

UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA
ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A FABRICAÇÃO DE LATAS DE
ALUMÍNIO A PARTIR DO ALUMÍNIO PRIMÁRIO E DO ALUMÍNIO
RECICLADO.**

Noéle C. Oliveira Souza 01111940

Paula Luiza de Lima 01111551

Orientador Interno da FEAU: Prof^a MC Ana Maria Barbosa

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Novembro/2015

UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA
ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A FABRICAÇÃO DE LATAS DE
ALUMÍNIO A PARTIR DO ALUMÍNIO PRIMÁRIO E DO ALUMÍNIO
RECICLADO.**

Avaliadores:

Fátima Maria Broca

Érika Peterson Gonçalves

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Novembro/2015

RESUMO

O objetivo deste trabalho é salientar os benefícios da reciclagem das latas de alumínio que englobam três importantes aspectos que estão fortemente interligados, aspecto econômico, ambiental e social. Do ponto de vista econômico a reciclagem reduz 95% o consumo de energia quando comparado ao processo de produção de alumínio primário que é um processo eletrolítico, já do ponto de vista ambiental o processo de reciclagem de latas de alumínio auxilia diretamente na preservação do meio ambiente de dois modos: na diminuição da extração do mineral bauxita que é a principal matéria prima do alumínio primário e na redução de aproximadamente 98% de latas que iriam ser encaminhadas para aterros sanitário e lixões. E do aspecto social a reciclagem de latas de alumínio gera renda para milhares de famílias através da coleta e venda das latas utilizadas, bem como a conscientização da população sobre a importância da coleta seletiva.

Palavra-chave: Reciclagem. Alumínio primário. Alumínio secundário. Bauxita. Latas de alumínio.

ABSTRACT

The objective of this study is to emphasize the benefits of recycling of aluminum cans that are strongly interconnected in three important aspects, economic aspect, environmental and social. In the economic point of view the recycling reduce 95% the electricity consumption when is compared to the primary process of aluminum what is a electrolytic process, now in environmental point of view the process of recycling of aluminum cans can help directly in the preservation of the environmental in two ways: in reducing the extraction of bauxite mineral that it is the main element for primary aluminum and in decrease of almost 98% of cans that would go to sanitary landfills and dumps. And in social aspect the recycling of aluminum cans generates income for thousands families by collecting and selling cans used, and in conscientization of population relative the importance of selective collect.

Keywords: Recycling Primary aluminum Secondary aluminum Bauxite Aluminum cans.

SUMÁRIO

Resumo -----	2
Abstract -----	4
Sumário -----	5
Introdução -----	6
História do alumínio -----	6
Produção do Alumínio primário -----	10
Bauxita -----	11
Extração mineral -----	14
Beneficiamento -----	16
Refino da alumina -----	16
Fundição -----	19
Reciclagem das latas de alumínio -----	20
Processo produtivo de alumínio secundário -----	23
Cooperativa de coleta -----	24
Usinas de reciclagem de latas de alumínio -----	24
fabricação das latas de alumínio -----	26
Materiais e Métodos -----	27
Resultados e Discussão -----	28
Conclusão -----	33
Referência -----	34
Anexo -----	38
Anexo 1 -----	38

INTRODUÇÃO

O alumínio é uma das principais matérias primas da indústria, sendo empregado em diversos setores, automobilístico, alimentício, construção civil, bens de consumo, entre outros. Neste trabalho vamos abordar a utilização de alumínio no setor alimentício onde ele é empregado na produção de embalagens principalmente na produção de latas de alumínio, utilizadas no armazenamento de refrigerantes, sucos e cervejas, que hoje representam cerca de 95% das bebidas vendidas no Brasil. [1]

A produção de alumínio primário ocorre a partir do minério bauxita, que passa por vários processos de purificação e refino para se obter a alumina ou óxido de alumínio (Al_2O_3) que após processos físico-químicos obtém-se o alumínio primário. Devido ao consumo e à necessidade de produtos envasados o descarte de latas de alumínio vem gerando um volume significativo de lixo, como o alumínio é um metal que pode ser inúmeras vezes reciclado, percebemos a necessidade de salientar os benefícios da reciclagem das latas de alumínio, por meio de um estudo comparativo incluindo balanço de energia, custos, impactos ambientais e sociais entre a produção de latas de alumínio a partir da bauxita (alumínio primário) e a partir da reciclagem (alumínio secundário).

Por meio deste trabalho vamos elaborar um estudo comparativo entre os processos de produção do alumínio a partir do minério bauxita e a partir da reciclagem de latas de alumínio pós consumo com o objetivo de evidenciar as vantagens energéticas, econômicas e ambientais da produção de latas a partir do alumínio secundário (reciclado).

HISTÓRIA DO ALUMÍNIO

O alumínio é o metal não ferroso mais abundante na crosta terrestre cerca de 8% [2] e o mais consumido no mundo devido as suas propriedades físico-químicas como leveza, resistência a corrosão, boa condutividade, fácil conformação, impermeável, não tóxico, não combustível e principalmente por ser um material facilmente reciclado. [3]

Segundo sua cronologia, em 6000 a.C. os persas já utilizavam objetos feitos de barro que continham óxido de alumínio (alumina). Séculos mais tarde no Egito e na Babilônia argilas que continham alumina era utilizada na fabricação de cosméticos, medicamentos e corantes de tecidos, porém nada se sabia sobre sua existência, funcionalidade e suas propriedades. [4]

O químico inglês Humphrey Davy em 1808 [4] provou a existência do alumínio, e 17 anos depois de sua descoberta o físico alemão Hans Oersted conseguiu produzir pequenas quantidades do metal a partir do aquecimento de cloreto de alumínio com um amálgama de potássio. Henri Sainte-Claire Deville em 1854 obteve o alumínio puro mediante o aquecimento de cloreto de sódio, alumínio e sódio metálico. [2] Na época o alumínio era considerado um metal semiprecioso e mais raro que a prata, sendo vendido à US\$220 o quilograma [2], chegando até ser usado na coroa do rei da Dinamarca e como decoração na corte francesa. [4]

Em 1880 o professor americano Frank Jewett do colégio Oberlin, de Ohio, mostrou um pedaço de alumínio aos seus alunos e afirmou que quem conseguisse explorar aquele metal semiprecioso se tornaria rico. [4] Seis anos depois, em 1886 o preço do quilograma do metal sofreu uma redução de aproximadamente 91%. [2] E neste ano, o norte-americano Charles Martin Hall, ex-aluno de Frank, desenvolveu o procedimento de obtenção de alumínio por meio da redução eletrolítica da alumina com certa quantidade de criolita fundida. [4] Devido a descoberta de Hall o quilograma do alumínio passou a ser vendido por US\$4,5. Paul Héroult neste mesmo ano obteve na França uma patente para um processo similar ao de Hall, por isso o processo foi nomeado de Hall-Héroult. [2]

Devido a descoberta de Hall em 1888 foi fundada uma das maiores empresas produtoras de alumínio a Pittsburg Reduction Company, que alguns anos depois teve seu nome modificado para ALCOA (Aluminium Company of America) que é conhecida mundialmente. Com o surgimento da ALCOA a produção de alumínio puro cresceu e em 1947 teve seu custo reduzido, a 33 centavos de dólar por quilograma. [5] Porém em meados de 1973 devido a inflação o preço do quilograma do alumínio teve um aumento de aproximadamente 67%. [2]

A partir do processo de Hall-Héroult foi possível produzir alumínio primário em grande escala, com isso a indústria de produção de alumínio primário cresceu continuamente.

A história do alumínio no Brasil começou no início do século XX com a comercialização de alumínio iniciada pela empresa canadense Aluminium Limited, juntamente com a Companhia Paulista de Artefatos de Alumínio (C.P.A.A.), hoje conhecida como Votorantim Metais – CBA. [6] E alguns anos depois registraram a marca

Rochedo, onde eram fabricadas placas fundidas para automóveis. Em 1930 a empresa O. R. Muller estabilizou a produção de bisnagas de alumínio no Brasil. Inicialmente todas as indústrias de alumínio instaladas no Brasil dependiam totalmente de importações. [7]

No Brasil, a descoberta da principal matéria prima para o alumínio, a bauxita, foi registrada em torno de 1928 na Escola de Minas de Ouro Preto, e nessa mesma época a Eletro Química Brasileira S/A (Elquisa) de Ouro Preto (MG) e a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), em Alumínio (SP) começaram a implantar a primeira produção de alumínio primário no Brasil. Porém devido a dificuldades da época a consolidação da produção da alumina e do alumínio primário ocorreu somente durante a 2º Grande Guerra Mundial. Após 22 anos da descoberta da bauxita no Brasil a empresa canadense Aluminium Limited of Canada (Alcan) adquiriu a Elquisa, tornando-se a primeira empresa multinacional no Brasil, hoje conhecida como Novelis. Devido ao grande investimento na área de mineração e produção o Brasil se tornou um dos maiores exportadores mundiais de alumínio e produtor de alumínio primário. [7]

O crescimento acelerado no consumo e na produção do alumínio fez com que ele se torna um dos materiais mais versáteis sendo utilizado na arquitetura, engenharia e na indústria em geral, quando comparado com os outros metais. [7]

Com uma densidade de $2,7 \text{ g/cm}^3$, quase três vezes menor que a densidade de outros materiais altamente utilizados como o aço e o cobre, faz com que a leveza do alumínio seja uma de suas principais características, além disso, o alumínio quando 99,8% de pureza possui uma temperatura de fusão de $660 \text{ }^\circ\text{C}$, o que é consideravelmente baixo quando comparado com a temperatura de fusão dos outros metais, $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ e $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ para o aço e o cobre, respectivamente. O alumínio possui uma alta resistência à corrosão, devido a sua característica de autoproteção, isso faz com que na superfície do metal a qual está exposta ao ambiente corrosivo forme uma fina e invisível a olho nu camada de óxido que irá proteger o metal contra a corrosão. Essa característica faz com esse metal seja altamente resistente ao tempo até mesmo em atmosferas industriais que geralmente atacam outros metais. Porém existem algumas substâncias como os álcalis que em contato direto com o alumínio agredem a película de óxido corroendo o metal, mas mesmo assim o metal pode ser usado na presença de alguns álcalis com inibidores que auxiliam na proteção. Além dessas características e das apresentadas na Tabela 1 o alumínio tem uma refletividade

acima de 80% que possibilita a sua utilização em luminárias e coberturas de edificações, é um metal não magnético, é considerado um elemento de barreira a luz e impermeável a umidade e oxigênio, tem uma baixa absorção de nêutrons uma importante característica para a engenharia nuclear, é atóxico podendo ser usado na produção de utensílios domésticos e é um metal que pode ser reciclado sem influenciar suas propriedades. [8]

Na Tabela 1 é possível comparar as características do alumínio com outros dois metais mais consumidos no mundo.

TABELA 1 - Propriedades físicas dos metais mais utilizados.

Propriedades físicas típicas	Alumínio	Aço	Cobre
Densidade (g/cm ³)	2,70	7,86	8,96
Temperatura de fusão (°C)	660	1500	1083
Módulo de elasticidade (MPa)	70000	205000	110000
Coefficiente de dilatação térmica (°C ⁻¹)	23.10 ⁻⁶	11,7.10 ⁻⁶	16,5.10 ⁻⁶
Condutibilidade térmica à 25°C (Cal/cm/°C)	0,53	0,12	0,94
Condutibilidade elétrica (%IACS ^(a))	61	14,5	100

(a) International Annealed Copper Standard.

Fonte: Fundamentos do Alumínio e suas aplicações. [8]

Todas as características próprias do metal fizeram com que sua aplicabilidade no mercado consumidor se tornasse extremamente versátil, sendo o alumínio empregado para a fabricação desde utensílios domésticos até itens da construção civil. [1]

Na indústria de utensílios domésticos o alumínio é usado na produção de painéis, assadeiras e acessórios fornecendo durabilidade, leveza e sofisticação. Na produção de painéis a característica mais importante é a condutibilidade térmica do metal que faz com que o calor seja distribuído uniformemente. Já na área da construção civil, a característica mais importante do metal é à grande resistência à corrosão tornando possível a utilização do alumínio em áreas externas na forma de esquadrias de alumínio, painéis de revestimento, fachadas envidraçadas, estruturas de alumínio para coberturas e para fechamentos laterais,

divisórias, forros, box, formas de alumínio para paredes de concreto, andaimes, escoras telhas e principalmente em construções nas regiões litorâneas fornecendo uma maior durabilidade e proteção contra intempéries. Porém, o maior consumidor de alumínio no mundo é o setor automobilístico na fabricação de veículos menos poluentes, com melhor desempenho, maior rigidez estrutural e principalmente mais leves, essa característica garante ao veículo uma maior segurança veicular que os demais automóveis fabricados com materiais mais pesados e automaticamente com a diminuição do peso ocorre uma economia de combustível. [1]

O alumínio por ser um bom condutor elétrico e por ter uma boa resistência mecânica juntamente com a sua leveza também é utilizado na indústria elétrica, onde fios e cabos produzidos com o metal transportam energia elétrica por todo o Brasil e também é utilizado na produção de máquinas e equipamentos, como nos trocadores de calor, aquecedores solares, ferramentas para a mineração, tubulações, máquinas de impressão, entre outros, como pigmentos e compostos de alumínio. [1]

Porém, nesse trabalho, vamos enfatizar a utilização do metal no setor de embalagens especificamente em latas para bebida, que hoje representam cerca de 95% das bebidas vendidas no Brasil. [1] Aos olhos dos consumidores as latas de alumínio são leves, têm um resfriamento rápido, são pequenas e práticas, já os fabricantes das latas reconhecem a versatilidade de suas características tanto na produção ou aplicação.

PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO PRIMÁRIO

O alumínio não é encontrado na crosta terrestre no estado metálico, sua obtenção é a partir da mineração de bauxita, seguida de seu beneficiamento, refino da alumina e fundição, como podemos observar na Figura 1. Para a produção de 1 tonelada métrica de alumínio, são necessárias cerca de 4 toneladas métricas de bauxita que quando refinada resultará em 2 toneladas métricas de alumina. [9]

FIGURA 1 - Resumo do processo de produção do alumínio primário.



Fonte: Revista Aluminium, Environmentand Society. [3]

BAUXITA

O mineral bauxita, apresentado na Figura 2, é uma rocha constituída de minerais hidratados de alumínio, é a principal matéria prima utilizada na produção do alumínio primário, que contém cerca de 30 à 52% de óxido de alumínio (alumina) [10] e foi identificada pela primeira vez em 1821 na cidade de Les Baux, no sul da França, pelo geólogo Pierre Berthier. Para a produção do alumínio a bauxita passa pelo processo químico conhecido como Bayer onde é purificada ocorrendo a eliminação de impurezas

para obtenção da alumina, ou óxido de alumínio de alta pureza que será utilizado na produção do alumínio pelo processo de redução (eletrolítico). [11]

A bauxita utilizada na produção do alumínio é denominada bauxita de grau metalúrgico, que contém uma quantidade mínima de 55% de óxido de alumínio (Al_2O_3), máximo de 7% de dióxido de silício reativo (SiO_2), 8% de óxido de ferro (Fe_2O_3) e 4% de dióxido de titânio (TiO_2). As bauxitas de grau não metalúrgico ou refratárias, alta alumina, utilizadas nas indústrias químicas de cimento e abrasivos são compostas de no mínimo 85% em peso de óxido de alumínio (Al_2O_3), máximo de 7% de dióxido de silício reativo (SiO_2), máximo de 3,75% de óxido de ferro (Fe_2O_3) e a mesma quantidade de dióxido de titânio (TiO_2). [11] Nesse trabalho vamos realçar informações somente da bauxita de grau metalúrgico que é usada na produção do alumínio primário.

FIGURA 2 – Mineral Bauxita.



Fonte: Hydro. [9]

Cerca de 95% da produção mundial de bauxita de grau metalúrgico é utilizada como matéria-prima para a produção do alumínio primário. Segundo o Instituto Internacional de Alumínio (IAI), a bauxita é encontrada em três principais tipos de clima, Tropical, Mediterrâneo e Subtropical, com uma distribuição geográfica de 57%, 33% e 10%, respectivamente. [11] Conforme consta na 34ª Edição do Sumário Mineral Ano 2014 do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e apresentadas na Tabela 2 a soma das reservas mundiais de bauxita em 2013 totalizaram 25,694 bilhões de toneladas, sendo a

maior localizada na Guiné com 7,4 bilhões e a segunda maior na Austrália com 6 bilhões de toneladas. Já a produção mundial somou cerca de 257 milhões de toneladas, sendo a Austrália o maior produtor com 77 milhões de toneladas, em segundo lugar ficou a China com 47 milhões e o Brasil ficou em terceiro lugar com 32,8 milhões de toneladas/ano. [12]

TABELA 2 - Reserva e produção mundial de bauxita

Países	2013 ^(a)	
	Reservas ^{(b) (c)} (10 ⁶ t)	Produção (10 ³ t)
Brasil	714	32.867
Austrália	6.000	77.000
China	830	47.000
Indonésia	1.000	30.000
Índia	540	19.000
Guiné	7.400	17.000
Jamaica	2.000	9.500
Rússia	200	5.200
Cazaquistão	160	5.100
Outros países	6.850	15.250
Total	25.694	257.917

(a) Dado preliminar, exceto Brasil. (b) Reserva lavrável de bauxita, para o Brasil; (c) reserva econômica de bauxita, para os demais países.

Fonte: Tabela modificada a partir do Sumário Mineral 2014 do Departamento Nacional de Produção Mineral. [12]

Austrália e Guiné possuem as maiores jazidas de bauxita no mundo e o Brasil tem a terceira maior onde 83,7% corresponde a bauxita de grau metalúrgico, as jazidas brasileiras são de bauxita trihidratadas, que no processo de purificação exigem pressões e temperaturas mais baixas, produzindo uma alumina de baixo custo quando comparada com as demais. As jazidas brasileiras estão localizadas nos estados de São Paulo, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais e Maranhão. [11] Porém os maiores produtores de alumínio no mundo são os

Estados Unidos e o Canadá que não possuem jazidas de bauxita em seu território, dependendo então da importação do minério. [13]

De acordo com Sumário Mineral 2014 do Departamento Nacional de Produção Mineral, em 2013 a produção de bauxita base seca teve uma queda de 1,8% com relação a produção de 2012, conseqüentemente a importação, exportação e o consumo aparente também sofreram uma queda como é possível observar na Tabela 3.

TABELA 3 - Principais estatísticas de bauxita metalúrgica e não metalúrgica no Brasil

Descrição	2011	2012	2013
Produção ^(a)	31.768	33.260	32.867
Importação	141	116	8
Exportação	6.887	6.861	8.422
Consumo Aparente ^(b)	25.022	26.515	24.453

(a) Produção de bauxita – base seca; (b) produção (primário + secundário) + importação – exportação.

Fonte: Tabela modificada a partir do Sumário Mineral 2014 do Departamento Nacional de Produção Mineral. [12]

EXTRAÇÃO MINERAL

A extração do minério é feita em duas etapas. Na primeira é feita a remoção da vegetação e do solo orgânico, que serão estocados para a reabilitação da área minerada de acordo com as leis vigentes, desenvolvendo programas de plantio visando recuperar a biodiversidade da região em que a unidade está instalada. A Figura 3 é um exemplo de área minerada de bauxita e na Figura 4 mostra a área após a reabilitação. Em 2010, 85% das áreas mineradas no Brasil já tinham sido reabilitadas a maioria com vegetação nativa e o restante possuíam instalações permanentes ou ainda estavam sendo exploradas (não foram encontrados dados mais recentes). [14]

FIGURA 3 - Áreas de extração de bauxita da Mineração Rio Norte.



Fonte: A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio. [14]

FIGURA 4 - Reabilitação de áreas mineradas de bauxita da Mineração Rio Norte.



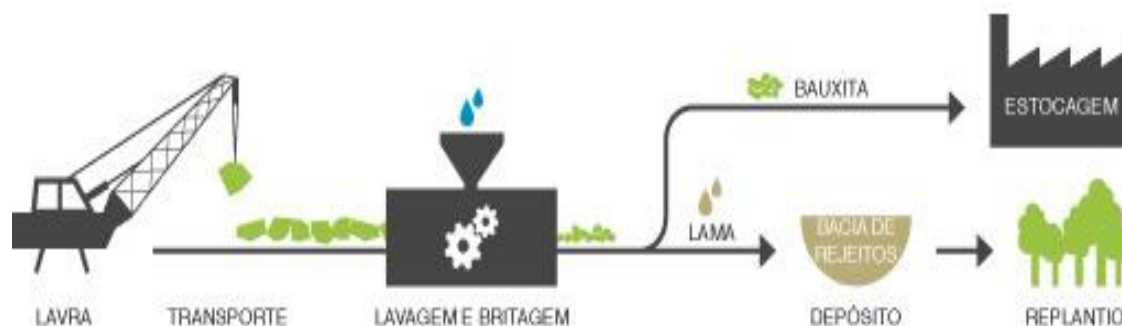
Fonte: A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio. [14]

A remoção do mineral propriamente dito ocorre na segunda etapa e é feita por retroscavadeiras, devido a bauxita se encontrar próxima a superfície com uma profundidade que dependendo da sua formação geológica pode variar de 5 à 20 metros abaixo de rochas ou argilas. No Brasil a bauxita encontra-se geralmente na superfície, facilitando sua extração. O minério extraído é então transportado ou exportado para a planta de beneficiamento, por meio de hidrovias, ferrovias ou mineroduto. [14]

BENEFICIAMENTO

O beneficiamento do mineral, descrito na Figura 5, consiste na lavagem com água, que quando necessário é feita para reduzir a quantidade de sílica. Na britagem, ou seja, a redução do tamanho da bauxita seguida da secagem. A bauxita beneficiada é então transportada para o processo de refino. [15] A lama, resíduo da lavagem do mineral é utilizada na reabilitação das áreas lavradas. [9]

FIGURA 5 - Beneficiamento da bauxita.

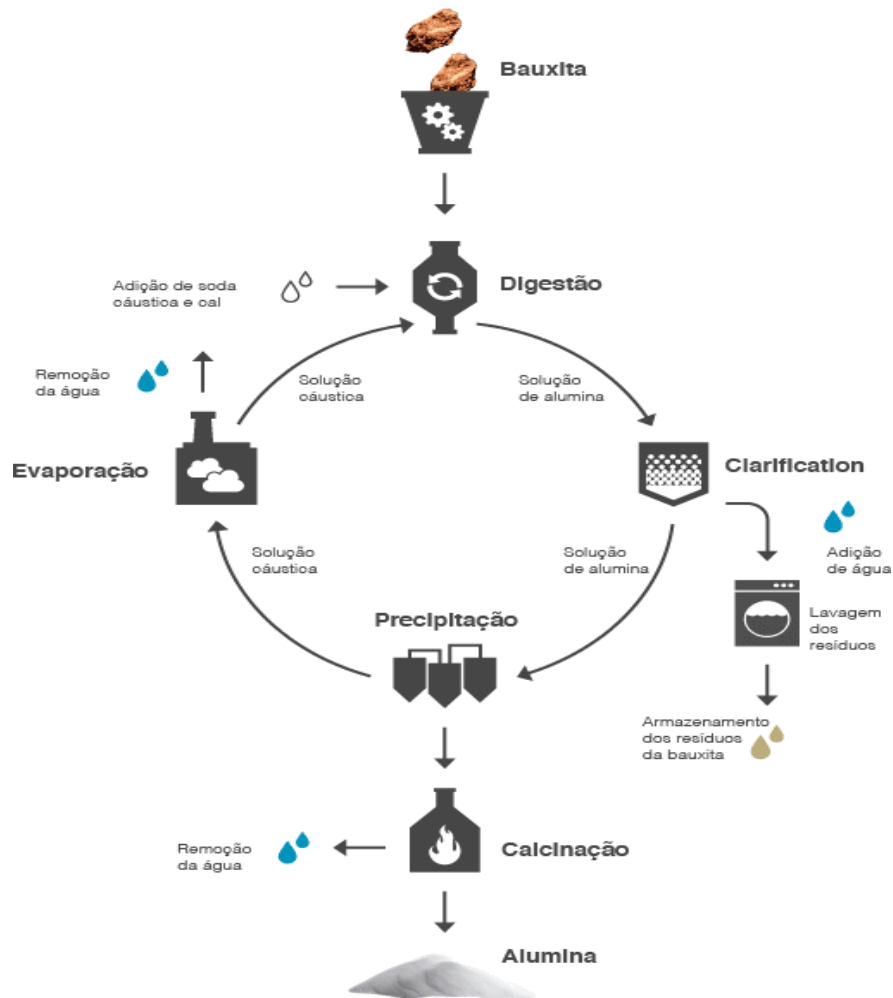


Fonte: Hydro. [9]

REFINO DA ALUMINA

Através do processo Bayer é feito o refino, obtenção da alumina, que ocorre em diversas etapas apresentadas na Figura 6. O processo Bayer foi desenvolvido em 1887 pelo cientista Karl Josef Bayer e é o meio mais econômico para a obtenção da alumina a partir da bauxita. [16]

FIGURA 6 - Processo de refino da alumina.



Fonte: Hydro. [9]

O processo de obtenção da alumina consiste em 8 etapas descritas a seguir. [16]

I. Moagem

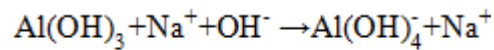
O mineral é lavado e moído para redução do tamanho das partículas aumentando a área superficial.

II. Remoção de sílica

A bauxita tem alto teor de sílica e devem ser removidos pois podem causar problemas na qualidade do produto final.

III. Digestão

A bauxita lavada é enviada para um digestor que opera em condições variáveis de temperatura e pressão, de acordo com as propriedades do minério. No digestor é adicionado uma solução quente de concentração variável de soda cáustica (hidróxido de sódio - NaOH) e cal (óxido de cálcio - CaO) que dissolvem os minerais que contêm alumina, formando uma solução saturada. A adição de solução de NaOH torna o pH do meio alcalino, favorecendo a reação de formação do aluminato de sódio (Na[Al(OH)₄]).

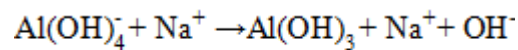


IV. Clarificação/ Sedimentação

Por sedimentação e filtros ocorre a separação dos sólidos, resíduos de bauxita e sílica da solução de alumina. Nessa etapa são adicionados aditivos químicos e floculantes que auxiliam na sedimentação. Os resíduos são transferidos para outros tanques onde são lavados para recuperar a soda cáustica que é reutilizada no processo.

V. Precipitação

Na precipitação a alumina é recuperada por cristalização, que consiste na formação de pequenos cristais de hidróxido de alumínio (Al(OH)₃), que se aglomeram formando cristais maiores.



VI. Evaporação

Nessa etapa ocorre a separação da água presente na solução de soda cáustica. A água evaporada é reutilizada no processo como água de lavagem e a soda cáustica é reutilizada no processo de digestão.

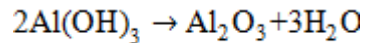
VII. Classificação

Os cristais formados são classificados de acordo com seu tamanho, nos quais os cristais grandes são enviados para a próxima etapa de calcinação e os menores voltam como semente boa para aglomerar na etapa de precipitação.

VIII. Calcinação

Os cristais grandes com tamanho suficiente seguem para a calcinação à uma temperatura de até 1100 °C com finalidade de remoção de água produzindo então um pó

branco, sólidos de alumina que serão utilizados no processo de produção do alumínio primário.



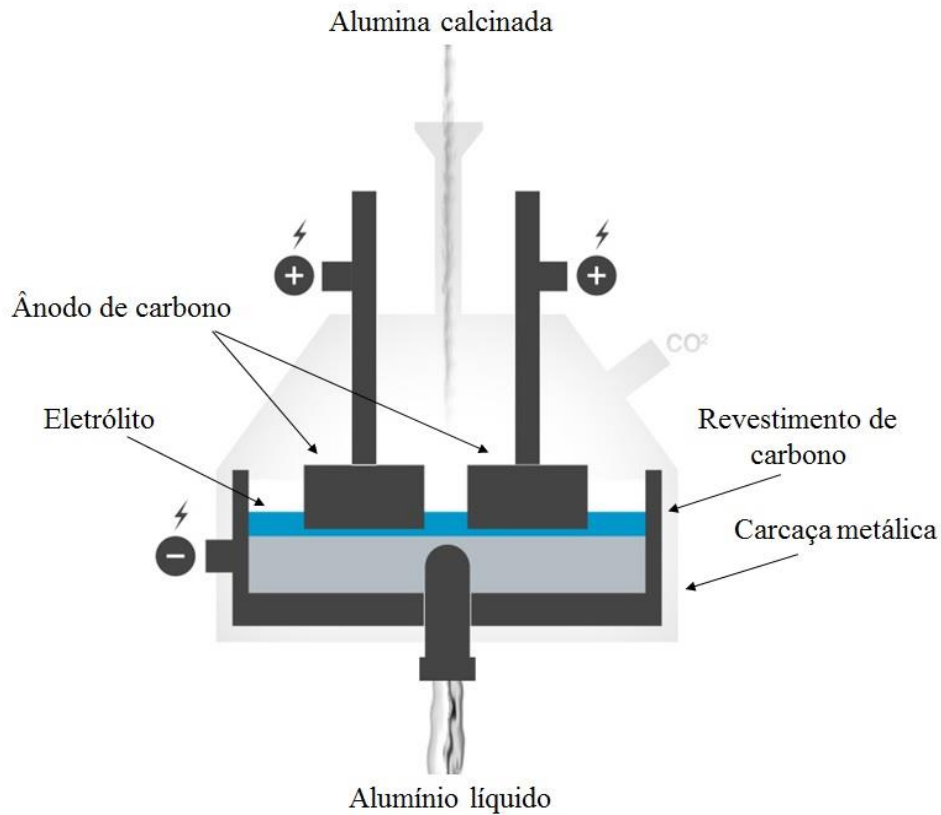
FUNDIÇÃO

O processo de fundição do alumínio primário ocorre pelo processo Hall-Héroult, onde uma corrente elétrica passa através de uma mistura fundida de alumina, fluoreto de alumínio e criolita à uma temperatura que varia de 960 °C à 980 °C. [17]

A alumina é introduzida para o interior de cubas eletrolíticas através de um sistema de injeção, onde no interior tem um compartimento catódico, revestido por uma mistura de piche e/ou coque, a dimensão da cuba pode variar de acordo com o tipo e com a amperagem projetada. [2]

Como é possível ver na Figura 7 nas cubas passa uma corrente muito alta a uma amperagem de até 600 kA entre os polos negativo (catodo) e positivo (anodo) ambos feitos de carbono, o polo positivo é consumido no decorrer do processo por reagir com o oxigênio da alumina liberando gás carbônico, produzindo alumínio líquido que é retirado das cubas e fundido em semiacabados, como lingotes e tarugos, dependendo dos processos seguintes que serão forjados. [17]

FIGURA 7 - Processo eletrolítico.



Fonte: Hydro. [9]

RECICLAGEM DAS LATAS DE ALUMÍNIO

Os primeiros indícios de reciclagem das latas de alumínio no mundo datam de 1959 quando a cervejaria norte americana *Coors* iniciou um programa revolucionário que pagava 1 *Penny* (um centavo de dólar) aos consumidores que devolvessem a *Coors* as latinhas vazias. No ano de 1970 ocorreu o primeiro “*Earth Day*”, esse movimento gerou algumas reflexões sobre a geração de resíduos sólidos e o futuro do planeta Terra, por isso as empresas fabricantes de latas de alumínio nos Estados Unidos iniciaram um sistema de reciclagem de latinhas no país, esse foi o ponto de partida para o surgimento de centros de coleta e usinas de reciclagem. [18] Também no ano de 1970 foi criada a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL). [19]

O ano de 1992 foi um marco para a história da reciclagem de alumínio no Brasil, a ABAL criou nesse ano a Comissão de Reciclagem que é responsável pelo levantamento de dados estatísticos do setor de alumínio, principalmente a Taxa Nacional de Reciclagem

(divulgada a partir 1993). Também em 1992 a Novelis iniciou o processo produtivo de chapas utilizando alumínio reciclado na cidade de Pindamonhangaba no estado de São Paulo. [20]

As empresas Aleris Latasa e a Novelis, entre os anos de 1991 e 1995, foram as precursoras do desenvolvimento dos primeiros programas de reciclagem de alumínio no Brasil, esses programas incluíram projetos sociais, apoio as cooperativas e a conscientização dos brasileiros sobre a importância, financeira e social da reciclagem de alumínio. [20]

A reciclagem das latas de alumínio também possui um importante aspecto ambiental, pois aproximadamente 5 toneladas de minério bruto deixam de ser retirados da natureza para cada tonelada de alumínio reciclado. [21]

O alumínio apresenta uma característica muito importante no quesito reciclagem, pois uma vez produzido ele pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder suas características e quando uma lata é produzida a partir de alumínio reciclado na sua parte externa é estampado o símbolo de reciclagem do alumínio como mostra a Figura 8.

FIGURA 8 - Símbolo de alumínio reciclado.

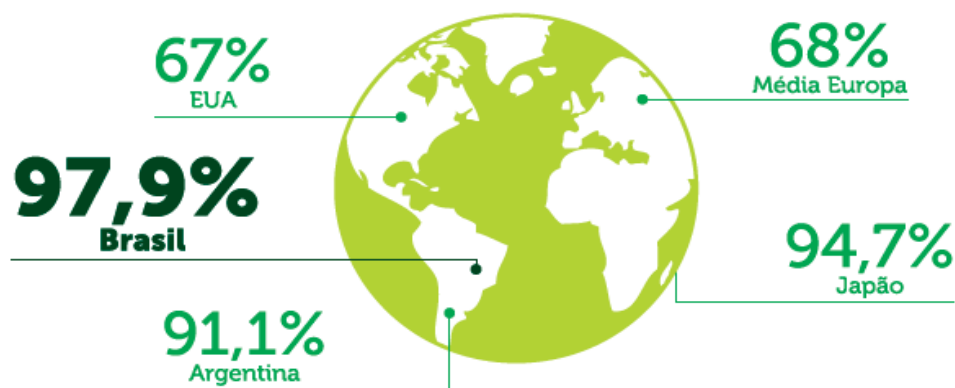


Fonte: O autor.

A ABAL aponta o Brasil como líder mundial na reciclagem de latas de alumínio entre os países onde a reciclagem não é exigida pela legislação, como é ilustrado na Figura 9. No ano de 2012 o Brasil reciclou 97,9% das latas de alumínio ficando na frente de países como Japão e Estados Unidos, com 94,7% e 67%, respectivamente. [22]

FIGURA 9 - Países líderes na reciclagem de latas de alumínio.

A latinha de alumínio é uma das embalagens mais consumidas no mundo. Quem recicla mais?*



*Dados de 2012

Fonte: Informativo Novelis. [23]

No Brasil o ciclo de vida da lata de alumínio dura cerca de 30 dias, é o processo de reciclagem mais rápido do mundo. Esse processo envolve cerca de duas mil empresas que estão dispostas nas áreas de coleta, transporte, laminação e fabricação das latas, por isso o ciclo da reciclagem de latas de alumínio é chamado pelas empresas de círculo virtuoso, pois gera ganhos nas áreas social, econômica e ambiental. [20]

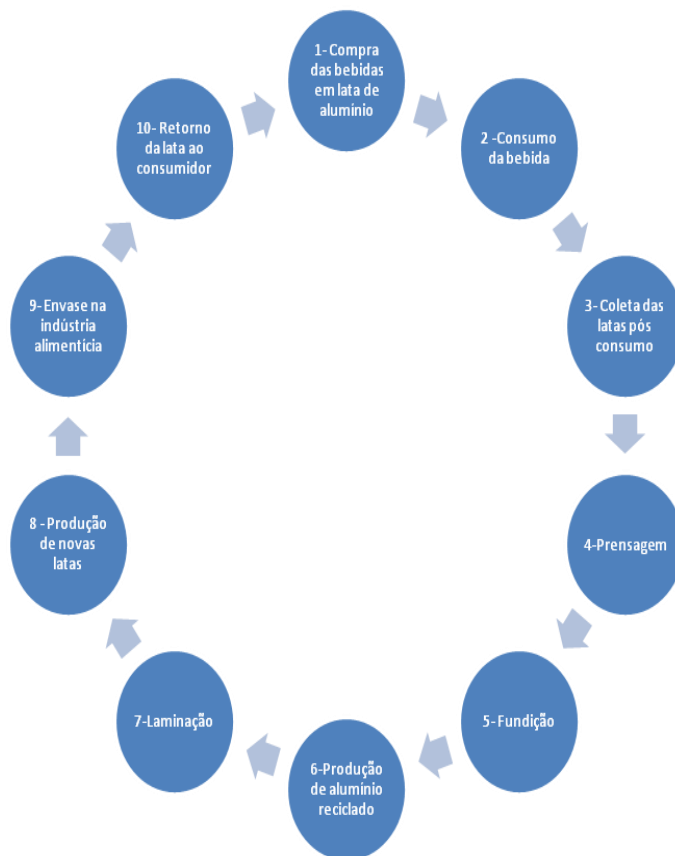
No ano de 2005 a reciclagem de latas de alumínio permitiu que o Brasil economizasse 1.800 GWh, isso corresponde a 0,5% da energia elétrica gerada no país, essa energia é suficiente para abastecer por um ano uma cidade como Campinas que tem aproximadamente 1 milhão de habitantes. [20]

PROCESSO PRODUTIVO DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO

O fluxo de reciclagem das latas de alumínio é apresentado na Figura 10. No Brasil a reciclagem das latas começa nas ruas, nas cidades onde não há uma usina de coleta seletiva os catadores passam pelas ruas garimpando o lixo dos domicílios e recolhendo as latas de alumínio. Para os catadores as latas de alumínio são a fonte de renda da família, entretanto as empresas produtoras de latas as consideram como matéria-prima. Cerca de 150 mil pessoas retiram sua renda da coleta e venda de latas de alumínio no Brasil [24], tornando o ciclo de reciclagem de latas de alumínio bem consolidado. [25]

O processo de reciclagem do alumínio utiliza apenas 5% da energia elétrica necessária para a produção do alumínio primário, conferindo ao processo de reciclagem ganhos econômicos e ambientais, com a redução do consumo de minério e energia elétrica. [4]

FIGURA 10 - Fluxo de reciclagem das latas de alumínio.

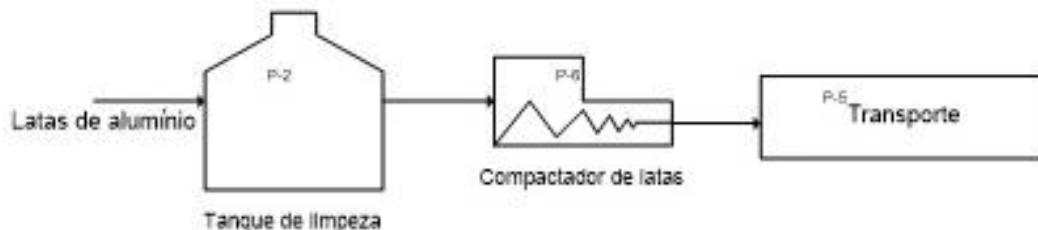


Fonte: O autor.

COOPERATIVA DE COLETA

Na Figura 11 é descrito o processo nas cooperativas de coleta de latas de alumínio, onde as latas coletadas passam por um processo de limpeza e são compactadas em blocos, esses blocos são encaminhados para as usinas de reciclagem. [4]

FIGURA 11 – Fluxograma de processo nas cooperativas de coleta.



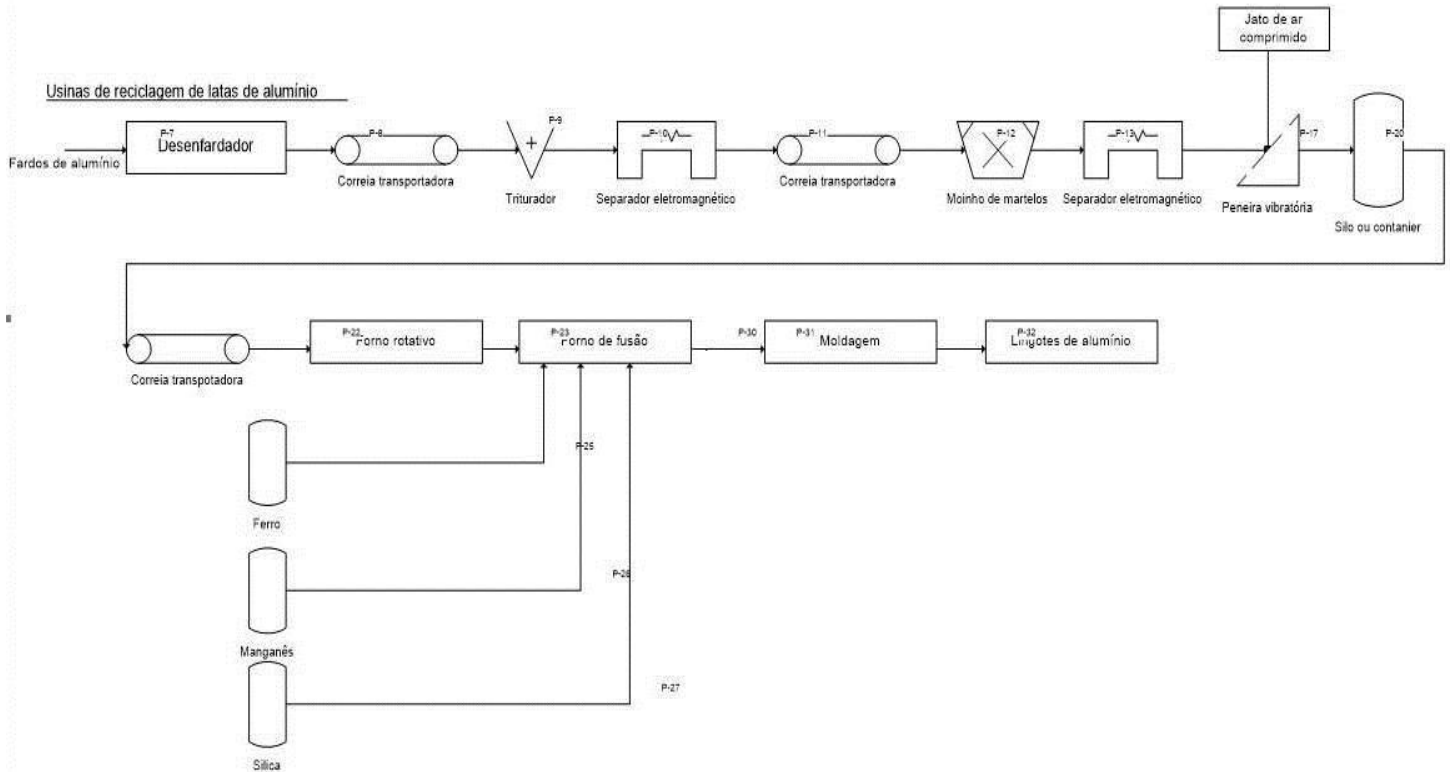
Fonte: O autor.

USINAS DE RECICLAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO

Nas usinas de reciclagem como é possível ver com mais detalhe na Figura 12 ocorre o desfardamento dos blocos, em seguida o material passa por uma correia transportadora que leva o material para um triturador ou moinho de facas onde ocorre a redução do material em pedaços ainda menores, esses pedaços passam por um separador eletromagnético onde há a separação do alumínio de outros materiais, como o ferro. O alumínio passa por outra correia transportadora que leva para o moinho de martelos onde o alumínio será picotado e, ao material picotado dá-se o nome de cavaco. Os cavacos passam por outro separador eletromagnético e em seguida por uma peneira vibratória para a retirada de resíduos como terra e areia, para garantir a pureza do reciclado os cavacos também são submetidos a jatos de ar comprimido para separar papéis e plásticos dos cavacos, os cavacos são então armazenados em silos ou containers. [4] A etapa seguinte do processo é a remoção de tintas e vernizes dos cavacos, para isso eles são encaminhados por correias transportadoras até os fornos rotativos, com dimensões de 3 m de diâmetro e por 11 m de comprimento, a remoção das tintas e vernizes ocorre por meio de uma tecnologia de fluxo simultâneo de ar/cavaco, a esse forno dá-se o nome de forno kiln. O gás gerado no processo de remoção é reutilizado como combustível no próprio forno. [21]

Posteriormente os cavacos são encaminhados para o forno de fusão no qual passam pelo processo físico de fusão, transformando o sólido em material líquido. [21] Nessa etapa o controle de qualidade atua diretamente, pois alíquotas do alumínio líquido são retiradas para análise e, a partir dos resultados são adicionados de acordo com as especificações do alumínio silício, ferro, magnésio e outros metais para compor a liga de alumínio. A etapa seguinte é o transporte do alumínio para a indústria de fabricação de latas, podendo ser transportado na forma de lingotes barras de alumínio no estado sólido. A maneira como o alumínio será transportado dependerá da distância e das condições de logística entre as empresas de produção de alumínio e a empresa de produção de latas. [4]

FIGURA 12 - Fluxograma de processo de reciclagem de alumínio.



Fonte: O autor.

O ganho energético na produção de latas com alumínio secundário em relação ao alumínio primário é consideravelmente elevado, são gastos cerca de 15 MWh/t na produção de alumínio a partir do minério e aproximadamente 0,7 MWh/t na reciclagem. [26]

FABRICAÇÃO DAS LATAS DE ALUMÍNIO

O processo de produção das latinhas de alumínio para bebidas é realizado em duas etapas: formação do copo e da tampa. [27]

Na etapa de formação do copo, as bobinas de alumínio tanto primário quanto reciclado passam por uma prensa de copos, em uma máquina *Minster*, na qual ocorre o corte e a transformação da placa em copos rasos. É importante salientar que nessa etapa do processo ocorre a formação de rebarbas, entretanto esse resíduo é reciclado na produção de novas chapas de alumínio, garantindo assim a redução dos custos e a geração de resíduos. [27]

As latas começam a adquirir o formato final quando os copos rasos entram na *Body Maker*, na qual eles são submetidos à pressão, conseqüentemente ocorre à redução da espessura da parede e alongamento do corpo, auxiliando na formação do fundo da lata. A etapa seguinte ocorre na *Trimmer*, responsável por aparar a borda superior dos copos que já foram alongados. Essa etapa tem a finalidade de garantir que os copos possuam o mesmo comprimento. [27]

Os copos de alumínio, já nivelados, passam por um processo de lavagem interna e externa, que tem a finalidade de remover os resíduos de óleo deixado pelas etapas anteriores, após limpos os copos vão para o forno de secagem com temperatura aproximada de 200 °C. Depois de retiradas do forno, as latas estão adequadas para receber a impressão dos rótulos. [27]

Na fase de impressão dos rótulos, as latas devem estar limpas e secas. No equipamento *Printer* ocorre o processo de impressão, denominado flexografia ou litografia, processo de gravura sobre placa de metal. É possível aplicar até 8 cores na latinha com o mesmo movimento. As latas receberão simultaneamente uma camada de verniz incolor para melhorar o acabamento evitando que a tinta “descasque” e uma camada no fundo para assegurar mobilidade à lata. [27]

A etapa seguinte é a cura, na qual as latas são encaminhadas para um forno com a finalidade de fixar a camada externa de verniz. Seguidamente a parte interna das latas também receberá uma camada de verniz para assegurar que o líquido não entre em contato com o metal, impedindo a oxidação da lata e conseqüentemente alteração do sabor da

bebida, como na fixação do verniz externo é necessário que as latas passem pelo forno para secagem e cura do verniz da parte interna. [27]

A extremidade superior da lata é submetida à pressão controlada, diminuindo a abertura, ou seja, o diâmetro, formando a borda para receber a tampa e o pescoço da lata, esse processo denomina-se *Necker*. [27]

O controle de qualidade é realizado em cada etapa do processo, porém após passarem por todas as etapas as latas são submetidas a outras análises de controle de qualidade como feixe de luz de alta intensidade e câmeras de inspeção interna e externa para detecção de mínimos defeitos como partes amassadas, perfurações e imperfeições que podem ocorrer durante o processo de conformação das latas. As latas reprovadas nos testes de controle de qualidade são descartadas e encaminhadas para a reciclagem, já as latas aprovadas serão armazenadas em pallets e enviadas para as indústrias de bebidas. [27]

O molde da tampa é forjado em uma placa de alumínio, assim ocorre a formação da tampa básica, também chamada de tampa “*shell*” tampa. [28]

Em seguida, é aplicado uma camada de selante que tem a finalidade de garantir a vedação necessária entre a lata e a tampa. [28]

A última etapa da formação da tampa é a passagem pela prensa de conversão, na qual ocorre a formação do anel “*tab*” e sua fixação à tampa, nessa mesma etapa a tampa recebe os cortes superficiais. [27] Todas as tampas passam pelo controle de qualidade, as reprovadas nos testes são descartadas e encaminhadas para a reciclagem, já as tampas aprovadas serão fixadas ao corpo das latas. [28]

MATERIAIS E MÉTODOS

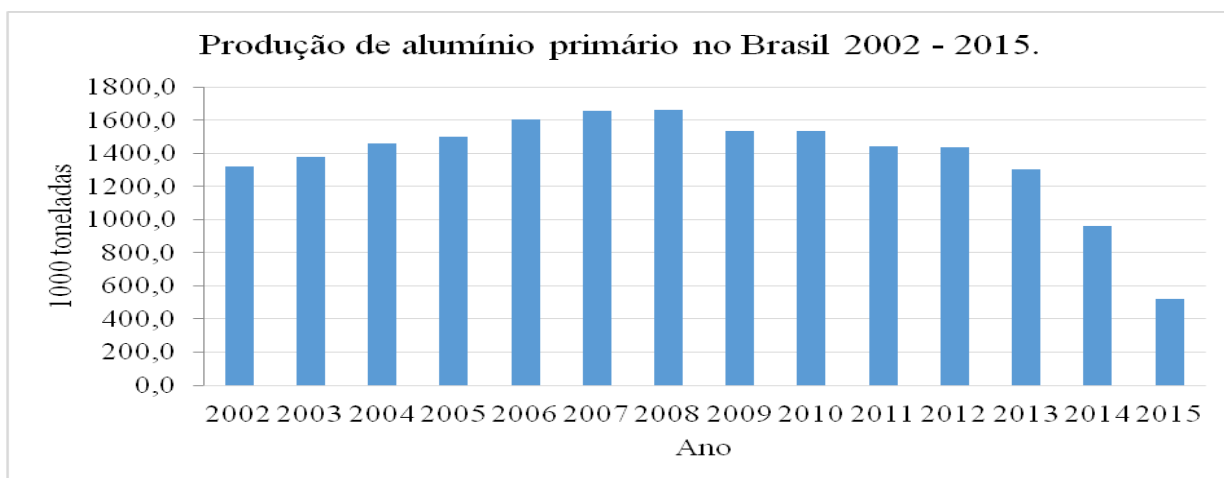
A metodologia de pesquisa foi revisão bibliográfica e análise de dados de custos de energia elétrica, produção de alumínio primário e índice de reciclagem de latas de alumínio. Iniciou-se o trabalho descrevendo a história do alumínio e os primeiros processos de obtenção. Seguiu-se com o levantamento das características e propriedades do alumínio e a importância desse metal para os diversos segmentos da indústria (alimentícia, automobilística, construção civil, aeronáutica, entre outros). Como o alumínio é encontrado na natureza, as características do minério e o mecanismo de extração também foram descritos. As etapas de beneficiamento do minério, refino da alumina e a fundição do

alumínio primário foram descritas. A história da reciclagem do alumínio no mundo e no Brasil, a coleta das latas, o processo de produção do alumínio reciclado e a produção das latas de bebidas foram as etapas explicadas em seguida. Os dados e informações utilizados para elaborar este trabalho foram coletados de fontes confiáveis, especializadas na área de alumínio primário e reciclagem de latas de alumínio. Foram contatadas empresas na área de produção de alumínio, dentre elas a Novelis, que forneceu um informativo sobre alumínio e suas aplicações. Também foram utilizados livros publicados pela ABAL, sites gerenciados por empresas de referência na área de processos com alumínio e reciclagem como a Latapack, Novelis, Hydro, revista sobre alumínio e artigos científicos. A coletânea de informações e dados estatísticos viabilizaram a elaboração de tabelas, gráficos e fluxograma de processo que auxiliaram no desenvolvimento e interpretação dos resultados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados de produção mensal coletados pela Associação Brasileira de Alumínio (ABAL) construímos a Tabela 4 (Anexo 1) e o Gráfico 1 no qual observamos a produção das principais empresas nacionais de alumínio primário. No período de 2002 à 2007 a produção vinha crescendo gradativamente e atingiu sua maior produção em 2008 com cerca de 1.661,1 mil toneladas, porém após esse período a produção passou por oscilações até sofrer uma queda que corresponde a 42% no ano de 2014 comparado a 2008. Os dados de 2015 dos meses de janeiro à agosto somam um total de 522,3 mil toneladas, que corresponde à uma queda de 23,4%, quando comparado aos valores referente aos mesmos meses de 2014 que somaram 682,2 mil toneladas.

GRÁFICO 1 – Produção de alumínio primário no Brasil.



Fonte: O autor.

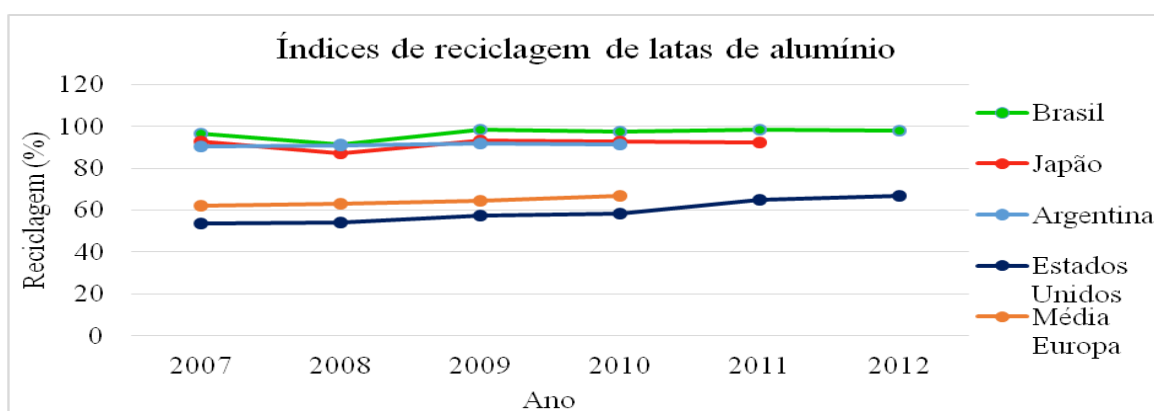
Por meio de dados coletados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) foi possível a construção da Tabela 5 e do Gráfico 2 onde mostra o crescimento da reciclagem de latas de alumínio no mundo. O Brasil é o país que mais recicla com uma média do índice de reciclagem de 96,7% no período de 2007 à 2012, sendo em 2011 o ano com o maior índice de reciclagem de latas de alumínio, já no ano de 2008 foi registrado o menor índice e ainda assim o Brasil foi o país que mais reciclou.

TABELA 5 – Porcentagem de reciclagem de latas de alumínio.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Brasil	96,5	91,5	98,2	97,6	98,3	97,9
Japão	92,7	87,3	93,4	92,6	92,5	-
Argentina	90,5	90,8	92	91,1	-	-
Estados Unidos	53,8	54,2	57,4	58,1	65,1	67
Média Europa	62	63,1	64,3	66,7	-	-

Fonte: O autor.

GRÁFICO 2 – Índice de Reciclagem de Latas de Alumínio (%).



Fonte: O autor.

Observando o Gráfico 2, é possível notar que a partir de 2009 o índice de reciclagem de latas de alumínio no Brasil vem crescendo, podemos então concluir que o motivo da queda na produção de alumínio primário a partir de 2009, apresentada no Gráfico 1, é devido ao aumento da produção do alumínio secundário, ou seja, produção de alumínio a partir da reciclagem de latas de alumínio.

Como já foi dito o processo de produção do alumínio primário consome bastante energia, principalmente na etapa de fundição do alumínio. Em 2010 o consumo de energia na produção de 1.536 mil toneladas de alumínio primário teve um consumo de energia de 23.040 GWh somando todas as etapas desde a extração do minério até a fundição do alumínio, observamos que 88% do total de energia foi consumido somente no processo de fundição da alumina em alumínio primário, por ser um processo eletrolítico. Na Tabela 6 é possível ver com mais detalhes o consumo em cada etapa da produção do alumínio primário.

TABELA 6 - Consumo de energia na produção de alumínio primário.

	Bauxita	Alumina	Fundição	Reciclagem ^(a)	Total
Produção (mil t)	32.028	9.431	1.536	488	43.483
Consumo de energia (GWh)	416	2.829	23.982	342	27.569
Consumo específico de energia (MWh/t)	0,013	0,3	15,6	0,7	-

(a) refere-se à recuperação da sucata.

Fonte: A tabela foi modificada a partir da A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio.

[14]

No ano de 2010 o Brasil reciclou 17 bilhões de latinhas de alumínio, totalizando 239 mil toneladas de sucata de alumínio. [29] Segundo dados na empresa Novelis para se produzir um lingote de 18 toneladas são necessários aproximadamente 1,5 milhão de latinhas de alumínio [30], isso significa que para se obter um lingote de uma tonelada precisa-se de 83,33 mil latinhas, sabendo que o peso médio de uma lata é 13,5 g [20], conclui-se que para se obter uma tonelada de alumínio reciclado utiliza-se 1.125 Kg de latinhas, fornecendo ao processo de reciclagem um rendimento aproximado 89%.

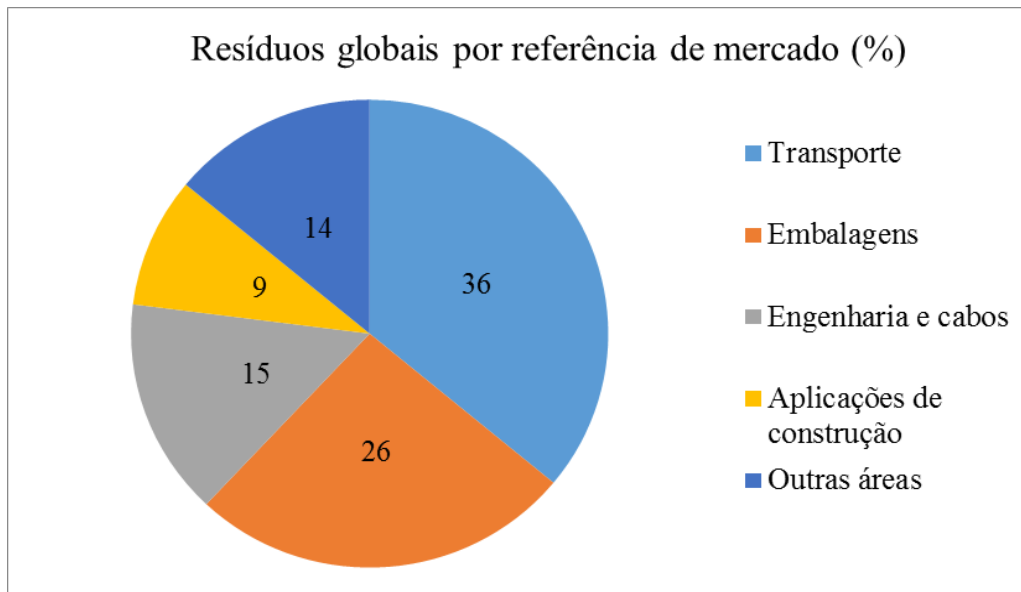
Como foi discutido anteriormente o alumínio é um metal extremamente versátil e com isso a sucata de alumínio pode ser de diversos setores como construção civil, indústria automobilística, embalagens (latas de bebidas), peças mecânicas entre outros. A Tabela 7 e o Gráfico 3 foram gerado a partir dos dados coletados da empresa Novelis que utilizaram os valores de referência do ano de 2011 segundo o Instituto Internacional de Alumínio (IIA).[31]

TABELA 7 - Resíduos globais por referência de mercado.

Mercado	% de reciclado
Transporte	36
Embalagens	26
Engenharia e cabos	15
Aplicações de construção	9
Outras áreas	14

Fonte: O autor.

GRÁFICO 3 – Resíduos globais por referência de mercado.



Fonte: O autor.

O processo de reciclagem de latas de alumínio consome apenas 5% do gasto energético quando comparado a produção de alumínio primário, isso significa que com a mesma energia utilizada para a produção de uma lata a partir do alumínio primário são produzidas 20 latas por meio do processo de reciclagem.

A matriz energética do Brasil é extremamente dependente das usinas hidroelétricas, pois mais de 75% da energia elétrica gerada no país é fornecida pelo movimento das águas. [32] No Brasil toda energia elétrica utilizada para a produção de alumínio primário é fornecida por hidroelétricas, levando o setor a consumir 5,5% da energia elétrica (23.937 GWh) gerada no ano de 2006 segundo dados da revista Inovação e sustentabilidade Alumínio. [26] Na Tabela 8 podemos comparar o consumo de energia e custo entre ambos os processos a partir de dados tarifários fornecidos pela Empresa Brasil de Comunicação, onde fevereiro de 2015 o custo médio da energia para indústria foi de R\$ 403,80 por MWh. [33]

TABELA 8 – Comparativo do consumo e do custo para alumínio primário e reciclado

	Alumínio primário	Alumínio reciclado
Consumo de energia elétrica (MWh/t)	15	0,7
Custo da energia elétrica (R\$/MWh)	6.057	283

Fonte: O autor.

CONCLUSÃO

A reciclagem de latas de alumínio, índice no qual o Brasil é líder mundial, apresenta diversos benefícios na área social, ambiental e econômica. Esses três pilares possibilitam a redução no consumo de energia elétrica e conseqüentemente redução de custos com o processo produtivo, uma destinação adequada dos resíduos retirando as latas de alumínio dos lixões e aterros e permitindo a redução da extração da bauxita, a geração de postos de trabalho com a coleta e reciclagem das latas também são pontos favoráveis que nos permitiram concluir que a reciclagem das latas de alumínio é um processo viável e apresenta benefícios para todos os setores da sociedade. Os diversos benefícios da reciclagem de latas de alumínio a tornam uma atividade extremamente viável e deveriam ser aplicados na reciclagem de outros materiais como papel e plástico, isso promoveria ganhos econômicos, sociais e ambientais ainda mais significativos para a indústria, sociedade, enfim o país de modo geral.

O alumínio é um dos metais mais utilizados na área de construção civil, engenharias e embalagens para bebidas porque possui características diferenciadas quando comparado a outros materiais como aço. O alumínio é um metal leve com densidade de $2,7 \text{ g/cm}^3$, ponto de fusão de $660 \text{ }^\circ\text{C}$, elevada resistência a corrosão devido formação de uma camada passiva de óxido que protege o metal e que impede a degradação do material. Entretanto o processo de obtenção de alumínio primário apresenta uma importante desvantagem: o elevado consumo de energia elétrica. São necessários aproximadamente 15 MWh para se obter uma tonelada de alumínio primário. A elevada demanda energética para a obtenção de alumínio primário tornou o processo de reciclagem do alumínio bastante atrativo economicamente. A reciclagem de latas de alumínio está alicerçada sobre três importantes pilares: econômico, ambiental e social que estão fortemente interligados.

O processo de reciclagem das latas de alumínio possui vantagens que auxiliam na preservação do meio ambiente, por exemplo, no ano de 2010 o Brasil reciclou 17 bilhões de latas de alumínio que equivale a 239 mil toneladas de sucata, isso significa que houve uma redução na quantidade de bauxita extraída do meio ambiente e que aproximadamente 98% das latas de alumínio deixaram de ser enviadas para aterros sanitários e lixões. Do ponto de visto social gera aproximadamente 150 mil postos de trabalho com a coleta de latas pelo país, favorece a formação de cooperativas e associações de moradores, engloba

aproximadamente 2 mil empresas (coleta, transporte, laminação e fabricação de latas), difunde entre a população a importância da coleta seletiva e programas de redução e reciclagem de resíduos sólidos. Já do ponto de vista econômico reduz em 95% o consumo de energia elétrica quando comparado ao processo de obtenção do alumínio primário, somente no ano de 2005 a reciclagem de latas de alumínio possibilitou a economia de 1.800 GWh, isso correspondia a 0,5% da energia elétrica gerada pelo Brasil (energia elétrica suficiente para abastecer uma cidade como Campinas que tem aproximadamente 1 milhão de habitantes no período de um ano).

Os benefícios da reciclagem de latas de alumínio são diversos, por isso se a reciclagem de outros materiais como papel e plástico ganharem maior destaque, como o alumínio possui atualmente, promoveria ganhos econômicos, sociais e ambientais ainda mais significativos para a indústria, sociedade, enfim o país de modo geral.

REFERÊNCIA

- [1] Associação brasileira de alumínio. **Aplicações**. (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aplicacoes/bens-de-consumo/>>. Acesso em 12 out. 2015.
- [2] SHREVE, R. N.; BRINK, J. **A Indústria de processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. p.199 – 296.
- [3] **Revista aluminium, environmente and society**. v. 1, n. 1, p. 9 - 10,2012. (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.hydro.com/pt/A-Hydro-no-Brasil/Sobre-o-aluminio/Ciclo-de-vida-do-aluminio/Refino-da-alumina/>>. Acesso em: 06 out. 2015.
- [4] MOURA, A. R. de S.; FERREIRA, E. H. F.; FUKUSHIMA, F. K.; NETO, T. M. A.; MOUTINHO, T. M. P.; COSTA, T. V. Processo de obtenção do alumínio.2008. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
- [5] Giometti, L. Editorial trajetória emblemática. **Revista alumínio & cia**. v. 30, n. 1, p. 4,2013. Disponível em:<https://www.alcoa.com/brazil/aluminioecia/pt/downloads/revista/Edicao_30.pdf>. Acesso em: 06 out. 2015.

- [6] **Conheça a história da rochedo.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.rochedo.com.br/rochedo.aspx>>. Acesso em 06 out. 2015.
- [7] **A história da indústria no Brasil.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio/historia-da-industria/brasil/>> Acesso em: 06 out. 2015.
- [8] Associação brasileira de alumínio. **Fundamentos do alumínio e suas aplicações.** ABAL, 2004.
- [9] **Ciclo de vida do alumínio.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.hydro.com/pt/A-Hydro-no-Brasil/Sobre-o-aluminio/Ciclo-de-vida-do-aluminio/>>. Acesso em: 14 de out. 2015.
- [10] International aluminium institute. **Revista fourth sustainable bauxite mining report.** v. 4, n. 1, 2008. (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.world-aluminium.org/publications/?search=REVISTA+FOURTH+SUSTAINABLE+BAUXITE+MINING+REPORT+IV&year=>>>. Acesso em 12 out. 2015.
- [11] MÁRTIRES, R. A. C. **Balanco mineral brasileiro 2001.** 2001. Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-aluminio/view>>. Acesso em 12 out. 2015.
- [12] SANTANA, A. L. Departamento Nacional de produção. **Sumário mineral 2014.**v. 34, n. 1, p. 30 – 31, 2014. Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 12 out. 2015.
- [13] **História do alumínio.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.latapack.com.br/mundo-da-lata/historia-do-aluminio/>>. Acessado em: 12 out. 2015.
- [14] **A sustentabilidade da indústria brasileira de alumínio.** 2012. (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/downloads/abal-rio20.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.
- [15] **Cadeia primária.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>>. Acesso em: 15 out. 2015.
- [16] **Refining process.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://bauxite.world-aluminium.org/index.php?id=208&L=0>>. Acesso em: 16 out. 2015.
- [17] **Aluminium for future generations.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://primary.world-aluminium.org/index.php?id=310>>. Acesso em: 16 out. 2015.

- [18] **História da lata de alumínio para bebidas.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/wp-content/themes/abralatas/docs/historiaConteudo.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2015.
- [19] **Quem somos.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/a-abal/quem-somos/>>. Acesso em: 16 ago. 2015.
- [20] CASTRO, M. B. **A reciclagem do alumínio no Brasil.** 1. ed. Rio de Janeiro: Desidrata, 2006. 21 p.
- [21] PERES, B. L.S.; PIRES, V. A. A.; KROM V. Reciclagem de latas de alumínio no Brasil. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 8, 2004, e Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 4, 2004, São José dos Campos. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC6-20.pdf>. Acesso em: 22 de ago. 2015.
- [22] **Latas de alumínio.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/latas-de-aluminio/>>. Acesso em: 22 ago. 2015.
- [23] NOVELIS. Infográfico Reciclagem Latinha [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <pluiza.lima@yahoo.com.br> em 17 ago. 2015.
- [24] **Brasil mantém liderança mundial em reciclagem de latas de alumínio com índice de 87%.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/noticias/lista-noticia/integra-noticia/?id=116>>. Acesso em: 22 ago. 2015.
- [25] **Fluxo de reciclagem.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/fluxo-da-reciclagem/>>. Acesso em: 03 out. 2015.
- [26] OSTRONOFF, H. **Energia para o alumínio.** Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/13/artigo210581-1.asp>>. Acesso em: 05 set. 2015.
- [27] **Lata de alumínio.** (sem especificação do autor). Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/#containerLata>>. Acesso em: 09 out. 2015.

- [28] **Processo produtivo.** (sem especificação do autor). Disponível em:
<<http://www.latapack.com.br/mundo-da-lata/a-lata-de-aluminio/processo-produtivo/>>.
Acesso em: 12 out. 2015.
- [29] **Brasil reciclou 17 bilhões de latinhas de alumínio no ano passado.** (sem especificação do autor). Disponível em:
<<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2011-10-27/brasil-reciclou-17-bilhoes-de-latinhas-de-aluminio-no-ano-passado>>. Acessado em: 06 nov. 2015.
- [30] **O processo de reciclagem.** (sem especificação do autor). Disponível em:
<<http://www.novelis.com/pt-br/paginas/the-recycling-process.aspx>>. Acessado em: 07 nov. 2015.
- [31] **Resíduos globais antigos por referência de mercado.** (sem especificação do autor). Disponível em:<<http://www.novelis.com/pt-br/paginas/Novelis-Recycling-Capabilities.aspx>>. Acesso em: 03 nov. 2015.
- [32] **Matriz energética.** (sem especificação do autor). Disponível em:<<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>>. Acessado em: 03 nov. 2015.
- [33] **Custo médio da energia para a indústria subiu para R\$ 403,98 por MWh, diz Firjan.** (sem especificação do autor). Disponível em:
<<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-02/custo-medio-da-energia-para-industria-atinge-r-4038-por-mwh>>. Acessado em: 03 nov. 2015.

ANEXO

ANEXO 1

TABELA 4 - Produção de alumínio primário no Brasil em mil toneladas.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Jan.	97,8	118,9	119,4	123,8	133,6	136,9	139,8	135,4	128,6	124,0	122,3	115,6	104,8	70,9
Fev.	98,4	107,0	114,5	112,3	120,9	123,5	128,2	120,6	117,2	110,2	116,8	106,7	92,6	63,5
Mar.	111,9	118,9	123,3	125,2	134,9	138,1	138,8	132,9	131,7	120,5	125,0	117,0	101,1	72,2
Abr.	109,9	115,9	119,0	120,3	132,4	136,7	135,9	126,0	126,1	118,4	122,0	110,9	90,5	64,9
Mai.	114,0	120,5	122,8	124,5	137,8	141,8	139,9	129,1	130,9	119,4	123,4	110,6	81,3	62,8
Jun.	109,8	118,2	119,5	120,7	132,6	137,3	139,1	125,6	126,6	117,1	117,8	105,2	71,9	61,3
Jul.	113,3	116,6	123,9	125,9	136,9	141,9	143,3	129,3	130,6	120,0	120,4	110,8	70,4	63,5
Ago.	113,2	108,4	124,1	129,2	136,0	142,3	142,2	129,4	131,6	121,1	121,0	111,7	69,6	63,2
Set.	109,0	106,4	120,5	126,3	131,9	136,6	137,8	125,3	127,6	120,6	117,3	105,4	68,6	-
Out.	113,2	111,7	124,8	130,6	137,2	141,0	141,6	128,9	131,7	124,5	120,0	105,1	71,0	-
Nov.	110,8	115,0	120,8	126,4	132,8	137,1	136,2	123,7	126,4	120,2	112,8	101,0	69,3	-
Dez.	117,1	123,1	125,2	132,4	137,5	141,6	138,3	128,8	127,1	124,4	117,6	104,3	70,9	-
Total	1318,4	1380,6	1457,8	1497,6	1604,5	1654,8	1661,1	1535,0	1536,1	1440,4	1436,4	1304,3	962,0	522,3

Fonte: O autor.