retornarem seus produtos e cuidar do tratamento necessário;
2. Benefícios econômicos do uso de produtos que retornam ao processo de produção, ao invés dos altos custos do correto descarte do lixo;

3. A crescente conscientização ambiental dos consumidores;
4. Razões competitivas – Diferenciação por serviço;
5. Limpeza do canal de distribuição;
6. Proteção de Margem de Lucro;
7. Recaptura de valor e recuperação de ativos.

A razão legislativa diz a respeito da Lei federal nº 12305/2010 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada em 2010, a qual as empresas devem seguir. De acordo com a PNRS, a logística reversa pode ser definida como (BRASIL, 2010)

“Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”.

2.2 O alumínio

A história do alumínio no mundo moderno é mais recente do que imaginávamos, sendo que ele não se encontra na natureza em forma metálica. Foi somente em 1824 que o dinamarquês Hans Christian Oersted descobriu uma maneira de isolar o alumínio na forma em que conhecemos hoje (ECOMARAPENDI, 2017).

Sendo o metal mais abundante encontrado em nossa natureza e o terceiro elemento químico mais presente na mesma, o alumínio é um metal representativo que se encontra no grupo Boro (grupo 13) na tabela periódica. Em suas características possui número atômico 13 e massa 26,98 u.a. (INFOMET, 2017).

Figura 1: Alumínio na tabela periódica.

Abundância (mg/kg)	8.23×10^4	Número Atômico	13
Estado de oxidação	+3	Ponto de Fusão ($^{\circ}\text{C}$)	660
Massa Atômica	26.981 538 6 (8)	Ponto de Ebulição ($^{\circ}\text{C}$)	2519
Configuração Eletrônica	[Ne]3s ² 3p ¹	Densidade (g/cm ³)	2.7
	Al	Símbolo	

Fonte – Quimlab (2017)

O alumínio é extraído a partir de alguns minérios, o principal deles é a bauxita. Estima-se que as reservas mundiais de bauxita totalizem 27,1 bilhões de toneladas, sendo que 7% disto encontra-se no Brasil. Uma grande reserva de bauxita no Brasil é a de Poços de Caldas (MG) (ECYCLE, 2013).

2.2.1 Impactos ambientais causados durante a extração da bauxita

Importante destacarmos também que o processo de extração desse minério é uma atividade muito intensa, o que provoca impactos profundos no solo e nos corpos hídricos. Para obter o alumínio é necessário que a bauxita passe por um processo de refino, onde a mesma se resulta em um pó branco, a alumina (óxido de alumínio (Al_2O_3)). Depois disso a partir de um processo eletroquímico ela é transformada em alumínio metálico puro, este processo se chama Bayer (ECYCLE, 2013).

- Energia:

Uma característica do alumínio é sua instabilidade, isso faz com que a energia necessária para produzi-lo seja extremamente alta. Gasta-se por volta de 16,5kWh para produzir um quilo de alumínio, através da alumina. A energia gasta para extrair a alumina é tão alta que, em 2006, o gasto ficou em torno de 25983 GWh, o necessário para produzir 1,6 milhões de toneladas de alumínio. Energia correspondente a 6% de toda a energia elétrica gerada no mesmo ano. Devido a este imenso gasto de energia, as plantas de produção de alumina contêm suas exclusivas estações geradores de energia, na maior parte usa-se a energia hidroelétrica, que ao contrário do que muitos pensam não se trata de uma fonte energética “limpa” (ECYCLE, 2013).

- Gases Poluentes:

Encontramos, também, na obtenção do alumínio, a partir da extração da bauxita, a emissão de gases poluentes como o gás carbônico (CO_2) e os perfluorcarbonetos (PFCs). Em 2010 durante a produção de 1,53 milhão de toneladas foi emitida cerca de 2,54 milhões de toneladas desses gases (ECYCLE, 2013).

- A Lama Vermelha:

Nome popular destinado ao resíduo insolúvel que é gerado durante a extração da alumina, na etapa que recebe o nome de clarificação, dentro do processo Bayer. Essa lama é composta de elementos como o ferro, titânio, sílica e o alumínio que não é extraído com sucesso. Esta lama é composta de partículas alcalina (pH entre 10 e 13), essa alcalinidade, por ser alta, causa queimaduras quanto em contato com a pele. A quantidade desse rejeito, lama vermelha, produzido durante a extração da alumina gira em torno de uma a duas toneladas de lama para cada tonelada de alumina, esse número varia de acordo com a qualidade da bauxita. Não se sabe ao certo o número desse rejeito que é produzido anualmente, mas algumas referências acreditam que este número varia entre 30 a 50 milhões de toneladas. Apesar da Environmental Protection Agency (EPA), a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, não considerar esse rejeito como um produto tóxico, a alcalinidade da lama, devido aos metais presente na mesma,

tem influência muito forte ao meio, quando em contato com organismos vivos, podendo alterar sua estabilidade e suas propriedades. O processo mais comum para se tratar essa lama é o método úmida que consiste enriquece-la com água e dispor essa solução a sedimentação, formando grandes lagoas. Ao fundo dessas lagoas são colocados um tipo de plástico impermeável afim de não deixar a lama se infiltrar no lençol freático. Porém, como podemos observar, este método ainda causa grandes impactos ao ambiente. Existem estudos e pesquisas para tratar essa lama de formar mais consciente, como possíveis aplicações a construção civil, utilização em cerâmica, tratamento de superfícies e efluentes (ECYCLE, 2013).

2.2.2 Benefícios do alumínio

O alumínio tem sido utilizado em larga escala, pois apresenta positivas características para seu uso e produção. Observamos que, em seu formato metálico e puro, ele apresenta, segundo Abal (2017), as seguintes características:

- 100 % reciclável:
Possui a habilidade de ser reciclado infinitamente, mantendo suas propriedades físicas-químicas.
- Abundante na natureza:
Como citado anteriormente, é o metal mais presente na natureza.
- Formação de ligas:
A partir da adição de outros elementos ao material, é possível obter ligas metálicas, com características e propriedades específicas para o tipo desejado de produto e/ou trabalho.
- Fácil de ser processado e moldado.
- Resistência a corrosão:
Como o alumínio possui uma camada fina de óxido, esta protege o material de oxidações, fazendo com que o material possua uma característica de autoproteção contra a corrosão.
- Força e alto ponto de fusão:
O alumínio apresenta ponto de fusão de 660°C, o que é relativamente baixo quando comparado ao do aço (1570°).
- Impermeável e inodoro.

- Não inflamável:
O metal não produz faíscas, o que faz dele ótimo para a produção de reservatórios de estocagem de substâncias inflamáveis e explosivas, como por exemplo caminhões tanques.
- Peso específico:
Sua leveza é uma de suas maiores características. Tendo seu peso específico de 2,70 g/cm³, ou seja, 65% mais leve que o aço e 70% mais leve que o cobre.
- Condutibilidade elétrica:
O alumínio puro tem, de acordo com a International Annealed Copper Standard (IACS), uma condutividade de 62%. A qual associada à sua baixa densidade significa que o condutor de alumínio tem a capacidade de conduzir energia tão bem quanto um de cobre, o qual é mais pesado e mais caro.
- Condutibilidade térmica:
4,5 vezes mais alta que a do aço.
- Refletividade:
Possui refletividade acima de 80%, o que beneficia seu uso em luminárias, por exemplo.
- Propriedade antimagnética:
Como o alumínio não é magnético, ele é encontrado frequentemente em equipamentos eletrônicos, como proteção.
- Característica de barreira:
Ótimo para produção de equipamentos ou produtos que tenham a intenção de barrar a luz (ABAL, 2017).

2.3 Ligas de alumínio

2.3.1 Definição e fatores que influenciam sua escolha.

Podemos afirmar que o alumínio apresenta, positivamente, as seguintes características: leveza, ductibilidade, resistência a corrosão, alta condutividade elétrica e térmica, sofre pouca corrosão quando exposto ao ar.

Segundo Callegari (2017):

O alumínio é considerado um material nobre, conferindo qualidade e modernidade aos produtos no qual é utilizado. Com aproximadamente 1/3 da densidade do aço, os limites de escoamento das ligas estruturais são semelhantes aos do aço comum, o que permite construir estruturas resistentes, mais leves e fáceis de manusear

As ligas metálicas são misturas formadas por dois ou mais elementos, sendo que pelo menos um deles é um metal (FOGAÇA, 2017)

Existem diversos fatores que influenciam na escolha da liga a ser utilizada em um produto. Tais como, sua resistência mecânica, composição química, microestrutura (granulometria), processo de fabricação, resistência à corrosão, entre outros fatores.

Segundo Baia, Pereira e Santos (2013):

O alumínio é um elemento que se liga facilmente com vários metais formando assim diversas ligas. Tais ligas tem o objetivo de melhorar certas propriedades mecânicas do alumínio. Naturalmente uma só liga não pode combinar todas as propriedades necessárias para cada aplicação, sendo assim necessário conhecer as vantagens e limitações de cada uma delas para que se possa fazer a melhor seleção para cada aplicação.

Temos então uma divisão dos elementos, onde cada um tem a capacidade de conferir ao material um “benefício” como resistências, fluidez no preenchimento de moldes, etc. Sabe-se que existem infinitas combinações de elementos e composições para a formação de ligas. As Ligas de Alumínio usadas nas indústrias tem as seguintes configurações:

Elementos Principais: responsáveis pelas propriedades mecânicas como Cobre, Silício, Magnésio, Manganês, Zinco; Elementos Secundários: cujos percentuais são menores e tem como objetivo uma ação específica para se obter determinada propriedade de uso ou característica de fundição como: Níquel, Ferro, Berílio; Elementos modificadores, refinadores ou neutralizadores: usados em pequenos percentuais com a finalidade de alterar a microestrutura, obtendo-se melhores propriedades ou características de processo como Titânio, Sódio, Estrôncio, Boro; Elementos tidos como impurezas: os quais devem ser controlados ou balanceados de maneira mais rigorosa como: Chumbo, Cromo, Cálcio, entre outros, que em geral exercem influência perniciosa sobre certas propriedades ou características de fundição (BAIA; PEREIRA E SANTOS, 2013).

2.3.2 Designação e nomenclatura das ligas

As ligas de alumínio presentes na produção industrial (para trabalho mecânico) são classificadas numericamente. Esses códigos são formados por 4 dígitos, onde cada um deles representa uma característica da liga. Isto foi proposto pela International Alloy Designation System (IADS). Para entender o número do código da liga devemos saber que: o primeiro dígito se trata do elemento de liga principal, observe a Tabela 1. O segundo dígito se relaciona a modificações feitas a liga, onde a original é “0” e as que sofrem modificação apresentam a numeração de 1 a 9. Já os dois últimos dígitos revelam a pureza da liga, por exemplo, a liga 1050 tem uma pureza de 99,50% (NASCIMENTO, 2007).

Tabela 1 - Tabelas da composição das diferentes séries dos alumínios para enformação plástica.

Série	Elemento(s) de liga principal(is)	Outros elementos de liga
1xxx	Alumínio puro	-
2xxx	Cu	Mg , Li
3xxx	Mn	Mg
4xxx	Si	-
5xxx	Mg	-
6xxx	Mg , Si	-
7xxx	Zn	Cu, Mg, Cr, Zr
8xxx	Li, Sn, Fe, Cu e Mn	-
9xxx	Reservada para uso futuro	

Fonte – Nascimento (2007)

As ligas de alumínio podem ser divididas em:

1. Tratáveis termicamente: onde estão incluídas as ligas das séries 2xxx, 6xxx e 7xxx;
2. Não tratáveis termicamente: inclui as 1xxx, 3xxx, 4xxx e 5xxx.

De acordo com o tratamento que recebem as ligas têm uma designação que as caracterizam, por exemplo o AA5003-O, diz a respeito da liga 5083 no estado recozido. Assim temos as designações para tipos de tratamento. O “F” refere as ligas que não sofreram nenhum tipo de tratamento depois de fabricadas. A vogal “O” refere a ligas recozidas com o objetivo de homogeneizar a estrutura e aliviar suas tensões. Já a letra “H”, refere as ligas que recebem trabalho mecânico a frio (encruamento) e é, normalmente, seguida de dois dígitos, no qual o primeiro está relacionado ao tratamento que sofre (tabela 2) e o segundo dígito à diminuição de espessura, por exemplo o H18 corresponde a tensão de cedência obtida com a diminuição de

75% da seção transversal. E a letra “W” significa que a liga foi solubilizada (NASCIMENTO, 2007).

Tabela 2- Especificação dos tratamentos por deformação plástica.

Tipo	Especificação do 1º dígito
H1x	Deformação a frio
H2x	Deformação a frio e recozimento parcial
H3x	Deformação a frio e estabilização

Fonte - Nascimento (2007)

Com a intenção de melhorar algumas características particulares, as ligas sofrem tratamentos térmicos, estes são classificados pela letra T seguida por um ou mais dígitos, observe a Tabela 3.

Tabela 3 – Especificação dos tratamentos térmicos

Tipo	Especificação do 1º dígito
T1	Solubilização parcial e envelhecimento natural
T2	Recozimento
T3	Solubilização total e deformação a frio
T4	Solubilização total e envelhecimento natural
T5	Apenas envelhecimento artificial
T6	Solubilização total e envelhecimento artificial
T7	Solubilização e estabilização
T8	Solubilização, deformação a frio e envelhecimento artificial
T9	Solubilização, envelhecimento artificial e deformação a frio

Fonte - Nascimento (2007)

Os dígitos que acompanham a letra T podem estar relacionados com a diminuição de espessura por deformação plástica (T85: deformação a frio 5%), com o tipo de alívio de tensões (Tx51: alívio de tensões por tração, o Tx52 a alívio de tensões por compressão e o Tx53 a alívio

de tensões por tratamento térmico) ou pode se referir também a tratamentos térmicos realizados pelo operador (NASCIMENTO, 2007).

Sendo assim existem as ligas que, de acordo com as normas, se caracterizam com as seguintes composições, veja a Tabela 4.

Tabela 4 – Composição ligas de alumínio

Liga ABNT/ASTM	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)	Outros Cada (%)	Outros Total (%)
1050	99,50 min.	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,03	0,03	-
1100	99,00 min.	0,95 (Si+Fe)		0,05 0,20	0,05			0,10		0,05	0,15
1200	99,00 min.	1,00 (Si+Fe)		0,05	0,05			0,10	0,05	0,05	0,15
1350	99,50 min.	0,10	0,40	0,05	0,01		0,01	0,05		0,03	0,10
2011	restante	0,40	0,70	5,00 6,00				0,30		0,05	0,15
3003	restante	0,60	0,70	0,05 0,20	1,00 1,50			0,10		0,05	0,15
3104	restante	0,60	0,80	0,05 0,25	0,80 1,40	0,80 1,30		0,25	0,10	0,05	0,15
3105	restante	0,60	0,70	0,30	0,30 0,80	0,20 0,80	0,20	0,40	0,10	0,05	0,15
5005	restante	0,30	0,70	0,20	0,20	0,50 1,10	0,10	0,25		0,05	0,15
5052	restante	0,25	0,40	0,10	0,10	2,20 2,80	0,15 0,35	0,10		0,05	0,15
6060	restante	0,30 0,60	0,10 0,30	0,10	0,10	0,35 0,60	0,05	0,15	0,10	0,05	0,15
6061	restante	0,40 0,80	0,70	0,15 0,40	0,15	0,80 1,20	0,04 0,35	0,25	0,15	0,05	0,15
6063	restante	0,20 0,60	0,35	0,10	0,10	0,45 0,90	0,10	0,10	0,10	0,05	0,15
6101	restante	0,30 0,70	0,50	0,10	0,03	0,35 0,80	0,03	0,10		0,03	0,10
6261	restante	0,40 0,70	0,40	0,15 0,40	0,20 0,35	0,70 1,00	0,10	0,20	0,10	0,05	0,15
6262	restante	0,40 0,80	0,70	0,15 0,40	0,15	0,80 1,20	0,04 0,14	0,25	0,15	0,05*	0,15*
6351	restante	0,70 1,30	0,50	0,10	0,40 0,80	0,40 0,80		0,20	0,20	0,05	0,15
8011	restante	0,50 0,90	0,60 1,00	0,10	0,20	0,05	0,05	0,10		0,05	0,15

* Bismuto (Bi) e Chumbo (Pb) variando de 0,4% a 0,7% cada, não inclusos em outros elementos.

Notas:

1. Os valores mencionados representam limites máximos por elemento químico, salvo quando apontados intervalos entre mínimo e máximo.
2. Composição Química equivalente à norma ASTM B-221 (ABNT-NBR 6834).
3. Os valores indicados não implicam garantia formal.

Fonte – Shockmetals (2017)

2.3.3 Propriedades mecânicas

Essas propriedades são obtidas através de ensaios em amostras que representam o produto. Geralmente os ensaios são de caráter destrutivos, sendo assim não devem ser feitos em produtos acabados, pois assim alterariam suas condições de funcionalidade. Obtém-se corpos-de-prova a partir de amostras que tenham sido elaboradas da mesma maneira que o

produto, exceto no caso de peças forjadas e fundidas. Os ensaios em peças oriundas da fundição são feitos em corpos-de-prova do mesmo vazamento do metal da peça fundida e elaborados ao mesmo tempo. Já nas peças forjadas, os ensaios, normalmente, são feitos por pedaços, que são cortados do mesmo metal da peça.

Encontramos nas propriedades mecânicas os valores garantidos e os típicos. Os valores garantidos são parâmetros mínimos exigido pelas especificações. Os valores típicos são aqueles que se obtêm por meio de dados estatísticos resultantes dos ensaios rotineiros, que garantem, também, que os materiais obedeçam às especificações (ABAL, 2017).

- Limite de resistência a tração:

Tensão máxima que o material resiste, antes de se romper. Ele é calculado a partir da divisão da carga máxima (quilogramas) aplicada durante o ensaio, pela área da seção transversal da peça (milímetros quadrados). No caso do alumínio puro recozido, por exemplo, essa divisão resulta em aproximadamente 48Mpa (4,9 kg/mm²). Este valor pode aumentar em função da liga observada, do trabalho a frio e do tratamento térmico (quando possível) (ABAL, 2017).

- Limite de escoamento:

Tensão na qual o material começa a deformar-se plasticamente, onde para o alumínio temos 0,2% de seu comprimento original, medido de um corpo de prova convencional. Importe que este grau de deformação seja definido, visto as ligas de alumínio não possui um limite de escoamento tão evidente e pronunciado como os demais aços. O alumínio puro possui um limite de escoamento de aproximadamente 12,7 Mpa (1,3 kg/mm²) (ABAL, 2017).

- Alongamento:

Temos o alongamento expresso em porcentagem, relativo ao seu comprimento original medido no próprio corpo de prova. Ele é calculado pela diferença entre os pontos de referência, antes e depois do ensaio de tração. Quanto maior a espessura do corpo de prova, maior será seu alongamento (ABAL, 2017).

- Dureza:

Dureza é a resistência do material em ser perfurado, resistência a penetração. Existem vários métodos que nos permite a determinar a dureza, os mais comuns são os métodos de Rockwell, Vickers e Brinell. Os elementos de liga aumentam muito sua resistência com o alumínio, assim como o endurecimento pelo trabalho a frio e os tratamentos térmicos. As durezas das ligas de alumínio são significativamente mais baixas do que a maioria dos aços (ABAL, 2017).

- Modo de elasticidade

Chamado também de YOUNG, o módulo de elasticidade do alumínio é de 7030 kg/mm². Quando inserimos outros elementos nas ligas não altera consideravelmente este valor, que chega até 7500 kg/mm². Esta propriedade concede ao alumínio, e estruturas feitas do mesmo, a capacidade de reduzir tensões produzidas pela variação de tensão e também a capacidade de amortecer golpes (ABAL, 2017).

- Tensão de fadiga:

Quando há uma aplicação de carga oscilante sobre um material, por um certo número de vezes, podemos presumir que ocorrerá uma falha por fadiga, mesmo que essa tensão seja inferior ao seu limite de resistência à tração. Na maioria das ligas de alumínio não existe um limite inferior de tensão abaixo do qual a fadiga não ocorra, porém podemos definir que quanto menor a tensão aplicada, maior o número de ciclos antes de que ocorra a falha. No alumínio, o limite de resistência chega a 50 milhões de inversão de tensão e pode variar de 25% a 50% da sua tensão de ruptura, dependendo da liga (ABAL, 2017).

- Temperaturas elevadas:

O alumínio se funde a 660°C, e algumas ligas possuem seu ponto de fusão inferior a esse. O alumínio puro e suas ligas quando permanecem sob tensão, durante um longo período de tempo, em temperaturas acima de 200°C sofre um efeito que chamamos de fluência. Este efeito faz com que o material perca parte de sua resistência, ficando sujeitas a uma pequena deformação plástica. Porém ligas feitas para trabalhar em altas temperaturas, como pistões, retêm suas propriedades de maneira adequada, funcionando dentro da faixa de temperatura especificada (ABAL, 2017).

- Temperaturas baixas:

O alumínio não apresenta característica frágil, quando exposto a temperaturas inferiores a zero. Tem um aumento de resistência, sem interferir em sua ductibilidade. Esta característica faz com que uma liga AlMg seja escolhida para construir tanques soldados usado para armazenar gás metano liquefeito, em temperaturas de -160°C. Os tratamentos térmicos, pelos quais as ligas são submetidas, surgem com o intuito de elevar uma ou mais características particulares (ABAL, 2017).

2.3.4 Têmperas e tratamentos térmicos

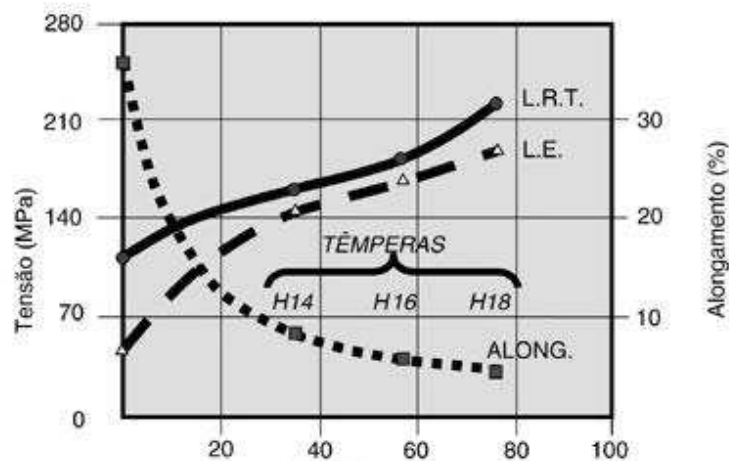
Têmperas:

Condição na qual a liga ou metal é submetida, através de tratamento térmico ou deformação plástica (a frio), o que as proporciona propriedades mecânicas e estruturas

características. Mesmo que a resistência, que a liga apresenta após ser fabricada, possa ser aumentada agregando-se alguns elementos, as propriedades mecânicas da liga não dependem exclusivamente de suas composições químicas, exceto aquelas feitas para fundição. Semelhante ao que ocorre em outros metais, as ligas de alumínio e o próprio alumínio endurecem e aumentam suas resistências quando trabalhadas a frio. Uma característica que se destaca nas ligas de alumínio é a capacidade de algumas adquirir resistência maiores, através do tratamento térmico, daquelas obtidas por trabalho a frio (ABAL, 2017).

No Gráfico 1 podemos analisar o efeito do trabalho a frio sobre as propriedades mecânicas da liga 3003 (liga comumente utilizada e que sobre tratamento a frio).

Gráfico 1 – Trabalho a frio: Porcentagem de redução a partir do estado recozido



Fonte – Abal (2017)

Tratamentos térmicos:

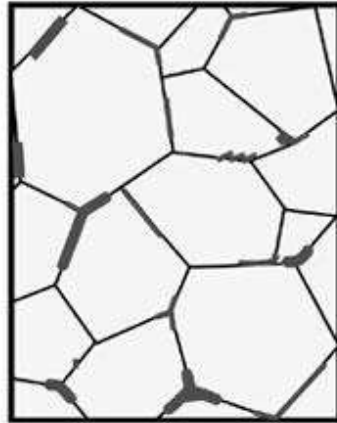
Vimos que existem dois tipos de ligas de alumínio, as tratáveis termicamente, que aceitam o tratamento em solução, e as não-tratáveis termicamente, cujo processo utilizado para melhorar suas propriedades é o trabalho a frio. Veremos a seguir os tipos de tratamentos térmicos mais usados:

- Homogeneização:

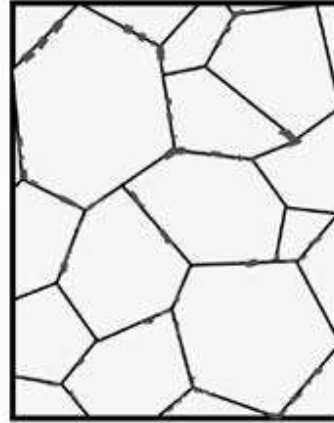
Processo pelo qual a liga passa com o intuito de reduzir, ou remover totalmente, as segregações, produzir estruturas mais estáveis e aumentar o controle de algumas características metalúrgicas, como as propriedades mecânicas, tamanho dos grãos, estampabilidade, dentre outras. Quando o trabalho utilizado é a laminação a quente, esse tratamento pode ser feito concomitante ao aquecimento das placas (ABAL, 2017).

Figura 2 - Formato dos grãos antes/depois da homogeneização

Antes da homogeneização:
 β Al-Fe-Si agulhada nos
contornos de grão



Depois da homogeneização:
transformação para
 α Al-Fe-Si arredondada



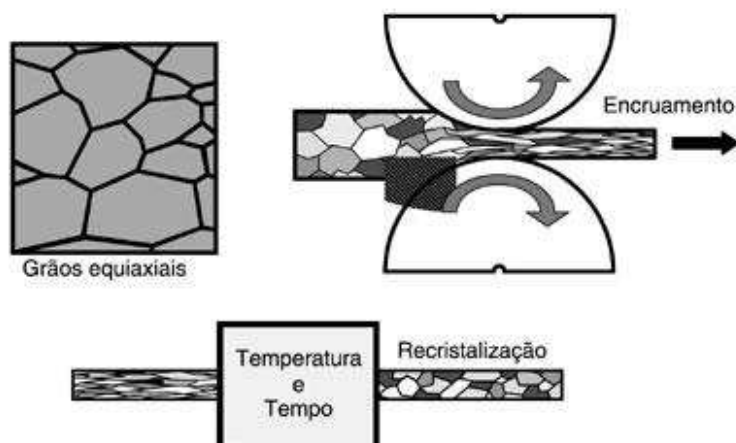
Fonte – Abal (2017)

- **Recozimento pleno:**

São submetidas a esse tratamento, as ligas que precisam aumentar suas resistências mecânicas. O recozimento pleno faz com que as ligas obtenham uma condição de plasticidade máxima do metal, a tempera ‘O’, o que resulta a uma cristalização total do mesmo. O recozimento ocorre da seguinte forma:

1. O metal é aquecido até a faixa de 350°, o que permite o rearranjo de uma nova configuração cristalina, sem deformações;
2. Este processo, chamado de recristalização, elimina o efeito de deformação a frio, deixando o metal mais dúctil. O recozimento bem-sucedido caracteriza-se, somente, pela recristalização primária;
3. Não deve haver superaquecimentos, pois a mesma causa coalescência dos grãos assim como seu crescimento exagerado, também chamado de recristalização secundária, pois existe uma tendência de se desenvolver o defeito “casa de laranja” nos trabalhos subsequentes, principalmente nos de estampagem (ABAL, 2017).

Figura 3 - Granulagem em função do encruamento e da recristalização



Fonte – Abal (2017)

- Reozimento parcial:

Tratamento térmico no qual consiste em uma recristalização parcial do material, onde se obtêm temperas com alongamentos maiores. Este processo facilita, posteriormente, o processo de estampagem, o que confere ao produto final uma maior resistência mecânica. Geralmente são realizados entre 200°C a 280°C, dependendo da porcentagem de redução aplicada no processo de laminação a frio (ABAL, 2017).

- Estabilização:

Depois de um certo tempo a temperatura ambiente, podemos encontrar nas ligas Al-Mg (5xxx), consideráveis perdas de propriedades mecânicas do material deformado a frio. Para eliminar este efeito negativo, o material é aquecido a temperaturas ao redor de 150°C, o que acelera a sua recuperação (temperas H3X). Resultado, este tratamento aumenta a resistência a corrosão, das ligas AlMg, e alivia a tensão residual dos materiais encruados (ABAL, 2017).

- Solubilização/envelhecimento:

As ligas que sofrem este tratamento, têm suas resistências mecânicas aumentadas. O processo ocorre da seguinte forma:

1. O metal sofre um aquecimento uniforme até a faixa de 500°C (cada liga tem sua temperatura exata). Este aquecimento faz com que os elementos de liga se dissolvam na solução sólida (tratamento de solução).
2. Seguido há um resfriamento rápido, geralmente em água, o que serve como prevenção temporária, impedindo a precipitação dos elementos de liga. Esta condição é instável. Gradativamente, os constituintes se precipitam de uma forma

extremamente fina (visível apenas por potentes microscópios), alcançando assim o efeito máximo de endurecimento (envelhecimento). Pode ocorrer, em algumas ligas, este fenômeno espontaneamente alguns dias depois (envelhecimento natural). Já em outras ligas é necessário que se faça um reaquecimento por algumas horas, a cerca de 175°C.

Normalmente as chapas passam por um banho de sal fundido, tratamento que possui alta taxa de calor e fornece suporte ao metal, o que previne possíveis deformações, quando em altas temperaturas. Em perfis extrudados, tubos, forjados e peças fundidas usa-se, normalmente, fornos de circulação de ar forçado.

Dentro os efeitos de um tratamento térmico, completo e correto, estão uma grande redução da ductibilidade e um aumento substancial do limite de resistência a tração. Geralmente os tratamentos ocorrem após uma operação de conformação severa, quando necessária. Normalmente as conformações são feitas antes do tratamento de solução, sendo que existe um acerto posterior para corrigir distorções imprevistas que pode ocorrer na fase de resfriamento. Sendo que, preferencialmente, as conformações devem ocorrer imediatamente após o tratamento de solução, antes da fase de envelhecimento. Quando for difícil conciliar essas fases, é possível retardar o envelhecimento mantendo os componentes resfriados. Na indústria aplicam-se esta técnica em rebites, na indústria aeronáutica (ABAL, 2017).

2.4 Produção Reversa do Alumínio

A reciclagem é uma combinação imensa de vantagens, quando se trata do alumínio essas vantagens são ainda mais visíveis e maiores. Primeiramente podemos destacar a importância dessa atividade em relação aos aspectos sustentáveis da indústria do alumínio, onde se destaca a economia de energia elétrica e da bauxita. Interessante ressaltar também a renda gerada pela atividade, visto que inúmeras famílias vivem da mesma (ABAL, 2017).

2.4.1 Motivos para reciclar

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (2017)

O processo de reciclagem utiliza apenas 5% da energia elétrica e, segundo dados do International Aluminium Institute (IAI), libera somente 5% das emissões de gás de efeito estufa quando comparado com a produção de alumínio primário. O processo diminui o volume de lixo gerado que teria como destino os aterros sanitários. Também estimula a consciência ecológica, incentivando também a reciclagem de outros materiais, seja devido ao seu elevado valor residual ou mesmo por meio de programas de educação ambiental.

Existem diversos meios onde a sucata de alumínio é empregada, por exemplo, na fabricação de diversos itens para vários segmentos, como construção civil, indústria automotiva, embalagens, bens de consumo, assim como serve de matéria prima para a indústria siderúrgica, como desoxidante. Esta possibilidade de o alumínio ser reaplicado em diferentes segmentos, depois de sua reciclagem, é uma grande vantagem (ABAL, 2017).

O alumínio é considerado um material 100% reciclável, pois não há perdas durante sua reciclagem. Quando um quilo de alumínio é reciclado teremos, teoricamente, um quilo de alumínio recuperado (ECYCLE, 2013).

A Ecycle (2017) destaca outras vantagens de se reciclar o alumínio, como:

- O alumínio possui a capacidade de ser reciclado “infinitas vezes”, sem perder suas características;
- No processo de reciclagem do alumínio é gasto apenas 5% da energia necessária para extrair, a mesma quantidade de alumínio, da bauxita;
- A cada tonelada de alumínio reciclado, cerca de nove toneladas de dióxidos de carbono (CO₂) são poupadas.
- Quando se produz uma tonelada de alumínio reciclado, cinco toneladas de bauxitas são preservadas

2.4.2 Fluxo da logística reversa do alumínio

Segundo a descrição de Marcel Popovici (1999), basicamente o fluxo do processo de reciclagem das empresas está dividido nas seguintes etapas, conforme mostrado abaixo na Figura 4.

Figura 4 - Fluxo de operação industrial do alumínio secundário



Fonte - Popovici (1999)

“Reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo o que é jogado fora. A palavra foi introduzida no vocabulário internacional na década de 80. Recycle significa = Re (Repetir) + Cycle (Ciclo)” (NANI, 2007, p. 11)

A sucata do alumínio tem origem da produção de produtos semimanufaturados e pelo descarte, através da população, de bens de consumo e produtos acabados (ABAL, 2017).

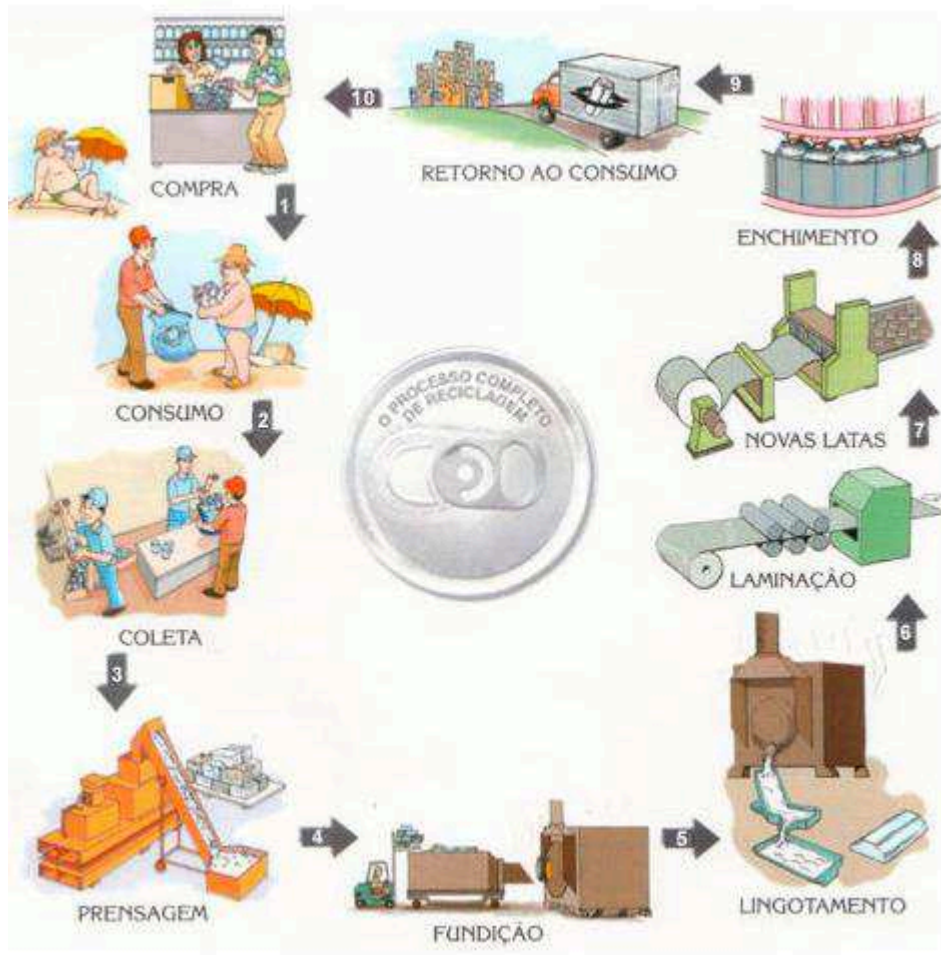
De acordo com o autor Eduardo Bernhardt (2017), as etapas do fluxo do alumínio são:

- 1º – As latas e outros materiais de alumínio, que já foram usados e descartados, são encaminhados para a reciclagem. A coleta seletiva do lixo é de fundamental importância nesta etapa inicial, pois separa o lixo orgânico do reciclável.
 - 2º – Ocorre a separação das impurezas;
 - 3º – Todo alumínio é picotado;
 - 4º – Este material já limpo é fundido a 700°C;
 - 5º – O processo de fundição (derretimento) gera o alumínio líquido;
 - 6º – O alumínio líquido é transformado em lingotes ou chapas de alumínio. Estes são vendidos para as indústrias que fabricam produtos e embalagens de alumínio. Assim, o material retorna a cadeia produtiva.
- Do descarte a reutilização (fabricação de produtos com alumínio reciclável), o processo dura de 30 a 40 dias.

No Brasil a logística reversa das latas de alumínio é o maior exemplo de reciclagem deste material. Tanto que surgiu um ciclo praticamente estanque: a maior parte do alumínio utilizado na fabricação de latas acaba retornando à indústria para a fabricação de chapas ou outros produtos parecidos. Como exemplo, na figura 5, temos o fluxo da reciclagem de sucatas de latas de bebidas, até a fabricação de uma nova lata.

Segundo Vieira e Paula (apud VALENTIM, 2011, p. 30), que estudaram o campo organizacional da reciclagem da lata de alumínio no estado do Rio de Janeiro, foi constatado que o maior interesse, ou seja, o que move a reciclagem da lata é o interesse econômico.

Figura 5 - Fluxo reciclagem da lata de alumínio



Fonte: Abal (2017)

2.4.2.1 Classificação das sucatas

Por conta da diversidade produtos existentes, são gerados uma vasta quantidade de tipos de sucatas. Para facilitar e garantir a transparências nas relações comerciais, dentro da indústria da reciclagem, existe uma tabela elaborada pela Comissão de Reciclagem da ABAL. Chamada de Tabela de Classificação das Sucatas de Alumínio, ela traz as denominações e especificações dos 20 tipos de sucatas que são observadas no mercado brasileiro, com indicação de suas classificações recomendada pelo Institute of Scrap Recycling Industries (ISRI) (ABAL, 2017).

Tabela 5 - Tabela de classificação de sucatas de alumínio

Tabela de Classificação de Sucatas de Alumínio	
Tipo	Descrição
Bloco (<i>Tense/Trump</i>)	Blocos de alumínio isentos de contaminantes (ferro e outros), com teor máximo de 2% de óleos e/ou lubrificantes
Borra (<i>Thirl</i>)	Borra de alumínio com teores variáveis e percentual de recuperação a ser estabelecido entre vendedor e comprador
Cabos com alma de aço (<i>Taste</i>)	Retalhos de cabos de alumínio não ligados, usados, com alma de aço
Cabos sem alma de aço (<i>Taste</i>)	Retalhos de cabos de alumínio não ligados, usados, sem alma de aço
Cavaco (<i>Teens/Telic</i>)	Cavacos de alumínio de qualquer tipo de liga, com teor máximo de 5% de umidade/óleo, isentos de contaminantes (ferro e outros)
Chaparia (<i>Taint/Tabor</i>)	Retalhos de chapas e folhas, pintadas ou não, com teor máximo de 3% de impurezas (graxa, óleo, parafusos, rebites etc.); chapas usadas de ônibus e baús, pintadas ou não; tubos aerossol (sem cabeça); antenas limpas de TV; cadeiras de praia limpas (isentas de plástico, rebites e parafusos)
Chaparia Mista (<i>Taint/Tabor</i>)	Forros, fachadas decorativas e persianas limpas (sem cordões ou outras impurezas);
Chapas off-set (<i>Tablet/Tabloid</i>)	Chapas litográficas soltas, novas ou usadas, da série 1000 e/ou 3000, isentas de papel, plástico e outras impurezas
Estamparia branca (<i>Taboo</i>)	Retalhos de chapas e folhas, sem pintura e outros contaminantes (graxa, óleo, parafusos, rebites etc.), gerados em atividades industriais
Latas prensadas (<i>Taldack</i>)	Latas de alumínio usadas decoradas, prensadas com densidade entre 400 kg/m ³ e 530 kg/m ³ , com fardos paletizados ou amarrados em lotes de 1.500 kg, em média, com espaço para movimentação por empilhadeira, teor máximo de 2,5% de impurezas, contaminantes e umidade
Latas soltas ou enfardadas (<i>Talc</i>)	Latas de alumínio usadas decoradas, soltas ou enfardadas em prensa de baixa densidade (até 100kg/m ³), com teor máximo de 2,5% de impurezas, contaminantes e umidade
Panela (<i>Taint/Tabor</i>)	Panelas e demais utensílios domésticos ("alumínio mole"), isentos de cabos – baquelite, madeira, etc. – e de ferro – parafusos, rebites etc.
Perfil branco (<i>Tread</i>)	Retalhos de perfis sem pintura ou anodizados, soltos ou prensados, isentos de contaminantes (ferro, óleo, graxa e rebites)
Perfil misto (sem identificação específica)	Retalhos de perfis pintados, soltos ou prensados, com teor máximo de 2% de contaminantes (ferro, óleo, graxa e rebites)
Pistões (<i>Tarry</i>)	Pistões automotivos isentos de pinos, anéis e bielas de ferro, com teor máximo de 2% de óleos e/ou lubrificantes
Radiador alumínio-alumínio (<i>Taint/Tabor</i>)	Radiadores de veículos automotores desmontados, isentos de cobre, "cabeceiras" e outros contaminantes (plástico e ferro)
Radiador alumínio-cobre (<i>Talk</i>)	Radiadores de veículos automotores desmontados, isentos de "cabeceiras" e outros contaminantes (plásticos e ferro)
Retalho industrial branco de chapa para lata (<i>Take</i>)	Retalhos de produção industrial de latas e tampas para bebidas, soltos ou prensados, isentos de pintura ou impurezas
Retalho industrial pintado de chapa para lata (<i>Take</i>)	Retalhos pintados de produção industrial de latas e tampas para bebidas, soltos ou prensados, isentos de impurezas
Telhas (<i>Tale</i>)	Retalhos de telhas de alumínio, pintados em um ou ambos os lados, isentos de parafusos ou rebites de ferro, revestimentos de espuma ou assemelhados

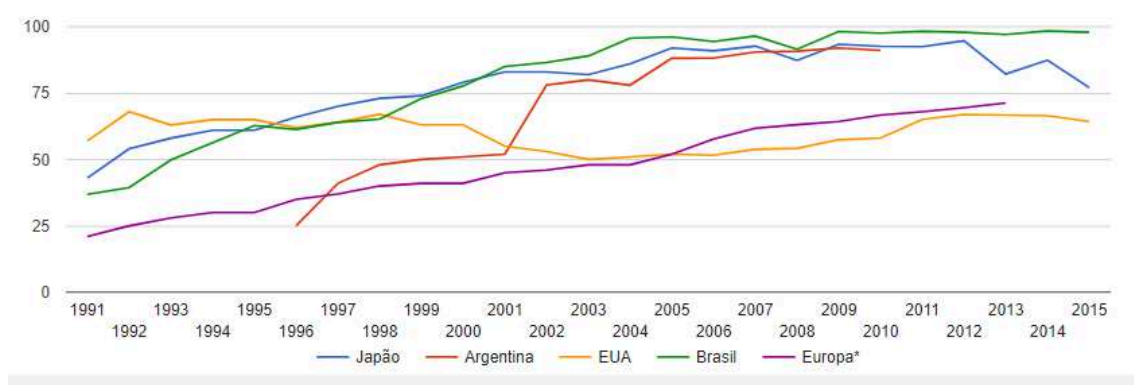
Fonte- Abal (2017)

2.4.3 Reciclagem do alumínio no Brasil

Vimos que no Brasil se recicla praticamente toda sucata disponível. A relação entre o volume reciclado e o consumo doméstico de alumínio indica um percentual de 38,5%, índice superior a média mundial, de 27,1% (base 2014). Isso reflete a posição do Brasil de frente aos outros países, sendo o líder nesse movimento. (ABAL, 2107) Veja os índices do gráfico 3.

Em 2015, por exemplo, o país reciclou 602 mil toneladas de alumínio (ABAL, 2017), onde 292,5 mil toneladas eram latas de alumínio para bebidas, equivalente a 97,9 % dessas embalagens. Economia essa que traz grandes benefícios ecológicos, pois essa quantidade é equivalente a 20% do horário de verão, fato importante na redução dos gases de efeito estufa (ABRALATAS, 2017). Índice que mantém o Brasil entre os países líderes em reciclagem de latinhas desde 2001 (ABAL, 2017).

Gráfico 2 - Índices de reciclagem da lata de alumínio para bebidas – 1991 a 2015 (em %)



Fonte – Abralatas (2017)

2.4.3.1 Pindamonhangaba: Capital da reciclagem do alumínio

Em 2003, foi concebido a cidade o título de capital de reciclagem do alumínio, pela ABAL, reconhecendo a importância da cidade neste ramo. Como símbolo foi entregue à cidade uma escultura feita em alumínio, que representa o símbolo internacional de reciclagem do mesmo. Na Figura 6 podemos observar a obra, feita pelo catarinense Hans Goldammer, que tem cerca de 4,5 metros de altura e se encontra às margens da rodovia Presidente Dutra (ABAL, 2017).

Pindamonhangaba começou a participar da história da reciclagem do alumínio na década de 70, quando a Alcan (atual Novelis) instalou uma unidade de sua fábrica na cidade. Na época eram produzidas chapas para fabricar latas de bebidas, o que estimulou o surgimento

do polo de reciclagem. Em 1996 a Latasa também chegou a cidade, instalando seu centro de reciclagem. Em 1997, a Recipar (Latasa) chegou a Pindamonhangaba e, então, em 1998, foi a vez da Alcan (hoje Novelis) instalar ali seu centro de reciclagem (ABAL, 2017).

Ainda segundo os dados da Abal, atualmente o centro de Pindamonhangaba reúne duas empresas – a Novelis e a Latasa Reciclagem, que em 2010 adquiriu os ativos da Aleris Reciclagem –, que processam aproximadamente 70% de toda a sucata recuperada no Brasil.

Figura 6 - Escultura em alumínio, Pindamonhangaba



Fonte – Abal (2017)

2.4.3.2 Produtos obtidos através da reutilização do alumínio

Segundo a Latasa a partir da coleta seletiva é produzido, no polo de Pindamonhangaba, subprodutos para suprir a indústria do metal (LATASA, 2017):

- Deox: Alumínio utilizado na produção do aço e na desoxidação das indústrias siderúrgicas. Tem o formato de meia-esfera

Figura 7 - Deox



Fonte – Latasa (2017)

- Vergalhão: Produzidos em diversas bitolas, o vergalhão de alumínio se apresenta em bobinas tipo jumbo, em diversas ligas e têmperas ou conforme especificar o cliente.

Figura 8 – Vergalhão



Fonte – Latasa (2017)

- Ligas de alumínio: produzidas em diversas composições, podemos observar as ligas existente na Tabela 6.

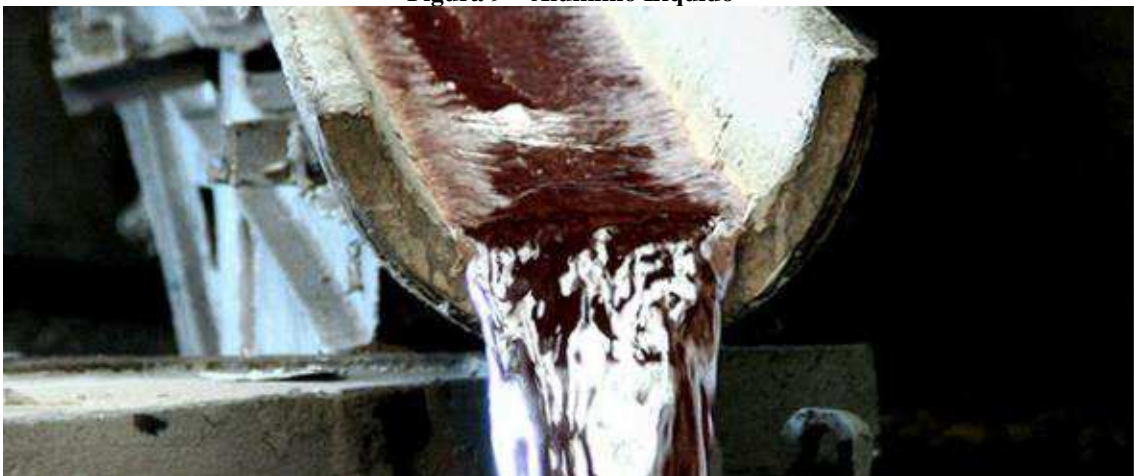
Tabela 6 – Ligas de alumínio

CODIFICAÇÃO DAS LIGAS – Latasa Reciclagem	ELEMENTOS									OUTROS	
	Si%	Fe%	Cu%	Mn%	Mg%	Zn%	Ni%	Sn%	Ti%	CADA	TOTAL
IB-150	11,00/13,00	1.30	1.30	0.35	0.30	0.50	1.00	0.15	-	-	0.50
IB-151	11,00/13,00	0.50	0.30	0.35	0.10	0.25	0.30	0.15	-	-	0.25
IB-152	7,50/9,50	1.30	3,00/4,00	0.50	0.10	3.00	0.50	0.35	-	-	0.50
IB-153	11,00/13,00	1.30	1.00	0.35	0.10	0.50	0.50	0.15	-	-	0.25
IB-159	5,50/6,50	1.20	3,00/4,00	0.80	0.10/0,50	2.00	0.50	-	0.25	-	0.50
IB-169	9,00/10,00	1.30	0.60	0.35	0.40/0,60	0.50	0.50	0.15	-	-	0.25
IB-178	6,50/7,50	0.60	0.25	0.35	0.20/0,45	0.35	-	-	0.25	0.05	0.15
IB-304	4,50/6,00	2.00	0.60	0.35	0.10	0.50	0.50	0.15	-	-	0.25
IB-308	7,50/9,50	2.00	3,00/4,00	0.50	0.10	3.00	0.50	-	-	-	0.50
IB-326	5,50/6,50	1.00	3,00/4,00	0.50	0.10	1.00	0.35	0.35	0.25	-	0.50
IB-336	6,50/7,50	0.20	0.20	0.10	0,25/0,45	0.10	-	-	0.20	0.05	0.15
IB-329	5,50/6,50	1.20	3,00/4,00	0.80	0,10/0,50	1.00	0.50	-	0.25	-	0.50

Fonte – Latasa (2017)

- Alumínio líquido: é utilizado como base para a fabricação de outros produtos, como os lingotes, por exemplo. O alumínio líquido tem entrega em hora pré-determinada.

Figura 9 – Alumínio Líquido



Fonte – Latasa (2017)

- Placa RSI: uma das formas em que os produtos são fundidos para serem comercializados. A placa pode ser produzida de alumínio líquido ou Dross. O formato é feito para facilitar o transporte, refusão ou transformação do metal. A Placa RSI é produzida em vários tamanhos e de diferentes ligas, de acordo com a necessidade do cliente. As peças costumam ter entre 400 a 700 kg.

Figura 10 – Placa RSI



Fonte - Latasa (2017)

- Lingotes: Feito a partir do metal fundido. São produzidos lingotes à base de alumínio fundido com a forma ideal para o manuseio, transporte e, principalmente para a refusão ou transformação em novos produtos. Os lingotes comumente usados por indústrias de alumínio secundário. São produzidos em diversos tamanhos - nos formatos de 6, 8 e 10 Kg - e com diferentes ligas, atendendo às necessidades de cada cliente. As peças são entregues em fardos, embalados com proteção plástica, contendo o volume de 500 a 1.000 kg ou conforme especificação do cliente.

Figura 11 – Lingotes



Fonte – Latasa (2017)

2.4.4 Você pode participar desse fluxo reverso

Alumínio reciclado no Brasil é, sem dúvidas, uma bem-sucedida prática que envolve a indústria privada, o governo e a sociedade. Todos podem contribuir para esse movimento, o qual se tornou numa cadeia cheia de benefícios para o meio ambiente e muitas famílias. Condomínios, empresas e clubes podem aderir a esse movimento organizando programas de descarte seletivo de lixo, assim facilita a coleta em bairros e cidades nos quais existam esse serviço público. (ABAL, 2017)

De acordo com a Associação Brasileira de Alumínio (Abal, 2017):

“Nos locais onde não há coleta seletiva municipal podem ser atendidos por cooperativas de catadores ou por compradores de sucata. O site do Cempre – Compromisso empresarial para reciclagem (www.cempre.org.br) possui um sistema de pesquisa de cooperativas e sucateiros.”

3 METODOLOGIA

3.1 Técnica de Pesquisa

Tendo como objetivo principal deste trabalho, evidenciar a viabilidade da confecção de ligas de alumínio dispendo como mecanismo evolutivo, a logística reversa dos materiais. Este trabalho irá declarar o tema por via de uma pesquisa descritiva, onde dados técnicos e descritivos serão relatados, afim de mostrar a delimitação do tema, contudo sua importância.

3.2 Coleta de Dados

A coleta de dados foi feita a partir de pesquisas bibliográficas, observações diretas, análises de experimentos já feitos anteriormente e pesquisa experimental. O local em que ocorreu a coleta de dados, ou seja, o local onde foi feita as pesquisas experimentais é a empresa responsável por utilizar material reciclado na produção de peças essenciais e de larga escala.

3.3 Métodos de análise

Para análise dos resultados, levaremos em consideração os dados e afirmações levantadas em artigos e obras de autores citados anteriormente. Assim como pesquisas reveladas por associações competentes ao assunto.

Será apresentado também especificações técnicas, a partir de dados internacionais de normatização de ligas de alumínio, afim de avaliar e comparar os resultados obtidos através das pesquisas experimentais executadas no desenvolvimento deste trabalho.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Caso prático

Além dos dados levantados por base de pesquisa descritiva de artigos, normas e processos contidos na literatura. Este trabalho apresenta também como resultado de pesquisa, parte do desenvolvimento de duas peças manufaturadas com alumínio de fonte secundária, e que já estão sendo introduzidas em produtos atualmente produzidos em larga escala.

Para garantir o sigilo dos dados e informações das empresas envolvidas neste desenvolvimento, tanto o nome das peças quanto os nomes das empresas não serão mencionados neste trabalho.

Inicialmente para se produzir uma peça de material de fonte secundária, é necessário ter conhecimento sobre qual liga é necessária para o projeto. Assim como descrito anteriormente neste trabalho, as ligas de alumínio são classificadas conforme a norma prescreve, cabe então ao fabricante e também o cliente, verificar se o material se enquadra realmente nos requisitos da liga solicitada.

Neste trabalho, foi feita análise de composição química, resistência mecânica e análise radiográfica da peça para comprovar sua eficácia quando produzida com material secundário.

4.1.1 Metodologia do desenvolvimento

4.1.1.1 Análise de Composição Química do material:

A composição química das ligas foi analisada por métodos precisos de verificação, como a espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES), cromatografia gasosa com espectrometria de massa (GC-MS), e a espectroscopia de absorção no ultravioleta e visível (UV-VIS), para identificar diferentes substâncias dos corpos de prova confeccionados conforme a norma prescreve.

O material também foi analisado por laboratórios certificados para aferir os níveis de substâncias perigosas que o mesmo apresenta. Validando o material da peça na diretiva europeia Rohs (Restriction of Certain Hazardous Substances), que proíbe a utilização de algumas substâncias em processos de fabricação de produtos, tais como: cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cromo hexavalente (Cr(VI)), bifenilos polibromados (PBBs), éteres difenil-polibromados (PBDEs) e chumbo (Pb).

A comparação dos resultados obtidos nos testes foi feita com base na norma coreana D 2331 (2009) - Aluminium alloy ingots for die casting e D 6006 (2009) - Aluminium alloys die castings.

4.1.1.2 Análise de Resistência Mecânica da peça:

A resistência mecânica foi verificada por ensaios de compressão, utilizando uma máquina de ensaio mecânico modelo DUT-51CK, da marca Daekyung, de capacidade 5 ton., diretamente nas peças acabadas.

4.1.1.3 Análise Radiográfica da peça:

Para certificar a homogeneização do material durante o processo de fabricação, foi feita análise de porosidade da peça utilizando um aparelho de raio x para analisar internamente as condições físicas da peça.

4.2 Resultados e Discussão

4.2.1 Descrição das peças

Peça A:

Material: ALDC 3.1 (norma coreana)

Peso Nominal: 2080g

Método de fabricação: Fundição por pressão.

Peça B:

Material: ALDC 12 (norma coreana)

Peso Nominal: 1530g

Método de fabricação: Fundição por pressão com usinagem interna.

4.2.1.1 Composição química:

Abaixo o percentual dos elementos da liga encontrados nos testes, com uma média de três amostras do material das peças A e B:

Peça A:

Avg: 3	Sparks	CS = AL-02	Mode = Percent				
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Pb
10.14	0.861	0.557	0.072	0.556	0.268	0.032	0.022
Sn	Ti	Sr	Al				
≤0.001	0.093	≤0.000	87.39				

Peça B:

Avg: 3	Sparks	CS = AL-01	Mode = Percent				
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Pb
10.75	0.935	3.17	0.243	0.0433	0.872	0.150	0.042
Sn	Ti	Sr	Al				
0.017	0.030	0.018	83.73				

Ambos os resultados foram aceitáveis comparando-os com as normas coreanas D 2331 (2009) - Aluminium alloy ingots for die casting e D 6006 (2009) - Aluminium alloys die castings.

A Tabela 7, faz a comparação química dos limites de elementos das ligas em percentuais conforme a norma:

Tabela 7- Comparação química entre as ligas Aldc 3.1 e Aldc 12

ALDC 3.1:

ALDC 12:

Critério	Min	Máx	Aprox
Cu		0.6000	
Fe	0.6000	1.0000	
Mg	0.4500	0.6400	
Mn		0.3000	
Ni		0.5000	
Pb		0.1500	
Si	9.0000	11.0000	
Sn		0.1000	
Ti		0.3000	
Zn		0.5000	

Critério	Min	Máx	Aprox
Cu	1.5000	3.5000	
Fe		1.3000	
Mg		0.3000	
Mn		0.5000	
Ni		0.5000	
Pb		0.2000	
Si	9.6000	12.0000	
Sn		0.2000	
Ti		0.3000	
Zn		1.0000	

Critério	Comentário
Al	Remainder

Critério	Comentário
Al	Remainder

Fonte – Total Metria (2017)

4.2.1.2 Teste RoHS

Peça A:

Tabela 8 – Resultados da certificação RoHS da Peça A

I – Test result summary:

Testing item	Results (ppm)	Limits #
	A	
Polybrominated Biphenyls (PBB's)	-	1000 ppm
Monobromobiphenyl (Mono PBB)	ND	-
Dibromobiphenyl (Di PBB)	ND	-
Tribromobiphenyl (Tri PBB)	ND	-
Tetrabromobiphenyl (Tetra PBB)	ND	-
Pentabromobiphenyl (Penta PBB)	ND	-
Hexabromobiphenyl (Hexa PBB)	ND	-
Heptabromobiphenyl (Hepta PBB)	ND	-
Octabromobiphenyl (Octa PBB)	ND	-
Nonabromobiphenyl (Nona PBB)	ND	-
Decabromobiphenyl (Deca PBB)	ND	-
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE's)	-	1000 ppm
Monobromodiphenyl Ether (Mono PBDE)	ND	-
Dibromodiphenyl Ether (Di PBDE)	ND	-
Tribromodiphenyl Ether (Tri PBDE)	ND	-
Tetrabromodiphenyl Ether (Tetra PBDE)	ND	-
Pentabromodiphenyl Ether (Penta PBDE)	ND	-
Hexabromodiphenyl Ether (Hexa PBDE)	ND	-
Heptabromodiphenyl Ether (Hepta PBDE)	ND	-
Octabromodiphenyl Ether (Octa PBDE)	ND	-
Nonabromodiphenyl Ether (Nona PBDE)	ND	-
Decabromodiphenyl Ether (Deca PBDE)	ND	-

Remarks: ppm = parts per million (mg/kg)
 ND = Not detected (results below of LDM)
 # = The limits are according to RoHS Directive 2011/65/EU.

I – Test result summary:

Testing item	Results (ppm)	Limits #
	A	
Cadmium (Cd) content	1.9	100 ppm
Lead (Pb) content	350	1000 ppm
Mercury (Hg) content	ND	1000 ppm
Chromium VI (Cr ⁶⁺) content	2.2	1000 ppm

Remarks: ppm = parts per million (mg/kg)
 ND = Not detected
 # = The limits are according to RoHS Directive 2011/65/EU.

Fonte - Autor

Peça B:

Tabela 9 - Resultados da certificação RoHS da Peça B

I – Test result summary:

Testing item	Results (ppm)	Limits #
	A	
Polybrominated Biphenyls (PBB's)	-	1000 ppm
Monobromobiphenyl (Mono PBB)	ND	-
Dibromobiphenyl (Di PBB)	ND	-
Tribromobiphenyl (Tri PBB)	ND	-
Tetrabromobiphenyl (Tetra PBB)	ND	-
Pentabromobiphenyl (Penta PBB)	ND	-
Hexabromobiphenyl (Hexa PBB)	ND	-
Heptabromobiphenyl (Hepta PBB)	ND	-
Octabromobiphenyl (Octa PBB)	ND	-
Nonabromobiphenyl (Nona PBB)	ND	-
Decabromobiphenyl (Deca PBB)	ND	-
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE's)	-	1000 ppm
Monobromodiphenyl Ether (Mono PBDE)	ND	-
Dibromodiphenyl Ether (Di PBDE)	ND	-
Tribromodiphenyl Ether (Tri PBDE)	ND	-
Tetrabromodiphenyl Ether (Tetra PBDE)	ND	-
Pentabromodiphenyl Ether (Penta PBDE)	ND	-
Hexabromodiphenyl Ether (Hexa PBDE)	ND	-
Heptabromodiphenyl Ether (Hepta PBDE)	ND	-
Octabromodiphenyl Ether (Octa PBDE)	ND	-
Nonabromodiphenyl Ether (Nona PBDE)	ND	-
Decabromodiphenyl Ether (Deca PBDE)	ND	-

Remarks: ppm = parts per million (mg/kg)
 ND = Not detected (results below of LDM)
 # = The limits are according to RoHS Directive 2011/65/EU.

I – Test result summary:

Testing item	Results (ppm)	Limits #
	A	
Cadmium (Cd) content	ND	100 ppm
Lead (Pb) content	380	1000 ppm
Mercury (Hg) content	ND	1000 ppm
Chromium VI (Cr ⁶⁺) content	ND	1000 ppm

Remarks: ppm = parts per million (mg/kg)
 ND = Not detected
 # = The limits are according to RoHS Directive 2011/65/EU.

Fonte: Autor

4.2.1.3 Resistência mecânica

Peça A:

A peça apresentou resultados mais que satisfatórios mesmo sendo confeccionada por material secundário, com dados superiores determinados pela especificação da peça com material primário de 1800kgf. Comprovando a eficácia do material secundário na produção da peça.

Na figura 12 são relacionadas ao processo de ensaio de compressão da peça:

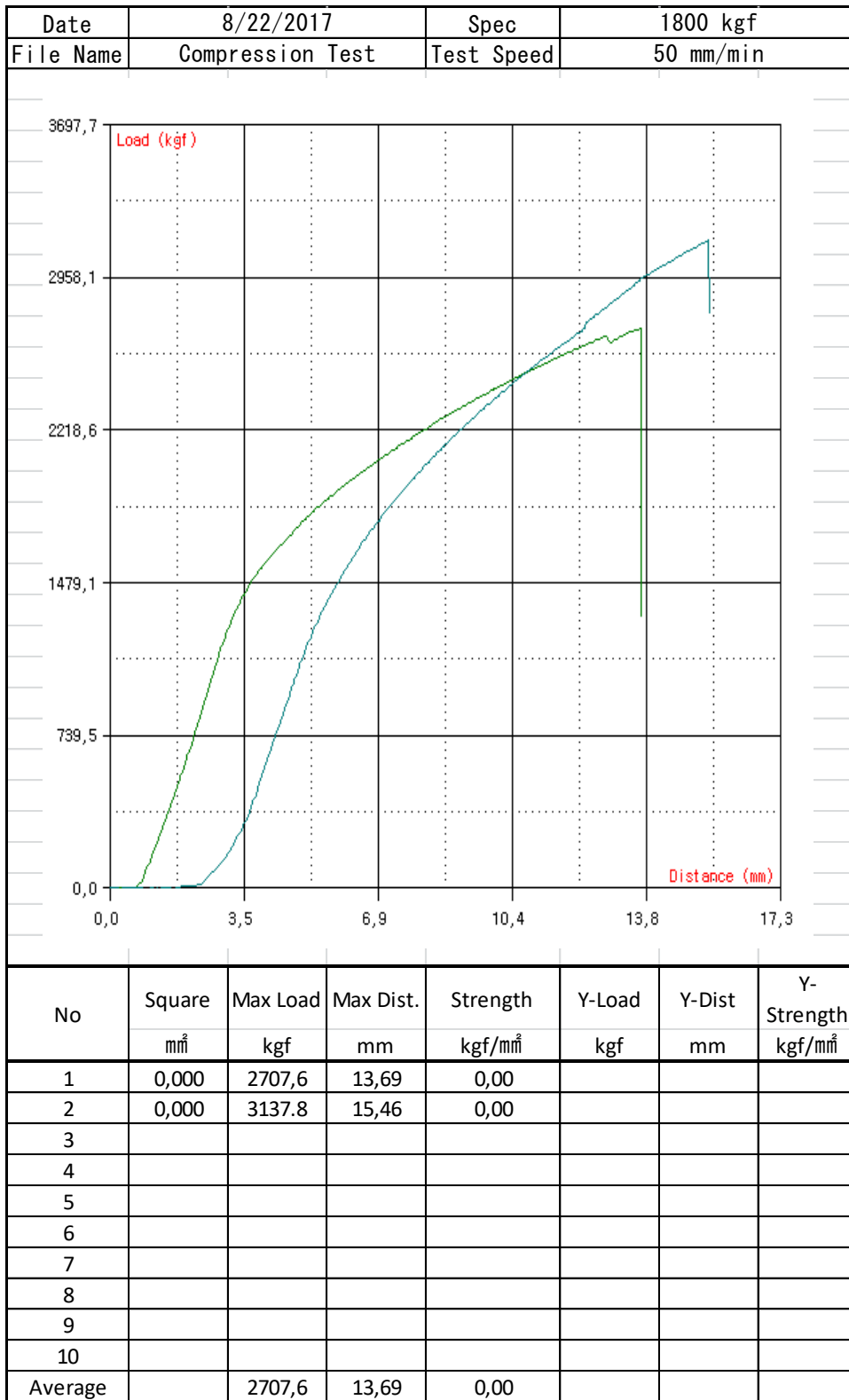
Figura 12 – Ensaio de Compressão da Peça A



Fonte - Autor

O Gráfico 3 de tensão x deformação gerado pela máquina de compressão, testando duas amostras da Peça A:

Gráfico 3 – Tensão Deformação Peça A



Fonte - Autor

Peça B:

O teste de resistência mecânica de compressão não se aplica para a peça B. Para analisar a resistência mecânica da peça, foi feito teste funcional com o produto montado.

O teste força o conjunto a uma força centrípeta contínua durante 126 horas a diversos graus de rotação, levando-o a uma ressonância forçada com carregamento controlado.

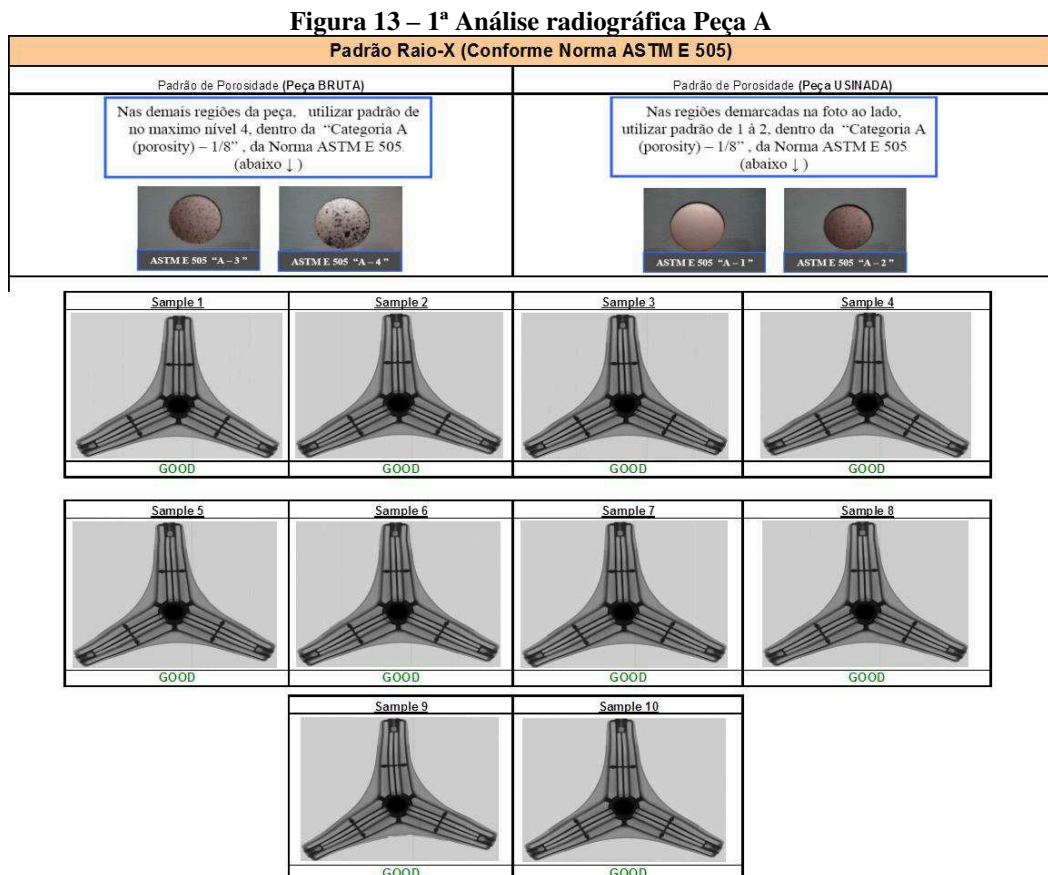
Não serão declarados detalhes do teste, como o método de execução e análise. Mas o resultado final testando duas amostras foi positivo, ou seja, a peça suportou o esforço solicitado.

4.2.1.4 Análise Radiográfica - Porosidade (raio x)

Peça A:

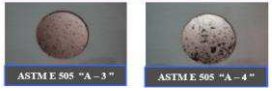


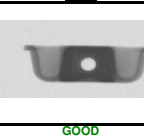
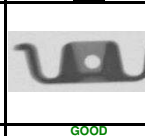

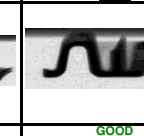
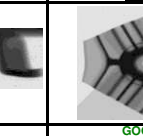

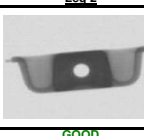
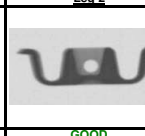

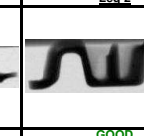
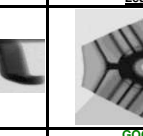

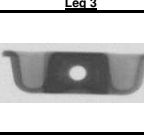
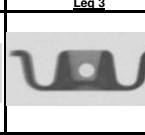
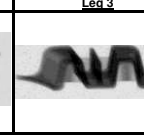
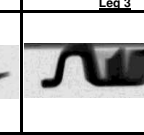
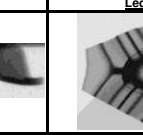
Os testes foram executados conforme a norma internacional ASTM E 505 (Standard Reference Radiographs for Inspection of Aluminum and Magnesium Die Castings).

Os resultados foram satisfatórios após a fabricação da peça, abaixo os dados do teste:



Fonte - Autor



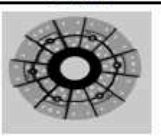
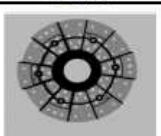
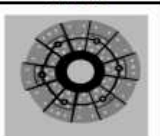
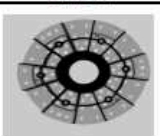
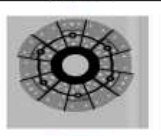
Figura 14 – 2ª Análise Radiográfica Peça A

Padrão Raio-X (Conforme Norma ASTM E 505)					
Padrão de Porosidade (Peça BRUTA)			Padrão de Porosidade (Peça USINADA)		
<p>Nas demais regiões da peça, utilizar padrão de no máximo nível 4, dentro da "Categoria A (porosity) – 1/8", da Norma ASTM E 505 (abaixo ↓)</p> 			<p>Nas regiões demarcadas na foto ao lado, utilizar padrão de 1 à 2, dentro da "Categoria A (porosity) – 1/8", da Norma ASTM E 505 (abaixo ↓)</p> 		
Sample 1 - Leg 1	Leg 1	Leg 1	Leg 1	Leg 1	Leg 1
					
GOOD or NO GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
Sample 1 - Leg 2	Leg 2	Leg 2	Leg 2	Leg 2	Leg 2
					
GOOD or NO GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
Sample 1 - Leg 3	Leg 3	Leg 3	Leg 3	Leg 3	Leg 3
					
GOOD or NO GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD

Fonte - Autor

Peça B:

Figura 15 – Análise Radiográfica Peça B

Padrão Raio-X (Conforme Norma ASTM E 505)			
Padrão de Porosidade (Peça BRUTA)		Padrão de Porosidade (Peça USINADA)	
<p>Nas demais regiões da peça, utilizar padrão de no máximo nível 4, dentro da "Categoria A (porosity) – 1/8", da Norma ASTM E 505 (abaixo ↓)</p> 		<p>Nas regiões demarcadas na foto ao lado, utilizar padrão de 1 à 2, dentro da "Categoria A (porosity) – 1/8", da Norma ASTM E 505 (abaixo ↓)</p> 	
SAMPLE 1	SAMPLE 2	SAMPLE 3	SAMPLE 4
			
GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
SAMPLE 5			
			
GOOD			

Fonte - Autor

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho alcançou seus objetivos que é de evidenciar a importância e benefícios da logística reversa do alumínio, mostrando como a indústria utiliza a logística reversa, inibindo assim o crescimento da devastação ambiental por conta do consumo excessivo de recursos naturais, desperdício de energia, água, poluição do meio ambiente, entre outros fatores

O estudo propõe ao leitor uma análise completa sobre a importância do tema logística reversa na indústria. O desenvolvimento deste tema pôde ser esclarecido por meio de artigos e publicações conforme a literatura descreve, e também por meios práticos de comprovação da eficácia de utilização da logística reversa em produções de larga escala.

A justificativa do estudo pôde contar também com dados que deixam claro o motivo dessa prática, reciclagem do alumínio, como a quantidade de poluentes que deixam de ser lançados no ar e a energia que é economizada, quando o alumínio é produzido de forma secundária.

Durante o desenvolvimento deste trabalho há pontos marcantes que devem ser ressaltados, como o fato do Brasil liderar as estatísticas de coleta e reciclagem do alumínio. Outro fato bastante curioso é a importância do polo de Pindamonhangaba para esta atividade, sendo considerada a capital da reciclagem do alumínio.

Os levantamentos literários, do desenvolvimento deste trabalho, esclareceram diversos fatores sobre a delimitação do tema, tais como: dados técnicos sobre o que é o alumínio, como é extraído, como é tratado, como é comercializado e como o alumínio é reciclado. Além de alcançar os resultados mostrando artigos atuais da logística reversa, este trabalho comprovou o tema introduzido, por meio de ensaios práticos desenvolvidos por uma empresa em conjunto com os autores do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ABAL. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO** Disponível em: <http://www.abal.org.br>. Acesso: 16 maio 2017.

ABRALATAS. **Associação Brasileira dos fabricantes de latas de alta reciclabilidade.** Disponível em: <http://www.abralatas.org.br/>. Acesso em: 16 maio 2017.

BAIA, Charles; PEREIRA, Joanyson Andrei O.; SANTOS, Romário de Souza. **ALUMÍNIO E SUAS LIGAS.** 2013. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2013. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/21312373/aluminio-e-suas-ligas>. Acesso em: 19 maio 2017.

BALLOU, R.H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BERTRAM, M. **The global and european dimension of aluminium recycling.** Disponível em: http://www.aluminiumcentrum.nl/aluminiumcentrum.nl/files/Doc/Congres%202006/module%20a/2-Mrs._Marlen_Bertram.pdf. Acesso em: 18 maio 2017.

BRASIL. **Decreto-lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Lex: coletânea de legislação: edição federal.

CALLEGARI , ENG. HAMILTON (São Paulo). Feeling Structures. **Estruturas de alumínio.** 2017. Disponível em: <http://www.feeling.com.br/feelingv02/default.aspx?mn=734&c=1589&s=0>. Acesso em: 19 maio 2017.

ECYCLE. **Alumínio: O que é? Quais suas propriedades? Quais os impactos que ele pode trazer ao homem e ao planeta?.** 2013. Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/63-meio-ambiente/3743-o-aluminio-elemento-no-mundo-producao-caracteristicas-propriedades-reciclagem-problemas-toxicacao-toxico-alzheimer-lama-vermelha.html>. Acesso em: 23 ago. 2017.

EDUARDO BERNHARDT (Rio de Janeiro). Ecomarapendi. **Alumínio: História, composição, tipos e reciclagem.** 2017. Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/metal/aluminio/>. Acesso em: 11 set. 2017.

FOGAÇA, Jennifer. **Ligas Metálicas.** 2017. Disponível em: <http://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-geral/ligas-metalicas.htm>. Acesso em: 15 maio 2017.

GARCIA, Manuel Garcia. **Logística reversa: uma alternativa para reduzir custos e criar valor.** XIII SIMPEP, Bauru, SP, nov. 2006. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1146.pdf. Acesso em: 15 maio 2017.

IAI - International Aluminium Institute. **Global aluminium recycling: a cornerstone of sustainable development.** 2009a. Disponível em: <<http://www.worldaluminium.org/cache/fl0000181.pdf>>. Acesso em 18 maio 2017.

INFOMET (Brasil). **Alumínio e suas ligas:** Metais & Ligas, Alumínio e Informações Técnicas. 2017. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=108>>. Acesso em: 23 ago. 2017

LEITE, Paulo Roberto; BRITO, Eliane Zamith. **Logística reversa de produtos não consumidos: Uma descrição das práticas das empresas atuando no Brasil.** In: CONGRESSO BALAS 2003 - THE BUSINESS ASSOCIATION OF LATIN AMERICAN STUDIES. 2003, São Paulo. Disponível em: <http://www.web-resol.org/textos/microsoft_word_-_balas_2003_-_reverse_logistics_of_returned_products.pdf>. Acesso em: 17 maio 2017.

NANI, E. L. **Meio Ambiente e reciclagem: um caminho a ser seguido.** Curitiba: Juruá Editora Ltda, 2007.

NASCIMENTO, Filipe Miguel Ferreira. **Processamento por Fricção Linear:** Caracterização e análise de ligas de alumínio processadas AA5083-O e AA7022-T6. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137455865/Dissertação.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

POPOVICI, Marcel. **Geração e destinação dos subprodutos da indústria secundária de alumínio.** In: V Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio. São Paulo: ABAL, 1999.

QUIMLAB (Jacareí Sp). Química e Metrologia: Alumínio. 2017. Disponível em: <http://www.quimlab.com.br/guia_doselementos/aluminio.htm>. Acesso em: 10 ago. 2017.

RECICLOTECA (Rio de Janeiro). Ecomarapendi. Alumínio. 2017. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/material-recicla-ve/lmetal/aluminio/>>. Acesso em: 17 out. 2017

SHOCKMETAIS (São Paulo). **Composição Química do Alumínio.** Disponível em: <<http://www.shockmetais.com.br/especificacoes/aluminio/cqui>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

VALENTIM, Antão Rodrigo. **Construção de um Procedimento para Avaliação da Lucratividade e Produtividade de Ligas de Alumínio Reciclado.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Pará, Ponta Grossa, 2011. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/183/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.

