

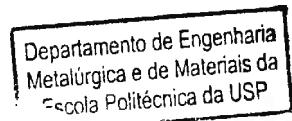
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ENGENHARIA DE MATERIAIS

TATIANA DE BARROS PEREIRA

**ESTUDO SOBRE LATAS DE ALUMÍNIO E DE FOLHA DE FLANDRES: UMA
ANÁLISE AMBIENTAL, MECÂNICA E SOCIOECONÔMICA.**

SÃO PAULO

2018



TATIANA DE BARROS PEREIRA

**ESTUDO SOBRE LATAS DE ALUMÍNIO E DE FOLHA DE FLANDRES: UMA
ANÁLISE AMBIENTAL, MECÂNICA E SOCIOECONÔMICA.**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção de Título de Engenheira.
Departamento de Engenharia de Materiais
e
Metalurgia.

Orientador: Professor Doutor Eduardo
Monlevade.

Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais da
Escola Politécnica da USP

SÃO PAULO
2018

TF-2018
P 414 e

H-2018 S
2325952

DEDALUS - Acervo - EPMT



31800009345

Pereira, Tatiana
ESTUDO SOBRE LATAS DE ALUMÍNIO E DE FOLHA DE FLANDRES:
UMA ANÁLISE AMBIENTAL, MECÂNICA E SOCIOECONÔMICA. / T. Pereira --
São Paulo, 2018.
107 p.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de
Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1.Lata 2.Lata de alumínio 3.Lata de folha de flandres 4.ACV
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia Metalúrgica e de Materiais II.t.

Dedico esse trabalho a todos que, de certa forma, tiveram impacto ao longo da minha vida e tornaram viável a conclusão desse curso.

Em especial, à minha mãe e ao meu pai, Ana Paula e Vladimir, minha irmã e irmão, Paula e André, meu gato, aos amigos sinceros, Gustavo Garcia, Fernanda Guedes, Ana Beatriz, Gabriela Junnis, Nathalia Aguiar, Camila Campanholli, Igor Cavalaro, Thales Platon, Paulo Montijo, aos meus chefes, Pedro Henrique e Lia, e a todos os amigos, familiares e professores.

AGRADECIMENTOS

A conclusão de um trabalho de formatura implica em bem mais do que a simples impressão de infinitas páginas. Aqui estão implícitas todas as palavras de cada professora e professor que constroem não só uma profissional, mas também auxiliam na formação de um ser humano, suas ideologias e caráter.

Não só em minha graduação, mas em toda minha formação, tive muito sorte por passar por tanta gente atenciosa, carinhosa e competente.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos e todas docentes presentes em minha vida. Em especial, ao meu orientador, Eduardo Monlevade, por todo suporte, ideias, incentivos e conversas sinceras nesse tão pouco tempo de trabalho.

Também agradeço ao Rubão e Rafa por toda ajuda nos laboratórios, ao longo do curso.

Ao pessoal da secretaria, em especial à Vera, sempre disposta e alegre.

Ao pessoal da recepção, limpeza e manutenção que sempre garantiram o mais agradável ambiente de estudo para os alunos.

Por fim, agradeço à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Materiais e Metalurgia, que, através de uma boa infra estrutura, proporcionou-me a chance de expandir meus horizontes e me tornar alguém mais completa.

“Não aceito mais as coisas que não posso mudar, estou mudando as coisas que não posso aceitar.”

Angela Davis

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	viii
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. O Mercado de latas no Brasil e no mundo	2
2.2. A Embalagem e o Meio Ambiente.....	12
2.3. Análise de Ciclo de Vida	13
2.4. ACV de Embalagens	18
2.5. Latas de Alumínio	19
2.5.1. Análise da cadeia produtiva do alumínio	20
2.6. Latas de folha de flandres	24
2.6.1. Análise da cadeia produtiva da folha de flandres	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. ACV	34
3.1.1. Software CES EduPack Granta.....	34
3.1.2. ACV Alumínio.....	34
3.1.2. ACV Folha de Flandres	35
3.1.3. Alternativas	36
3.2. Ensaios Mecânicos.....	37
3.2.1. Materiais	37
3.2.2. Métodos	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55

4.1. ACV.....	55
4.1.1. Alumínio	55
4.1.2. Folha de Flandres	57
4.1.3. Vidro	60
4.1.4. Alternativas	62
4.1.5. Comparaçao de resultados	64
4.1.6. Estudo de Casos - Cervejaria Ambev.....	66
4.2. Ensaios Mecânicos.....	68
4.2.1. Ensaio de Compressão	68
4.2.2. Ensaio de Impacto Charpy	74
4.3. Análise Socioeconômica.....	80
5. CONCLUSÕES.....	83
6. ANÁLISE CRÍTICA E PRÓXIMOS PASSOS.....	84
7. BIBLIOGRAFIA	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição do mercado de embalagens de aço e de alumínio no Nordeste e no Brasil.....	3
Figura 2: Diagrama representativo do ciclo de vida de um produto.....	15
Figura 3: Etapas de uma Avaliação do Ciclo de Vida.....	18
Figura 4: (a - esquerda) lata de três peças e (b- direita) lata de duas peças.....	24
Figura 5: Ciclo de vida do alumínio para uso em Lata.....	23
Figura 6: Composição da folha de flandres. (fonte: CSN, 2003).....	26
Figura 7: Layout de uma linha de estanhamento.....	32
Figura 8: Fluxo de produção da Folha de Flandre.....	33
Figura 9: Lata de folha de flandres - Courage Light Ale.....	39
Figura 10: (direita) fundo da lata Courage Light Ale (esquerda) tampa da lata Courage Light Ale.....	39
Figura 11: Lata de folha de flandres - Stoney Ginger Beer.....	40
Figura 12: (direita) fundo da lata Stoney Ginger Beer (esquerda) tampa da lata Stoney Ginger Beer.....	40
Figura 13: Comparação entre as duas latas de folha de flandres.....	41
Figura 14: lata de 350 ml da cerveja Brahma Chopp.....	42
Figura 15: lata de 269 ml da cerveja Brahma Chopp.....	43
Figura 16: Fluxograma resumo dos testes mecânicos realizados.....	44
Figura 17: máquina utilizada no ensaio de compressão.....	46
Figura 18: Esquema de montagem da máquina para o teste de compressão da lata de alumínio vazia.....	47
Figura 19: Esquema de montagem da máquina para o teste de compressão da lata de alumínio vazia.....	48
Figura 20:Esquema de montagem da máquina para o teste de compressão da lata de folha de flandres vazia.....	50
Figura 21: Peça fixada na máquina com fita crepe para o ensaio Charpy.....	52
Figura 22: Máquina Losenhausen usada para o ensaio Charpy.....	53
Figura 23: Medidas possíveis da máquina para o ensaio Charpy.....	54
Figura 24: Requisitos para escolha do material.....	63
Figura 25: Resultado da pesquisa sobre alternativas de materiais.....	63

Figura 26: Lata de alumínio vazia após ensaio de compressão.	69
Figura 27: Lata de alumínio cheia durante teste de compressão.	70
Figura 28: Lata de alumínio cheia pós teste de compressão.	71
Figura 29: Lata de folha de flandres pós ensaio de compressão.	73
Figura 30: Latas após teste de compressão.	74
Figura 31: Ensaio de impacto Charpy.	75
Figura 32: Teste de impacto Charpy sendo realizado na lata de alumínio cheia.	76
Figura 33: Lata de alumínio cheia após impacto.	77
Figura 34: Lata de alumínio vazia após impacto.	77
Figura 35: Lata de folha de flandres antes do teste.	78
Figura 36: Lata de folha de flandres após teste.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espessura das folhas antes da fabricação das embalagens, da parede e o peso das latas ao longo dos anos.....	12
Tabela 2: Características da folha de flandres.....	25
Tabela 3: Resumo das dimensões dos materiais utilizados.....	43
Tabela 4: Condições de ensaio de compressão.....	51
Tabela 5: Gasto de energia e emissão de CO2 para produção de.....	55
Tabela 6: Gasto de energia e emissão de CO2 para produção de 78819 latas de folha de flandres.....	58
Tabela 7: Gasto de energia e emissão de CO2 para produção de 91956	60
Tabela 8: Resumo dos resultados das ACV para os três materiais analisados.....	64
Tabela 9: Dimensionamento do impacto ambiental pelo peso calculado na ACV.....	66
Tabela 10: Definição de quantas unidades equivalem ao peso calculado pela ACV.66	
Tabela 11: Impacto ambiental por unidade de embalagem.....	66
Tabela 12: Hectolitros por tipo de embalagem e seus respectivo gasto ambiental..	67
Tabela 13: Impacto ambiental equivalente à embalagem de folha de flandres.....	67
Tabela 14: Conclusão sobre a redução do impacto ambiental caso se usasse folha de flandres.....	67
Tabela 15: Resultados do ensaio de compressão para a lata de alumínio vazia.....	68
Tabela 16: Resultados do ensaio de compressão para a lata de alumínio cheia.....	69
Tabela 17: Resultados do ensaio de compressão para a lata de folha de flandres vazia.	72
Tabela 18: Resumo dos resultados obtidos nos ensaios de compressão.....	73
Tabela 19: Resumo dos testes de impacto Charpy.	80
Tabela 20: Custo da tonelada de material por região. Legenda: P = prensado L = limpo I = inteiro C = cacos UN = unidade.	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: BRASIL: Capacidade de produção e produção efetiva de latas de alumínio para bebidas – 1997 a 2016 (em bilhões de unidades)	5
Gráfico 2: Brasil: Vendas (em bilhões de unidades)	6
Gráfico 3: Brasil: Crescimento Anual (em %)	7
Gráfico 4: BRASIL: Índices de reciclagem de embalagens – 1997 a 2016 (em %)....	7
Gráfico 5: MUNDO: Índices de reciclagem da lata de alumínio para bebidas – 1991 a 2016 (em %)	8
Gráfico 6: Consumo de alumínio – 2015 (Em milhares de toneladas e em %)	9
Gráfico 7:Sucata de alumínio recuperada – 2015 (Em milhares de toneladas e em %).	9
Gráfico 8: Característica de um Ciclo de Recozimento Contínuo - espessura até 0,22mm.....	29
Gráfico 9: Característica de um Ciclo de Recozimento em Caixa - Carga até 34t ..	30
Gráfico 10: Gasto em energia por fase para a produção de latas de alumínio.	56
Gráfico 11: Emissão de CO2 por fase para a produção de latas de alumínio.....	56
Gráfico 12: Porcentagem de contribuição por fase na produção de latas de alumínio.	57
Gráfico 13: Gasto em energia por fase para a produção de latas de folha de flandres.	58
Gráfico 14: Emissão de CO2 por fase para a produção de latas de folha de flandres.	59
Gráfico 15: Porcentagem de contribuição por fase na produção de latas de folha de flandres.	59
Gráfico 16: Gasto em energia por fase para a produção de latas de embalagens retornáveis de vidro.....	61
Gráfico 17: Emissão de CO2 por fase para a produção de latas de embalagens retornáveis de vidro.....	61
Gráfico 18: Porcentagem de contribuição por fase na produção de embalagens retornáveis de vidro.....	62
Gráfico 19: Comparação da pegada de carbono para os 3 materiais	64
Gráfico 20: Comparação da energia utilizada para os 3 materiais.	65

RESUMO

Latas de alumínio ocupam uma ampla fatia no mercado de embalagens no Brasil. Só em 2017, na maior cervejaria do Brasil, aproximadamente 42,2 milhões de hectolitros foram armazenados e comercializados nesse tipo de embalagem. Ainda, segundo a ABAL, 95% das bebidas no Brasil são vendidas em embalagens de alumínio. Entretanto, a súbita substituição das latas de folhas de flandres pelas de alumínio, entre os anos 80 e 90 e a falta de informações sobre tal transição deixa dúvidas sobre seus benefícios.

O presente trabalho teve por objetivo a realização de uma análise ambiental, mecânica e social em relação aos possíveis tipos de embalagem utilizados. Para a análise ambiental, foi estabelecida um peso de alumínio para a fabricação de latas e, a partir do volume que esse peso comportava, um equivalente foi estabelecido para latas de folhas de flandres e vasilhames retornáveis de vidro.

Após a realização de análise de ciclo de vida para esses três materiais, ficou claro a absurda vantagem em se produzir latas a partir de folhas de flandres. Dos gráficos apresentados, a lata de alumínio emite 147% a mais de dióxido de carbono e os vasilhames de vidro 890% a mais. Já em relação à energia, a lata de alumínio gasta 162% a mais do que a de folha de flandres e o vasilhame de vidro 829%.

Em relação ao ensaio mecânico, foram realizados testes de impacto Charpy e teste de compressão em latas vazias de alumínio e folha de flandres e em latas cheias de alumínio. O teste de compressão, para as latas vazias, mostra que a lata de folha de flandres suporta 290% mais força do que a lata de alumínio. Isso implica em mais peso podendo ser disposto sobre a lata de folha de flandres e, portanto, para estocagem, uma menor área requisitada.

Sobre o teste de impacto Charpy, a lata de folha de flandres foi capaz de absorver 469% mais energia do que a lata de alumínio (comparando-se latas vazias), mostrando-se mais resistente à quedas, por exemplo.

Por fim, uma análise sócio econômica mostra que, hoje no Brasil, existem cerca de 800 mil catadores de sucata, que possuem sua renda vinda exclusivamente da coleta de materiais reciclados, através do valor de revenda desses materiais para cooperativas. A completa substituição das latas de alumínio pelas latas de folhas de flandres poderia acarretar na redução de até 37 vezes da renda desses catadores, revelando um impacto social inaceitável sem que haja medidas que contornem tal resultado.

Palavras-Chave: Lata, Lata de alumínio, Lata de folha de flandres, ACV.

ABSTRACT

Aluminium cans are taken a massive share in the Brazilian packaging industry. Only in 2017, in the Brazilian biggest brewery, approximately 42.2 millions of hectoliters were stored and commercialized on this packing. More, according to ABAL, 95% of the drinks in Brazil are sold in aluminium packages. However, the sudden replacement of tinplate for aluminium cans, between 80s and 90s and the lack of information about the transition leaves doubts about its benefits.

The actual study had as objective the conduct of an environmental, mechanical and social analysis in relation to possible types of packages used. For the environmental analysis, it was established an aluminium weight for the cans manufacturing and, from the volume that this weight beared, an equivalent was established to the tinplate cans and returnables containers of glass.

After the conduct of the life cycle analysis of these three materials, the advantage of producing cans from tinplate was clear. From the graphs presented, aluminium can emits 147% more of carbon dioxide and the glass containers 890% more. Related to energy, aluminium can spends 162% more than tinplate cans and the glass container 829%.

Related to mechanical testing, it was done Charpy tests and compression tests on empty aluminium and tinplate cans and in full aluminium cans. The compression test, for empty cans, shows that the tinplate can supports 290% more force than the aluminium can. It implies in more weight being able to be disposed on the tinplate can and, therefore, for storage, a smaller area requested.

About the Charpy test, the tinplate can was able to absorb 469% more energy than the aluminium can (comparing empty cans), showing more resistance to falls, for example.

Lastly, the socioeconomic analysis shows that, in Brazil, there are about 800 thousand scrap scavengers, who have their wages exclusively from collection of recyclables materials, through the resale value of these materials to cooperatives. The complete replacement of aluminium cans for sheets of tin cans could result in reduction

of up to 37 times of these scrap scavengers wages, demonstrating an unacceptable social impact without measures that circumvent this result.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de latas movimenta milhões no Brasil. Porém, entre os anos 80 e 90 houve uma súbita troca do material que as compõem: antes feitas de folhas de flandres, hoje 100% substituídas pelo alumínio.

As latas de alumínio são produzidas 100% desse metal com adição de resina epóxi, sendo um processo que demanda muita energia devido a eletrólise.

Já a folha de flandres é um material laminado estanhado composto por ferro e aço de baixo teor de carbono revestido com estanho através da deposição eletrolítica. Ambas apresentam boas propriedades mecânicas e são viáveis de serem produzidas no Brasil, já que não há falta de nenhum dos recursos naturais requisitados para a produção desses compostos.

Nesse contexto, o presente trabalho visa discutir quais são as vantagens e desvantagens para a utilização de cada uma das embalagens, além de discutir alternativas ainda não exploradas e outros tipos de materiais não metálicos, como os vasilhames retornáveis de vidro.

Para isso, serão realizadas as seguintes abordagens:

- Ambiental: através da análise de ciclo de vida e do estudo de novos materiais dado
- Mecânica: Pela execução de testes de absorção de impacto e testes de compressão
- Socioeconômica: executando uma análise e comparação de quais efeitos seriam provocados pela substituição parcial ou integral de um material por outro na coleta seletiva.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a revisão bibliográfica deste trabalho de formatura, foram consultados manuais, sites de associações importantes no ramo assim como produtores de latas importantes no Brasil. Claramente também foram usados como base artigos científicos e livros do ramo da engenharia de materiais.

2.1. O Mercado de latas no Brasil e no mundo

Segundo a ABAL, hoje, 95% das bebidas vendidas em lata no nosso país utilizam a embalagem de alumínio. O consumidor logo identificou que a lata de alumínio é mais leve, prática, gela mais rápido e ocupa menos espaço na geladeira. Já os fabricantes de bebidas reconheceram suas vantagens no peso e na produtividade em máquinas, na redução de custos com o transporte e a estocagem. Deste modo, a lata de alumínio abriu mercados, com a vinda de novos fabricantes para o Brasil, atraindo investimentos destinados a aumentar o volume de oferta da chapa e a capacidade de produção de latas que, em 2010, superou 18 bilhões de unidades. A lata de alumínio pode ser reciclada infinitas vezes.

Segundo Souza (2008), O alumínio domina amplamente o mercado nacional, com 92% de market share. Especificamente na região Nordeste, o aço aparece como grande fatia de mercado, sendo responsável por nada menos que 51% da demanda de embalagens metálicas para bebidas naquela região. A figura 1 apresenta a distribuição (%) do mercado de embalagens de aço e alumínio no Brasil e no Nordeste.

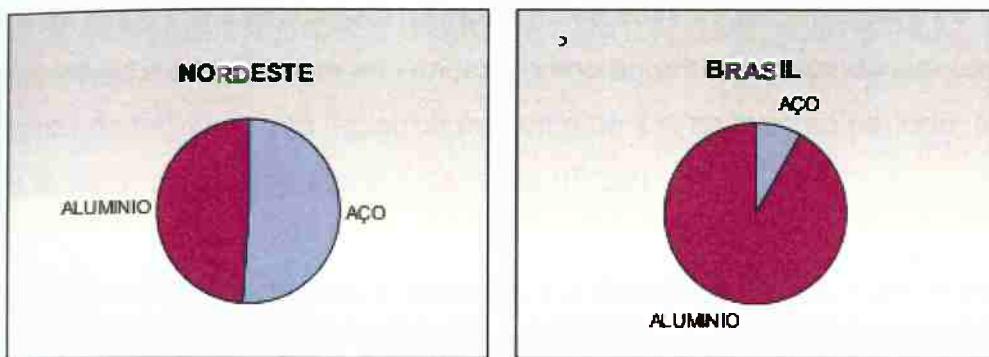


Figura 1: Distribuição do mercado de embalagens de aço e de alumínio no Nordeste e no Brasil.

De acordo com a ABRALATAS, a quantidade de latas produzidas em 2010 foi de aproximadamente 16 bilhões, com capacidade de produção para cerca de 17 bilhões (dado próximo do da ABAL). Em 2016, a produção foi de mais de 25 bilhões só para o uso na indústria de bebidas (gráfico 1).

Embora a produção tenha atingido tais valores, vendeu-se apenas 23 bilhões de unidades em 2016. Um bilhão a menos que no ano anterior (gráfico 2).

Com a produção ultrapassando 25 bilhões de unidades/ano, os fabricantes de latas de alumínio para bebidas têm a expectativa de que os números de 2018 serão similares. “Temos grandes eventos neste ano, como a Copa do Mundo e atividades eleitorais, quando tradicionalmente há aumento no consumo de bebidas”, destaca Renault Castro, presidente executivo da Abralatas.

Outro dado importante é sobre o crescimento da venda de latas de alumínio. Não há um comportamento constante neste caso. Nota-se uma grande queda nas vendas em 1999, indo de um crescimento anual de 35% em 1998 para -5% em 1999. Após recuperação, com taxa de crescimento positiva de 2004 a 2015, em 2016 esse número volta a ser negativo, cerca de 4% (gráfico 3).

Porém, o setor de embalagens deu os primeiros sinais de que a economia brasileira está se recuperando, e fechou 2017 com um crescimento global de 1,96% na produção física, segundo a Associação Brasileira de Embalagem (Abre). A

resposta foi ainda mais animadora na indústria de latas de alumínio para bebidas, com um crescimento de 4,9% sobre as vendas do ano anterior, ampliando sua participação no mercado de bebidas, que registrou aumento de 1% no mesmo período, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Em relação à reciclagem, é sabido que o Brasil detém umas das maiores taxas de reciclagem de latas, sejam elas feitas de aço ou alumínio. No gráfico 5 pode-se observar que, segundo a ABRALATAS, o aço atingiu seu valor máximo de taxa de reciclagem em 2004, com quase 90%, Em 2013 esse valor era pouco acima de 75%. Já o alumínio está muito próximo do 100% desde 2009, tendo seu valor mínimo em 1997 (início das medições) com 65%. Ambos os materiais estão muito acima de taxas de reciclagem de outros tipos de embalagens como vidro (em torno de 50%) e PET (cerca de 60%), conforme mostra o gráfico 4.

No Gráfico 5, observa-se como o Brasil está a frente de todos os clusters analisados em termos de reciclagem de alumínio. Japão e Argentina também possuem ótimos resultados (próximos de 90% em 2009) , acima de Europa e Estados Unidos, 70% e 60% respectivamente em 2009. Europa e Japão em 2013 já tinham melhorado bastante esse número, próximos de 75%.

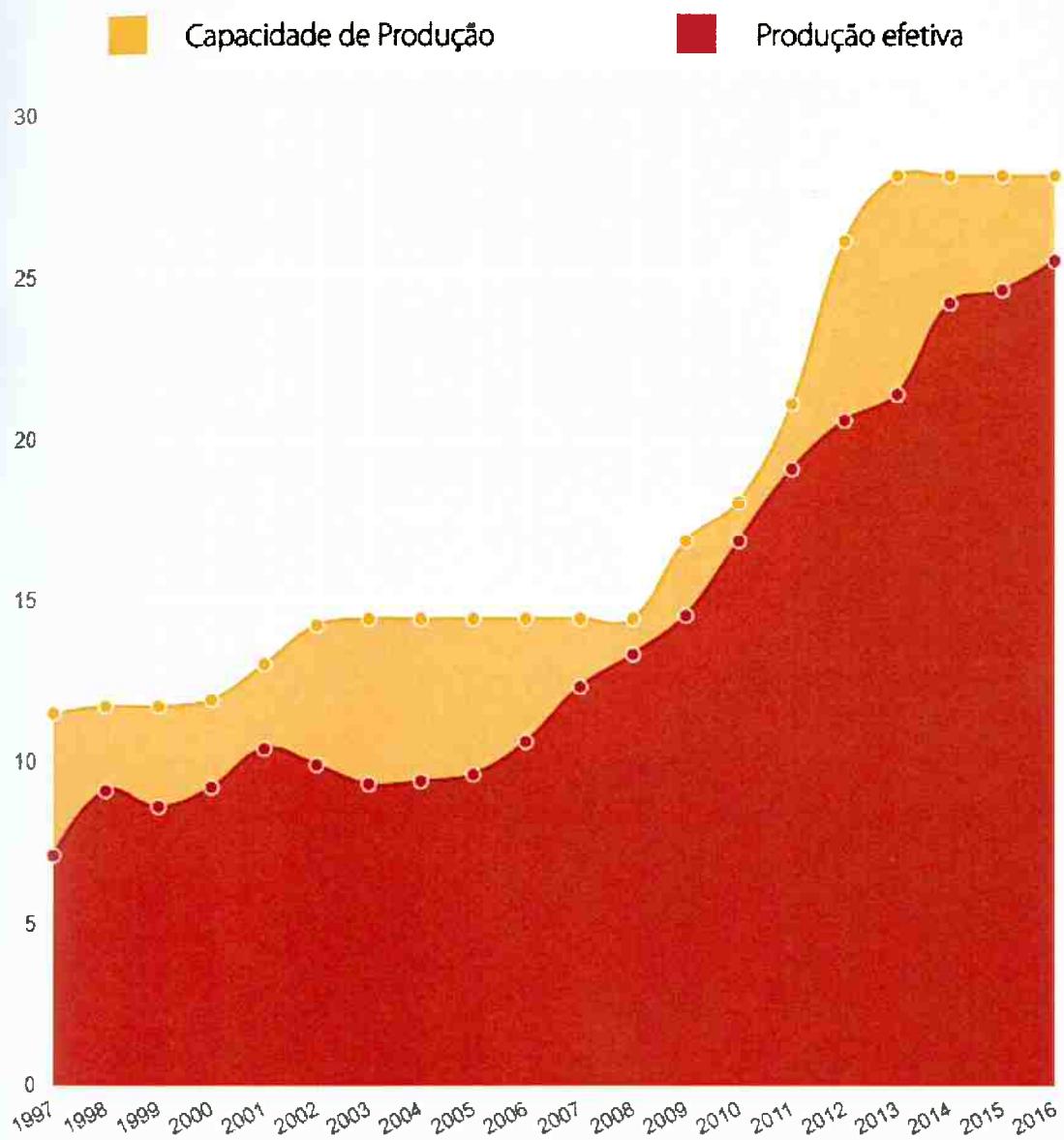


Gráfico 1: BRASIL: Capacidade de produção e produção efetiva de latas de alumínio para bebidas – 1997 a 2016 (em bilhões de unidades).

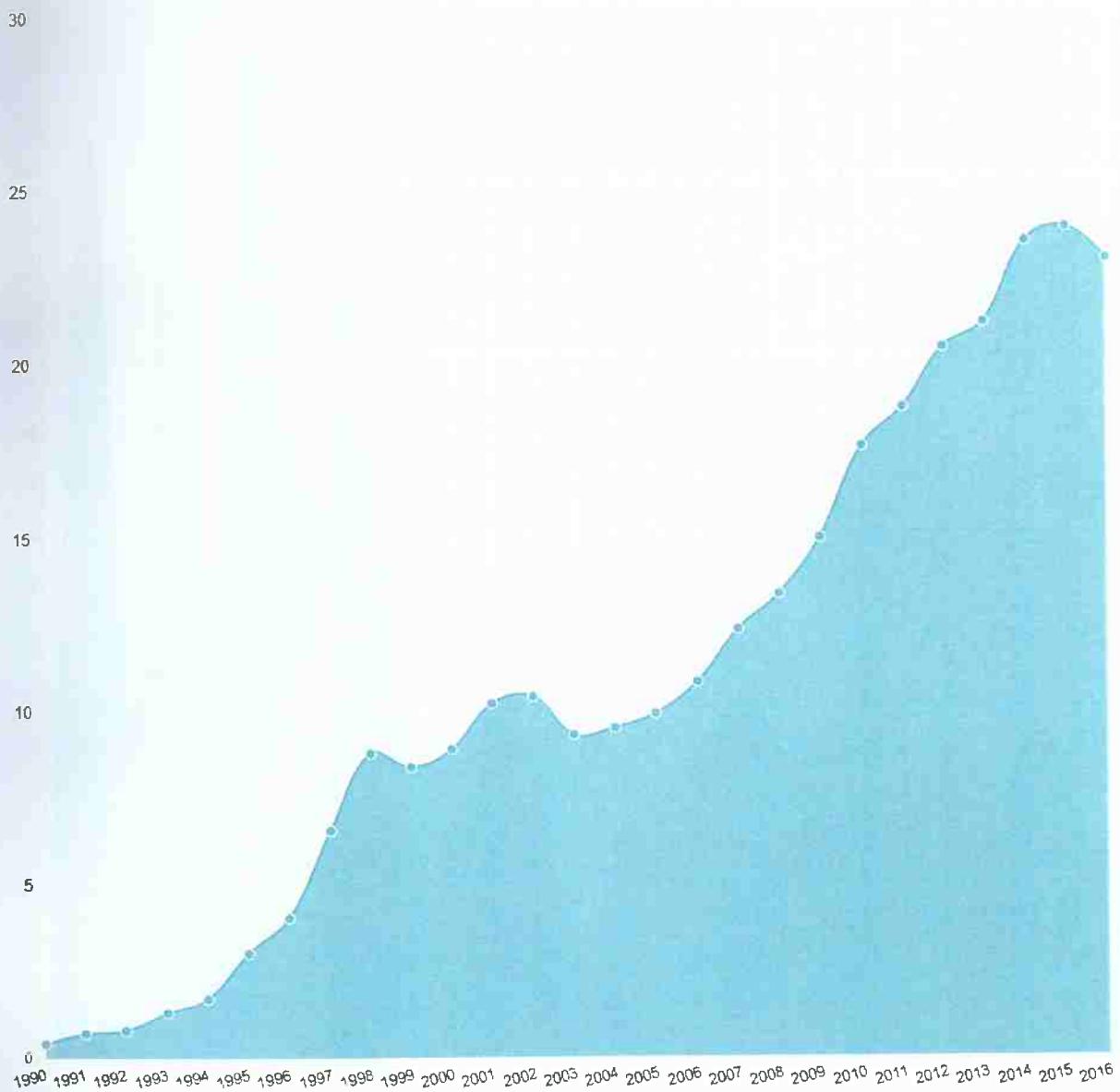


Gráfico 2: Brasil: Vendas (em bilhões de unidades).

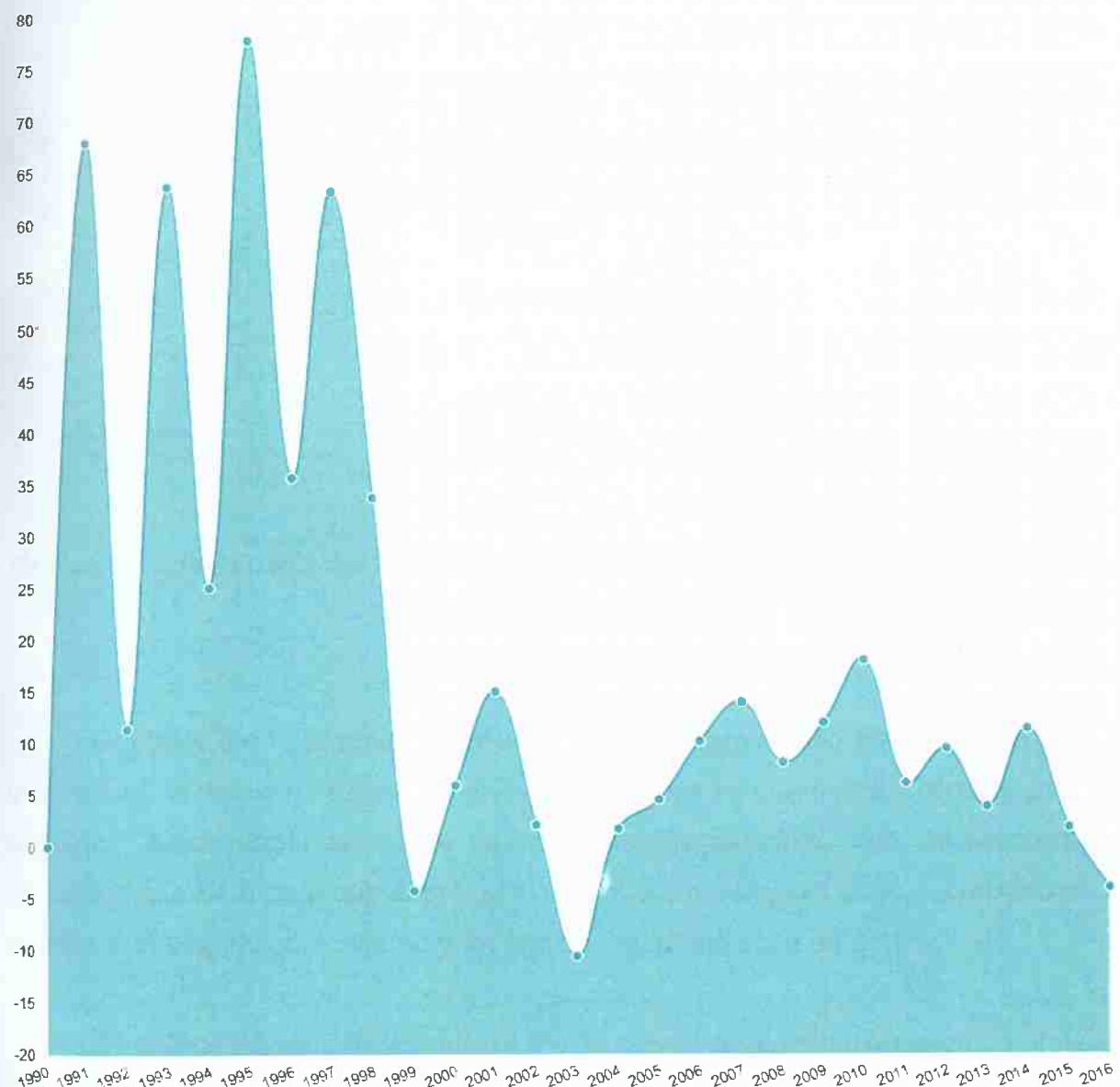


Gráfico 3: Brasil: Crescimento Anual (em %).

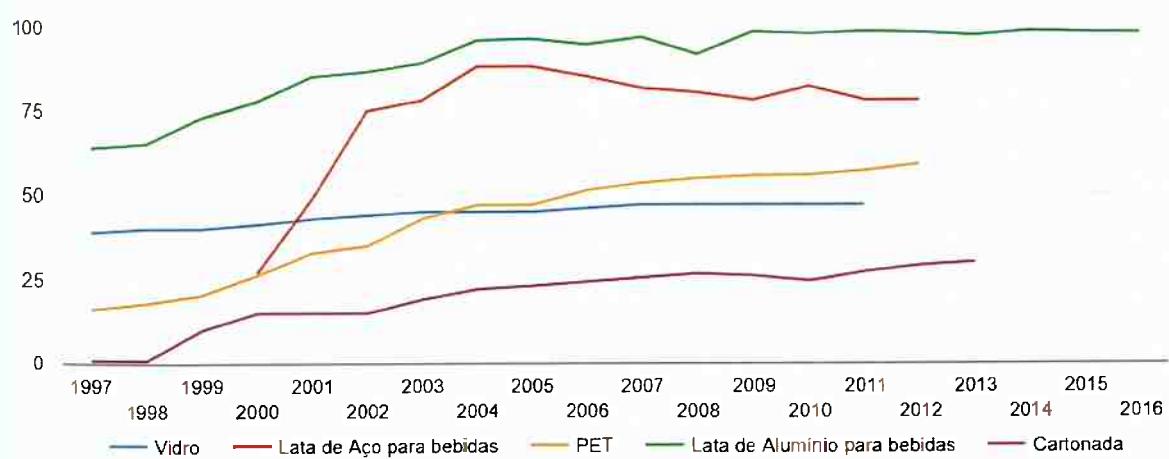


Gráfico 4: BRASIL: Índices de reciclagem de embalagens – 1997 a 2016 (em %).

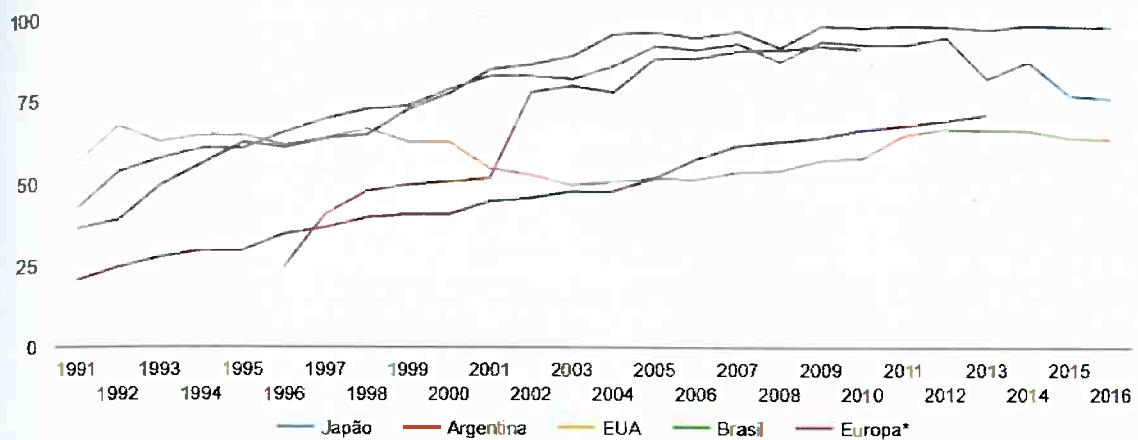
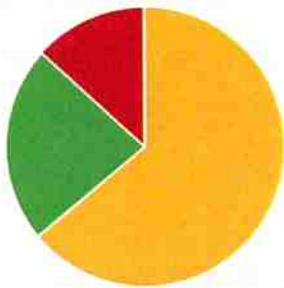


Gráfico 5: MUNDO: Índices de reciclagem da lata de alumínio para bebidas – 1991 a 2016 (em %).

O gráfico 6 e 7, segundo a ABRALATAS, mostram a importância da lata para a indústria do alumínio no Brasil. No gráfico 6, observa-se que do total do consumo de alumínio, aproximadamente 23% vai para latas de alumínio, 13% vai para outras embalagens e 64% para outros produtos que não embalagens. Logo, se analisarmos apenas embalagens, o consumo para latas de alumínio seria de 61,2%.

Do gráfico 7 podemos ver que 48,6% da sucata de alumínio recuperada provém das latas de alumínio.

Consumo de Alumínio



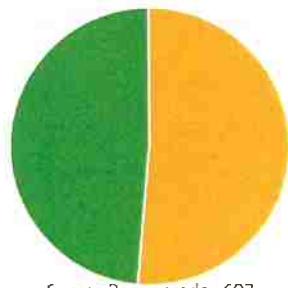
Consumo Total : 1.308,5

Embalagens : 471

Latas de Alumínio: 298,7

Gráfico 6: Consumo de alumínio – 2015 (Em milhares de toneladas e em %).

Sucata de Alumínio Recuperada



Sucata Recuperada : 602

Lata de Alumínio : 292,5

Gráfico 7: Sucata de alumínio recuperada – 2015 (Em milhares de toneladas e em %).

Segundo Dantas (2005), do CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagens, o segmento de embalagens metálicas de bebidas carbonatadas representa uma importante parcela do consumo de embalagens.

De acordo com dados do BNDES (1998), a indústria de latas de alumínio para bebidas no Brasil teve sua origem em 14 de outubro de 1989 quando a Latasa S.A. (atual Rexam) inaugurou sua primeira fábrica no município de Pouso Alegre - MG. De lá até 2007, mais de 110 bilhões de latas já foram produzidas no Brasil. Só no ano passado, segundo a ABRALATAS, mais de 25 bilhões de latas foram produzidas.

Em 2006 a ABEAÇO, além de as outras empresas que atuam nesta indústria também não descartavam a possibilidade de voltar a usar o aço em latas para bebidas carbonatadas, desde que algumas condições essenciais favoreçam o uso deste metal. Entretanto, quando olham-se as fontes de tal associação no presente, tal setor não é mais citado.

Segundo a ABAL, O Brasil é o décimo primeiro produtor de alumínio primário, precedido pela China, Rússia, Canadá, Emirados Árabes, Índia, Austrália, Noruega, Bahrein e Estados Unidos; terceiro produtor de bauxita, atrás da Austrália e China; e terceiro produtor de alumina, atrás de China e Austrália. Falando sobre a indústria do alumínio e não especificamente latas, em 2016 o Brasil faturou 55,7 bilhões com a indústria do alumínio (0.9% do PIB brasileiro) mostrando a relevância deste setor para o país.

Em relação à competição entre alumínio e aço para latas, segundo Souza (2008), o alumínio responde por 78% de um total de 220 bilhões de unidades produzidas no Mundo e por impressionantes 90% das 9,4 bilhões de unidades produzidas no Brasil em 2005 (ABAL, 2006). O restante, tanto no Brasil quanto no Mundo, é preenchido pelas latas de aço.

A melhoria das condições econômicas e demográficas brasileiras é a grande responsável pelo aumento do consumo de embalagens metálicas no segmento de bebidas. A maturação do mercado, que acredita-se já estar ocorrendo hoje, deverá gerar um crescimento da ordem de 5% ao ano.

Em relação ao mercado brasileiro, vemos em destaque no ABRALATAS, empresas como Crown Cork & Seal, Grupo Can-Pack (que comprou a metalic -

Nordeste - uma das maiores fabricantes de latas de aço no Brasil, sobretudo Nordeste, como é mostrado na figura 1) , Ball e Ardagh Group.

Antes, segundo Souza (2008), o mercado brasileiro é dominado por um oligopólio formado por Rexam, Latapack, Crown Cork & Seal e Metalic.. Estas 4 empresas fornecem quase que a totalidade das latas necessárias para a venda de bebidas aqui no Brasil. Seus principais clientes são AMBEV, Coca-Cola, Schincariol, Pepsi entre outros. Estas empresas já realizaram no país investimentos que superam a casa de 1,5 bilhão de dólares, com 13 estabelecimentos industriais presentes em 9 estados da federação.

Em 2007, a indústria de latas de alumínio no Brasil faturou mais de 3 bilhões de reais gerando impostos e contribuições superiores a 1 bilhão de reais (ABAL, 2008).

A Metalic, agora pertencente ao grupo Can Pack, é a única produtora de embalagens metálicas para bebidas do Brasil a utilizar o aço como matéria prima. A Metalic utiliza o aço DWI - Draw & Wall Ironing (Estampo e Estiramento) na fabricação das latas. Trata-se de uma folha de flandres com características especiais que permitem o estiramento do metal e, portanto, uma redução de até 70% da espessura original da chapa. O Aço DWI é produzido por um único fabricante no Brasil que é a CSN.

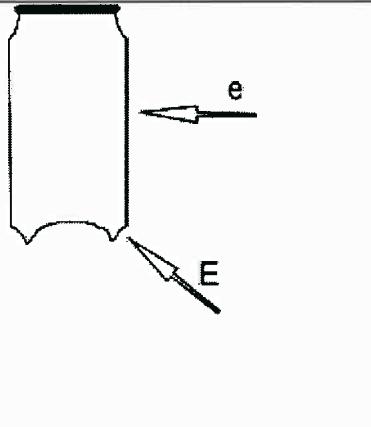
Latas DWI representam quase 60% de todas as latas produzidas no mundo, atingindo cerca de 230 bilhões de unidades por ano (NUTTING, 2003). Sua expansão tem sido caracterizada também pela diversificação de mercado. Por exemplo, na França, a empresa Boxal produz latas DWI em aço para aerosol desde 1997.

Os produtores de folha metálica (folha-de-flandres), matéria-prima para a fabricação de latas de aço, principalmente os europeus - British Steel, Hoogovens, Sollac e Rasselstein, vêm efetuando inversões, segundo o Metal Bulletin Monthly – MBM (2007), tanto no desenvolvimento da própria embalagem de aço quanto na melhoria da qualidade das folhas, visando aumentar a competitividade da lata de aço no fator tecnologia/custo. O peso das latas de aço reduziu-se em 20% nos últimos 10

anos, chegando a 26 gramas para as latas de 350 ml (12 oz), com consequentes reduções nos custos diretos e indiretos. Segundo Souza (2008), o peso em 2007 foi de 29,5g. Com o passar do tempo, houve uma redução na espessura da folha e na espessura final da parede, o que propiciou uma redução no peso total da embalagem o que consequentemente, promove uma queda no custo da embalagem. Isto ocorreu tanto no aço quanto no alumínio, conforme tabela 1.

Tabela 1: Espessura das folhas antes da fabricação das embalagens, da parede e o peso das latas ao longo dos anos.

ALUMINIO	PESO (g)	ESPESSURA (mm)	
		E	e
1995	16,66	0,28	0,12
1998	14,30	0,27	0,09
2007	13,50	0,26	0,09
<hr/>			
AÇO	PESO (g)	E	e
1990	36,00	0,305	0,12
1995	34,00	0,28	0,10
2007	29,50	0,26	0,09



Os produtores de latas de aço ganharam a confiança de seus clientes, não apenas devido à sua eficiência técnica, mas também em face da garantia de fornecimento futuro em condições competitivas (ABEAÇO).

2.2.A Embalagem e o Meio Ambiente

A indústria de embalagem é hoje um dos setores mais importantes do mundo, embora somente agora comece a ser reconhecida e diagnosticada como um setor estratégico para a sociedade. Representa um mercado de US\$ 500 bilhões, composto por aproximadamente 100.000 empresas e com uma geração de 5 milhões de empregos (ANTUNES, 2005).

O consumo per capita anual de embalagens também é um indicador de desenvolvimento. Na década de 90, onde notava-se um grande contraste do

consumo do Brasil (US\$ 62) com o dos EUA (US\$ 400), da Europa (US\$ 385) e do Japão (US\$ 450) (BELO, 1993). Em 2005, de acordo com a World Packaging Organization, o segmento de papel e papelão lidera o mercado mundial (33%), seguido de plásticos (26%), metálicas (25%), vidro (6%) e outros (10%) (ANTUNES, 2005).

A primeira vítima destas discussões é, sem dúvida alguma, a embalagem. Alvo de grandes investimentos tecnológicos que a tornaram mais complexa e vista como a grande solução para preservação e transporte de variados produtos, a embalagem encontrou-se, de um dia para o outro, no papel de vilã. Acusada de ser a grande geradora do lixo não reutilizável, a embalagem vem sofrendo ataques de grupos ambientalistas, sem que seja verdadeiramente analisada a sua utilidade e, na maioria das vezes, a sua indispensabilidade (Prado, 2007).

Apesar disso, através da implementação dos estudos de ciclo de vida (ACV's), ou por meio de processos de reciclagem de embalagens pós-consumo o problema ambiental envolvendo as embalagens está diminuindo (GARCIA, 2000).

No Brasil, são coletadas 120 mil toneladas de lixo por dia. Desse número, estima-se que 80% são depositados em céu aberto, nos chamados lixões. O vidro, que não é biodegradável, representa 3% dos resíduos urbanos. No total são reciclados cerca de 35% do material.

As latas de alumínio correspondem a menos de 1% do lixo recolhido e leva de 100 a 500 anos para desaparecer. A latinha pode ser reciclada inúmeras vezes sem a perda de nenhuma de suas características (RECICLAGEM, 1999).

2.3. Análise de Ciclo de Vida

O discutido desenvolvimento sustentável está focado em melhoria de qualidade de vida, fugindo da utilização desbalanceada de recursos naturais. Muitos conceitos têm sido desenvolvidos nos últimos tempos para avaliar o uso

desses recursos e o gerenciamento ambiental desde uma visão individual até em um âmbito mais global (HOSPIDO et al., 2005).

Um exemplo da preocupação com o meio ambiente são os materiais para embalagens que vem sendo um importante tópico na área de análise do ciclo de vida nesses últimos anos (HISCHIER et al., 2005).

A Avaliação do Ciclo de Vida de um produto, ou ACV estuda a complexa interação entre um produto e o ambiente, utilizando para tanto a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto (VIGON et al., 1993; BRENTRUP et al., 2004).

A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, desde a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição; o uso, o reemprego, a manutenção; a reciclagem, a reutilização e a disposição final (SETAC, 1993).

Conhecido internacionalmente pela sigla LCA - Life Cycle Assessment, a metodologia é muito mais abrangente do que um estudo de balanço de energia e massa (CEMPRE, 2005).

Uma das características da ACV é identificar oportunidades de aperfeiçoamento ambiental no processo de fabricação e utilização de materiais, apoiando a redução dos resíduos, planejando a reutilização e a reciclagem (COLTRO, 2003).

O ciclo de vida inicia-se quando os recursos para sua fabricação são removidos de sua origem, a natureza (berço) e finaliza-se quando o material retorna para a terra (túmulo). Através disso, resgata-se a história das coisas a partir da natureza, em termos do que é consumido e de como é devolvido para ela.

Este é, também, o primeiro passo na busca do desenvolvimento sustentável (COLTRO, 2003) (ANTON et al, 2003).

A Figura 2 ilustra um diagrama representativo do ciclo de vida de um produto.

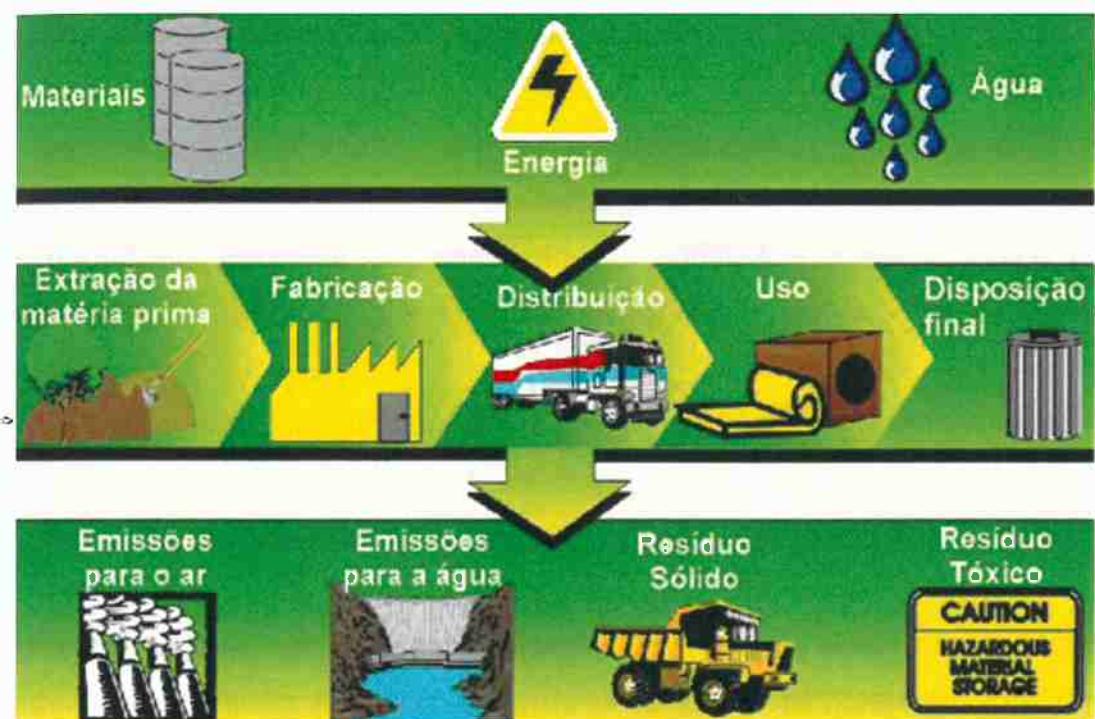


Figura 2: Diagrama representativo do ciclo de vida de um produto.

(Fonte: PEREZ, 2005.)

Para se descrever o processo é necessária a construção de uma planilha de balanços de massa e energia, calculando-se automaticamente a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas. Por este motivo, alguns analistas referem-se ao trabalho como uma análise dos recursos e perfis ambientais, e com esta ferramenta pode-se avaliar e tomar decisões gerenciais de forma a contribuir para a melhoria e conservação do meio-ambiente.

De uma forma geral, dois objetivos podem ser considerados principais na ACV: descrever quais emissões serão geradas e quais matérias-primas serão usadas durante a vida de um produto e realizar a análise de quais são os impactos destas emissões e consumos de matérias-primas (PRE CONSULTANTS BV, 2004).

A ACV possui inúmeras vantagens, entre as quais a otimização dos produtos do ponto de vista ambiental e a ajuda na aquisição de informações para o processo de controle de produção e no melhor entendimento dos aspectos ambientais ligados aos processos produtivos de forma mais ampla.

Além disso, a ACV é útil para a tomada de decisões e para a seleção de indicadores ambientais relevantes na avaliação de projetos e processos, servindo como suporte em decisões de fabricação na indústria e governo, como no planejamento estratégico (ANTON et al., 2003; PRODUCT, 2004).

A ACV também contribui para a diminuição dos resíduos devido à redução do uso de energia e de materiais e é útil como ferramenta de marketing para a obtenção de declarações e rótulos ambientais de produtos amigos do ambiente.

Por fim, a ACV identifica oportunidades de melhoramentos dos aspectos ambientais considerando as várias fases de um sistema de produção. Promove motivação com relação ao atendimento de uma futura legislação ambiental e na avaliação de componentes feitos de diferentes materiais, e atende às exigências de contínuo aprimoramento nos sistemas de gestão ambiental que demandam as séries ISO 14000 (CHEHEBE, 1998).

O estudo de ACV gera um banco de informações que também permite comparar as entradas e saídas de um sistema associadas com produtos alternativos, processos ou atividades. Também auxilia no desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades visando uma redução das necessidades de recursos e/ou emissões (NEMECEK et al., 2005; CHEHEBE, 1998).

A avaliação do ciclo de vida de produtos ainda encontra-se em um estágio inicial em seu desenvolvimento, havendo por isso algumas preocupações referentes à sua praticidade e custos envolvidos. Existem quatro fatores principais que limitam a ACV. Inicialmente, a coleta de dados é complexa e cara, em seguida existem muitas incertezas relativas à sua credibilidade, devido às suposições sobre a coleta de dados e determinação de categorias de impacto feitas durante o estudo (KNIGHT, 1996).

Uma das dificuldades está em decidir que atividades inerentes àquele produto em estudo podem ser eliminadas. Existem, dentro da metodologia, critérios para eliminar etapas, chamados de sistemas de produtos, ou seja, o sistema que foi definido por um determinado produto. O passo seguinte é o de levantamento das informações, levando em consideração o que a série ISO 14000 designa em termos de aspectos ambientais, sobre o que entra do meio ambiente, em termos de matéria ou de energia, ou o que esse sistema devolve para o meio ambiente (COLTRO, 2003).

O terceiro fator limitante é que os resultados alcançados para um estudo em determinada região não podem ser transportados para outras regiões, o mesmo acontecendo com a época em que se realiza o estudo, uma vez que diferenças sócio-econômico-culturais podem afetar o resultado final. Por fim, a segurança dos resultados depende da qualidade, viabilidade e tipo dos dados de entrada coletados.

Desta forma, alguns princípios devem nortear o desenvolvimento de qualquer procedimento nesta área, entre os quais: a ACV deve sistematicamente localizar os aspectos ambientais do sistema produtivo, na etapa de escopo deve-se poder explicar e defender as suposições adotadas como parâmetros, os dados coletados devem ser documentados e comunicados claramente, e as previsões devem ser feitas respeitando a confiabilidade do dado (KNIGHT, 1996).

O processo de avaliação do ciclo de vida é bastante complexo. Existem modelos que são usados em conjunto com outras ferramentas, como as auditorias ambientais, os diagnósticos ambientais, assim como existem modelos que quantificam o impacto ambiental.

Mas a ACV tem uma característica que a individualiza: além de ser a única que avalia o ciclo de vida todo, é a única que pode ser usada para comparar produtos (COLTRO, 2003).

As principais etapas da Avaliação do Ciclo de Vida de um produto são: a definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto, interpretação e revisão crítica. Estas fases estão ilustradas na Figura 3.

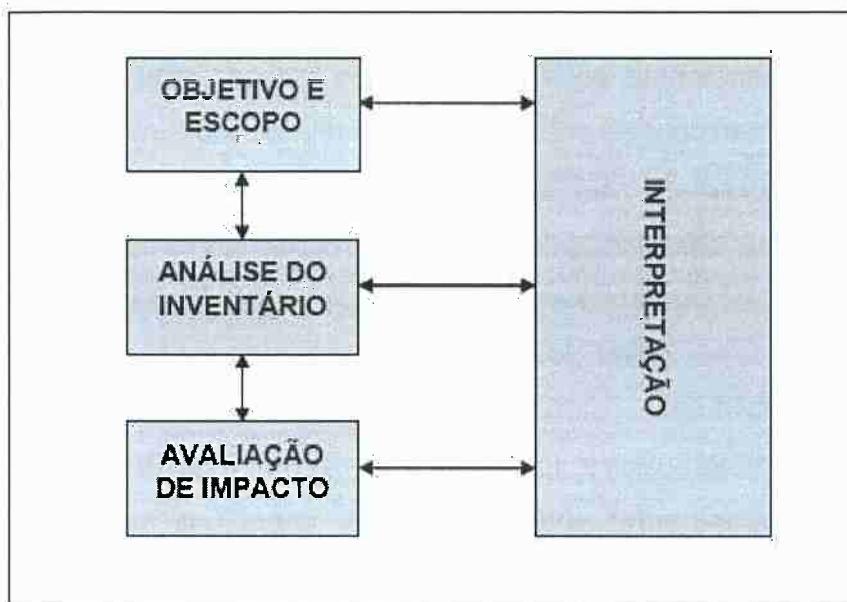


Figura 3: Etapas de uma Avaliação do Ciclo de Vida.

(Fonte: ABNT NBR ISO 14040, 2001)

2.4.ACV de Embalagens

A evolução no mercado de embalagens é grande. Isto acontece em função da escolha dessas embalagens, que primam por tecnologias mais limpas e não só os custos e a preferência do consumidor (MOURAD, 2003).

No Brasil, o Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, através do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA é pioneiro em estudos de ACV de embalagens. Em 1997, o Instituto desenvolveu um estudo com objetivo de estabelecer a capacitação brasileira para realização de ACV de produtos e processos associados à embalagem. O intuito foi assessorar setor privado e órgãos governamentais nas decisões de otimização e interpretação da relação da embalagem com o meio ambiente (COLTRO, 2003).

A embalagem é essencial para a indústria e para o comércio, sendo fundamental para a logística de distribuição dos produtos desde os centros de

produção até o consumo. Entretanto, é notório que após seu uso, ainda há um valor agregado à embalagem, seja pelo material que pode vir a ser aproveitado ou pela energia que ainda está disponível nesse resíduo.

Entre os anos de 1983 e 1984, o governo finlandês em parceria com empresas do setor, financiou um estudo de ACV de embalagens para bebidas, principalmente cerveja. Foram selecionadas garrafas de vidro e de PET e latas de aço e alumínio. O objetivo do estudo foi a melhoria dos sistemas de fabricação das embalagens na indústria. Para o governo, os resultados auxiliaram em tomadas de decisão sobre a economia do setor, educação dos consumidores e investimentos em tratamento de resíduos municipais (LEPPÄNEN, 1994).

A embalagem de alumínio tem sido no Brasil, a embalagem de maior taxa de reciclagem devido ao seu maior valor de compra, fomentando uma economia informal para este tipo de recipiente. Essa variável tem importância fundamental na ACV deste tipo de embalagem (ALCOA, 2005).

2.5.Latas de Alumínio

O Alumínio é um metal branco, brilhante, leve, dúctil e maleável. É abundante na natureza, principalmente na forma de silicatos. Embora seja muito oxidável, não se altera em contato com água ou ar, pois sua superfície é protegida por uma fina camada de alumina (MINERAL, 2005).

Acredita-se que o alumínio tenha se formado através de sucessivas colisões de átomos de hidrogênio em altas temperaturas e fortes pressões durante o nascimento do sistema solar. Há mais de 7 mil anos, os ceramistas da Pérsia faziam seus vasos de um tipo de barro contendo óxido de alumínio, o que hoje conhecemos como alumina (ALCOA, 2005).

O alumínio não ocorre isolado na crosta terrestre e sua obtenção depende de etapas de processamento até chegar ao seu estado metálico. O primeiro processo de transformação do alumínio em grandes quantidades ocorreu em 1886, através de reações químicas com a bauxita (ALCOA, 2005).

São duas as fases de produção industrial, a obtenção de alumina pura e a eletrólise ígnea da alumina. Na obtenção de alumina pura, o minério de bauxita é atacado por soda, precipitado para a eliminação de impurezas, lavado e calcinado. Em seguida, ocorre a redução ou eletrólise da alumina. O processo ocorre em solução de fluoreto duplo de alumínio e sódio, sendo o material fundido. O alumínio é então recolhido através de cátodos, com pureza de 99,8% (SIDRAK, 1998).

O ciclo de vida das latas de alumínio se inicia na etapa de extração da bauxita e segue até as etapas de reciclagem das latas pós-consumo. Para fabricação do alumínio, é necessário separar os elementos que compõem a bauxita da alumina. Obtém-se a alumina, um pó branco, bem parecido com o açúcar refinado. Após uma série de processos químicos, chega-se ao alumínio: metal nobre, 100% e infinitamente reciclável (MÁRTIRES, 2002). Este material é enviado para as etapas de fundição e produção de lingotes, que serão laminados e depois passarão pelos processos de estampagem e envernizado (CONSTANTINO et al., 2002).

A etapa seguinte é a de produção das latas que, depois de prontas, são lavadas, envasadas e distribuídas aos centros consumidores. Após o consumo, essas latas são recolhidas e encaminhadas para os processos de reciclagem.

2.5.1. Análise da cadeia produtiva do alumínio

Para a fabricação de uma lata de alumínio, considera-se um ciclo de vida que é iniciado com a extração da bauxita até a reciclagem após o consumo da bebida. Podemos ver todo o ciclo na figura 5 ao final do tópico.

Inicialmente a bauxita é extraída e encaminhada para processamento, obtendo-se a alumina. A alumina é então submetida ao processo de eletrólise, transformando-se em alumínio. Este material, produzido na forma de pó, é enviado para as etapas de fundição e produção de lingotes, que após laminados passam pelo processo de estampagem e envernizado antes de seguirem para a etapa de produção de latas. Finalmente as latas são lavadas, envasadas e encaminhadas para os centros

consumidores. Após o consumo, as latas são recolhidas e encaminhadas para a fundição.

A seguir, são descritas de forma detalhada as etapas do ciclo de vida da produção de alumínio para a fabricação de latas.

Extração da Bauxita

A extração da bauxita é realizada com o auxílio de retroescavadeiras e o minério é transportado para o beneficiamento em seu estado natural sem a eliminação das impurezas.

Produção da Alumina

Para que a bauxita se torne alumina, devem ocorrer algumas etapas de beneficiamento. Na primeira etapa do beneficiamento da bauxita é realizada a Trituração do minério. Em seguida ocorre a adição de soda cáustica ao material e o aquecimento da solução através da injeção de vapor (FORTLAR, 2004). A solução é então encaminhada para os processos de sedimentação e filtragem eliminando-se as impurezas presentes na bauxita. Esta solução, livre de todas as impurezas, segue para a fase de precipitação, etapa em que ocorre a precipitação da alumina contida na solução através do processo de cristalização por semente. O material segue então para lavagem e secagem através de aquecimento, obtendo-se a alumina em forma de pó (FORTLAR, 2004).

Eletrólise

A fabricação do alumínio é realizada através da eletrólise da alumina. A alumina dissolvida em criolita fundida é submetida à ação de uma corrente elétrica contínua, se decompondo em alumínio e oxigênio. O alumínio metálico deposita-se sobre o cátodo e o oxigênio sobre o ânodo, com combustão deste último. Os gases liberados no processo são constituídos por gás carbônico e monóxido de carbono (BAEK, 2002). A extração do alumínio em pó no cadinho catódico é feita através de um sifão em ferro fundido, ligado a uma panela de aço que é revestida de tijolos aluminosos.

Fundição

O pó branco de alumínio segue para a etapa de fundição, sendo derretido e colocado em formas para a formação de lingotes. Vale ressaltar o alto consumo de energia necessário para a fabricação do alumínio primário, observando-se também que os gastos com energia correspondem a aproximadamente 25% do custo total do alumínio (BAEK, 2002).

Laminação

Na etapa de laminação os lingotes fabricados passam através de rolos de aberturas variadas para afinamento das chapas e formação das lâminas que são enroladas em formas de bobinas.

Produção da Lata

Na etapa de produção de lata a bobina é desenrolada e colocada em processo de estamparia. As lâminas são cortadas do tamanho adequado e o pESCOço e o fundo da lata são formados, enquanto em outra máquina é realizada a confecção da tampa (REXAN,2004).

Verniz e Resina Epóxi

O interior da lata recebe um spray de proteção extra, que evita o contato direto do alumínio com o líquido. A tinta da estampa, o verniz externo e o revestimento de proteção interno, representam cerca de 2% do peso total de uma lata pronta vazia (REXAN, 2004).

Lavagem

A lata de alumínio pronta passa então por uma lavagem para a retirada de pó e segue para a etapa de envase, quando se junta ao refrigerante já pronto.

Reciclagem

Após serem coletadas, as latas são encaminhadas através de esteira para a etapa de prensagem onde são compactadas. A esteira é imantada de modo a reter as latas de aço, garantindo assim a pureza do material depois de derretido. Após a etapa de prensagem, o bloco é transportado para a usina de refusão, sendo cortado e transferido para um forno aquecido para a evaporação da tinta da estampa e fusão do material. O alumínio fundido é colocado em formas e os lingotes resultantes seguem novamente para a etapa de laminação e fabricação de novas latas (REXAN, 2004).

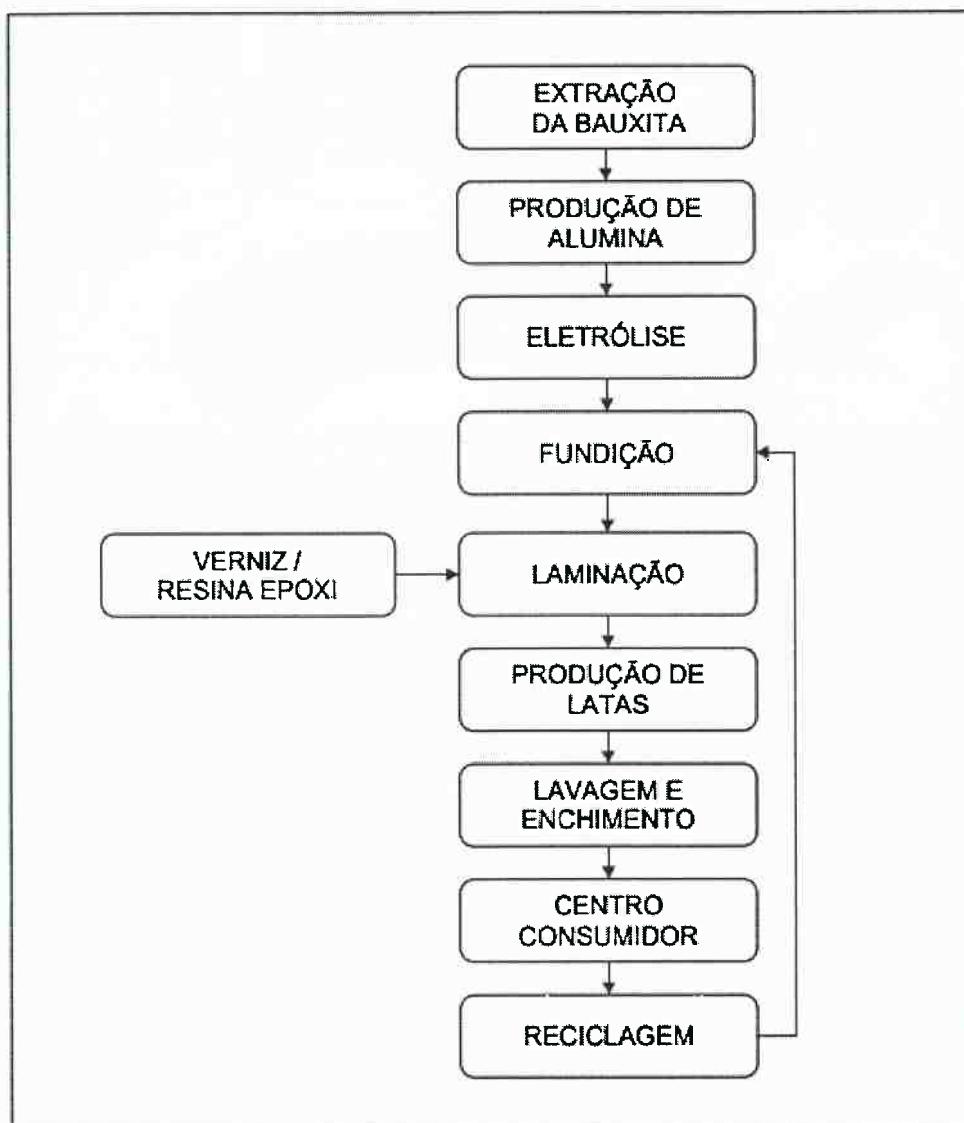


Figura 4: Ciclo de vida do alumínio para uso em Lata.

2.6.Latas de folha de flandres

As embalagens metálicas para alimentos são classificadas em embalagens de três peças e de duas peças. As de três peças apresentam costura no corpo da lata e duas tampas (tampo e fundo) (figura 4a). Já as de duas peças são constituídas pelo o corpo e o fundo da lata como uma única peça e uma tampa (figura 4b).



Figura 5: (a - esquerda) lata de três peças e (b- direita) lata de duas peças.

As latas de três peças são normalmente feitas em folha de flandres e as latas de duas peças podem ser feitas em folha de flandres, folha cromada ou alumínio. As cervejas e bebidas carbonatadas são usadas as latas de 2 peças embutidas e estiradas em alumínio e em folha de flandres (Jorge, 2013).

Segundo Jorge (2013), A folha de flandres (FF), ou tinplate, é o material ferroso mais usado na fabricação de latas de conserva. Trata-se de um material heterogêneo de estrutura estratificada, constituída por uma chapa de aço (liga de ferro com baixo teor de carbono), revestida por estanho em ambas as faces (2,8-11,2 g/m²) e com espessura entre 0,15 e 0,40 mm. Devido às suas características intrínsecas, a folha de flandres pode ser empregada em numerosos tipos de embalagens, nas mais variadas formas e tamanhos.

A aplicação do estanho é feita por eletrodeposição, a partir de soluções aquosas de sais de estanho. Na folha de flandres, além das camadas de estanho e ferro, existem outras extremamente delgadas, que oferecem resistência à corrosão e são importantes por suas propriedades superficiais. O processo de deposição do estanho empregado antes da segunda guerra mundial consistia na imersão da chapa num banho de estanho fundido.

Atualmente, este processo praticamente foi substituído pelo processo de estanho eletrolítico, efetuado na bobina de aço. A eletrodeposição do estanho, submete-se o revestimento à fusão, para obtenção do brilho e formação da camada de liga $FeSn_2$.

Sobre o aço base encontra-se a camada de liga ferro/estanho e sobre esta, o revestimento de estanho livre, recoberto por uma camada de passivação, que é formada por compostos de cromo. As folhas metálicas, de modo geral, também recebem uma camada de óleo, a qual é útil no manuseio e prevenção contra a corrosão atmosférica.

As características da folha de flandres estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características da folha de flandres.

Camadas	Espessura (μm)	Efeito	Fator crítico
Aço	150-250	Resistência mecânica Resistência à corrosão	Composição química Uniformidade Rugosidade
Liga ($FeSn_2$)	0,07-0,15	Resistência à corrosão Aderência do estanho	Estrutura
Estanho livre	0,08-1,5	Resistência à corrosão	Espessura uniforme Porosidade Tamanho do grão
Passivação	0,02	Aderência ao verniz Resistência à sulfuração Resistência à corrosão	Composição Espessura
Óleo	0,0005	Proteção contra ação atmosférica	Tipo Compatibilidade Quantidade Distribuição

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200-?).

De acordo com a NBR 6665 (ABNT, 2006), a folha de flandres é uma folha laminada de aço-carbono, revestida em ambas as faces com estanho através da eletrodeposição.

Tal material combina resistência mecânica, capacidade de conformação, resistência à corrosão e soldabilidade.

O aço utilizado na produção de folha de flandres é de baixo carbono e apresenta baixo teor de fósforo e de elementos residuais para alimentos e bebidas corrosivas (FERNANDES, 1998).

Sua composição é mostrada na figura 6.



Figura 6: Composição da folha de flandres.

(fonte: CSN, 2003).

2.6.1. Análise da cadeia produtiva da folha de flandres

A Folha de Flandres é obtida após a transformação do aço em várias etapas que envolvem diversos equipamentos, desde o pátio de matéria prima até a linha de estanhamento eletrolítico.

As etapas iniciais (1 a 5) são comuns aos produtos laminados chamados não revestidos. São elas: Aciaria; Lingotamento Contínuo; Laminador de Tiras a Quente; Decapagem; Laminador de Tiras a Frio.

A partir da etapa 5, temos dois fluxos possíveis para a fabricação da folha metálica que conferem propriedades mecânicas diferentes aos produtos.

A produção da folha de flandres é dada seguindo como base o fluxograma da figura 8.

Aciaria

Trata-se do processo que transformará as matérias primas (ferro gusa, sucata e fundentes) em aço líquido. A transformação do ferro-gusa em aço é realizada em conversores a oxigênio, através da oxidação dos elementos do gusa que se deseja remover ou diminuir, como o carbono, silício, fósforo e enxofre. O teor destes elementos no gusa tornam esse metal demasiadamente frágil para ser útil como material de engenharia.

A utilização de sucata de aço nos conversores evita que a temperatura atinja valores muito altos durante a oxidação. O aço líquido é transportado em panela até o lingotamento contínuo

Lingotamento Contínuo

O lingotamento contínuo transforma o aço líquido em formas sólidas de aço, como placas, tarugos, billets ou blooms, em dimensões apropriadas ao seu manuseio e transformação mecânica por laminação ou Forjamento. O aço é moldado e solidificado de maneira progressiva da superfície para o núcleo do veio. A forma é cortada em comprimentos pré-definidos em função da faixa de peso dos produtos finais, buscando-se maximizar a produtividade dos processos subsequentes.

Laminador de Tiras a Quente

Dá forma e dimensões requeridas no produto. Elimina a estrutura e defeitos de solidificação, permitindo uma ampla utilização do aço. Aumenta a resistência mecânica do material.

É composta de 5 estágios: reaquecimento, desbaste, acabamento, resfriamento e bobinamento. A placa de aço é reaquecida em forno a uma temperatura superior a 1150°C e conduzida para o processo termomecânico de laminação a quente. O processo de LTQ consiste na deformação a quente do aço através da sua passagem entre cilindros em vários passes, até atingir a dimensão final do produto. Ao sair da última “cadeira de laminação”, a chapa é resfriada com água até uma temperatura pré-determinada e enrolada na forma de uma bobina de aço. A bobina laminada a quente é estocada para ser enviada aos clientes ou para seguir processamento no fluxo de produção da usina siderúrgica.

Laminador de Tiras a Frio

As bobinas da etapa anterior são transformadas em bobinas a frio (Full Hard - BFH) através da conformação mecânica a frio, onde a espessura da tira é reduzida embora a espessura final seja definida apenas no Laminador de Encruamento (LE). Após esta etapa o material já é denominado folha metálica. Também, depois da conformação mecânica, os grãos do material ficam alongados na direção de laminação, apresentam alta dureza e são quebradiços.

A partir dessa etapa, há dois fluxos de recozimento que podem ser seguidos (recozimento contínuo ou em caixa). Ambos têm como finalidade aliviar as tensões internas e recristalizar o aço deformado no processo de laminação a frio, mas as propriedades mecânicas variam de acordo com o tipo de recozimento.

Recozimento Contínuo

Nesta linha a tira é limpa em tanques contendo solução alcalina de hidróxido de sódio e posteriormente aquecida continuamente através dos fornos que possuem quatro seções (Enxarque, Aquecimento rápido e lento e resfriamento). O produto final é uma bobina recozida. Esse tipo de recozimento é usado para embalagens onde é requerida uma conformação menos severa.

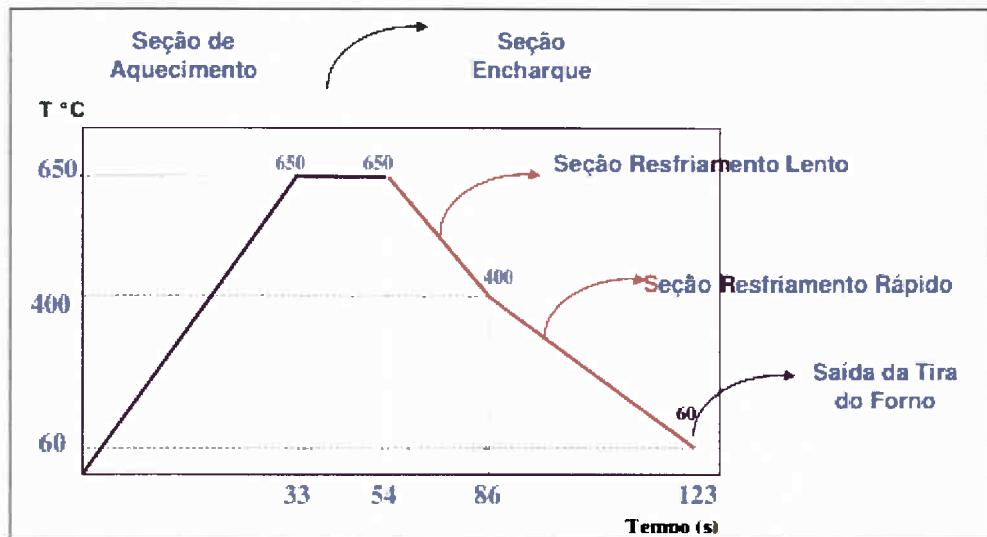


Gráfico 8: Característica de um Ciclo de Recozimento Contínuo - espessura até 0,22mm.

Limpeza Eletrolítica e Recozimento em Caixa

Nesta etapa a tira é limpa em tanques contendo solução alcalina de hidróxido de sódio e depois transportada para ser aquecida de forma estática nos fornos. O produto final é também uma bobina recozida. É usada para embalagens onde é requerida uma conformação mais severa.

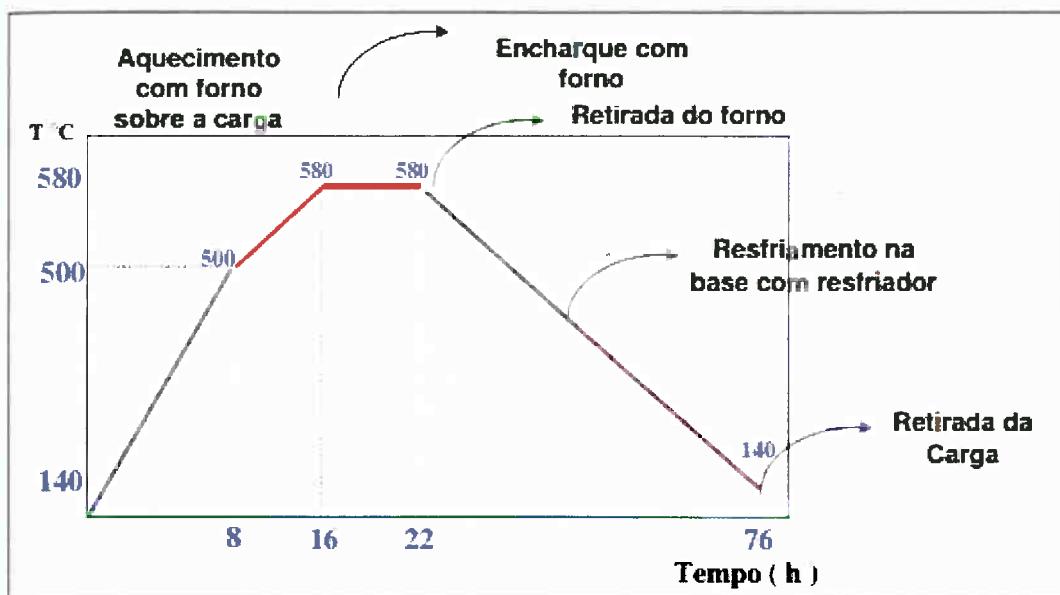


Gráfico 9: Característica de um Ciclo de Recozimento em Caixa - Carga até 34t.

Laminador de Encruamento

Nesta etapa temos dois fluxos possíveis para a produção da folha metálica. O primeiro é para o material de simples redução – SR, no qual se elimina o patamar de escoamento do material recozido através de um pequeno alongamento (máximo de 3%) do material. As outras atribuições são: melhorar a planicidade, dar um acabamento superficial fosco ou brilhante e dureza superficial. O produto final é uma bobina recozida e encruada (BNR – Bobina não revestida). O segundo fluxo é para o material dupla redução – DR, onde se faz uma segunda laminação a frio após o recozimento, com reduções de 18 a 36%. O produto final é uma bobina não revestida duplamente reduzida, com a espessura mínima de 0,14 mm. Este tratamento confere também ao material uma melhor planicidade, um acabamento superficial fosco ou brilhante e dureza superficial.

Linha de Preparação de Bobinas

A linha de preparação de bobinas (LPB) elimina as imperfeições contidas na

borda da tira através da apara lateral da mesma por intermédio de navalhas circulares e consequentemente, é estabelecida a largura final especificada para a bobina. O produto final é uma bobina não revestida aparada – BNR.

Linha de Estanhamento Eletrolítico

Na linha de estanhamento eletrolítico (LEE) é realizada a eletrodeposição do estanho de acordo com as especificações exigidas. Da combinação dos seguintes fatores (composição do aço, recozimento, encruamento e revestimento de estanho) é que a Folha de Flandres se destinará aos usos previamente estabelecidos. A folha deverá apresentar resistência às condições de embutimento, oxidação e pressões internas que existem no processo de cozimento de alimentos em autoclaves ou nas câmaras de pasteurização e não deverá alterar as propriedades dos produtos envasados.

A linha de estanhamento eletrolítico é normalmente dividida em três partes: entrada, processo e saída. É uma linha de processamento contínuo, onde a produção não é interrompida quando uma nova bobina é processada. É na seção de processo que estão localizados os equipamentos diretamente envolvidos na produção de Folhas de Flandres. A figura 7 mostra o layout de uma linha de estanhamento eletrolítico e seus respectivos equipamentos.

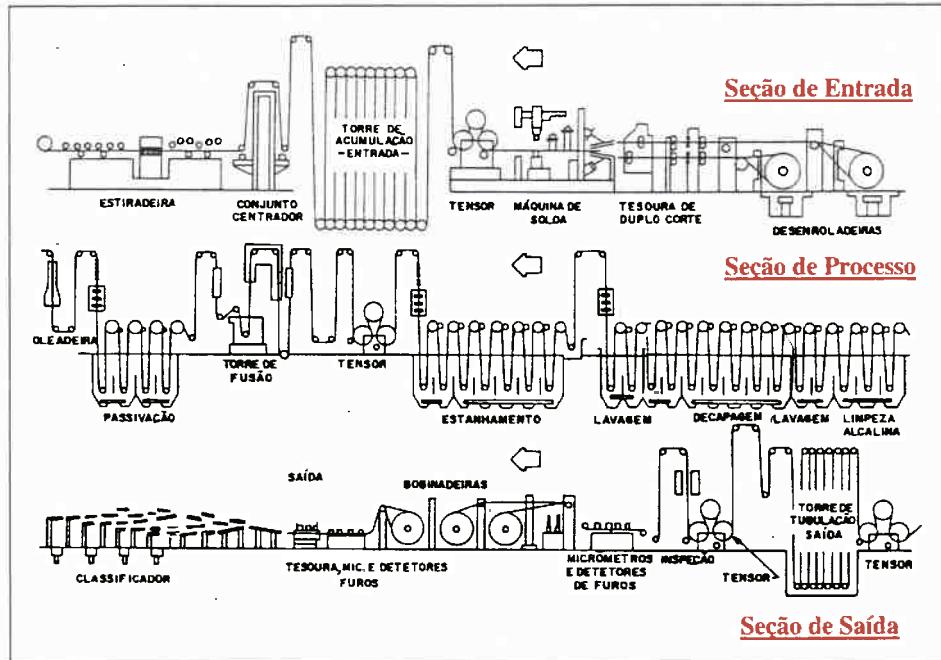


Figura 7: Layout de uma linha de estanhamento.

(fonte: CSN)

Os principais equipamentos dessa linha são:

- Seção de entrada: desenroladeiras, máquina de solda e a torre de entrada.
- Seção de processo: seção de limpeza alcalina e decapagem eletrolíticas, seção de estanhamento e recuperação, seção da torre de fusão e resfriamento brusco, seção de tratamento eletroquímico e oleadeira.
- Seção de saída: torre de Saída, tesoura e enroladeiras.

Devido às operações anteriores de processamento do aço, as bobinas chegam às linhas de estanhamento cobertas com óxidos de ferro, substâncias resinosas resultantes da decomposição de compostos orgânicos, aço e carbono em pequenas partículas, resíduos de sal da água de refrigeração evaporada, graxa, óleo e outras sujeiras de laminação acumuladas. Se torna fundamental uma boa preparação da superfície e toda essa matéria contaminante presente na superfície do aço deve ser removida antes de se aplicar o revestimento de estanho. Para este propósito, a linha conta com as seções de limpeza alcalina e decapagem eletrolíticas

Abrilhantamento por fusão

Há ainda, uma etapa de Abrilhantamento por Fusão que consiste no aquecimento da tira a uma temperatura pouco superior à temperatura de fusão do estanho (232°C), seguido de rápido resfriamento, com o objetivo de tornar a superfície brilhante e também reduzir sua porosidade. Durante o processo de fabricação da folha de flandres, na etapa de abrilhantamento por fusão, há formação de uma camada intermediária entre o estanho e o aço de Fe-Sn que protege o aço-base contra à corrosão, manchas de sulfuração (FeS) e melhora a aderência do revestimento e verniz.

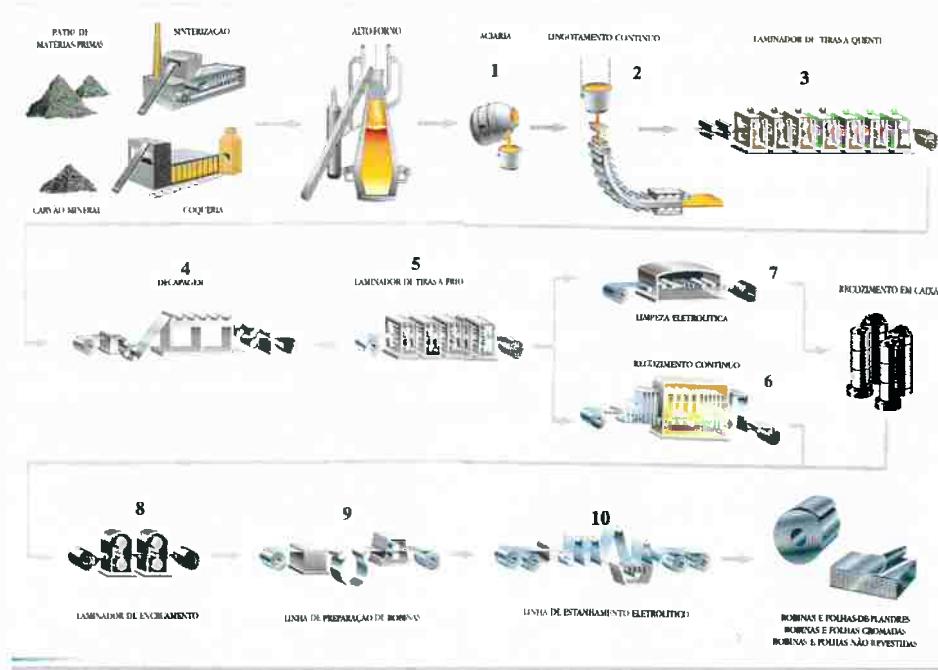


Figura 8: Fluxo de produção da Folha de Flandres.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.ACV

Para a análise de ciclo de vida, foi utilizado o software CES EduPack Granta Design.

3.1.1. Software CES EduPack Granta

Para realização desse trabalho foi utilizado o software CES EduPack Granta 2016. O criado pela empresa Granta Design, fundada em 1994 (GRANTA DESIGN, 2015), que é referência mundial no campo da tecnologia da informação no campo de materiais. O software foi desenvolvido com base no trabalho de Michael Ashby em parceria com David Cebon (GRANTA DESIGN, 2015) que busca disponibilizar o acesso das propriedades dos materiais para os profissionais da área. Ele fornece diagramas (mapas) que relacionam uma determinada gama de materiais com uma maior facilidade de leitura das propriedades.

3.1.2. ACV Alumínio

Para realização da ACV do alumínio, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Produção de 1000 kg de Al (non age-hardening wrought Al- alloys). Desses 1000 kg de alumínio, consideram-se 60% proveniente de latas de alumínio já recicladas e 40% de alumínio virgem, ambos os fins de ciclo são considerados reciclagem;
- Considerou-se o fim da vida do alumínio como reciclável;
- Adição de 1 kg de resina epóxi;

- Considerou-se o fim de vida da resina como downcycle já que ela vai pra reciclagem junto com a lata mas lá se decompõe, gerando um material reciclado de menor qualidade e funcionalidade do que o material original;
- Para a manufatura: adotou-se laminação para o alumínio e moldagem polimérica para a resina epóxi (único processo disponível);
- Para o transporte: caminhão movido à diesel (14 tonne truck), que percorre distância de cerca de 200 km;
- Para o uso, considerou-se a vida do produto de 1 ano e o país de uso como Brasil;
- Para o uso, considerou-se energia elétrica para térmica e como combustível diesel para veículos pesados;
- Para o uso, considerou-se 8h gelando em geladeira com potência de 250 Watts e 100 dias ao ano;

3.1.2. ACV Folha de Flandres

Para realização da ACV da produção de latas de folhas de flandres, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Produção de 1892 kg de latas em folha de flandres, sendo 1000 kg considerados provindos de material reciclado, 882 kg considerado aço virgem, 8 kg de estanho e 2kg de resina epóxi;
- Como processamento, foi adotado:
 - estanho: fundição (não havia a opção correta: eletrodeposição);
 - aço de baixo carbono: laminação;
 - Resina epóxi: moldagem polimérica (única opção);
- Considerou-se o fim da vida do aço e do estanho como reciclável.
- Considerou-se o fim de vida da resina como downcycle já que ela vai pra reciclagem junto com a lata mas lá se decompõe, gerando um material reciclado de menor qualidade e funcionalidade do que o material original;
- Para o transporte: caminhão movido à diesel (14 tonne truck), que percorre distância de cerca de 200 km;
- Para o uso, considerou-se a vida do produto de 1 ano e o país de uso como Brasil;

- Para o uso, considerou-se energia elétrica para térmica e como combustível diesel para veículos pesados;
- Para o uso, considerou-se 8h gelando em geladeira com potência de 250 Watts e 100 dias ao ano;

3.1.3. Alternativas

3.1.3.1. Embalagem retornável de vidro - 300ml

Além da atual lata de alumínio utilizada e da antiga folha de flandres, hoje são utilizados vasilhames de vidro, sobretudo em 2 formatos: long neck, com 355 ml, e retornável, com 350 ml.

Neste trabalho, estuda-se também como alternativa a utilização das embalagens retornáveis como alternativa ao uso de embalagens metálicas.

Para realização da ACV da produção de latas de embalagem retornável de vidro - 300ml, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Produção de 21150 kg de embalagens de vidro, o equivalente ao volume produzido pelas embalagens de alumínio e folha de flandres (considerando-se o peso de uma embalagem com 223g para a garrafa de vidro de 300 ml, a lata de alumínio com 12,7 gramas e a de folha de flandres com 24g, ambas as últimas com 350 ml);
- Como processamento, foi adotado a moldagem do vidro
- Considerou-se o fim do ciclo de vida como retornável;
- Para o transporte: caminhão movido à diesel (14 tonne truck), que percorre distância de cerca de 200 km;
- Para o uso, considerou-se a vida do produto de 1 ano e o país de uso como Brasil;
- Para o uso, considerou-se energia elétrica para térmica e como combustível diesel para veículos pesados;
- Para o uso, considerou-se 8h gelando em geladeira com potência de 250 Watts e 100 dias ao ano;

3.1.3.2. Estudo de Novas alternativas

O software Edupack Granta 2016 também oferece uma interface na qual, a partir das propriedades mecânicas e econômicas desejáveis, são sugeridos materiais que serviriam para tal aplicação.

Logo, para um estudo de possíveis alternativas ainda não exploradas pelo mercado, foram descritas as seguintes necessidades:

- selecionar a partir de materiais com eco propriedades, ou seja, com um gasto ambiental menor que a média de materiais, assim, os eixos para seleção poderiam explorar outras propriedades;
- Considerado level 2;
- Selecionando-se apenas metais;
- Pensando que deve ser um material tão leve quanto o alumínio, selecionou como um dos eixos a densidade, setando um valor mínimo 2 g/cm³ e máximo de 3 g/cm³;
- Preço máximo de R\$10,00/ kg. Segundo o indexmundi, o alumínio custava R\$8,20 em maio de 2018 no Brasil.
- Como a folha de flandres apresentou melhores propriedades mecânicas, como mostram os testes mecânicos explicitados nas seções seguintes, adotaram-se as propriedades para esse material. Segundo catálogo de folhas de aço da CSN, são elas:
 - Limite de resistência 290 a 410 MPa
 - Alongamento 26% (mínimo)
 - Dureza 51 a 59 HR → Dureza 530 HV a 680 HV , de acordo com a tabela de conversão apontada pelo item pp. na bibliografia.

3.2. Ensaios Mecânicos

3.2.1. Materiais

Para os testes mecânicos, as latas utilizadas, bem como suas dimensões, são descritas a seguir.

3.2.1.1. Latas de folha de flandres

Foram utilizadas duas latas de folhas de flandres, datadas de cerca de 20 a 25 anos atrás, adquiridas através do colecionador de latas Sr. Delcio Luis Pires, situado na Avenida do Cursino, nº 4183, bairro Vila Moraes, CEP 04133-300.

As duas latas adquiridas estavam já vazias mas em perfeitas condições. Era pretendido, além das latas comentadas, a aquisição de mais duas latas cheias para realização dos testes mecânicos também nelas cheias. Porém, o Sr. Delcio gentilmente se recusou a vendê-las quando soube que elas seriam danificadas. Conforme mostra a figura 9, a primeira lata é uma de uma cerveja inglesa chamada Courage Light Ale, com as seguintes características:

- Altura: 123 mm
- Diâmetro externo: 65 mm
- Peso: 36,67g
- Volume de líquido contido: 340ml



Figura 9: Lata de folha de flandres - Courage Light Ale.



Figura 10: (direita) fundo da lata Courage Light Ale (esquerda) tampa da lata Courage Light Ale.

A segunda lata de folha de flandres utilizada foi de uma bebida africana chamada Stoney Ginger Beer, conforme mostra a figura 11. As características delas são:

- Altura: 125mm
- Diâmetro externo: 65 mm

- Peso: 36,03g
- Volume de líquido contido: 340ml



Figura 11: Lata de folha de flandres - Stoney Ginger Beer.



Figura 12: (direita) fundo da lata Stoney Ginger Beer (esquerda) tampa da lata Stoney Ginger Beer.

Abaixo, podemos ver as duas latas lado a lado.



Figura 13: Comparação entre as duas latas de folha de flandres.

3.2.1.2. Latas de Alumínio

Para os testes mecânicos, foram utilizados dois modelos de latas.

O primeiro foi a lata de Brahma Choop, 350ml, como mostra a figura 14, que possuí as seguintes dimensões:

- Altura: 123mm
- Diâmetro externo: 65 mm
- Peso: 12,71g

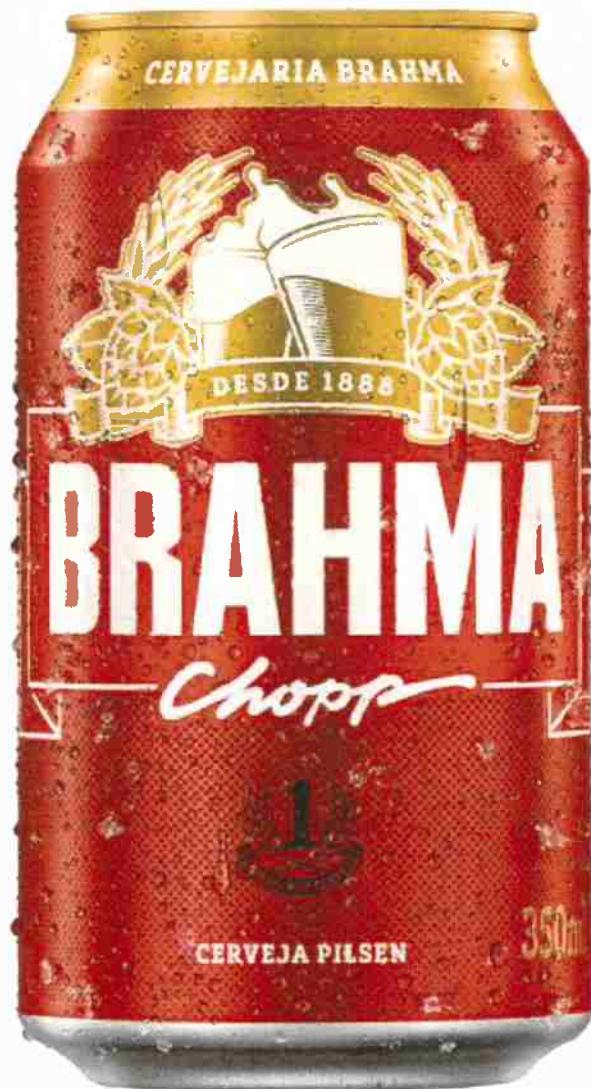


Figura 14: lata de 350 ml da cerveja Brahma Chopp.

(fonte: catálogo ambev)

Para o ensaio de impacto Charpy, foi utilizada a lata de Brahma Chopp de 269ml, conforme mostra a figura 15. Suas dimensões são:

- Altura: 125mm
- Diâmetro externo: 55 mm
- Peso: 12,42g

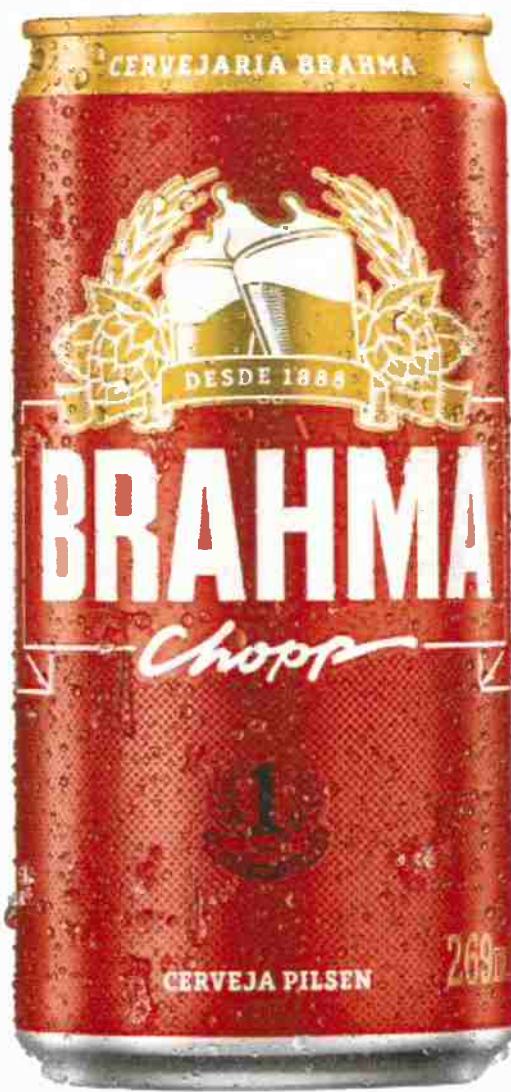


Figura 15: lata de 269 ml da cerveja Brahma Chopp.

(fonte: catálogo ambev)

As dimensões das latas utilizadas são resumidas na tabela abaixo:

Tabela 3: Resumo das dimensões dos materiais utilizados.

Medidas Reais					
Descrição	Material	Volume (ml)	Peso (g)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)
Stoney Ginger Beer	Flandres	340	36,03	123	65
Courage Light Ale	Flandres	340	36,67	123	65
Brahma 350ml	Alumínio	350	12,705	123	65
Brahma 269	Alumínio	269	12,465	123	55

3.2.2. Métodos

Em relação aos testes mecânicos, foram realizados ensaios de impacto e ensaios de compressão. O objetivo com esses testes é entender qual dos materiais resistiria mais em caso de queda da latinha (seja ela da mão da consumidora ou do tombamento de uma carga) e qual resistiria a mais peso sendo colocado sobre ela para o caso de estocagem.

O fluxograma a seguir (Figura 16) contém um resumo sobre os ensaios realizados neste trabalho e com quais materiais.

Nos próximos tópicos, são descritos os testes realizados bem como as condições utilizadas em cada um deles.

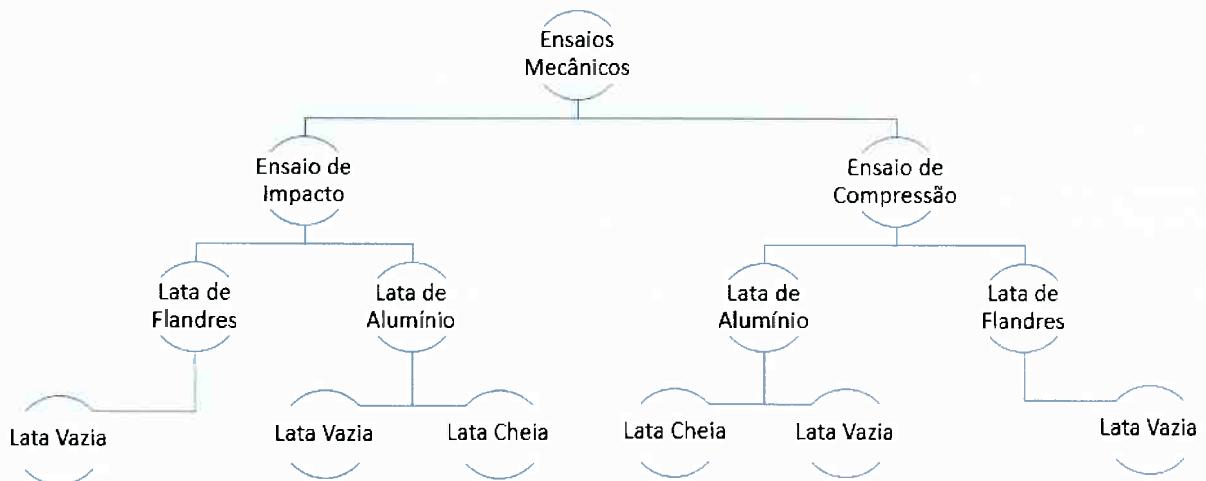


Figura 16: Fluxograma resumo dos testes mecânicos realizados.

3.2.2.1. Ensaio de Compressão

Um dos ensaios mecânicos realizado em materiais, para conhecer o seu comportamento e suas propriedades em determinadas situações, é o teste de compressão, em que se avalia como o material reage quando pressionado. De modo geral, podemos dizer que a compressão é um esforço axial, que tende a provocar um encurtamento do corpo submetido a este esforço.

Nos ensaios de compressão, os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro, distribuída de modo uniforme em toda a seção transversal do corpo de prova.

O ensaio de compressão pode ser executado na máquina universal de ensaios, com a adaptação de duas placas lisas - uma fixa e outra móvel. É entre elas que o corpo de prova é apoiado e mantido firme durante a compressão. Um corpo submetido a compressão também sofre uma deformação elástica e a seguir uma deformação plástica. Na fase de deformação elástica, o corpo volta ao tamanho original quando se retira a carga de compressão. Na fase de deformação plástica, o corpo retém uma deformação residual depois de ser descarregado.

Os dois tipos de deformação podem ser explicados pelos movimentos atômicos na estrutura cristalina do material. Como os átomos tendem a se deslocar sob ação de esforços externos, cada átomo do cristal vibra em torno de uma posição de equilíbrio, característica do tipo de rede cristalina do metal, sendo seu núcleo atraído pelas eletrosferas dos átomos vizinhos e repelido pelos núcleos dos mesmos, como se estivessem em um poço de energia.

A deformação plástica envolve a quebra de um número limitado de ligações atômicas. Depois de removidos os esforços, continua a existir um deslocamento diferenciado de uma parte do corpo em relação a outra, ou seja, o corpo não recupera sua forma original. A deformação plástica é resultante do mecanismo de formação de defeitos cristalinos (discordâncias e maclas).

Na deformação elástica não há ruptura das ligações químicas, apenas um alongamento. Quando se aplica um esforço externo, os átomos se deslocam de suas posições iniciais, porém ao cessar esse esforço eles retornam aos seus devidos lugares. Por isso é retornável e pode ser repetida por várias vezes sem alterar a resistência nem as propriedades do material.

Para este trabalho, o teste foi realizado na máquina Kratos, como mostra a figura 17, sob as condições descritas abaixo.



Figura 17: máquina utilizada no ensaio de compressão.

3.2.2.1.1. Lata de Alumínio Vazia

Para o teste com a lata de alumínio vazia, foram utilizadas placas lisas, retangular como base e circular para peça de compressão, conforme mostra a figura 18.

Os testes foram feitos nas seguintes condições:

- Célula de carga: 2000 kgf;
- Velocidade: 15 mm/min
- Temperatura: 25°C
- Umidade Relativa: 50%
- Área: 3318, 307 mm²

- Diâmetro Externo: 65 mm
- Comprimento Total: 123mm
- Condição de parada: -40 mm



Figura 18: Esquema de montagem da máquina para o teste de compressão da lata de alumínio vazia.

3.2.2.1.2. Lata de Alumínio Cheia

Para o teste com a lata de alumínio cheia, foram utilizadas placas lisas, retangulares na base e circulares para peça de compressão, um tubo polimérico transparente para proteção, um cilindro de polipropileno como peça intermediária (já que, devido o tubo de proteção, a peça de compressão não alcançava a lata) e um apoio circular metálico para dar estabilidade ao cilindro de PP, conforme mostra a

figura 19. Vale ressaltar que o tubo de PP interfere pouco nos resultados pois a quantidade de força absorvida por ele é baixa.

Os testes foram feitos nas seguintes condições:

- Célula de carga: 2000 kgf;
- Velocidade: 15 mm/min
- Temperatura: 25°C
- Umidade Relativa: 50%
- Área: 3318, 307 mm²
- Diâmetro Externo: 65 mm
- Comprimento Total: 123mm
- Condição de parada: até estourar.



Figura 19: Esquema de montagem da máquina para o teste de compressão da lata de alumínio vazia.

3.2.2.1.3. Lata de Folha de Flandres Vazia

Para o teste com a lata de alumínio vazia, foram utilizadas placas lisas, retangular como base e circular para peça de compressão, conforme mostra a figura 20.

Os testes foram feitos nas seguintes condições:

- Célula de carga: 2000 kgf;
- Velocidade: 15 mm/min
- Temperatura: 25°C
- Umidade Relativa: 50%
- Área: 3318, 307 mm²
- Diâmetro Externo: 65 mm
- Comprimento Total: 123mm
- Condição de parada: -40 mm



Figura 20: Eschema de montagem da máquina para o teste de compressão da lata de folha de flandres vazia.

3.2.2.1.4. Resumo das condições de operação para o teste de compressão

O Resumo das condições para a realização dos ensaios de compressão seguem na tabela 4.

Tabela 4: Condições de ensaio de compressão

	Lata Al Vazia	Lata Al Cheia	Lata Flandres Vazia
Célula de carga (kgf)	2000	2000	2000
Velocidade (mm/min)	15	15	15
Temperatura (°C)	25	25	25
Umidade Relativa	0,5	0,5	0,5
Área (mm ²)	3318,307	3318,307	3318,307
Diâmetro externo (mm)	65	65	65
Comprimento Total (mm)	123	123	123
Condição de parada (mm)	-40	até estourar	-40

3.2.2.2. Ensaio de Impacto Charpy

O teste Charpy é um dos métodos utilizados para determinar a resistência e dos materiais quando submetidos a certa carga de impacto. O objetivo principal é medir a quantidade de energia absorvida pelo material durante a fratura. São essenciais para garantir a segurança, confiabilidade e qualidade dos mais diversos materiais. É muito utilizado no setor automobilístico, de aeronaves e em peças específicas utilizadas na indústria.

A principal vantagem do teste Charpy é a simplicidade, o baixo custo e o tamanho reduzido do corpo de prova. O teste ainda pode ser executado em diversos campos de temperaturas. Além disso, o corpo de prova é adequado para medir as diferenças de comportamento para materiais de baixa resistência ao impacto como os aços estruturais. Também é frequentemente usado para fins de controle de qualidade e de aprovação de materiais.

O ensaio é realizado por um pêndulo de impacto. O corpo de prova é fixado em um suporte, na base da máquina. O martelo do pêndulo - com uma borda de aço endurecido - é liberado de uma altura pré-definida, causando a ruptura do corpo em teste. A altura de elevação do martelo após o impacto, em comparação com a anterior, dá a medida da energia absorvida pelo corpo de prova. O teste pode ser conduzido

em temperatura ambiente ou em temperaturas mais baixas para testar a fragilidade do material em baixa temperatura.

Usualmente, no ensaio Charpy o corpo de prova é bi-apoiado como uma viga simples, com um entalhe central. O corpo de prova é posicionado de forma que o entalhe fique na face oposta à face de impacto. O posicionamento do entalhe é tal que o impacto ocorre na região de maior tensão - a seção transversal média do corpo de prova.

No trabalho em questão, no corpo de prova, por ser muito fino, não foi realizado o entalhe. A peça também não pode ser ser bi-apoiada por conta de suas dimensões. Como o teste é puramente comparativo, as peças foram fixadas com o auxílio de fita crepe, como mostra a figura 21.

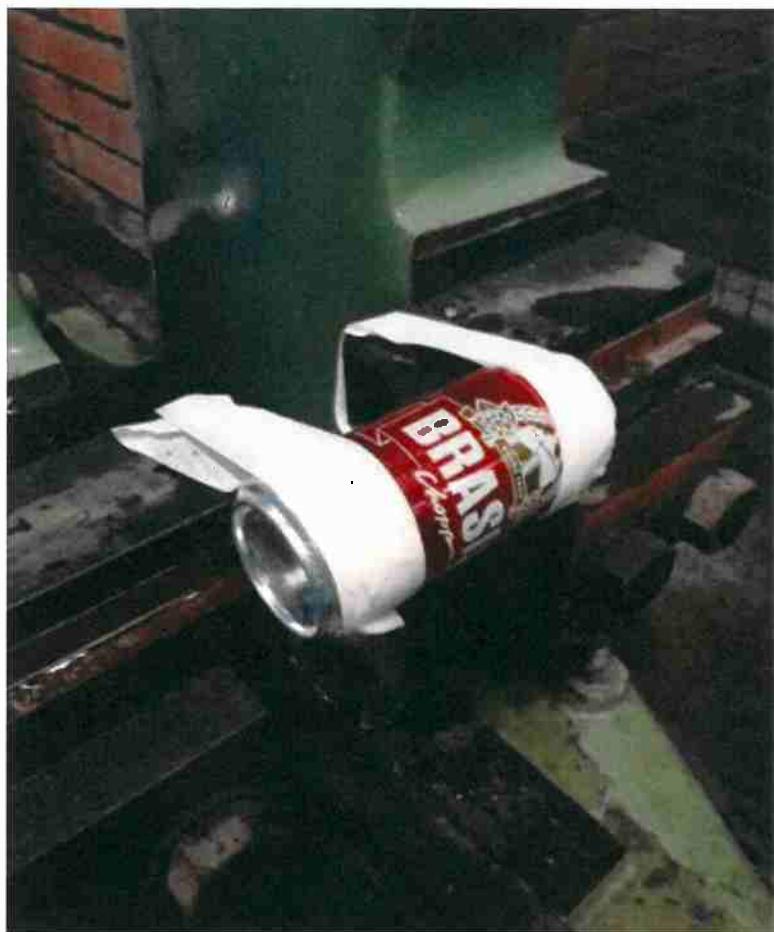


Figura 21: Peça fixada na máquina com fita crepe para o ensaio Charpy.

Para os testes, foi utilizada a máquina Losenhausen, como mostra a figura 22. Nela, há escalas em Joules, Joules/cm² e Grad, como mostra a figura 23. Para a presente análise, foi usada a medida em Joules.



Figura 22: Máquina Losenhausen usada para o ensaio Charpy.

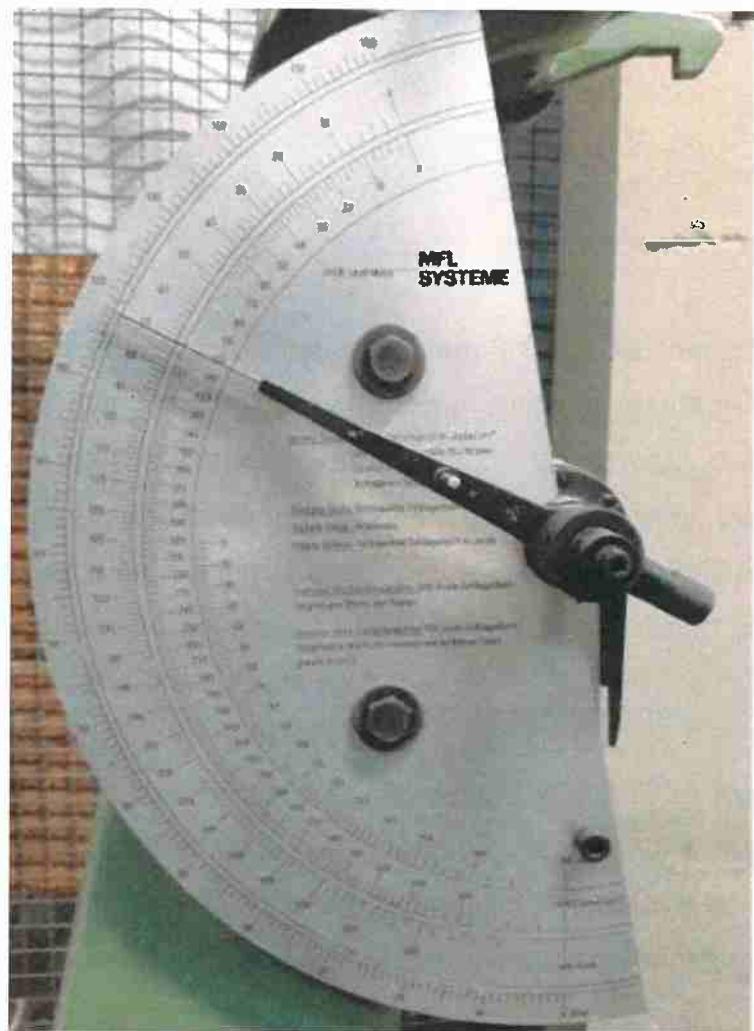


Figura 23: Medidas possíveis da máquina para o ensaio Charpy.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ACV

4.1.1. Alumínio

A partir das hipóteses explicitadas no item 3.1.1.2. , e com auxílio do EduPack Granta, conclui-se que, em relação à energia utilizada, gastão-se ,116859,41MJ, sendo a etapa do material responsável por 90,2% desse valor, fato explicado pela etapa da eletrólise que demanda grande quantidade de energia. Desse valor, 59,8% é recuperado devido à reciclagem. Logo, o saldo é de 46926,9MJ para cada 1001kg de latas produzidas, o que equivale à 78819 latas (considerando cada lata pesando 12,7g conforme pesagens realizadas no trabalho).

Em relação à pegada de carbono, são desprendidos 7734,73 de Kg de CO2 na produção da mesma quantidade de alumínio, com 53,5% com potencial de recuperação devido reciclagem, totalizando um saldo de 3595,8 kg de CO2 lançados na atmosfera. Novamente, a fase material é a principal responsável por esse gasto, representando 89,6% da emissão do gás.

Tabela 5: Gasto de energia e emissão de CO2 para produção de.

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	105405,923	90,2	6929,052	89,6
Manufacture	9719,153	8,3	729,468	9,4
Transport	170,085	0,1	12,076	0,2
Use	884,000	0,7	15,120	0,2
Disposal	700,250	0,6	49,018	0,6
Total (for first life)	116859,411	100	7734,733	100
End of life potential	-69932,522		-4138,980	



Gráfico 10: Gasto em energia por fase para a produção de latas de alumínio.

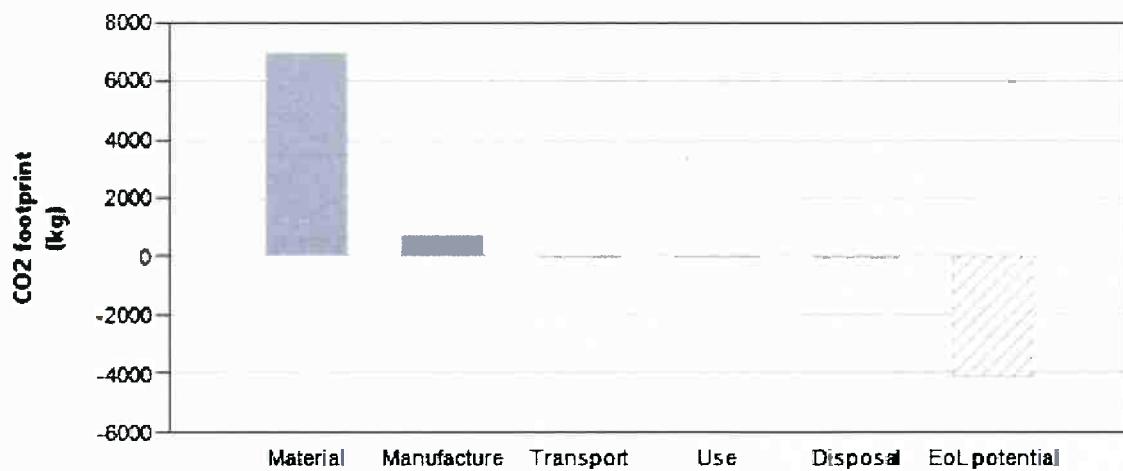


Gráfico 11: Emissão de CO2 por fase para a produção de latas de alumínio.

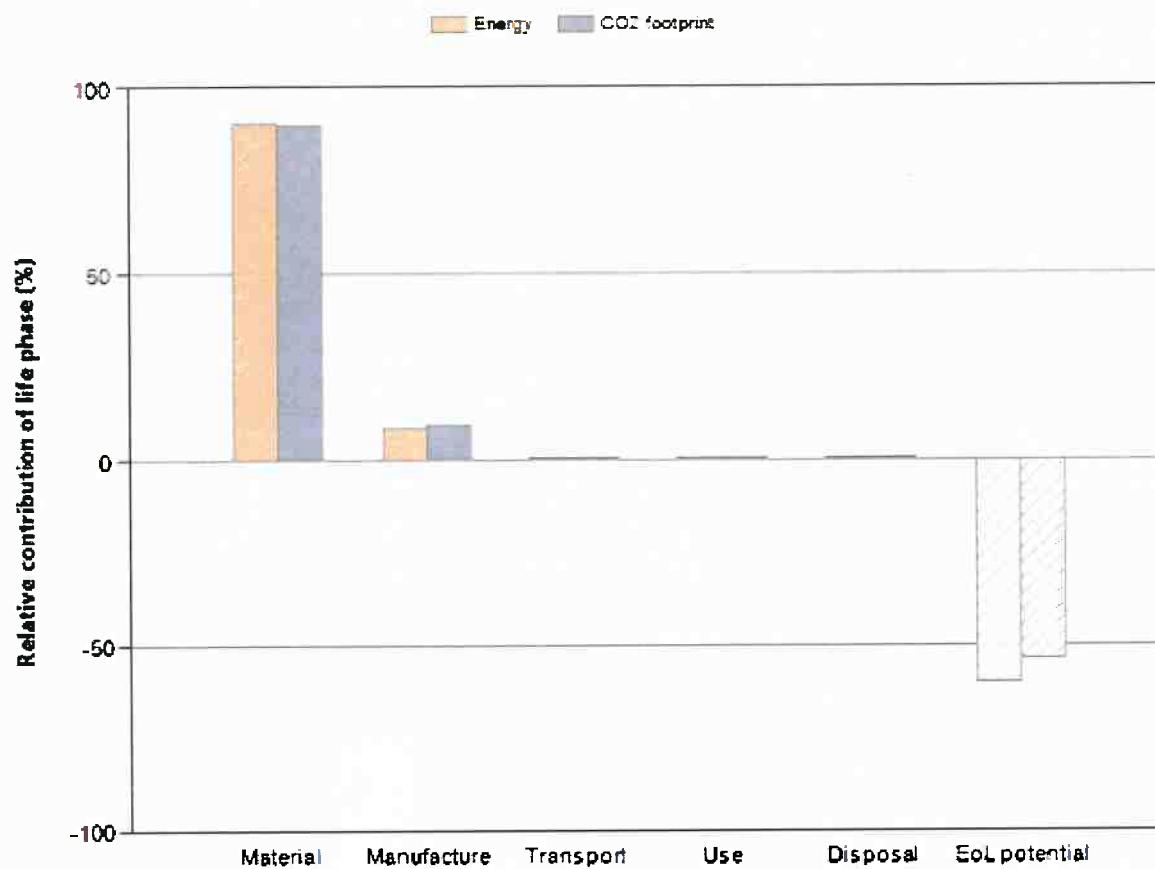


Gráfico 12: Porcentagem de contribuição por fase na produção de latas de alumínio.

4.1.2. Folha de Flandres

A partir dessas hipóteses levantadas anteriormente, e com auxílio do EduPack Granta, conclui-se que, em relação à energia utilizada, gastão-se 44627,54 MJ, sendo a etapa do material responsável por 73% desse valor e a de manufatura responsável por 21%. Desse valor, 41% é recuperado devido à reciclagem. Logo, o saldo é de 26338,29 MJ para cada 1892 kg de latas produzidas, o que equivale à 78.819 latas.

Em relação à pegada de carbono, são desprendidos 7734,7 kg de CO₂ na produção da mesma quantidade de latas de alumínio, sendo a fase material a maior, com 72,8%, seguido da fase de manufatura, com 23,2%. Desse valor, 37,2% são recuperados devido à reciclagem.

Tabela 6: Gasto de energia e emissão de CO2 para produção de 78819 latas de folha de flandres.

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	32586,604	73,0	2287,671	72,8
Manufacture	9704,093	21,7	727,763	23,2
Transport	321,640	0,7	22.836	0,7
Use	691,200	1,5	12.096	0,4
Disposal	1324,000	3,0	92.680	2,9
Total (for first life)	44627,537	100	3143,047	100
End of life potential	-18289,248		-1169,876	

Energy Analysis

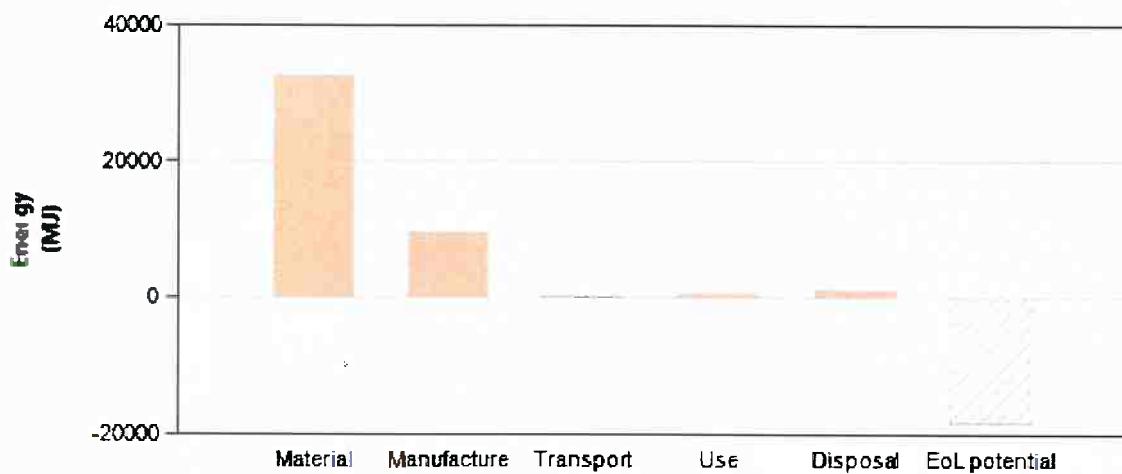


Gráfico 13: Gasto em energia por fase para a produção de latas de folha de flandres.

CO2 Footprint Analysis

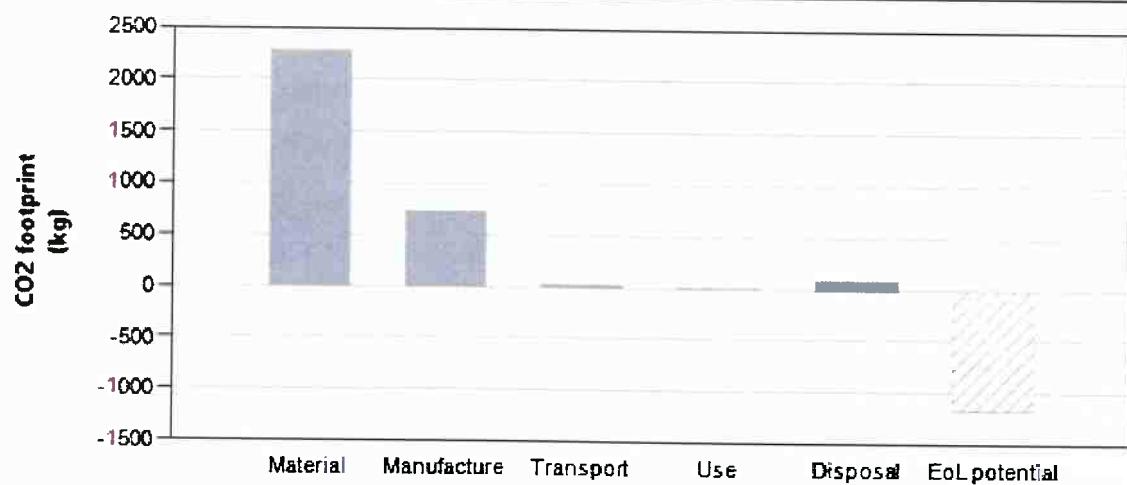


Gráfico 14: Emissão de CO2 por fase para a produção de latas de folha de flandres.

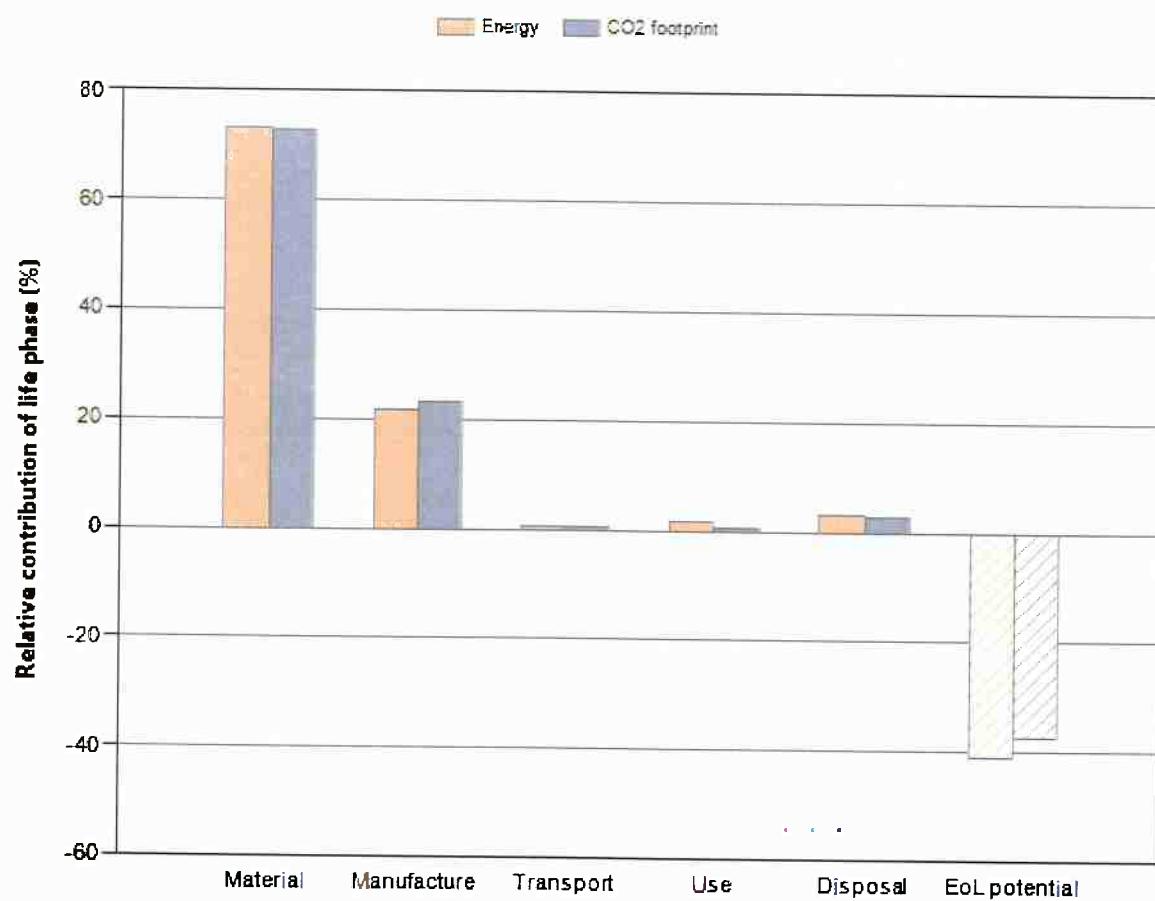


Gráfico 15: Porcentagem de contribuição por fase na produção de latas de folha de flandres.

4.1.3. Vidro

Em relação à pegada de carbono, são desprendidos 31126,46 kg de CO₂ na produção do mesmo volume de líquido considerado para os materiais anteriores, que equivale a 91956 vasilhames, sendo novamente a fase material e a de manufatura as principais responsáveis, com 51,4% e 46,7% respectivamente. Desse valor, 51,4% são recuperados devido ao reuso do material.

Tabela 7: Gasto de energia e emissão de CO₂ para produção de 91956

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	223940,459	54,0	16011,542	51,4
Manufacture	181855,210	43,9	14548,417	46,7
Transport	3595,500	0,9	255,281	0,8
Use	864,000	0,2	15,120	0,0
Disposal	4230,000	1,0	298,100	1,0
Total (for first life)	414485,169	100	31126,460	100
End of life potential	-223940,459		-16011,542	

Energy Analysis

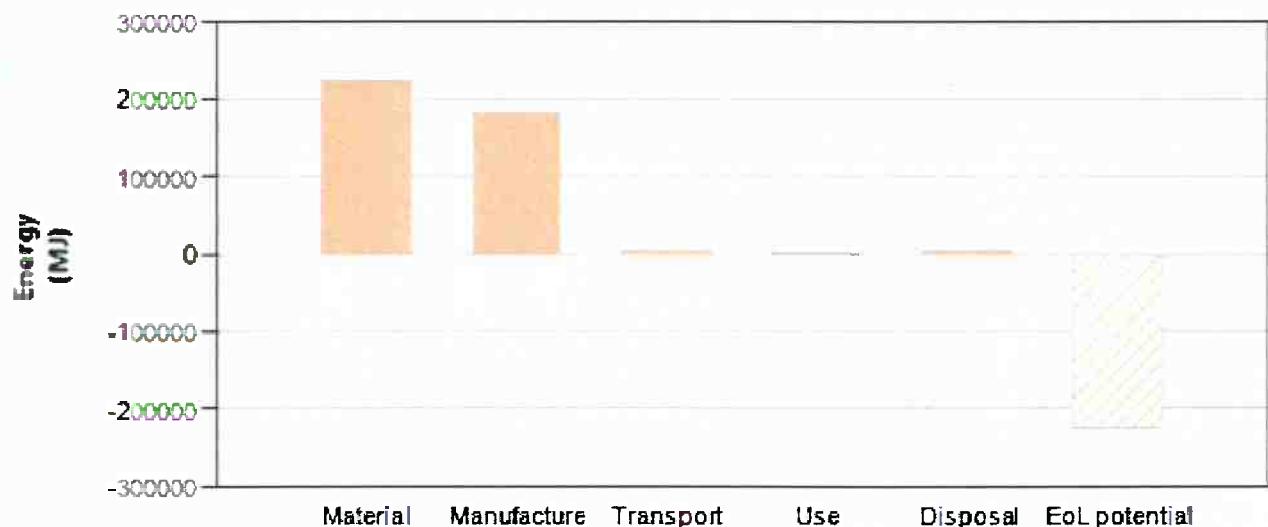


Gráfico 16: Gasto em energia por fase para a produção de latas de embalagens retornáveis de vidro.

CO2 Footprint Analysis

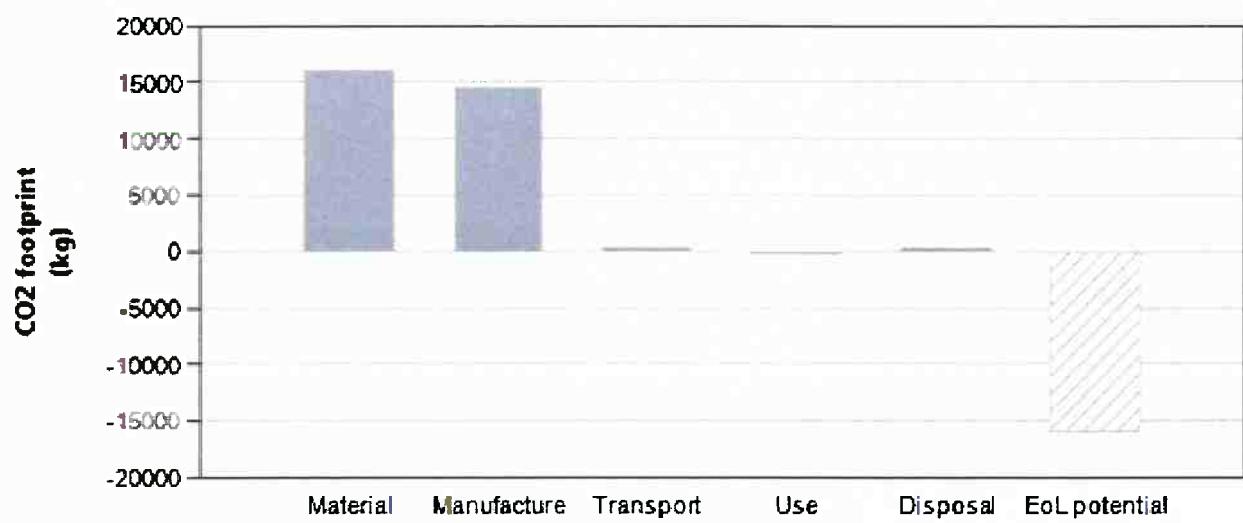


Gráfico 17: Emissão de CO2 por fase para a produção de latas de embalagens retornáveis de vidro

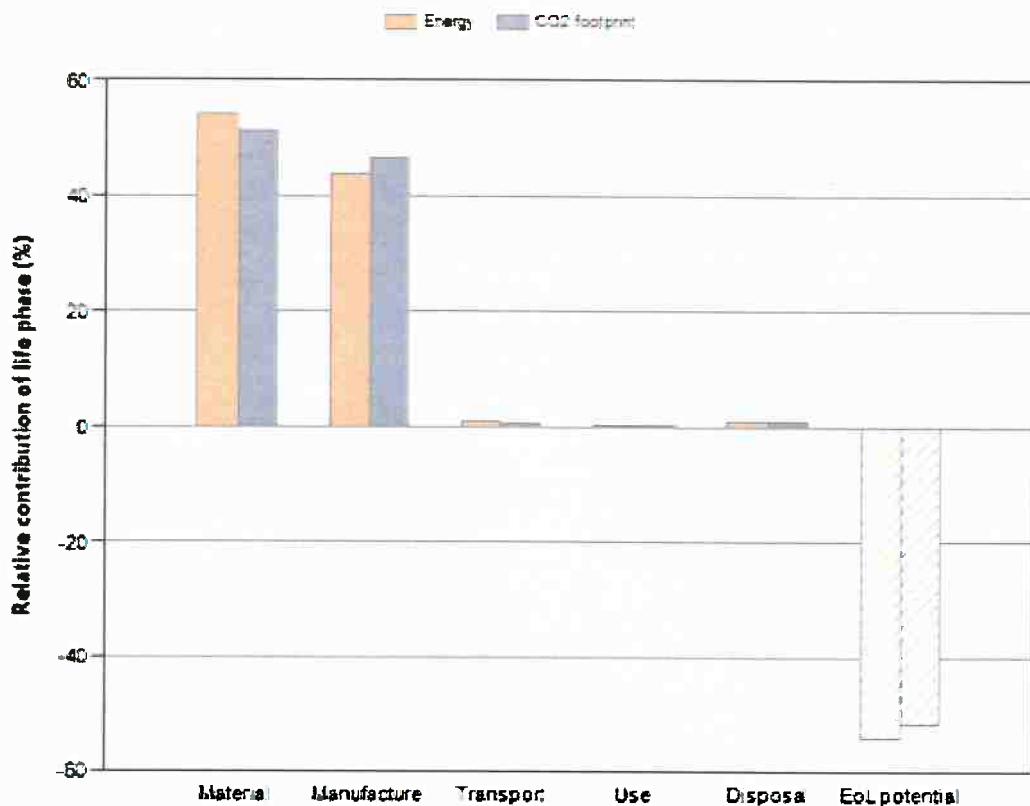


Gráfico 18: Porcentagem de contribuição por fase na produção de embalagens retornáveis de vidro.

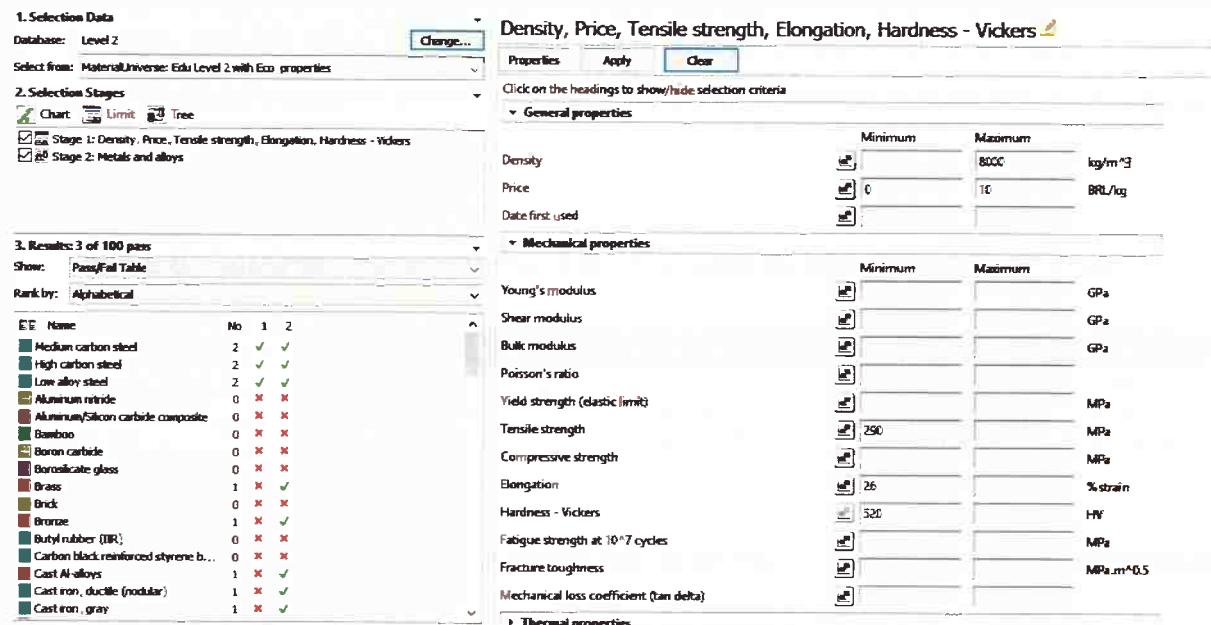
4.1.4. Alternativas

Ao aplicar no software as condições explicitadas no item 3.1.3.2., não foram encontrados resultados por conta da densidade máxima estipulada para até 3 g/cm³.

Ao alterar o level do software para o level 3, que possui uma biblioteca de materiais bem maior, também não foram encontrados resultados. Então, foi se ajustando tal valor até que fossem encontrados resultados.

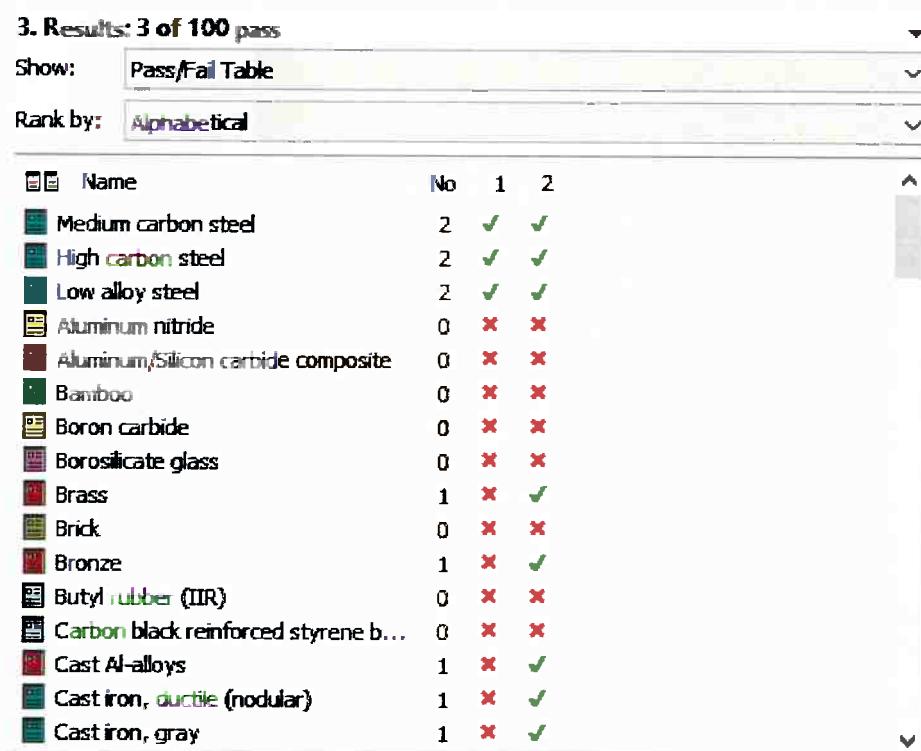
Com a densidade ajustada para 8g/cm³, foram encontrados como resultados: aço de médio carbono, aço de alto carbono e aços de baixa liga, como mostra a figura 25.

Ainda, caso não seja levado em consideração materiais metálicos, não são encontrados materiais que atendam às necessidades especificadas.



The screenshot shows a software interface for material selection. At the top, there is a 'Selection Data' section with a 'Database: Level 2' dropdown and a 'Change...' button. Below it is a 'Selection Stages' section with a 'Chart' button, a 'Limit' button, and a 'Tree' button. Under 'Selection Stages', there are two checked boxes: 'Stage 1: Density, Price, Tensile strength, Elongation, Hardness - Vickers' and 'Stage 2: Metals and alloys'. The main area is titled 'Density, Price, Tensile strength, Elongation, Hardness - Vickers' with tabs for 'Properties', 'Apply', and 'Clear'. It includes a note: 'Click on the headings to show/hide selection criteria' and a 'General properties' section. The results table is titled '3. Results: 3 of 100 pass' and shows a 'Pass/Fail Table' with 'Alphabetical' ranking. The table lists 15 materials with columns for 'Name' and 'No', '1', and '2'. The materials listed are: Medium carbon steel, High carbon steel, Low alloy steel, Aluminum nitride, Aluminum/Silicon carbide composite, Bamboo, Boron carbide, Borosilicate glass, Brass, Brick, Bronze, Butyl rubber (IIR), Carbon black reinforced styrene b..., Cast Al-alloys, Cast iron, ductile (nodular), and Cast iron, gray. The 'Properties' section on the right lists various mechanical and thermal properties with their respective minimum and maximum values and units.

Figura 24: Requisitos para escolha do material.



The screenshot shows the results table from the material selection software. The table is titled '3. Results: 3 of 100 pass' and displays a 'Pass/Fail Table' with 'Alphabetical' ranking. The columns are 'Name', 'No', '1', and '2'. The materials listed are: Medium carbon steel, High carbon steel, Low alloy steel, Aluminum nitride, Aluminum/Silicon carbide composite, Bamboo, Boron carbide, Borosilicate glass, Brass, Brick, Bronze, Butyl rubber (IIR), Carbon black reinforced styrene b..., Cast Al-alloys, Cast iron, ductile (nodular), and Cast iron, gray. The '1' and '2' columns use green checkmarks for passes and red 'X' marks for fails.

Figura 25: Resultado da pesquisa sobre alternativas de materiais.

4.1.5. Comparação de resultados

Abaixo, está uma tabela resumo dos resultados das ACV realizadas para a lata de alumínio, lata de folha de flandres e vasilhame retornável de vidro. Não foi levado em consideração o estudo de alternativas por não se acreditar que os resultados foram conclusivos.

Tabela 8: Resumo dos resultados das ACV para os três materiais analisados.

	Energia Total (MJ)	Energia Real (MJ)	CO2 Total (kg)	CO2 Real (kg)
Alumínio	116859,411	46926,9	7734,733	3595,76
Folha de Flandres	44627,54	26338,29	3143,05	1973,17
Vidro	414485,17	190544,71	31126,46	15114,92

Graficamente, podemos também ver a comparação entre os 3 resultados, conforme os gráficos 19 e 20.

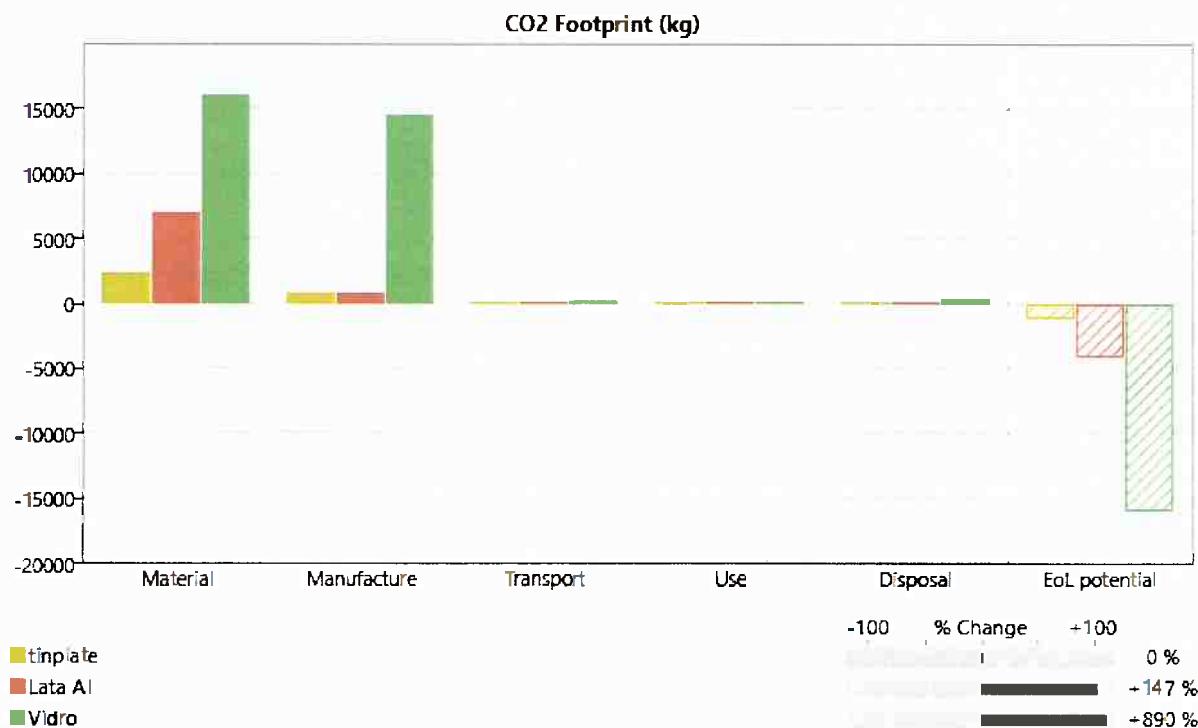


Gráfico 19: Comparação da pegada de carbono para os 3 materiais.

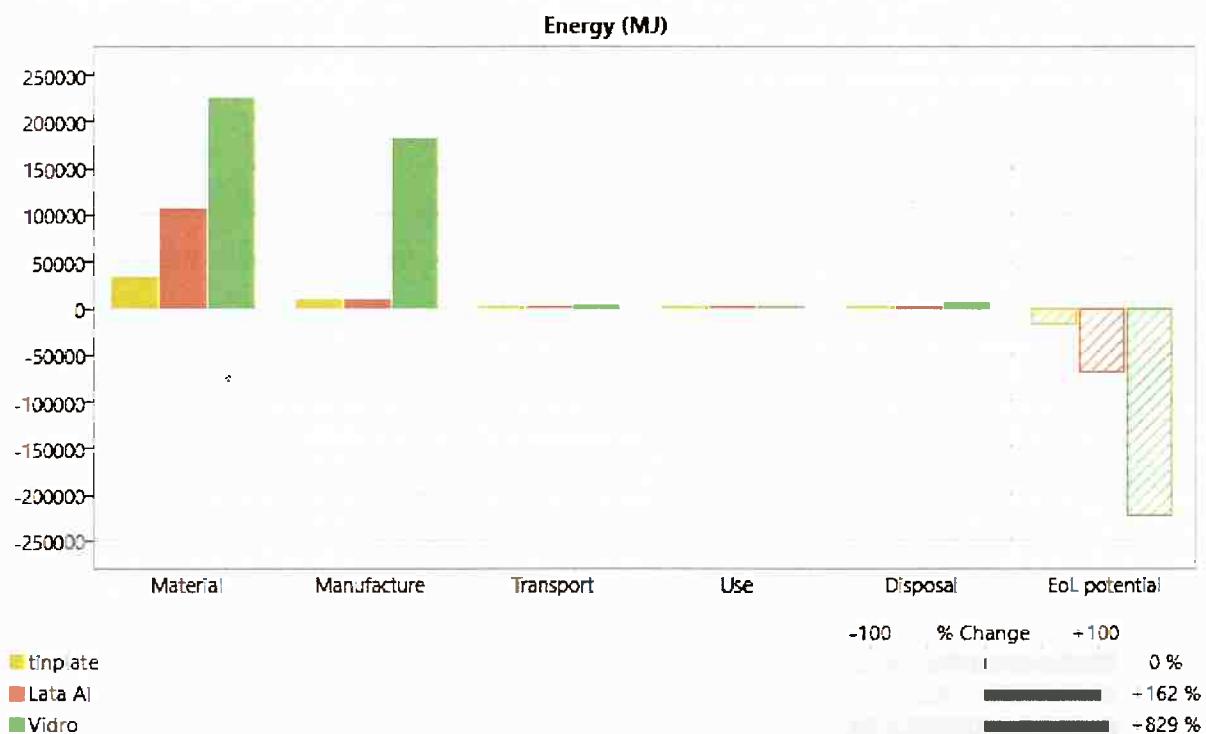


Gráfico 20: Comparação da energia utilizada para os 3 materiais.

Dos gráficos apresentados, fica claro que a melhor alternativa em termos ambientais é a folha de flandres.

Em relação à energia, a lata de alumínio gasta 162% de energia a mais que a folha de flandres e o vasilhame de vidro 829%. Já sobre a emissão de carbono, a lata de folha de flandres gasta 147% a mais do que a lata de folha de flandres e o vasilhame de vidro 890%. Tais porcentagens se referem aos valores totais.

Caso seja considerado o real, ou seja, a diferença entre o valor total e o que pode ser recuperado devido disposição final do material, sobre a energia, a lata de alumínio gasta 78,2% mais energia que a lata de folha de flandres e o vasilhame 623,5%.

Por fim, sobre a emissão de CO2 real, a lata de alumínio gasta 82,3% mais energia do que a folha de flandres e o vasilhame 666% a mais.

4.1.6. Estudo de Casos - Cervejaria Ambev

Em 2017, a Cervejaria Ambev produziu cerca de 119,2 milhões de hectolitros diversificados entre refrigerantes, sucos águas, energéticos e cervejas. Desse volume, 35,42% foram distribuídos em embalagens de alumínio, 44,25% em vasilhames de vidro, 18,98% em embalagens PET e 1,35% em outras embalagens, como barris e tetra park, como mostra a tabela 9.

Neste estudo de casos, foram feitas contas para entender qual o impacto ambiental do uso dessas embalagens em detrimento da folha de flandres.

Tabela 9: Dimensionamento do impacto ambiental pelo peso calculado na ACV.

Dimensionamento por peso				
	Energia Total (MJ)	Energia Real (MJ)	CO2 Total (kg)	CO2 Real (kg)
Alumínio	116859,411	46926,9	7734,733	3595,76
Folha de Flandres	44627,54	26338,29	3143,05	1973,17
Vidro	414485,17	190544,71	31126,46	15114,92

Tabela 10: Definição de quantas unidades equivalem ao peso calculado pela ACV.

Características - Materiais				
	Peso (g) / lata	Volume (ml) / lata	Unidades	Volume total (hL)
Alumínio	12,7	350	78819	275,87
Folha de Flandres	24	350	78819	275,87
Vidro	223	300	91956	275,87

Tabela 11: Impacto ambiental por unidade de embalagem.

Dimensionamento por unidade				
	Energia Total (MJ)	Energia Real (MJ)	CO2 Total (kg)	CO2 Real (kg)
Aluminio	1,482629962	0,595375481	0,098132849	0,045620472
Folha de Flandres	0,566202819	0,334161687	0,039876806	0,025034192
Vidro	4,507429314	2,07212917	0,338492975	0,164371221

Tabela 12: Hectolitros por tipo de embalagem e seus respectivo gasto ambiental.

Cervejaria Ambev - 2017						
	Volume (hL)	Equivalente em Unidades	Energia Total (MJ)	Energia Real (MJ)	CO2 Total (kg)	CO2 Real (kg)
Alumínio	42187601,51	12053600431	17871029153	7176418149	1182854147	549890943,6
Vidro	22603478,91	7534492969	33961194473	15612442665	2550372939	1238453809

Tabela 13: Impacto ambiental equivalente à embalagem de folha de flandres.

Equivalente em Folha de Flandres						
	Volume (hL)	Equivalente em Unidades	Energia Total (MJ)	Energia Real (MJ)	CO2 Total (kg)	CO2 Real (kg)
Folha de Flandres	64791080,42	18511737261	10481397824	6185913351	738188962	463426389,7

Tabela 14: Conclusão sobre a redução do impacto ambiental caso se usasse folha de flandres.

Conclusão				
	Energia Total (MJ)	Energia Real (MJ)	CO2 Total (kg)	CO2 Real (kg)
Folha de Flandres	10481397824	6185913351	738188962	463426389,7
Al + Vidro	51832223626	22788860814	3733227086	1788344753
Emissões	41350825802	16602947463	2995038124	1324918363
% a mais	395%	268%	406%	286%

Através das tabelas 10,11,12 e 13, chega-se na tabela 14, que mostra que, caso 100% das embalagens de vidro e alumínio fossem substituídas por embalagens de folhas de flandres, deixariam de ser emitidos aproximadamente 3 milhões de toneladas de CO2 e 41350,8 TJ.

Para efeitos de comparação, o município de São Paulo, segundo o anuário energético de 2017, gastou 27,32 TWh em 2017. Isso significa que o que foi gasto energeticamente a mais, devido uso de outras embalagens, o equivalente a aproximadamente 42% do que todo município de São Paulo gastou em 2017.

Em termos de energia total, foram gastos 395% a mais de energia caso tivesse sido utilizado folha de flandres e 406% a mais de kg de CO₂ foram emitidos.

4.2. Ensaios Mecânicos

4.2.1. Ensaio de Compressão

Nos testes mecânicos, a partir das condições de ensaios explicitadas acima, foi medida a força requerida para comprimir a lata em 40mm ou, para o caso da lata cheia, até que ela estourasse.

4.2.1.1. Lata de Alumínio Vazia

Para a lata de alumínio vazia, a força máxima foi de 343,2 N e o tempo para deformar 40mm foi de 164,6 segundos.

A seguir estão o gráfico e tabela resultantes do ensaio.

Tabela 15: Resultados do ensaio de compressão para a lata de alumínio vazia.

Amostra No.	FORÇA MÁXIMA kgf	LIMITE DE RESISTÊNCIA kgf/mm ²	ALONGAMENTO %	MÓDULO DE ELASTICIDADE kgf/mm ²	PI (mm) 5,00 kgf/mm ²	PI (%) 1,00 kgf
■ 1	-39,00	-0,01	32,52	2,17	0,00	37,33

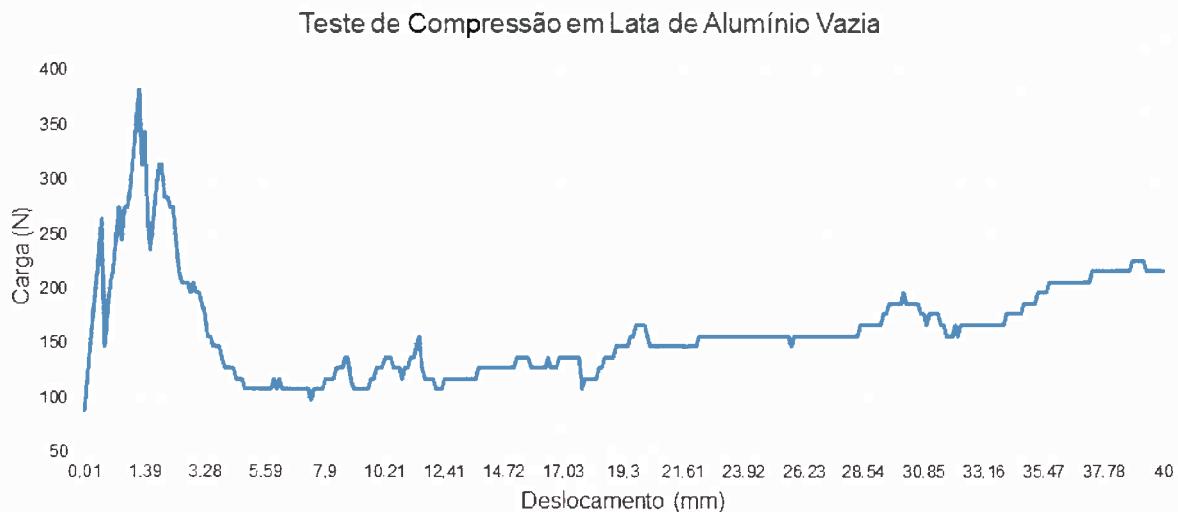


Gráfico 21: Teste de compressão em Lata de Alumínio Vazia

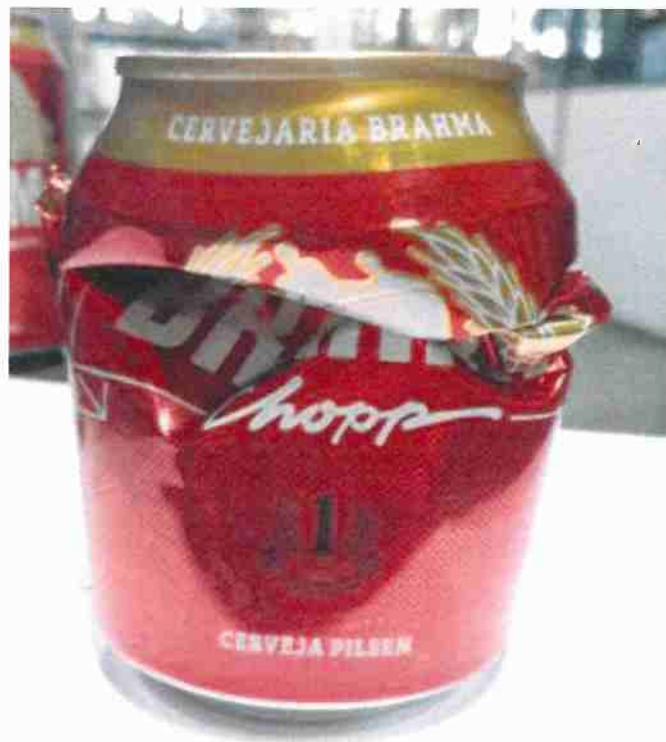


Figura 26: Lata de alumínio vazia após ensaio de compressão.

4.2.1.2. Lata de Alumínio Cheia

Para a lata de alumínio vazia, a força máxima foi de 2530,16 N e o tempo para deformar 8,09 mm foi de 33,3 segundos.

A seguir estão o gráfico e tabela resultantes do ensaio.

Tabela 16: Resultados do ensaio de compressão para a lata de alumínio cheia.

Amostra No.	FORÇA MÁXIMA kgf	LIMITE DE RESISTÊNCIA kgf/mm ²	ALONGAMENTO %	MÓDULO DE ELASTICIDADE kgf/mm ²	PI (mm)	PI (%)
■ 1	-258,00	-0,08	6,58	3,88	0,06	123,75

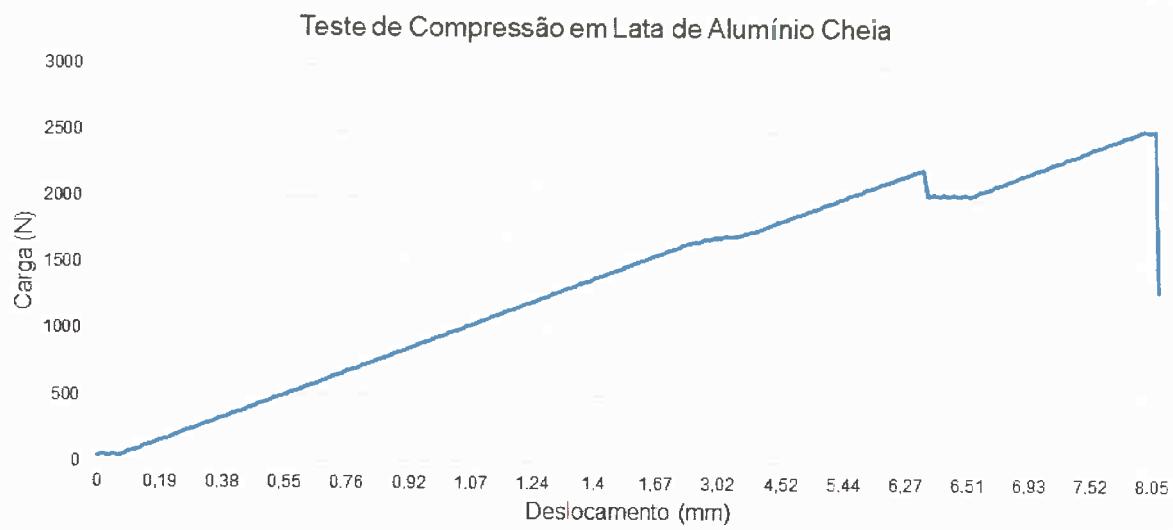


Gráfico 22: Teste de compressão em Lata de Alumínio Cheia.



Figura 27: Lata de alumínio cheia durante teste de compressão.

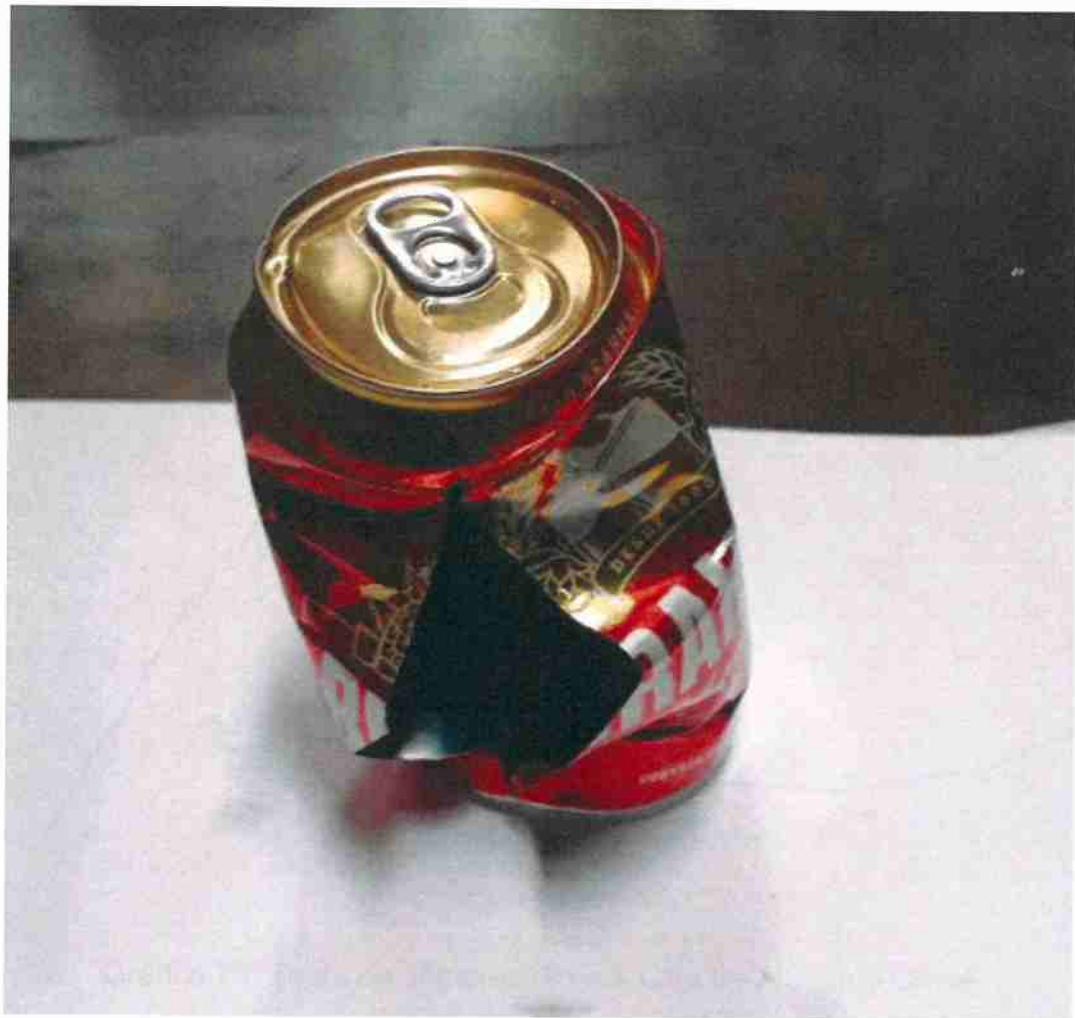


Figura 28: Lata de alumínio cheia pós teste de compressão.

4.2.1.3. Lata de Folha de Flandres Vazia

Para a lata de alumínio vazia, a força máxima foi de 1338,63 N e o tempo para deformar 40mm foi de 164,5 segundos.

A seguir estão o gráfico e tabela resultantes do ensaio.

Tabela 17: Resultados do ensaio de compressão para a lata de folha de flandres vazia.

Amostra No.	FORÇA MÁXIMA kgf	LIMITE DE RESISTÊNCIA kgf/mm ²	ALONGAMENTO %	MÓDULO DE ELASTICIDADE kgf/mm ²	PI (mm) kgf/mm ²	PI (%) kgf
■ 1	-136,50	-0,04	32,52	1,92	0,01	123,29

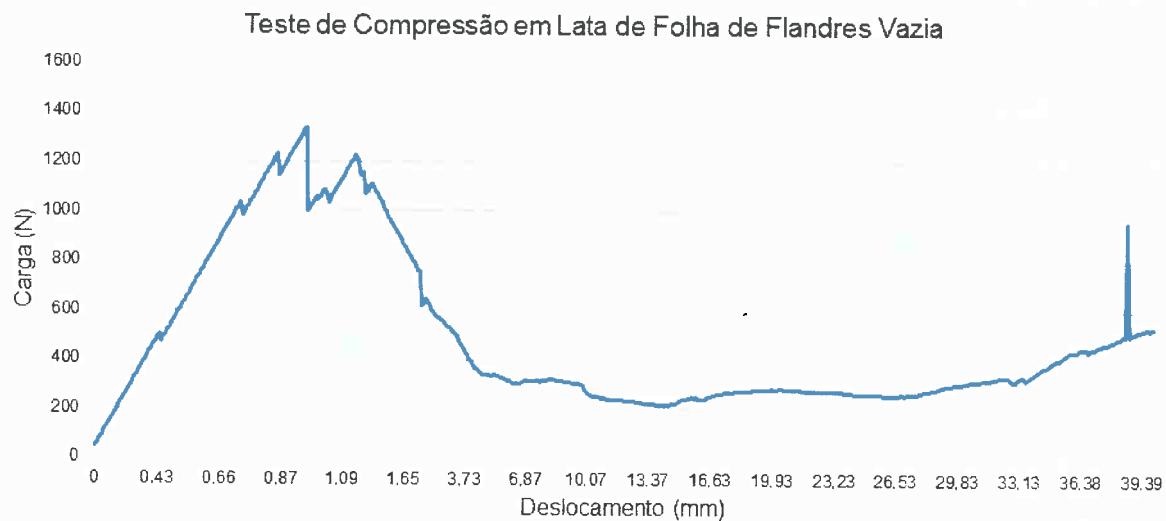


Gráfico 23: Teste de compressão em Lata de Alumínio Cheia.

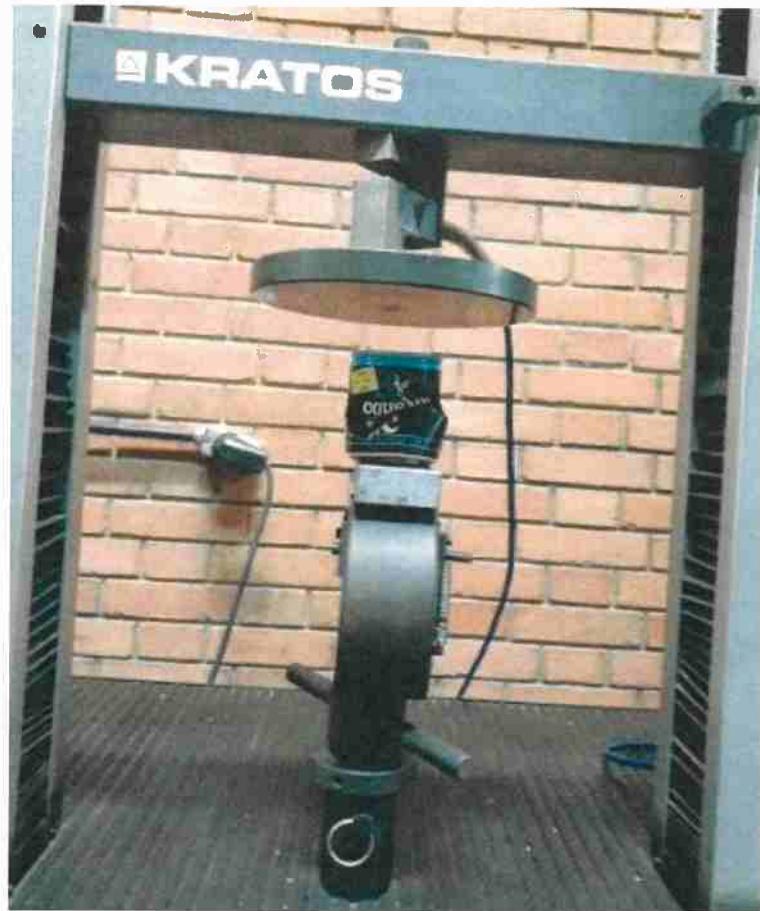


Figura 29: Lata de folha de flandres pós ensaio de compressão.

4.2.1.4. Discussão dos resultados do ensaio de compressão

O resultado dos três testes de compressão realizados podem ser resumidos na tabela 18 a seguir.

Tabela 18: Resumo dos resultados obtidos nos ensaios de compressão.

	Lata Al Vazia	Lata Al Cheia	Lata Flandres Vazia
Força Máxima (N)	343,2	2530,16	1338,63
Força Máxima (kgf)	-39	-258	-136
Limite de Resistência(kgf/mm ²)	-0,01	-0,08	-0,04
Alongamento (%)	32,52	6,58	32,52
Módulo de Elasticidade (kgf/mm ²)	2,17	3,88	1,92
Tempo total de teste (seg)	164,6	33,3	164,5

Em termos práticos, pode-se extrapolar tal teste para aplicação em um estoque, por exemplo. Hoje, paga-se IPTU por área construída, ou seja, pouco importa a altura que um galpão pode oferecer. Mas importa quanto peso um pack pode aguentar sobre ele.

Como não foi possível a realização de testes com latas de folha de flandres cheias, não há como afirmar quanto pesa ela aguentaria sem ser danificada. Porém, fica claro que seu desempenho seria melhor.



Figura 30: Latas após teste de compressão.

4.2.2. Ensaio de Impacto Charpy

Como dito anteriormente, o ensaio de Impacto Charpy foi realizado na máquina Losenhausen com o auxílio de fita crepe para fixar os corpos de prova.



Figura 31: Ensaio de impacto Charpy.

4.2.2.1. Lata de Alumínio Cheia

A energia absorvida pela lata de alumínio cheia foi de 72J.



Figura 32: Teste de impacto Charpy sendo realizado na lata de alumínio cheia.



Figura 33: Lata de alumínio cheia após impacto.

4.2.2.2. Lata de Alumínio Vazia

A energia absorvida pela lata de alumínio cheia foi de 26J.



Figura 34: Lata de alumínio vazia após impacto.

4.2.2.2. Lata de Folha de Flandres Vazia

A energia absorvida pela lata de folha de flandres vazia foi de 148J.



Figura 35: Lata de folha de flandres antes do teste.



Figura 36: Lata de folha de flandres após teste.

4.2.2.4 Discussão dos resultados dos testes de Impacto Charpy

Através do teste de impacto Charpy, é possível comparar a resistência a impactos e deformação de diferentes materiais.

... A seguir, há uma tabela com o resumo do resultado dos três testes de impacto Charpy.

Tabela 19: Resumo dos testes de impacto Charpy.

Energia (J)	
Lata Al Vazia	26
Lata Al Cheia	72
Lata Flandres Vazia	148

Dela, podemos inferir que o melhor resultado, é o da folha de flandres que, mesmo vazia, possui uma resistência maior que a de alumínio cheia. Os testes apontam que a lata de folha de flandres vazia suporta 469,23% mais energia que a de alumínio.

Em termos práticos, para o uso estudado, isso implica que caso a lata caia das mãos de uma consumidora, ou mesmo haja tombamento de carga, a lata de folha de flandres seria menos danificada e, possivelmente, seu uso traria menos perda de mercadoria.

Aqui, deve-se ressaltar que nem sempre o melhor resultado mecânico indica que aquele é o material adequado. Considera-se sempre o desempenho para o uso requerido. No caso, ambos os materiais atendem o uso requerido, porém a folha de flandres é capaz de absorver uma maior quantidade de energia.

4.3. Análise Socioeconômica

Além dos parâmetros técnicos já analisados, vale a provocação de qual seria o impacto socioeconômico gerado pela substituição das latas de alumínio pelas latas de aço.

Como já foi dito anteriormente, ambos os materiais são 100% recicláveis. Também é de conhecimento geral que, hoje, a maior parte da reciclagem é feita por catadores informais que fazem desse serviço sua principal fonte de renda. Vale ressaltar que o serviço de coleta seletiva é oferecido em menos de 20% dos

municípios brasileiros, segundo levantamento do Ciclossoft realizado em 2016. Nesse cenário, cooperativas de catadores ganham um papel ainda mais relevante.

A seguir está a tabela com os diferentes valores pagos pela tonelada de sucata recolhida.

Tabela 20: Custo da tonelada de material por região. Legenda: P = prensado L = limpo I = inteiro C = cacos UN = unidade.

	PAPELÃO	PAPEL BRANCO	LATAS DE AÇO	ALUMÍNIO	VIDRO INCOLOR	VIDRO COLORIDO	PLÁSTICO RÍGIDO	PET	PLÁSTICO FILME	LONGA VIDA
MG										
ITABIRA	480PL	680PL	220PL	3800P	215L	-	1455P	1780P	1700	380PL
BELO HORIZONTE	430PL	630PL	300L	3400P	70L	-	1400P	1700P	1500P	200PL
LAVRAS	410PL	450PL	150PL	2700P	180P	-	1400P	1400P	1150P	200PL
RS										
CANAS	230P	400PL	120P	2200	70	-	300	1360P	700P	120P
PORTO ALEGRE	320PL	550PL	160PL	2700P	45L	-	900PL	1400P	800P	200P
SP										
SÃO PAULO	580PL	600PL	280L	3500P	150	-	600L	1400P	800	250P
GUARULHOS	210PL	480L	350L	3000P	130L	-	1000L	1400P	1450	250PL
GUARUJÁ	400PL	250L	240L	2900L	80	-	700L	900PL	1250P	270PL
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	350PL	120		2900P	190PL	-	1650P	1400P	480PL	250PL
RJ										
MESQUITA	180L	500I	200L	3700P	300L	-	1000P	800PL	1000P	150PL
RIO DE JANEIRO	270PL	300P	170L	3500P		-	1200P	1400P	1300P	200P
SC										
FLORIANÓPOLIS	480	480	140	3500	80	-	1550	1600	850	260
ES										
GUARAPARI	270PL	170L	140L	2800L		-	500PL	800PL	500PL	100P
SE										
ARACAJU	250PL	550PL	100L	3500		-	600L	700L	1000P	250PL
PR										
LONDRINA	460	420	120	3600	80	-	1000	1350	1150	340

Dela, é simples entender o porquê das latas de alumínio serem um dos objetos mais coletados pelos catadores. Enquanto o quilo da lata de alumínio custa entre R\$2,20 e R\$3,70, as latas de aço custam entre R\$0,10 e R\$0,35. Ou seja, caso estas fossem substituídas por latas de aço, considerando a renda do catador 100%

composta da coleta de alumínio (o que não é real), ele teria sua renda reduzida entre 6 e 37 vezes.

Um Catador de Material Reciclável ganha em média R\$ 1.194,02 no mercado de trabalho brasileiro para uma jornada de trabalho de 44 horas semanais de acordo com o CAGED do MTE e pesquisa do Salario.com.br no período de 02/2018 até 09/2018 com um total de 2507 salários.

A faixa salarial do Catador de Material Reciclável fica entre R\$ 954,00 e R\$ 2.691,87, levando em conta o piso salarial e o teto salarial médio de profissionais contratados com carteira assinada em regime CLT a nível nacional.

Logo, que antes tinha uma renda máxima próxima de R\$2700,00 agora ganharia entre R\$73,00 e R\$450,00, caracterizando grande impacto em cerca de 800 mil profissionais do tipo, de acordo com o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis, em atividade no país.

5. CONCLUSÕES

Após a análise ambiental, mecânica e socioeconômica dos materiais para fabricação de latas, sobretudo alumínio e folha de flandres, conclui-se que:

- Ambientalmente, através dos resultados obtidos pela análise de ciclo de vida, faz total sentido descontinuar o uso do alumínio e voltar para as folhas de flandres. Os vasilhames retornáveis de vidro, por sua vez, também não se mostraram ambientalmente adequados, possuindo um desempenho ainda pior do que as latas de alumínio. Os resultados mostram que o uso da folha de flandres reduziriam 61,6% do total gasto com energia e 59,4% o total de dióxido de carbono emitido quando comparado às latas de alumínio. Já em relação ao vasilhame de vidro, essa redução seria de 89,2% e 89,9% respectivamente.
- Mecanicamente, as latas de folha de flandres também obtiveram melhores resultados. No teste de compressão, comparando latas vazias, nota-se experimentalmente que a força máxima atingida pelo ensaio na folha de flandres foi 3,9 vezes maior do que a lata de alumínio. Isso implica em mais peso podendo ser disposto sobre a lata, implicando em potencial redução de área para armazenagem. Já em relação ao teste de impacto Charpy, a energia absorvida pela lata vazia de folha de flandres foi 5,7 vezes maior do que a de alumínio, mostrando ser mais resistente ao impacto.
- Por fim, a análise socioeconômica mostra que o preço de venda da sucata de lata de folhas de aço é cerca de 12 vezes menor do que o preço da lata de alumínio. Dependendo da região, a renda obtida pela venda de sucata pode ser reduzida entre 6 e 37 vezes, impactando fortemente na renda dos 800 mil catadores hoje estimados no Brasil.

Portanto, embora as análises ambientais e mecânicas indiquem a lata de folha de flandres como melhor alternativo no Brasil, o impacto social deve também ser considerado, devendo haver alternativas de renda antes de qualquer decisão ser tomada.

6. ANÁLISE CRÍTICA E PRÓXIMOS PASSOS

A partir da conclusão apresentada, fica clara a tendência da autora por concordar na substituição das latas de alumínio pelas latas de folha de flandres.

Entretanto, neste trabalho há inúmeras variáveis que não foram verificadas, ou mesmo dados que devem ser analisados com mais profundidade e precisam ser aprimorados, para que em futuros projetos, isso possa configurar uma alternativa para o mercado de latas brasileiro.

Abaixo há uma lista de pontos incertos ou sugestões de melhoria para que haja perfeita coerência entre os dados e as conclusões retiradas a partir dessa análise preliminar. São elas:

- Na ACV, foi considerada uma porcentagem aproximada de quanto alumínio ou aço é proveniente da reciclagem e quanto é virgem. Porém, não foi encontrado em nenhuma fonte tal relação.
- Na ACV, a distância percorrida pelo caminhão foi estabelecida aleatoriamente pois a cervejaria estudada não forneceu a distância média percorrida na logística de seus produto. O ideal era encontrar o dado exato.
- Os testes mecânicos das latas de folha de flandres foram realizadas em latas com mais de 20 anos. Tal idade pode implicar em alterações de propriedades.
- Foram realizados apenas dois testes. Seria interessante analisar a tenacidade e ductilidade destes materiais, além de fazer testes de queda livre com latas cheias para entender a partir de qual altura realmente pode haver prejuízo da embalagem;
- Não foram feitas análises em relação à polímeros.
- Não há estudo sobre qual impacto na linha de produção das latas. Deve-se entender se o maquinário pode ser adaptado para produção de latas de folha de flandres em detrimento da de alumínio.
- O peso da lata de flandres é 88,9% maior que do alumínio. Tal fato implica num custo logístico maior que o atual. Deve-se entender a porcentagem cobrada por peso durante o transporte e qual o impacto disso na viabilização econômica da substituição das latas de alumínio pelas de folha de flandres.

- Não foi feita uma análise econômica dos materiais. Superficialmente uma folha de aço custa cerca de \$0,4/ kg, enquanto a de alumínio custa \$1.7/ kg no mercado mundial. Deve-se estudar qual o saving real em toda cadeia produtiva.

7. BIBLIOGRAFIA

- a. Junior, Dário Moreira Pinto, and Wellington Leôncio Costa. "CONCORRENCIA ENTRE EMBALAGENS DE AÇO E ALUMINIO: UMA ANÁLISE DE MERCADO NO SEGMENTO DE BEBIDAS CARBONATADAS." Gestão do Conhecimento e Inovação Volume 4.
- b. JUNIOR, DARIO MOREIRA PINTO, Évertton Silva Guimarães Brandão, and Ralph Galhardo Nogueira. "ANÁLISE DE MERCADO ENTRE EMBALAGENS DE AÇO E ALUMINIO." Revista Científica Linkania Master 4.4 (2013).
- c. <http://abal.org.br/aplicacoes/embalagens/latas-para-bebidas/>
- d. <http://www.abralatas.org.br/#containerLata>
- e. <http://www.abeaco.org.br/>
- f. NUTTING, J. Making the most of metal. The Canmaker, v.16, Feb, 2003.
- g. Prado, Marcelo Real. "Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e pet utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil." (2007).
- h. ANTUNES, A. O futuro da indústria de transformados plásticos: embalagens plásticas para alimentos. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Instituto Euvaldo Lodi. Brasília: MDIC/STI : IEL/NC, 188 p.2005.
- i. GARCIA, E.E.C. Análise do Ciclo de Vida – ISO 14000. ECO-RIO, p. 39-42,1996.
- j. RECICLAGEM - Solução para o lixo. Folha do Meio Ambiente. Cultura Viva; Editora Ltda. Brasília-DF. 1 p., 1999.
- k. Cortez, Ana Tereza Caceres. "Embalagens: o que fazer com elas?." Revista Geográfica de América Central 2 (2011): 1-15.
- l. Costa, Cátia De Jesus Simão Dias. "Análise de ciclo de vida Aço."
- m. Barão, Mariana Zanon. "Embalagens para produtos alimentícios." Instituto de Tecnologia do Paraná-TECPAR. Curitiba (2011): 8.
- n. <http://www.ital.sp.gov.br/cetea/>
- o. DANTAS, Silvia Tondella. Principais Tendências de Embalagem para Bebidas. Brasil Pack Trends. São Paulo, 2005.

- p. MBM – Metal Bulletin Monthly. Metal Bulletin 2007 Catalogue. Disponível em: <http://www.metalbulletin.com>.
- q. HOSPIDO, A., MOREIRA, M.T., FEIJOO, G. Environmental analysis of beer production. International Journal of Agricultural Resources – Governance and Ecology. Inderscience Enterprises Ltd. Geneva – Switzerland. Vol. 4(2), p.152-162, 2005.
- r. HISCHIER, R., ALTHAUS, H.J., WERNER, F. Developments in wood and packaging materials life cycle inventories in ecoinvent. International Journal of Life Cycle Assessment. Ecomed Publishers. Landsberg - Germany. Vol. 10(1), p.50-58, 2005.
- s. VIGON, B. W.; TOLLE, D. A. CORNARY, B. W. LATHAN, H. C.; C. HARRISON, L.; BOUGUSKI, T. L.; HUNT, R. G.; SELLERS, J. D. Life Cycle Assessment: inventory guidelines and principles. Environmental Protection Agency - Risky Reduction Engineering Laboratory. Cincinnati, U.S, 1993.
- t. SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment. SETAC Press. Pensacola-FL. 188 p., 1993.
- u. COLTRO, L. Embalagens plásticas flexíveis versus meio ambiente. CETEA – ITAL. Campinas-SP, 2 p., 2000.
- v. PEREZ, J. A. C. Análise de Ciclo de Vida do Produto. Palestra da Câmara Brasil-Alemanha de Indústria e Comércio. São Paulo-SP. Agosto de 2005.
- w. PRE CONSULTANTS BV. What is LCA. [online]. Disponível em: http://www.pre.nl/life_cycle_assesment
- x. ANTON, A., MONTERO, J.I., CASTELLS, F. Life cycle assessment: a tool to evaluate and improve the environmental impact of Mediterranean greenhouses. Acta Horticulturae. International Society for Horticultural Science (ISHS). Leuven – Belgium. N. 614, Vol 1, p. 35-40, 2003.
- y. CHEHEBE, J.R.B. Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104p.
- z. KNIGHT, A.; WOLFE, J.; POON, J. Life cycle assessment. Toronto: ICF Kaiser Canadá, 35 p., 1996.

- aa. MOURAD, A.N., GARCIA, E.E.C., VILHENA, A. Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e aplicações. CETEA/ITAL : Campinas-SP, 92 p., 2002.
- A aplicação da Análise de Ciclo de Vida no Brasil, Revista Meio Ambiente Industrial, Vol. 7, N. 41, p. 72-80, 2003.
- bb. ALCOA – O Alumínio: História do alumínio, Como é feito, Reciclagem [online]. Disponível em <http://www.alcoa.com.br/o_aluminio/hist_aluminio.asp>, 2005.
- cc. MINERAL DATA PUBLISHING. Aluminum. Doclady Academy Naum. N.243. p.191-194. Moscou-Rússia. 2005.
- dd. SIDRAK, Y.L. Dynamic Simulation Approach to Digester Ratio Control in Alumina Production. Ind. Eng. Chemical Research. Arábia Saudita. N.37 (4), p.1404-1409, 1998.
- ee. MÁRTIRES, R.A.C. Alumínio: balanço mineral brasileiro 2001. Relatório Técnico. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Brasília-DF, 31 p., 2002.
- ff. CONSTANTINO, V.R.L.; ARAKI, K.; SILVA, D.O.; OLIVEIRA, W. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. Revista Química Nova, São Paulo-SP. V.25, n.3, p.490-498, 2002.
- gg. Barão, Mariana Zanon. "Embalagens para produtos alimentícios." Instituto de Tecnologia do Paraná-TECPAR. Curitiba (2011)
- hh. EMBALAGENS metálicas. In: ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA. A embalagem para produtos alimentares. Porto: ESB/UCP, [200-?]. cap. 3.
- ii. Jorge, Neuza. "Embalagens para alimentos." São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação (2013).
- jj. Fernandes, Jose Manoel. "Estudos da fabricação de latas em folhas-de-flandres pelos processos de embutimento profundo e estiramento." (1998).
- kk. SARKIS, ALFREDO MOISES. "Investigação sobre o defeito madeira em folhas de Flandres produzidas em linhas industriais de estanhamento eletrolítico."
- ll. Tivelli, Erick. "Absorção de impacto por latas de alumínio." (2012).

- mm. <https://www.salario.com.br/profissao/catador-de-material-reciclavel-cbo-519205/> - acesso em 18/11/2018.
- nn. <https://observatorio3setor.org.br/carrossel/catadores-sao-responsaveis-por-90-do-lixo-reciclado-no-brasil/> - acesso em 18/11/2018
- oo. https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7029-como-se-comportam-os-metais - acesso em 30/11/2018.
- pp. http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/8114/8185/3771/tec_hardness_comparison_pt-br.pdf - acesso em 02/12/2018.
- qq. http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf - acesso em 02/12/2018
- rr. http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=61368&conta=45&id=231898 acesso em 02/12/2018.
- ss. Silva, Maurício de Carvalho. Caracterização das propriedades mecânicas e metalúrgicas do aço API 5L X 80 e determinação experimental de curvas JR para avaliação da tenacidade a fratura. Diss. Universidade de São Paulo, 2004.
- tt. GRANTA DESIGN (Cambridge). Granta's History and Technology Leadership. Disponível em: <http://www.grantadesign.com/company/history.htm> .Acesso em: 18 dez. 2018.