

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Erick Tivelli

..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 28/02/2012

.....
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

Erick Tivelli

Absorção de impacto por latas de alumínio

Campinas, 2012.

Erick Tivelli

Absorção de impacto por latas de alumínio

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação
Orientador: **Antonio Celso Fonseca de Arruda**

Campinas
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

T543 Tivelli, Erick
 Absorção de impacto por latas de alumínio / Erick
 Tivelli. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

 Orientador: Antonio Celso Fonseca de Arruda.
 Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

 1. Deformação plástica. 2. Compressão axial. 3.
 Automóveis - Testes de impacto. 4. Estrutura -
 Alumínio. I. Arruda, Antonio Celso Fonseca de. II.
 Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
 Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Aluminum beverage cans as impact energy absorbing elements

Palavras-chave em Inglês: Plastic deformation, Axial compression, Automobile - Impact tests, Structure - Aluminum

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia, Carlos Rezende de Menezes

Data da defesa: 28-02-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE MATERIAS E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADEMICO

Absorção de impacto por latas de alumínio

Autor: Erick Tivelli

Orientador: Antonio Celso Fonseca de Arruda

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:


Prof. Dr. Antonio Celso Fonseca de Arruda, Presidente

Instituição: Universidade Estadual de Campinas


Prof. Dr. Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia

Instituição: Universidade Estadual de Campinas


Prof. Dr. Carlos Rezende de Menezes

Instituição: Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Campinas, 28 de fevereiro de 2012.

Agradecimento

Agradeço ao Professor Antônio Celso Fonseca de Arruda pela oportunidade do estudo proposto, pelos esforços envolvidos durante o trabalho, pelos ensinamentos e apoio prestado.

A Capes pelo financiamento da pesquisa.

Aos colegas de trabalho José Antônio Ghirotto, Thiago Gonzaga, Matheus Zaniolo, João Pólis e José Luiz pela ajuda prestada durante os ensaios.

Aos amigos do Labiomec, Leonardo, Geraldine, Danielle, Lonetá e Sergio.

A Guinea pela dedicação e apoio.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram nas etapas mais difíceis.

A todos que tornaram esta etapa mais fácil e agradável.

Resumo

O presente trabalho analisou experimentalmente a utilização de latas de alumínio como absorvedor de energia de impacto. Foram realizados ensaios de compressão estáticos e dinâmicos objetivando correlacionar as deformações das latas com a energia absorvida. Foram analisadas a influência de fatores como, preenchimento da lata (ar ou vermiculita expandida) e disposição do arranjo para receber o impacto nas condições de latas separadas ou agrupadas. O levantamento das características da deformação que estão vinculadas com a absorção do impacto permitem especificar o tipo ideal da estrutura a ser impactada para diferentes aplicações. Os resultados do estudo viabilizaram a utilização das latas de alumínio, na condição de absorvedores de energia com deformação controlada, em barreiras de trenó de impacto.

Palavras chave: Deformação plástica, Compressão axial, Automóveis - Testes de impacto, Estrutura - Alumínio

Abstract

The present study examined experimentally the use of aluminum beverage cans as absorbing impact energy elements. Crushing tests were performed aiming to correlate static and dynamic deformations of the cans with the energy absorbed. The study evaluated several conditions for forming a barrier capable of absorbing impact energy during impact tests on the sled. Static and dynamic crushing tests were performed aiming a better understanding of the behavior of the cans in such situations, and also analyzed the influence of factors such as filling the can (air or expanded vermiculite) and arrangement of the impact barrier, this tested the can as a honeycomb and in separate conditions. The study of the characteristics of deformation that are linked to allow the absorption of impact specify the ideal type of structure to be impacted for different applications. The results obtained in this work enabled the use of aluminum cans as agents of energy absorbers for the sled test.

Key words: Plastic deformation, Axial compression, Automobile - Impact tests, Structure - Aluminum

Lista de Figuras

Figura 1: Tubos deformados, a-) incremento da massa b-) incremento da velocidade	7
Figura 2: Índice de tolerância ao impacto – SI.	10
Figura 3: HIC x % da População.	12
Figura 4: Cascas cilíndricas sujeitas a diferentes velocidades de impacto. A-) Alta velocidade, flambagem dinâmica plástica. B-) Baixa Velocidade, Flambagem progressiva (JONES, 1997). 13	
Figura 5: A -)Flambagem Progressiva B-) Global.....	14
Figura 6 - Curva Tensão x Deformação para diversas taxas de deformação (TERAMOTO, 2004)	15
Figura 7: Esquema de utilização da latas de bebida como elemento de absorção de impacto em caso de explosões em prédios (PALANIVELU P., 2011)	16
Figura 8: Formação das dobras em latas de bebida em ensaio de compressão (Palanivelu P., 2011)	17
Figura 9: Análise dos parâmetros de deformação em latas de bebida (Palanivelu P., 2011)	17
Figura 10: Latas amassadas após ensaios de compressão com diferentes parâmetros (Palanivelu P., 2011)	18
Figura 11: Esquema de utilização de latas como absorvedores de energia em impactos automotivos (FROSCH, 1977).....	20
Figura 12: Detalhes da estrutura da lata de alumínio para embalagem de bebidas (ABRALATAS, 2011)	21
Figura 13: Dimensões da lata de alumínio (fonte (Rexamcam, 2012)).	26
Figura 14: Fluxograma da metodologia utilizada.	28
Figura 15: Ensaio de compressão axial.....	29
Figura 16: A-) Montagem do experimento B-) Massa impactante C-) discos de apoio para lata. 31	
Figura 17: Montagem do ensaio de impacto por trenó.	34
Figura 18: Viga com perfil em "U" e nivelador de borracha.	35
Figura 19: Pista de rolagem e perfil das rodas do trenó.....	36
Figura 20: Trenó configurado com banco de automóvel, dispositivo de retenção infantil e pára-choque de madeira.	37
Figura 21: Disposição e alinhamento das latas.	38
Figura 22: Detalhe da aba que restringe o movimento de escape do trenó.....	39
Figura 23: Sistema de propulsão do ensaio.....	40
Figura 24: Gráfico do ensaio de compressão axial (lata de alumínio vazia).	48
Figura 25: Gráfico do ensaio de compressão axial (lata de alumínio com vermiculita).....	49
Figura 26: Latas após ensaio de compressão.	50
Figura 27: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.....	52
Figura 28: Imagem das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.....	53
Figura 29: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.....	54
Figura 30: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.....	55
Figura 31: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.	56

Figura 32: Imagem das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.	57
Figura 33: Imagem de todas as latas: vazias e com vermiculita após ensaio de queda livre com as diferentes alturas.	58
Figura 34: Imagem das latas vazias após ensaio de treno de impacto.	60
Figura 35: Imagem das latas de alumínio vazias e unidas após ensaio em treno de impacto.	60
Figura 36: Imagem das latas separadas e preenchidas após ensaio em treno de impacto.	61
Figura 37: Imagem das latas unidas e preenchidas após ensaio em treno de impacto.	62
Figura 38: Imagem das latas vazias e separadas após ensaio em treno de impacto.	63
Figura 39: Imagem das latas unidas e vazias após ensaio em treno de impacto.	64
Figura 40: Imagem das latas separadas e preenchidas após ensaio em treno de impacto	65
Figura 41: Imagem das latas unidas e preenchidas após ensaio em treno de impacto.	66
Figura 42: Imagem das latas vazias e separadas após ensaio em treno de impacto.	67
Figura 43: Imagem das latas unidas e vazias após ensaio em treno de impacto.	67
Figura 44: Imagem das latas com vermiculitas e separadas após ensaio em treno de impacto	68
Figura 45: Imagem das latas unidas e preenchidas após ensaio em treno de impacto.	69
Figura 46: Gráfico da influência da forma em latas vazias	70
Figura 47: Gráfico da influência da forma em latas com vermiculita	71
Figura 48: Gráfico da influência do preenchimento das latas.	72
Figura 49: Gráfico da deformação em latas vazias	74
Figura 50: Gráfico deformação em latas com vermiculita.	75
Figura 51: Gráfico comparativo de deformação das latas vazias entre os ensaios dinâmicos	76
Figura 52: Gráfico comparativo de deformação das latas com vermiculita entre os ensaios dinâmicos	76

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estatísticas de acidentes automotivo.....	3
Tabela 2: Escala de Lesões (AIS).	9
Tabela 3: Composições químicas das ligas que compõem as latas de alumínio. (VERRAN, 2004)	23
Tabela 4: Propriedades Mecânicas e Análise Química da Liga 3004 (ALCOA)	23
Tabela 5: Características da vermiculita utilizada (fonte (Refratil, 2011)).	27
Tabela 6: Peso de cada lata ensaiada.	29
Tabela 7: Peso de cada lata ensaiada.	31
Tabela 8: Situações dos ensaios de queda livre.	32
Tabela 9: Dados do ensaio numero 1.....	41
Tabela 10: Dados do ensaio numero 2.....	41
Tabela 11: Dados do ensaio numero 3.....	42
Tabela 12: Dados do ensaio numero 4.....	42
Tabela 13: Dados do ensaio numero 5.....	43
Tabela 14: Dados do ensaio numero 6.....	43
Tabela 15: Dados do ensaio numero 7.....	44
Tabela 16: Dados do ensaio numero 8.....	44
Tabela 17: Dados do ensaio numero 9.....	45
Tabela 18: Dados do ensaio numero 10.....	45
Tabela 19: Dados do ensaio numero 11.....	46
Tabela 20: Dados do ensaio numero 12.....	46
Tabela 21: Resultado do ensaio de compressão axial (lata de alumínio vazia).	47
Tabela 22: Resultado do ensaio de compressão axial (lata de alumínio com vermiculita).	48
Tabela 23: Resultados de todos os ensaios de compressão.....	50
Tabela 24: Altura final das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.51	
Tabela 25: Altura final das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.....	52
Tabela 26: Altura final das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.53	
Tabela 27: Altura final das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.....	55
Tabela 28: Altura final das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.	56
Tabela 29: Altura final das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.	57
Tabela 30: Tabela com todos os resultados do ensaio de queda livre.	58
Tabela 31: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e separadas.	59
Tabela 32: Resultado do ensaio utilizando latas vazias unidas.....	60
Tabela 33: Ensaio em treno de impacto utilizando latas separadas e preenchidas com vermiculita.	60
Tabela 34: Ensaio em treno de impacto utilizando latas unidas e preenchidas com vermiculita. 61	
Tabela 35: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e separadas.	62
Tabela 36: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e unidas.	63
Tabela 37: Ensaio em treno de impacto utilizando latas separadas e preenchidas.	64
Tabela 38: Ensaio em treno de impacto utilizando latas com vermiculita unidas.	65

Tabela 39: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e separadas.	66
Tabela 40: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e unidas	67
Tabela 41: Ensaio em treno de impacto utilizando latas com vermiculita e separadas.	68
Tabela 42: Ensaio em treno de impacto utilizando latas com vermiculita e unidas.	68
Tabela 43: Principais resultados nos ensaios de trenó de impacto	73

Lista de abreviações e Siglas

Letras Latinas

Ec - Energia cinética	[J]
Ep – Energia Potencial gravitacional	[J]
F – Força	[N]
m – Massa	[kg]
a – Aceleração	[m/s ²]
g – Aceleração da gravidade	[m/s ²]
h – Altura	[m]
v – Velocidade	[m/s]
t – Tempo	[s]
E – Energia absorvida	[J]
d – Deformação	[mm]

.....

Abreviações

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ONU- Organização das Nações Unidas

DENATRAN - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

LATIN NCAP - *New Car Assessment Programme*

FMVSS - *Federal Motor Vehicle Safety Standard*,

ECE - *Economic Commission for Europe*

EEC - *European Economic Community*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

AIS - *Abbreviated Injury Scale*

HIC – *Head Injury Criteria*

GSI - *Gadd Severity Index*

Favg - Força Média de Compressão

ASTM - (American Society for Testing Metals)

Lista de Equações

Equação 1: Segunda lei de Newton.	6
Equação 2: Energia cinética.....	6
Equação 3: Calculo para obtenção da desaceleração.	10
Equação 4: Calculo para avaliar o dano na cabeça do ocupante.....	11
Equação 5: Obtenção da Energia absorvida.....	19
Equação 6: Força média de compressão	19
Equação 7: Energia Potencial gravitacional	30

Sumário

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Introdução a Segurança veicular no Brasil	3
2.1.1 Elementos de Segurança Veicular	4
2.2 Dinâmica das colisões veiculares.....	5
2.2.1 Absorção de energia de impacto	7
2.2.2 Tipos de Deformação em Tubos: Flambagem Global, Progressiva e Dinâmica Plástica.....	13
Objetivo.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 Materiais	25
3.2 Métodos.....	27
3.2.1 Ensaio de compressão	28
3.2.2 Ensaio com carga dinâmica	30
3.2.2.1 Ensaio de impacto por queda livre.....	30
3.2.2.2 Ensaio em Trenó de Impacto	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 Ensaio de Compressão	47
4.1.1 Ensaio de Compressão Axial em lata de alumínio.....	47
4.1.1.1 Lata Vazia	47
4.1.1.2 Lata preenchida completamente com vermiculita	48
4.1.3 Análise dos Resultados dos Ensaio de Compressão.....	49
4.2 Ensaio de Impacto por Queda Livre	51
4.2.1.1 Ensaio de Impacto por Queda Livre com Altura de 0,3 metros.....	51
4.2.1.2 Ensaio de Impacto por Queda Livre com Altura de 0,5 metros.....	53
4.2.1.3 Ensaio de Impacto por Queda Livre com Altura de 1 metro.	56
4.2.3 Análise e Discussão dos Resultados dos Ensaio de Impacto por queda livre	58
4.3. Análise e Discussão dos Resultados dos Ensaio de Impacto por trenó.....	69
4.3.1 Influência da Forma	69
4.3.2 Influência do Preenchimento das latas.....	71
4.3.3 Análise dos ensaios em trenó de impacto	72
4.4 Análise comparativa entre os ensaios dinâmicos.....	75

5. CONCLUSÕES	78
Referências bibliográficas.....	80
Anexo A- Avaliação dinâmica de dispositivos de retenção para crianças em ensaio de queda livre.....	83
Anexo B - Produção de Latinhas com Laminados de Alumínio	97
Anexo C- Ensaio em Trenó de Impacto com Energia acima de 300 joules	101

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a crescente popularização de automóveis proporcionaram um representativo aumento na frota mundial de veículos. Atualmente o Brasil apresenta números significativos nestes aspectos. Infelizmente apresenta também números alarmantes com relação a acidentes automotivos e fatalidades, tais acidentes podem ocorrer por inúmeros motivos, dentre eles, falha humana, má condição viária, má condição do veículo, falta de sinalização do entorno e falha em componentes dos veículos. Ações globais como o decreto da ONU da década da segurança veicular (2011-2020) deverão contribuir para modificar este drástico cenário atual do Brasil.

A fim de minimizar falhas em veículos inúmeros testes são realizados, a segurança do veículo é um importante atributo de projeto, embora as falhas nos veículos representem um dos menores índices de causa de acidentes, severas e rigorosas normas e regulamentações regem a execução e aprovação nos testes até o produto chegar ao consumidor final.

Visando absorver a energia do impacto, diversos estudos apontam a utilização de tubos como agentes absorvedores de impacto, a deformação ocasionada nos tubos é decorrente da dissipação da energia envolvida na colisão. Tais elementos são utilizados na própria estrutura do carro, ou mesmo em barreiras de impacto de testes de colisão veicular. As barreiras de impacto utilizadas nestes ensaios são conhecidas como *honeycomb*, estruturas em alumínio com formato de colméia que possuem alta capacidade de absorção de impacto, porem tais estruturas possuem um alto valor.

Embalagens de bebidas (latas de alumínio) possuem boa capacidade de absorção e baixo custo de aquisição, algumas pesquisas analisaram a utilização delas em aplicações como, barreira de impacto em rodovias e, parede de absorção contra impacto de explosivos em prédios.

Nesse trabalho a utilização das latas de alumínio foram aplicadas em barreiras de impacto em ensaios dinâmicos de impacto por trenó, este ensaio é um dos itens obrigatórios nas normas vigentes no setor automotivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução a Segurança veicular no Brasil

Segundo dados do IBGE de 2010, no mercado automotivo brasileiro o número de veículos licenciados é de aproximadamente 32 milhões de unidades, já o número de pedestres se encontra próximo de 193 milhões, os quais diariamente ocupam as mesmas vias dos milhões de unidades de automóveis.

Os dados estatísticos de acidentes com feridos e/ou mortos em rodovias federais brasileiras apresentam um aumento representativo ao decorrer desses anos como demonstrado na Tabela abaixo (Denatran).

Tabela 1: Estatísticas de acidentes automotivo.

Ano	Total de Acidentes	Total de Mortos	Total de Feridos	Percentual de Aumento
2002	100.759	5.982	54.664	-----
2003	133.860	7.306	77.233	32,8%
2004	112.457	6.119	66.117	- 15%
2005	110.086	6.346	68.524	- 2%
2006	112.788	6.168	69.624	2,5%
2007	128.076	7.060	81.515	13,5%

Fonte: Polícia Rodoviária Federal

Tais estatísticas geram um grande interesse tanto na sociedade quanto na indústria em desenvolver pesquisas relacionadas à segurança veicular, as quais são abordadas com técnicas avançadas, soluções tecnológicas e de engenharia de última geração. Tanto é que foi lançada pela ONU em 2011 um programa com metas a serem atingidas denominado “Década de Ações da segurança veicular mundial”. Dentre as inúmeras metas e propostas de melhorias contidas no programa uma se destaca, Reduzir em 50% o prognóstico de mortes em estradas para o ano de 2020.

O Plano Global para a Década recomenda que os países membros das Nações Unidas regulamentem os testes de colisão no âmbito mundial, apoiando a criação de programas regionais de avaliação de carros novos, como o Latin NCAP, por exemplo.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, a região da América Latina e do Caribe apresenta o maior índice per capita de acidentes viários mortais no mundo. No ano 2000, a região atingiu um índice de acidentes mortais de 26,1 por 100 mil habitantes. Este prognóstico aumentará para 31,0 por 100 mil em 2020, e continuará sendo, por longe, a pior taxa do mundo e mais de três vezes o prognosticado para os países desenvolvidos. Os níveis de proteção para os passageiros na região são muito baixos. Na Argentina, por exemplo, 42% das mortes em acidentes viários são de motoristas ou passageiros.

2.1.1 Elementos de Segurança Veicular

Os grupos envolvidos na segurança de trânsito segundo (Madureira, 2000) são:

As pessoas: grupo que envolve pedestres, motoristas e passageiros; com caracterização das diversas condições físicas e psicológicas.

O entorno: caracterizado pelo traçado e condições das ruas e estradas, pela sinalização, sem deixar de lado as condições atmosféricas e climáticas.

Os veículos: caracterizados pelo tipo de material das estruturas, massas e velocidades envolvidas; que os tornam elementos carregados de energia cinética que em uma colisão podem configurar um elevado poder de destituição.

O conceito de segurança veicular pode ser dividido em dois grandes grupos: A segurança ativa e a passiva. Assim, a segurança ativa consiste em evitar os acidentes por meio do controle da dirigibilidade, conforto, apropriada ergonomia e percepção dos sinais de perigo pelo motorista com tempo hábil para evitar a colisão. Por outro lado, a segurança passiva busca reduzir as consequências do acidente, buscando soluções para manter a segurança dos ocupantes do veículo e dos pedestres. Desse modo, são estudadas dentro desse grupo as deformações elásticas e

plásticas dos componentes estruturais dos veículos, os meios de retenção dos ocupantes entre outros.

Segundo Bertocchi (BERTOCCHI, 2005), da preocupação de tentar reduzir o número de acidentes nasceu a acidentologia, que se preocupa em caracterizar o acidente; no que diz respeito a sua natureza; forma de ocorrência; sua repetição sistêmica; como, onde e quando ocorrem. E da necessidade de entender os mecanismos envolvidos em uma colisão surgiu a acidentometria, a qual se preocupa em analisar por meio de modelos matemáticos as diversas variáveis envolvidas nos acidentes com o objetivo de criar meios de prevenção.

2.2 Dinâmica das colisões veiculares

Durante o movimento de um veículo a energia cinética é transferida ou dissipada de alguma forma, geralmente em uma colisão essa energia é dissipada por meio de deformação da estrutura do veículo, já nos ocupantes essa energia será dissipada pelos dispositivos de retenção atuantes no veículo.

Os componentes principais do sistema de retenção são os cintos de segurança e suas ancoragens, bancos e suas ancoragens o painel de instrumentos, os apoios de cabeça, os volantes (sistema de direção), os *airbags* quando disponíveis e dispositivos de retenção infantil.

O entendimento do funcionamento dos sistemas de retenção e dos fenômenos que ocorrem durante as colisões veiculares está diretamente ligado ao entendimento das leis de Newton, dos conceitos de trabalho, energia e conservação do movimento.

A primeira lei de Newton estabelece que um corpo em repouso permaneça em repouso, e um corpo em movimento permaneça em movimento, a não ser que sofram a ação de uma força externa, sejam estas forças que operam à distância (gravidade, magnetismo, entre outras) ou forças que atuam diretamente sobre a superfície do corpo.

A segunda lei de Newton diz que se uma força (F) é aplicada por período de tempo (dt) a variação de velocidade (dv) será dada por: $dv = (F \cdot dt) / m$, onde “m” é a massa do corpo em questão.

Equação 1: Segunda lei de Newton.

$$F = m \cdot a$$

, onde “a” é a aceleração do corpo.

A terceira lei de Newton estabelece que para toda ação há uma reação.

Pode se definir energia como a capacidade de realizar trabalho e vencer resistências. Trabalho pode ser definido como a transferência de Energia de um corpo para o outro.

A energia cinética (associada ao movimento de um corpo) é mais relevante no estudo das colisões veiculares do que a energia potencial. Analisando-se somente a energia cinética envolvida na colisão, temos da física clássica que:

Equação 2: Energia cinética

$$Ec = (m \cdot v^2) / 2$$

, onde “v” é a velocidade do corpo.

Para ilustrar a importância da velocidade em uma colisão veicular, um veículo a 60 km/h apresenta cerca de 44% a mais de energia do que um veículo de mesma massa a 50 km/h.

Casadei (MACARTHUR, 2004) ilustrou o conceito de energia cinética utilizando ensaios de impacto com tubos como absorvedores de energia, alterando a massa ou a velocidade do elemento impactante, a energia então é dissipada pela deformação dos tubos. Pode-se perceber a diferença de deformação linear nos tubos ocasionada pelo incremento da massa e exponencial alterando a velocidade.

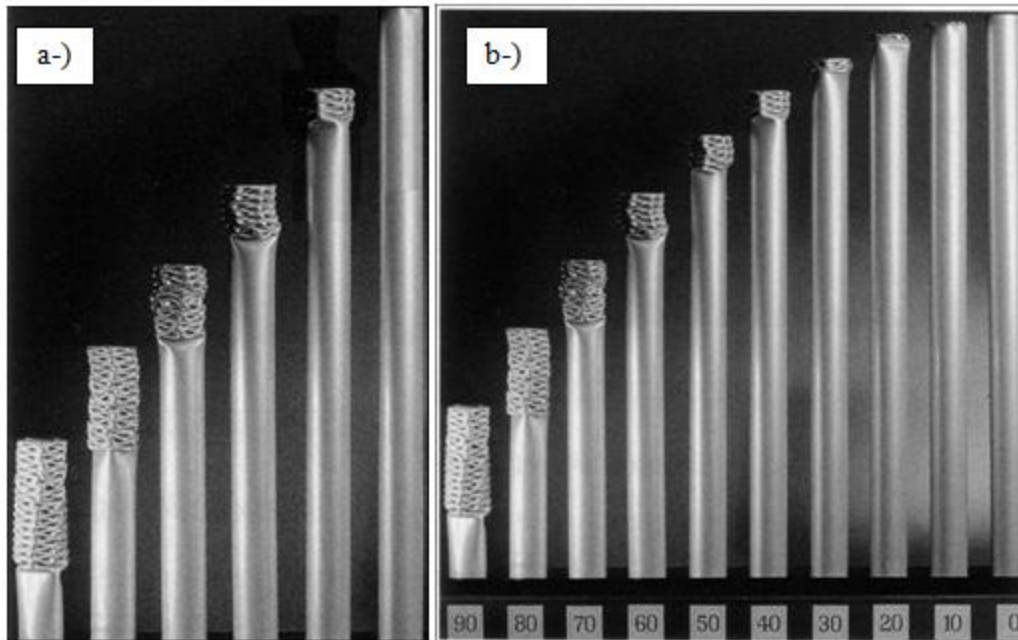


Figura 1: Tubos deformados, a-) incremento da massa b-) incremento da velocidade

Outro conceito importante é o da conservação de energia. Ele estabelece que a energia total de um sistema se mantém sempre constante a não ser que haja transmissão de energia para fora do sistema. No caso de sistemas mecânicos a energia transmitida equivale ao trabalho realizado pelas forças na superfície dos corpos que é igual à força vezes à distância em que ela atua.

A forma como as estruturas veiculares absorvem a energia, os mecanismos de deformação e os equipamentos para minimizar os efeitos da transferência de energia e da deformação são objetos de pesquisas e de vital importância para a construção de veículos mais seguros.

2.2.1 Absorção de energia de impacto

Estudos de absorção de energia de impacto controlada tem sido tema de diversas pesquisas em diferentes laboratórios, devido à importância de durante uma eventual colisão a estrutura que envolve os ocupantes (célula de sobrevivência ou *cockpit*) manter-se rígida de modo que impeça intrusões, porém não deve transmitir aos passageiros desacelerações acima dos

níveis tolerados ao corpo humano. Pensando nesses itens importantes várias pesquisas desenvolvem diversos sistemas de retenção e itens de segurança passiva com o intuito de vincular o corpo dos ocupantes à estrutura do veículo.

Um exemplo, amplamente conhecido de retentor, sendo um dos mais importantes é o cinto de segurança.

Para possibilitar e aumentar a eficiência do cinto de segurança são desenvolvidos dispositivos pré-tensionadores e limitadores de força. Esses pré-tensionadores eliminam as folgas e ao mesmo tempo permitem um posicionamento adequado do ocupante ao assento para o impacto, já que durante uma colisão pode ser gerado um deslocamento elevado da cabeça do ocupante, o qual eventualmente pode atingir algum componente interno do veículo. Por outro lado, os limitadores de força limitam o esforço no tórax, cedendo gradativamente à solicitação.

Os estudos de *crashworthiness* classificam em quatro tipos as situações que podem causar danos aos passageiros de um automóvel durante um acidente (Lu, Guoxing e Yu, Tongxi, 2003): aceleração demasiadamente elevada; deformação do compartimento dos passageiros; impacto com partes do interior do veículo e projeção dos passageiros para fora do veículo.

Cunat (CUNAT, 2000) conceitua *crashworthiness* como a capacidade do veículo em fornecer proteção aos seus ocupantes durante o impacto por meio da absorção de energia. Relata também a influência da taxa de deformação nas propriedades mecânicas de um material e conseqüentemente na resistência ao impacto.

Birch (BIRCH, 2005) demonstra as possibilidades de estudo do impacto por análise numérica e conceitua *crashworthy* como a capacidade da estrutura em absorver a energia do impacto de maneira suficiente para manter a integridade dos ocupantes e/ou cargas.

Os estudos em biomecânica conduziram os pesquisadores da área a criarem alguns critérios que quantificassem o dano que um acidente automotivo provocaria aos ocupantes.

As lesões geradas da variação brusca de velocidade são diferentes para cada parte do corpo, sendo que estudos realizados por diversos pesquisadores, entre eles Roberts (ROBERTS,

1969), Ward (WARD, 1981) e King (KING, 1993)) geralmente classificam tais lesões em cinco grupos, cabeça, pescoço, tórax, abdômen e extremidades.

Em 1990 a *Association Advancement of Automotive Vehicle* desenvolveu uma escala que quantifica as lesões em cada região do corpo, denominada AIS (*Abbreviated Injury Scale*). Tomassoni e Bell (THOMASSONI, 1980) divulgaram estatísticas cuja escala está mostrada na tabela abaixo.

Tabela 2: Escala de Lesões (AIS).

AIS	Descrição
0	Nenhum dano
1	Mínimo
2	Moderado
3	Sério
4	Severo
5	Crítico
6	Máximo

Estudos publicados por Onusic (ONUSIC, 1996), originaram os padrões de segurança que correlacionam à aceleração da cabeça em função do tempo efetivo de duração do impacto (Figura 2).

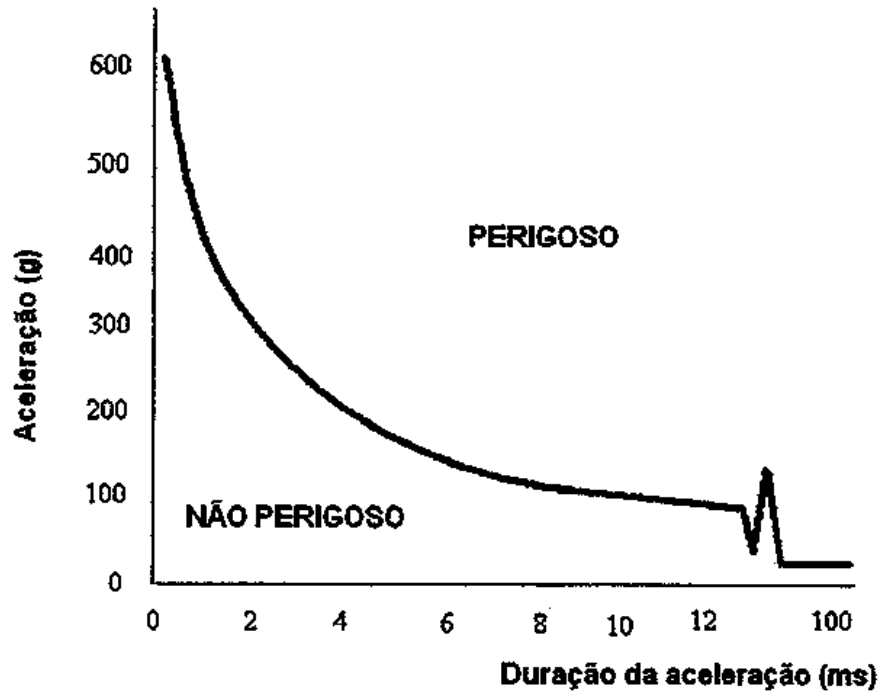


Figura 2: Índice de tolerância ao impacto – SI.

Como uma das partes mais crítica do corpo humano, a cabeça, em uma colisão pode sofrer lesões graves e de difícil tratamento, alguns critérios foram estipulados para medir a tolerância da cabeça a desaceleração, dentre eles o mais famoso é o *Gadd Severity Index* (GSI), que é definido pela expressão:

Equação 3: Calculo para obtenção da desaceleração.

$$GSI = \int_0^T a^{2.5} dt < 1000$$

em que, a é a desaceleração expressa em G 's, t é o tempo em microssegundos, e T é a duração do pulso em que a desaceleração é sentida. Mais recentemente, o GSI foi substituído pelo *Head Injury Criterion* (HIC) NHTSA que é, atualmente, considerado o critério que melhor avalia o dano na cabeça do ocupante.

Equação 4: Cálculo para avaliar o dano na cabeça do ocupante.

$$HIC = \max(t_2 - t_1) \left[\int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} < 1000$$

em que, t_1 e t_2 são os instantes inicial e final do pulso no qual o HIC atinge o seu valor máximo, e $a(t)$ é a aceleração em função do tempo.

A Figura 3 mostra um gráfico considerando AIS maior ou igual a quatro. Tendo o valor limite de $HIC < 1000$ adotado como referencial. Tal valor decorre da pesquisa de King (KING, 1993), em observações realizadas em cadáveres, nas quais se concluiu que 25% da população sofreria seqüelas, se submetidas a $HIC > 1000$.

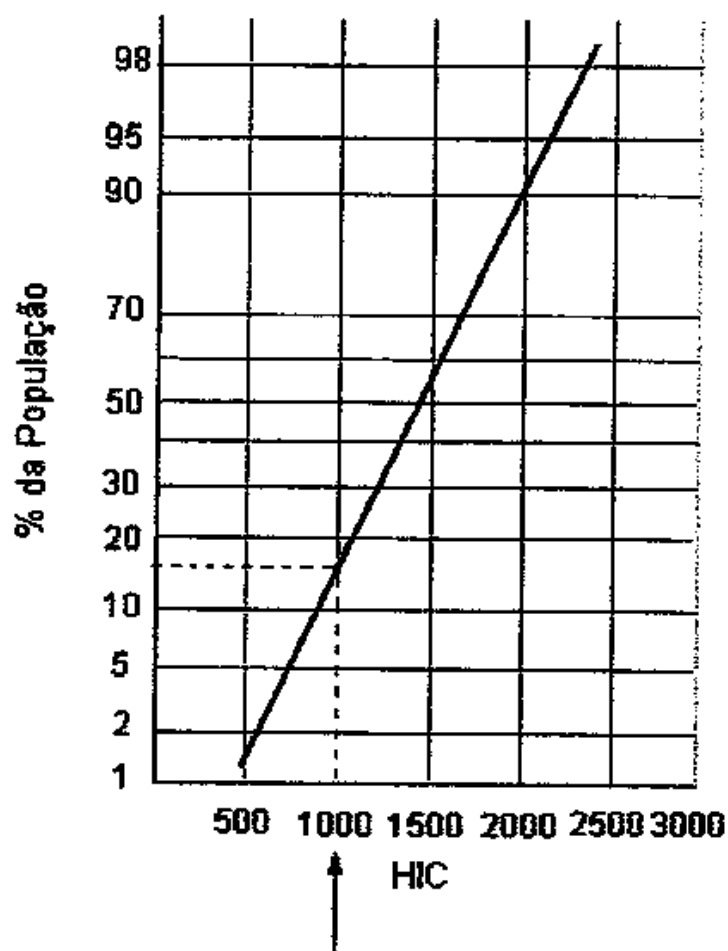


Figura 3: HIC x % da População.

As características do pulso de desaceleração atuante são de importância fundamental para o aprimoramento e desenvolvimento de *airbags* e cintos de segurança. Assim o perfil de desaceleração é fixado por normas de segurança veicular, sendo caracterizados com patamares de desaceleração de nível constante por um determinado período de tempo, ou um perfil de desaceleração que simule um ensaio de impacto.

As principais normas de segurança veicular são, a americana *Federal Motor Vehicle Safety Standard* (FMVSS), a européia ECE (Economic Commission for Europe), regulamentada pela EEC (European Economic Community), e as nacionais ABNT e NBR, regulamentadas pelo CONTRAN.

2.2.2 Tipos de Deformação em Tubos: Flambagem Global, Progressiva e Dinâmica Plástica.

Tubos de paredes finas apresentam elevado valor de absorção de energia específica (energia por unidade de volume) e constituem o tipo mais comum de absorvedor de energia de impacto (S.R.REID, 1993).

O mecanismo ideal de absorção de energia de impacto através de tubos consiste no seu sanfonamento progressivo e controlado (BUGELLI, 2005). Este fenômeno, chamado de flambagem progressiva é ilustrado na Figura 4.b, opõe-se à chamada flambagem dinâmica plástica (Figura 4.a), caracterizada por deformações plásticas ocorrendo ao longo de todo o tubo.

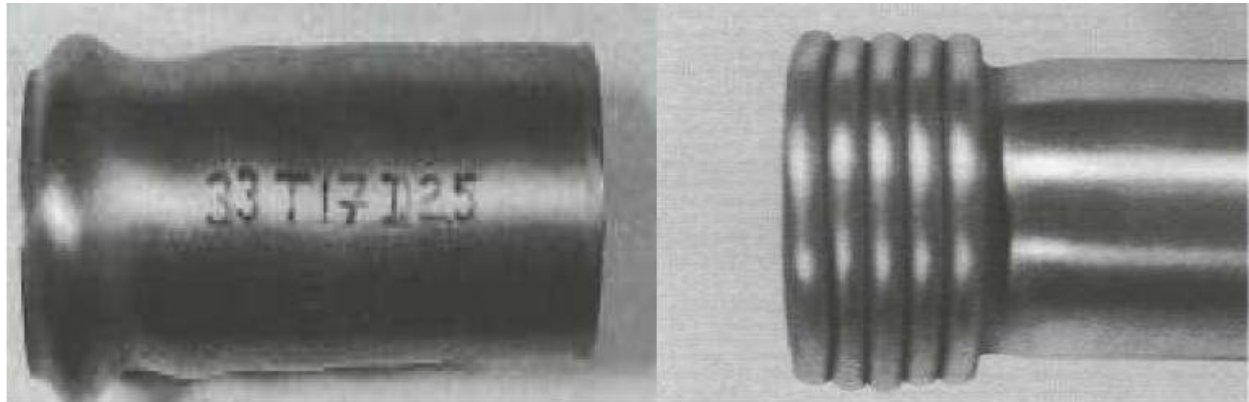


Figura 4: Cascas cilíndricas sujeitas a diferentes velocidades de impacto. A-) Alta velocidade, flambagem dinâmica plástica. B-) Baixa Velocidade, Flambagem progressiva (JONES, 1997).

Outra forma de colapso em tubos sujeitos a cargas axiais onde ocorre pouca absorção de energia é a flambagem global (Figura 5b), caracterizada pela formação de poucas rótulas plásticas localizadas que causam a desestabilização do tubo.

Os trabalhos pioneiros de Pugsley (A. PUGSLEY M. MACAULAY, 1960) e Alexander (ALEXANDER, 1960), da década de 60, prevêm a resistência estática de tubos circulares.



Figura 5: A -)Flambagem Progressiva B-) Global.

Alexander (ALEXANDER, 1960) assume que o modo de colapso ocorre na forma de concertina (ilustrada na Figura 4b) e examina o trabalho plástico realizado nas dobras e no estiramento do material nesta região. Já Pugsley (A. Pugsley M. Macaulay, 1960) consideram a ocorrência de dobras em forma de diamante (Figura 4a) e obtém uma fórmula baseada em considerações geométricas.

Nos vários métodos de análises referentes ao fenômeno da flambagem progressiva (JONES, 1997) as soluções são dependentes de parâmetros geométricos como comprimento, espessura e diâmetro do tubo, das condições iniciais e de contorno, e das propriedades do material.

Alghamdi (ALGHAMDI, 2000) descreve os principais tipos dos absorvedores de energia submetidos ao impacto em veículos, aeronaves, navios e trens, associados aos tipos de carregamentos mais predominantes e a forma de deformação destes elementos.

A utilização de tubos de alumínio como agentes absorvedores de energia de impacto foram amplamente estudados, devido a sua característica de baixa densidade, modo de deformação controlado, insensibilidade a taxa de deformação e boa capacidade de absorção de energia.

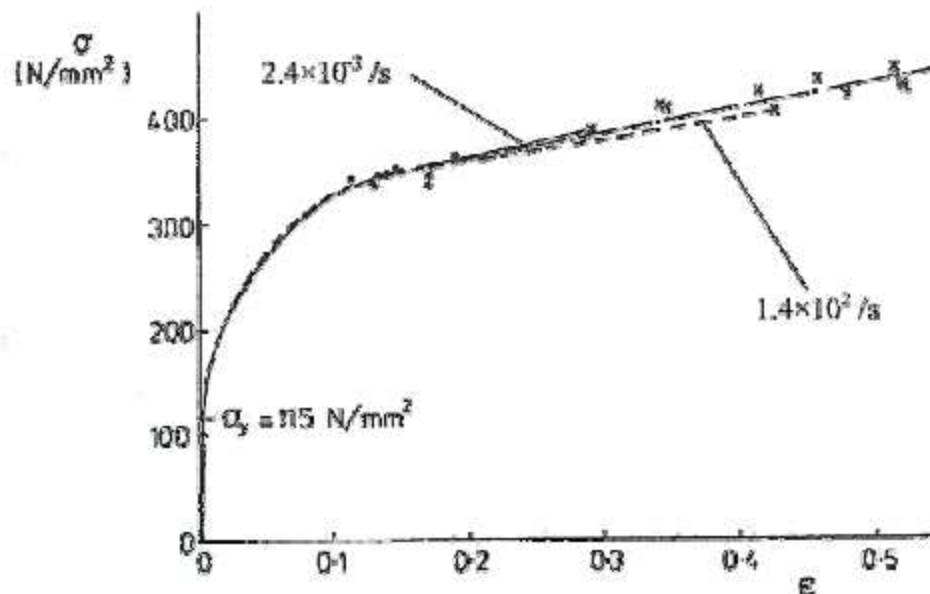


Figura 6 - Curva Tensão x Deformação para diversas taxas de deformação (TERAMOTO, 2004)

Bugelli (BUGELLI, 2005) utilizou tubos de aço e de alumínio visando controlar a desaceleração em ensaios de impacto em trenó, neste estudo foi analisado tubos com diferentes comprimentos, a quantidade de tubos na barreira de impacto também foi avaliada.

Menezes (MENEZES, 2004) testou tubos de alumínio, aço e tubos compósitos em ensaios de compressão, *bumper test*, ensaios de impacto por queda livre e *crash tests* a fim de aplicar tais tubos como elementos de absorção de impacto em para choques traseiros de caminhões.

Karagiozova (KARAGIOZOVA, 2004) relatou aspectos referentes aos modos de deformação de estruturas tubulares de ligas de alumínio submetidas a carregamento dinâmico de impacto, e demonstra que os modos de deformação não são predominantes sob determinadas condições. Observa-se também que o aumento da velocidade de impacto associado com ao aumento do comprimento do tubo influencia no modo de deformação no tubo.

Palanivelu (PALANIVELU P., 2011) analisou o comportamento de absorção de energia de latas de bebidas para possíveis sistemas de proteção contra explosivos. Tal artigo aborda o comportamento das latas sobre ensaios de compressão semi-estáticos e ensaios de impacto por queda livre. Os mecanismos de deformação de cada ensaio foram explicitados com auxílio de uma câmera de alta velocidade, permitindo assim a visualização da formação das dobras nas latas em cada caso. Diversas velocidades de impacto foram testadas e analisadas.

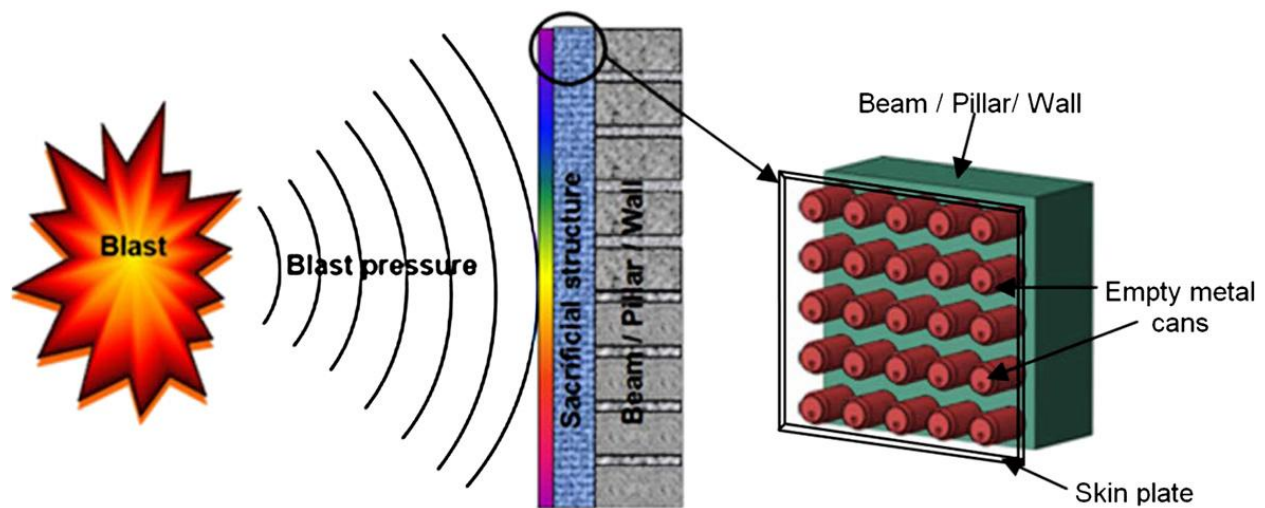


Figura 7: Esquema de utilização da latas de bebida como elemento de absorção de impacto em caso de explosões em prédios (PALANIVELU P., 2011)

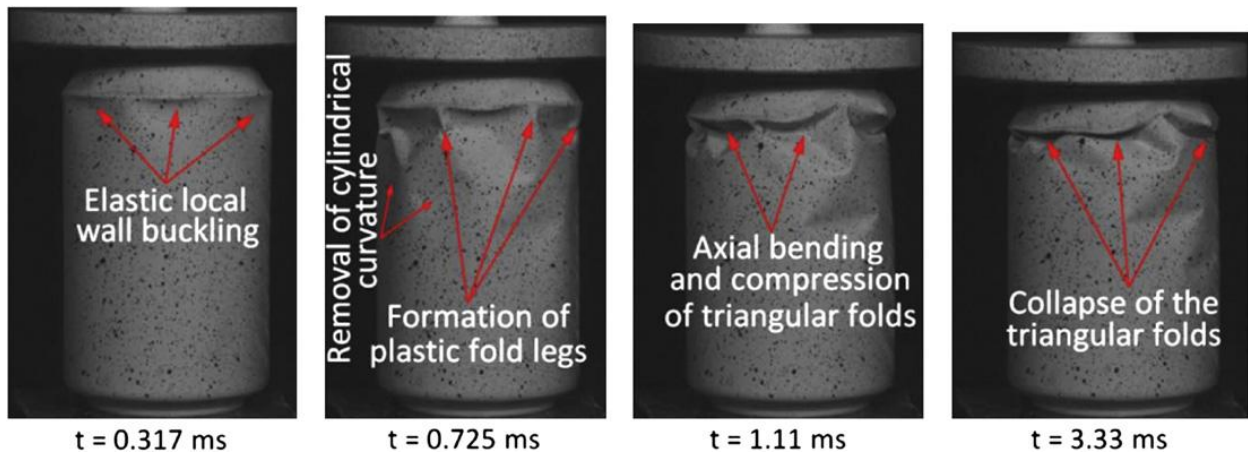


Figura 8: Formação das dobras em latas de bebida em ensaio de compressão (Palanivelu P., 2011)

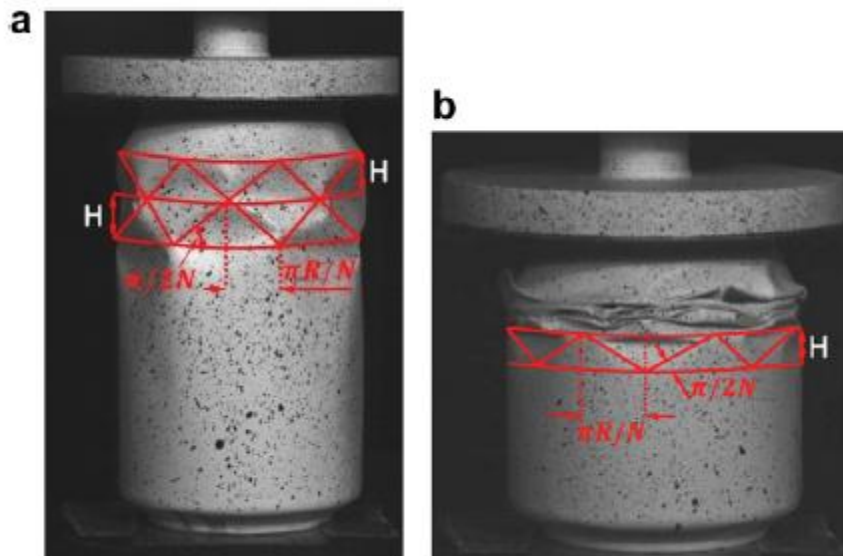


Figura 9: Análise dos parâmetros de deformação em latas de bebida (Palanivelu P., 2011)



a Deformation patterns for initial impact velocity 1.4 m/s



b Deformation patterns for initial impact velocity 2.2 m/s



c Deformation patterns for initial impact velocity 3.1 m/s



d Deformation patterns for initial impact velocity 3.8 m/s



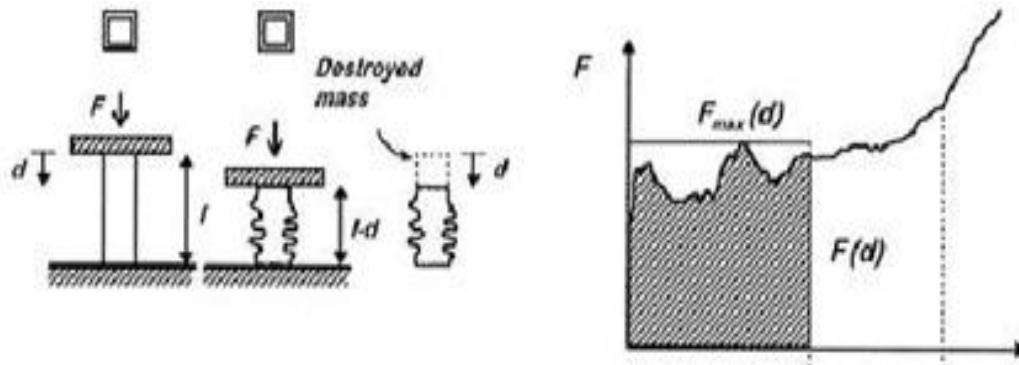
e Deformation patterns for initial impact velocity 4.4 m/s



f Deformation patterns for initial impact velocity 4.9 m/s

Figura 10: Latas amassadas após ensaios de compressão com diferentes parâmetros (Palanivelu P., 2011)

As principais grandezas envolvidas em ensaios de absorção de energia foram estipuladas por Hanssen (A.G. HANSSSEN M. L., 2000). como força medida, F_{avg} , é a que é exercida na estrutura ao deformá-la. O maior pico de força representa a Força Máxima .



A energia absorvida (E) pelo elemento é a integração da força ao longo do deslocamento (área abaixo da curva força x deslocamento).

Equação 5: Obtenção da Energia absorvida

$$E(d) = \int_0^d F(x) dx =$$


A força média, F_{avg} , é a razão entre a energia absorvida durante o impacto e o comprimento deformado da estrutura, d .

Equação 6: Força média de compressão

$$F_{avg}(d) = \frac{E(d)}{d} = \frac{\text{[Shaded Area]}}{d}$$

Visando atenuar as forças de desaceleração em impactos automobilísticos em vias urbanas Frosch (FROSCH, 1977) requisitou na patente numero 4,118,014 o direito de invenção para utilização de uma barreira deformável composta por latas de bebidas arranjadas de maneira axial.

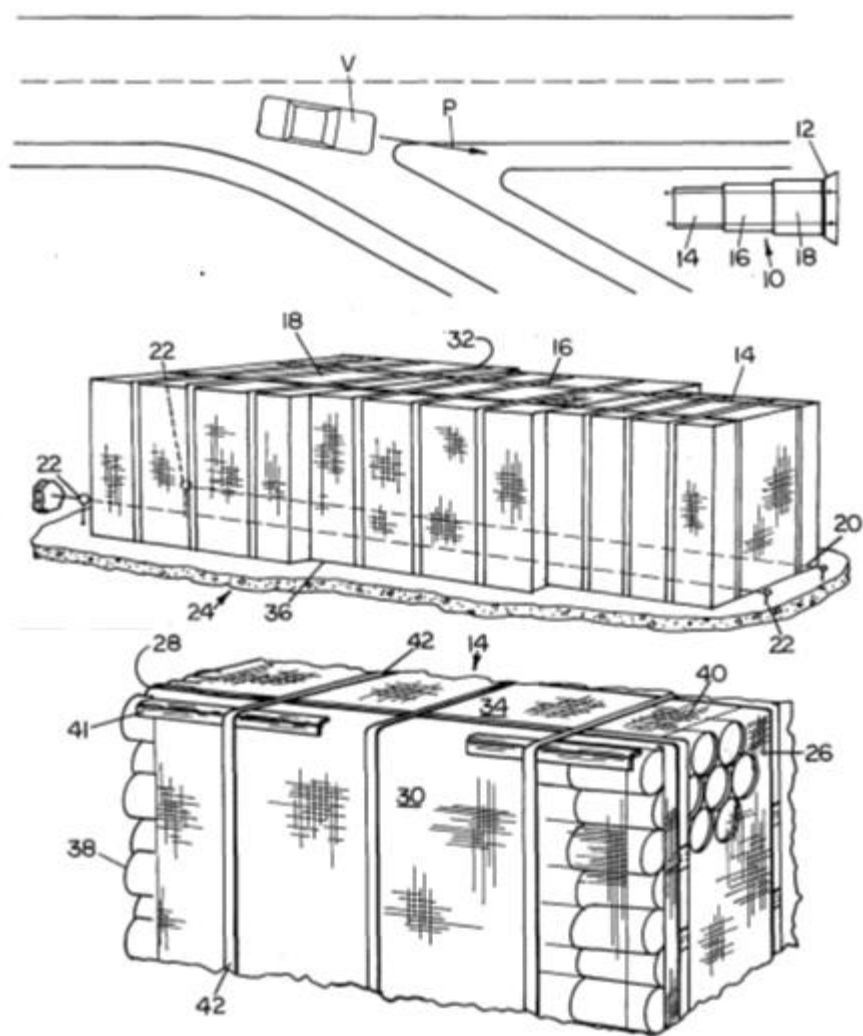


Figura 11: Esquema de utilização de latas como absorvedores de energia em impactos automotivos (FROSCH, 1977)

Estrutura da Lata de Alumínio

Na figura 12 estão caracterizados todos os componentes de uma lata de alumínio, assim como o anel, rebite do anel, pescoço da lata que é de diâmetro menor do que o corpo para receber a tampa que representa 25% do peso da latinha, corpo, base da lata na forma convexa, rótulo, detalhe do flange, tampa e abertura (ABRALATAS, 2011)

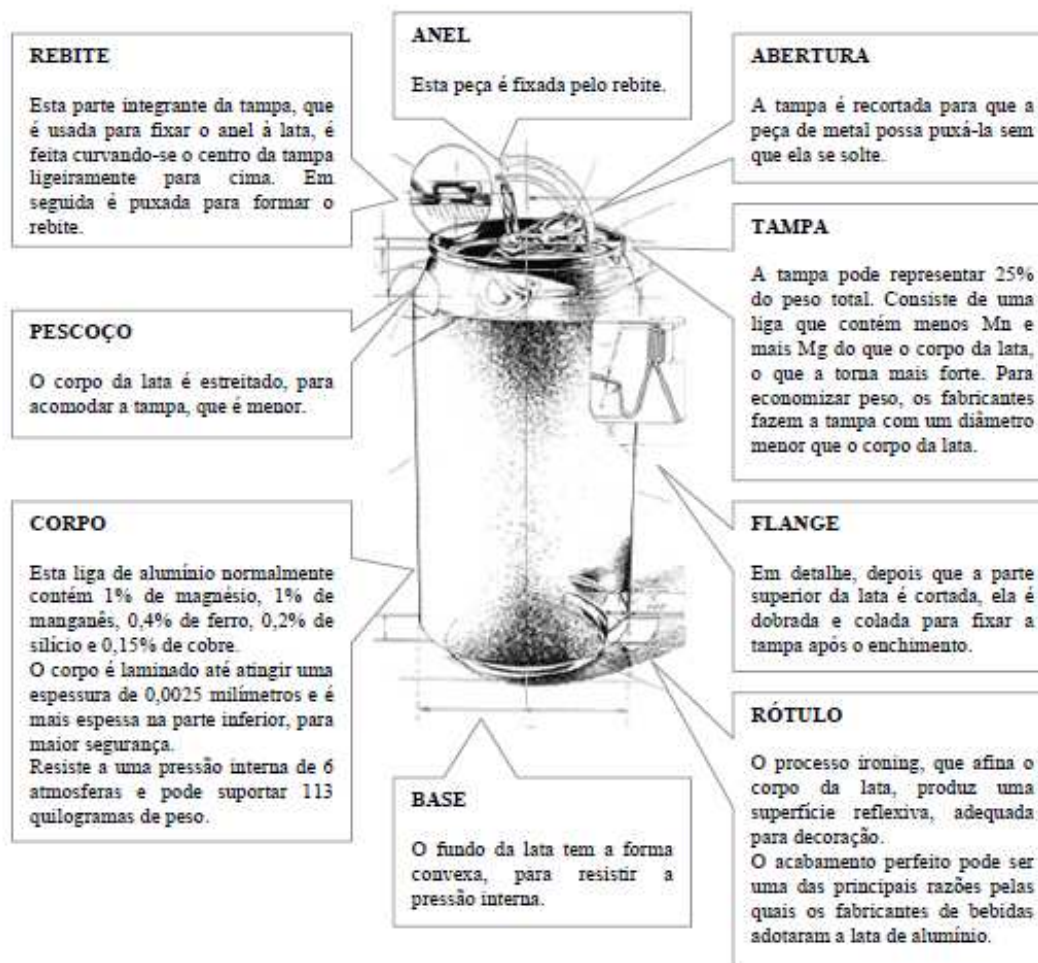


Figura 12: Detalhes da estrutura da lata de alumínio para embalagem de bebidas (ABRALATAS, 2011)

O alumínio designado “alumínio comercial”, é de teor 99,0% a 99,5% de alumínio. Suas impurezas mais comuns são o ferro e o silício e o alumínio extra-puro (99,99% de alumínio) tem

seu limite de resistência aumentado de 4,8 Kg/mm² para 8,6 Kg/mm² e a dureza aumentada de 17 Brinell para 25 Brinell.

Os elementos de liga mais comuns adicionados ao alumínio comercialmente puro, com finalidade de lhe conferir propriedades especiais, são: cobre, silício e magnésio. Com menor frequência temos ainda manganês, ferro, zinco, níquel, bismuto, cobre, silício e titânio (BRADASCHIA, 1981). O emprego de ligas de pequeno peso específico e de razoável resistência acarreta grande economia de operação.

Nas latas de alumínio, os principais elementos de liga são o magnésio que confere à liga de alumínio maior limite de resistência e maior dureza, sendo que, estas ligas se caracterizam pela maior resistência a corrosão e excelente usinabilidade, boa resistência a impactos e mantém suas propriedades a temperaturas elevadas e o manganês, que raramente é utilizado só com o alumínio, tende a aumentar a resistência à corrosão e a ductilidade. Elementos como o zinco, que aparecem como impureza conforme a tabela 2, também confere excelente limite de resistência e ductilidade à temperatura ambiente.

As latas são fabricadas a partir de três diferentes partes, corpo (liga 3004) que apresenta boa resistência à corrosão, boa conformabilidade e moderada resistência mecânica. A tampa (liga 5182) e anel (liga 5082) que são dúcteis no estado recozido, mas endurecem rapidamente sob trabalho a frio, possuem alta resistência à corrosão em ambientes marítimos e quanto maior os teores de Mg, maior a resistência mecânica. A tabela 2 apresenta as composições químicas destas ligas de acordo com a ASTM (American Society for Testing Metals) (VERRAN, 2004)

Tabela 3: Composições químicas das ligas que compõem as latas de alumínio. (VERRAN, 2004)

Componente (liga)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Outros (cada)	Outros (total)
Corpo (ASTM3004)	0,3	0,7	0,25	1,0-1,5	0,8-1,3	0,25	-	-	0,05	0,15
Tampa (ASTM5182)	0,2	0,35	0,15	0,2-0,5	4,0-5,0	0,25	0,10	0,10	0,05	0,15
Selo (ASTM5082)	0,2	0,35	0,15	0,25-0,4	3,3-4,0	0,25	0,15	0,10	0,05	0,15

*Os valores apresentados indicam as percentagens máximas admissíveis como impurezas, com exceção das indicadas por intervalos que representam os elementos de liga.

Tabela 4: Propriedades Mecânicas e Análise Química da Liga 3004 (ALCOA)

Liga 3004: Limites de Propriedades Mecânicas							
Têmpera	Seção Específica ou Espessura de Parede ² (milímetros)	Resistência à Tração (Mpa)		Alongamento ³	Dureza Brinell	Resistência Máxima ao Cisalhamento	Módulo de Elasticidade (x 10 ³)
		Limite de Resistência à Tração	Limite de Escoamento	Porcentagem Min. em 50 mm ou 4D ⁴			
		Min.	Min.		(carga de 500 kg/ Esfera de 10 mm)	(Mpa)	(MPa)
Têmpera padrão ¹							
O	Todos	180	70	20	45	110	69

¹Os limites de propriedade mecânica para têmperas-padrão estão listadas na "seção de padrões" do Manual de Dados e Padrões de Alumínio da Associação e Têmperas para Alumínio e Produtos de Liga de Alumínio. ²A espessura da seção transversal de onde o corpo de prova de teste de tensão é obtido determina as propriedades mecânicas aplicáveis. Outros tamanhos/espessuras podem estar disponíveis sob encomenda especial. ³Para materiais cujas dimensões não permitem a obtenção de um corpo de prova padrão de teste, ou para formas mais finas do que 1,6mm, o teste de alongamento não é exigido. ⁴D = Diâmetro do corpo de prova. ⁵Para seções transversais quadradas, retangulares octogonais e hexagonais os limites de propriedades mecânicas se aplicam para espessuras máximas de 101,5mm E uma máxima área de seção transversal de 23226mm².

Análise Química da Liga 3004	Temperatura Líquidus: 654°C	Temperatura Sólidus: 629°C	Densidade: 2,72 g/cm ³
-------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	--

Objetivo

O objetivo principal desse trabalho foi à avaliação do comportamento de latas de alumínio como agentes de absorção de energia, sendo estas utilizadas visando à desaceleração em ensaios dinâmicos de impacto em trenó. A análise da influência da forma, preenchimento das latas, velocidade de atuação das forças no ensaio, e quantidade de latas arranjadas como barreira de absorção de impacto foi realizado como objetivo secundário.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Todos os ensaios realizados neste trabalho utilizaram embalagem de bebida (latas de alumínio), tais latas são de baixo custo e de alta reciclabilidade, as dimensões da lata estão explicitadas na Figura 13. As latas de alumínio utilizadas nos ensaios estavam sem nenhum amassado ou imperfeição superficial, já que tais danos influenciam de maneira significativa reduzindo os valores de absorção de energia (HAMBLY ET, 1996).

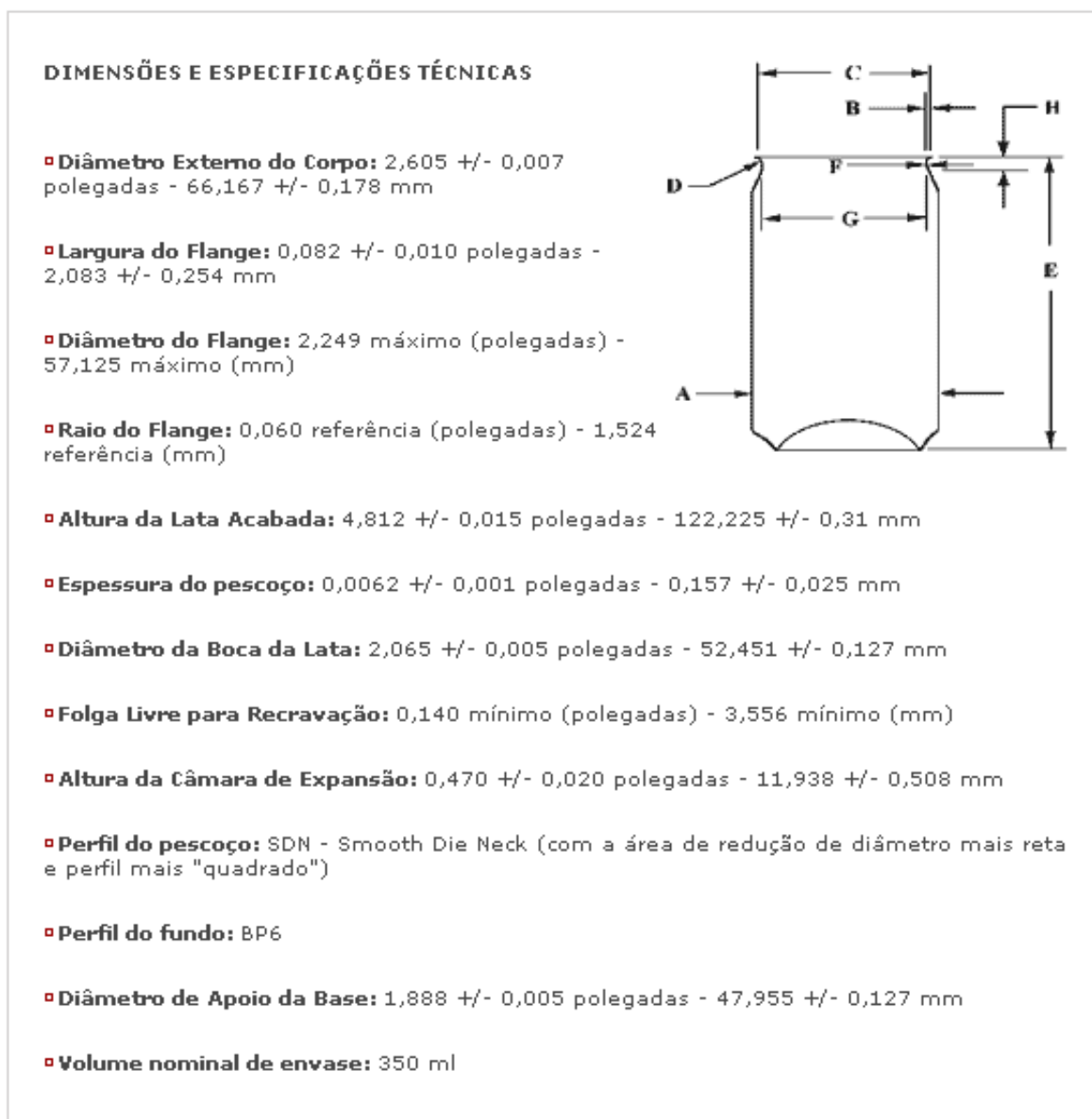
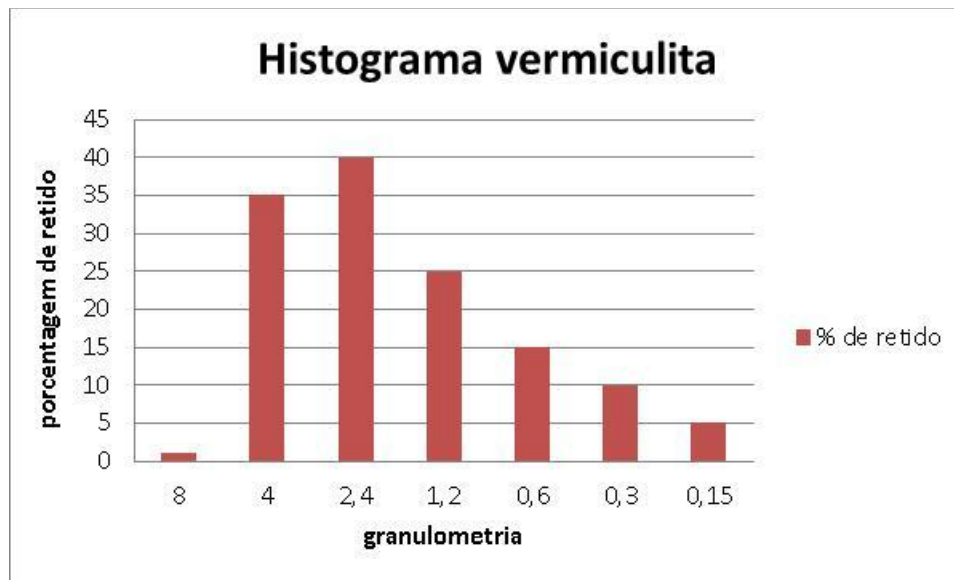


Figura 13: Dimensões da lata de alumínio (fonte (Rexamcam, 2012)).

Neste trabalho utilizou-se vermiculita expandida média para o preenchimento das latas de alumínio, distribuição granulométrica da vermiculita utilizada esta na Tabela 5. A vermiculita por ser um componente altamente poroso apresenta baixa densidade (80-100 kg/m³) e assim torna-se ideal para aumentar a resistência à compressão das latas.

A utilização de vermiculita foi estudada por Jorge (JORGE, 2011). Tal pesquisa avaliou a influência da adição de vermiculita em espumas de alumínio, os valores obtidos nos ensaios de compressão semi-estática e ensaio de impacto por queda livre foram superiores quando comparados aos de espumas de alumínio sem vermiculita.

Tabela 5: Características da vermiculita utilizada (fonte (Refratil, 2011))



3.2 Métodos

O fluxograma (Figura 14) contém sucintamente as principais informações sobre os ensaios realizados neste trabalho. Nos tópicos seguintes se encontra uma descrição mais detalhada sobre os testes.

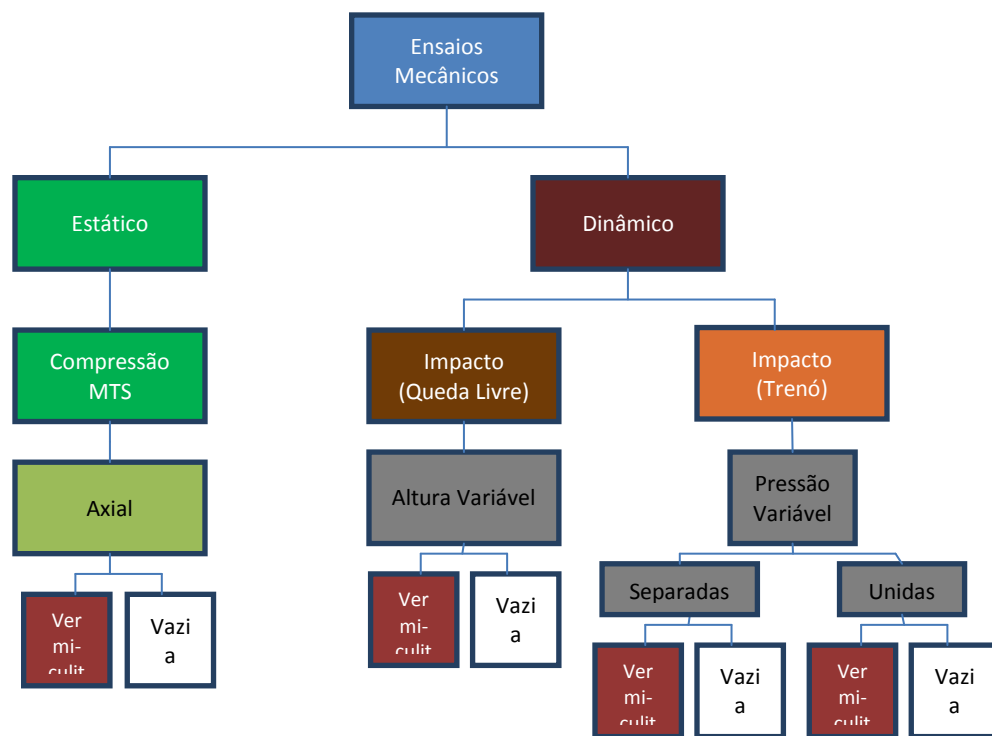


Figura 14: Fluxograma da metodologia utilizada.

3.2.1 Ensaio de compressão

Realizou-se o teste mecânico de compressão, axial (Figura 15) em latas de alumínio, sendo estas ensaiadas nas condições, vazia e preenchidas com vermiculita. Os valores de cada ensaio foram comparados avaliando a influência da presença da vermiculita. O equipamento utilizado neste experimento foi a máquina universal de ensaios da marca MTS modelo Test Star II (Faculdade de Engenharia Mecânica- Unicamp). Os parâmetros dos ensaios foram ajustados para, velocidade do ensaio de 50 mm/min e frequência de aquisição de dados de 10 Hertz.

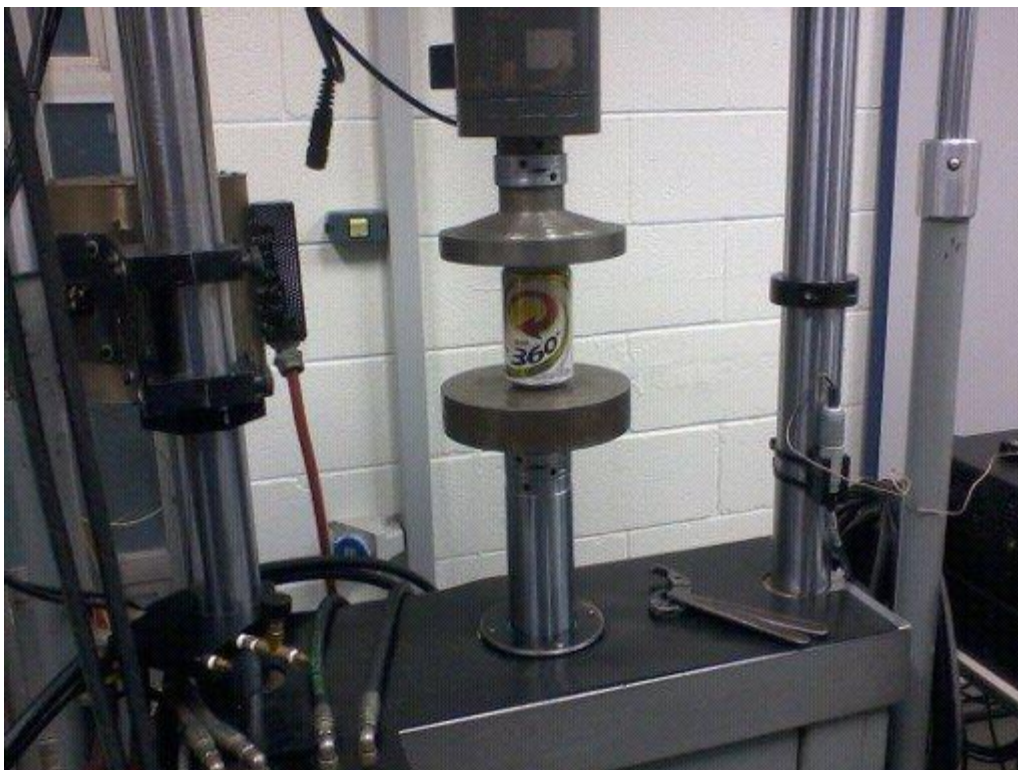


Figura 15: Ensaio de compressão axial.

Os testes foram replicados três vezes para cada situação. O peso total de cada lata está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Peso de cada lata ensaiada.

Lata C/Vermiculita	Peso (g)	Lata Sem vermiculita	Peso (g)
1	53,18	1	12,95
2	54,47	2	12,9
3	55,61	3	12,89
Média	54,34	Média	12,92
Desvio Padrão	1,12	Desvio Padrão	0,02

3.2.2 Ensaio com carga dinâmica

Os ensaios de carga dinâmica têm como principal objetivo determinar o comportamento das latas de alumínio expostas a diferentes energias de impacto. A energia envolvida em cada ensaio será dividida pela deformação da respectiva lata, considera-se isso como força média de deformação (equação 6) , este valor é importante quando comparado aos diferentes ensaios (estático, dinâmico por queda livre e por trenó de impacto) e situações (lata vazia e preenchida com vermiculita expandida). Foi utilizada a mesma quantidade de energia por lata entre os ensaios de queda livre e impacto por trenó, esta comparação permitiu avaliar a correlação entre estes ensaios.

3.2.2.1 Ensaio de impacto por queda livre

Visando um melhor entendimento do comportamento das latas de alumínio quando solicitadas a um impacto, foi preparado um equipamento para execução dos ensaios de queda livre (Figura 16), tal equipamento consiste num tubo com 4,40 cm de diâmetro interno e 1,50 m de comprimento, acoplado a um cavalete de sustentação. Um tarugo maciço de aço pesando 4,38 kg e com as dimensões de 4,30cm de diâmetro e 40 cm de altura percorre o interior do tubo com a função de massa impactante, a lata então é colocada abaixo do tubo e apoiada por dois discos de aço, com diâmetro externo de 13 cm, os quais visam alinhar e centralizar a lata para que o impacto ocorra de maneira uniforme.

A energia resultante neste experimento é calculado pela equação de energia potencial gravitacional, na qual a aceleração da gravidade multiplicada pela altura em que a massa impactante é solta resulta na energia total a ser absorvida pela lata de alumínio.

Equação 7: Energia Potencial gravitacional

$$Ep = m * g * h$$

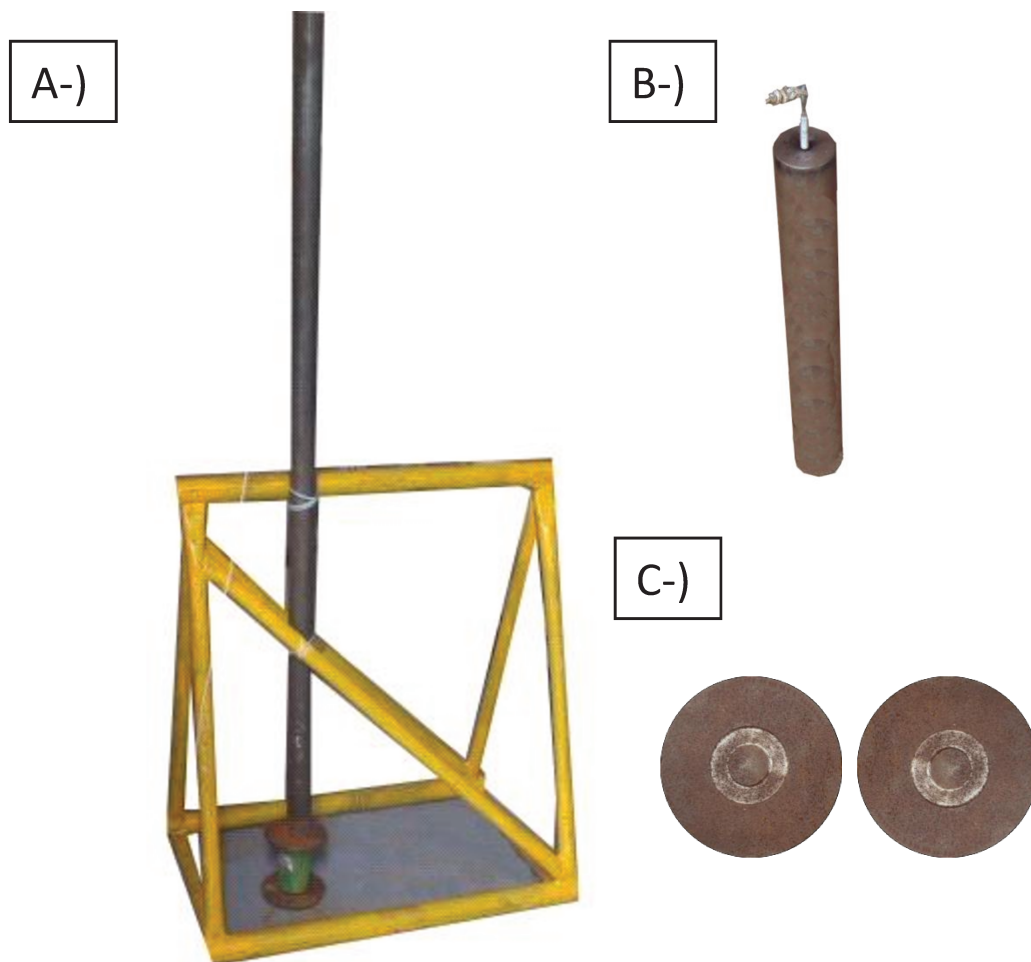


Figura 16: A-) Montagem do experimento B-) Massa impactante C-) discos de apoio para lata.

Os ensaios foram executados soltando a massa impactante de diferentes alturas em latas vazias e preenchidas com vermiculita. A quantidade de vermiculita expandida utilizada em cada lata foi controlada através do peso total, a Tabela 7 contém o peso final de cada lata. O ensaio foi replicado três vezes para cada situação descrita na Tabela 7.

Tabela 7: Peso de cada lata ensaiada.

Lata C/Vermiculita	Peso (g)	Lata Sem vermiculita	Peso (g)
1	54,32	1	12,89
2	53,80	2	12,86

3	53,20	3	12,93
4	54,59	4	12,94
5	52,50	5	12,96
6	53,17	6	12,92
7	54,23	7	12,88
8	56,12	8	12,91
9	52,01	9	12,92

Média	53,77	Média	12,91
Desvio Padrão	1,23	Desvio Padrão	0,03

Tabela 8: Situações dos ensaios de queda livre.

Altura da Queda (m)	0,3	0,5	1
Massa do impactador (kg)	4,38	4,38	4,38
Aceleração da gravidade (m/s ²)	9,8	9,8	9,8
Energia potencial (J)	12,88	21,46	42,92
Replicações Lata vazia	3	3	3
Replicações Lata com vermiculita	3	3	3

Após executados os testes, os valores da altura final foram comparados com as dimensões iniciais da lata. As diferentes porcentagens de amassamento referente a cada ensaio representam a absorção de energia para tais.

3.2.2.2 Ensaio em Trenó de Impacto

O entendimento dos dados dos ensaios de compressão axial semi-estáticos e dinâmico por queda livre permitiu a utilização das latas de alumínio como barreira de impacto no ensaio em trenó de impacto. Este ensaio possibilitará o teste de inúmeros dispositivos de retenção, tais como, cinto de segurança, dispositivos de retenção infantil, dispositivos de retenção para animais, dispositivos de retenção em macas para ambulância entre outros.

O Ensaio em Trenó de impacto (também conhecido como *Sled Test*) foi montado (Figura 17) visando um melhor entendimento do comportamento em conjunto das latas de alumínio ao colidirem contra o trenó.

Para a realização do teste uma pista de rolagem de doze metros foi preparada para receber o trenó e deslizar com o mínimo possível de interferência durante o percurso até colidir contra a barreira deformável composta pelas latas de alumínio.



Figura 17: Montagem do ensaio de impacto por trenó.

A estrutura do ensaio consiste de trilhos apoiados em vigas com perfil em “U” (Figura 18), de dimensões 3,5 cm de altura x 10,4 cm de largura, com a função de dormentes, sendo que em cada dormente existem dois niveladores de borracha visando eliminar as vibrações durante o ensaio e permitir um melhor ajuste da altura dos trilhos. A pista de rolagem foi formada por um

perfil circular em aço (Figura 19) com 1,6 cm de diâmetro, a qual encaixa as rodas do trenó. Tais rodas foram usinadas a fim de possuírem geometria que permite a rolagem guiada com o mínimo de atrito e interferência possíveis, estas são compostas de nylon.

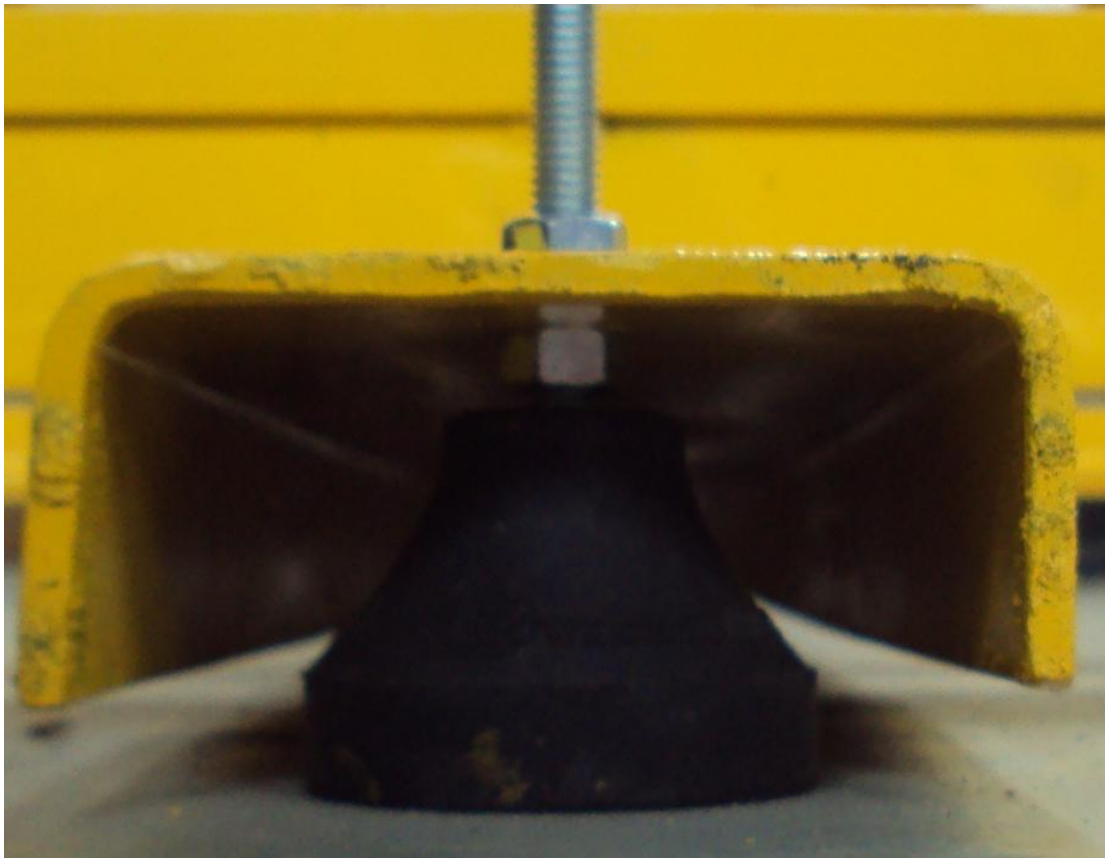


Figura 18: Viga com perfil em "U" e nivelador de borracha.

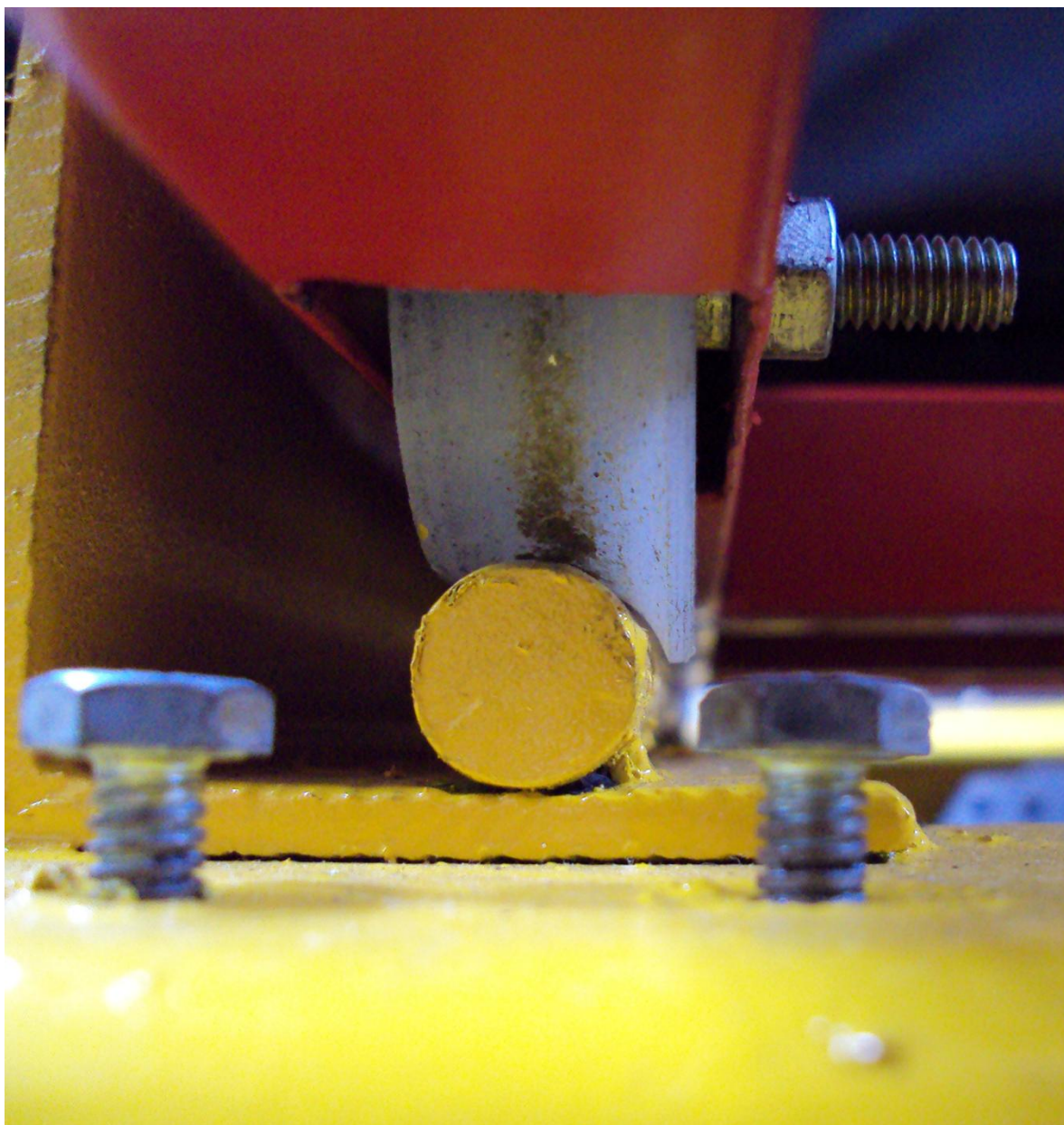


Figura 19: Pista de rolagem e perfil das rodas do trenó.

O trenó foi construído por perfis retangulares em metalon. A estrutura do trenó permite a fixação de diversos dispositivos de ensaio como, banco de automóvel com dispositivos de retenção infantil, macas de ambulâncias, banco de ônibus entre outros. No trenó (Figura 20) foi acoplado um pára-choque em madeira maciça com perfil quadrado de 6,4cm, este foi superdimensionado para suportar as diversas colisões ao decorrer dos ensaios.



Figura 20: Trenó configurado com banco de automóvel, dispositivo de retenção infantil e pára-choque de madeira.

As latas de alumínio foram dispostas axialmente numa estrutura de madeira para permanecerem no mesmo nível que o para-choque, permitindo assim uma colisão uniformemente distribuída, como visto na Figura 21.



Figura 21: Disposição e alinhamento das latas.

Um perfil (Figura 22) em “L” com 2 cm x 2 cm foi colocado na parte superior do trilho a fim de evitar qualquer possibilidade de fuga do trenó durante a rolagem e/ou a colisão.



Figura 22: Detalhe da aba que restringe o movimento de escape do trenó.

O sistema de propulsão (Figura 23) deste ensaio é composto por, um cilindro de reservatório de ar comprimido, uma alavanca de abertura para o abastecimento do cilindro, um manômetro para checar a pressão do ar comprimido, uma alavanca de abertura para sair o ar que acionará um êmbolo ocasionando a propulsão do trenó, e duas válvulas de escape de ar para segurança do dispositivo. Um compressor de ar externo abastece todo o sistema de propulsão.

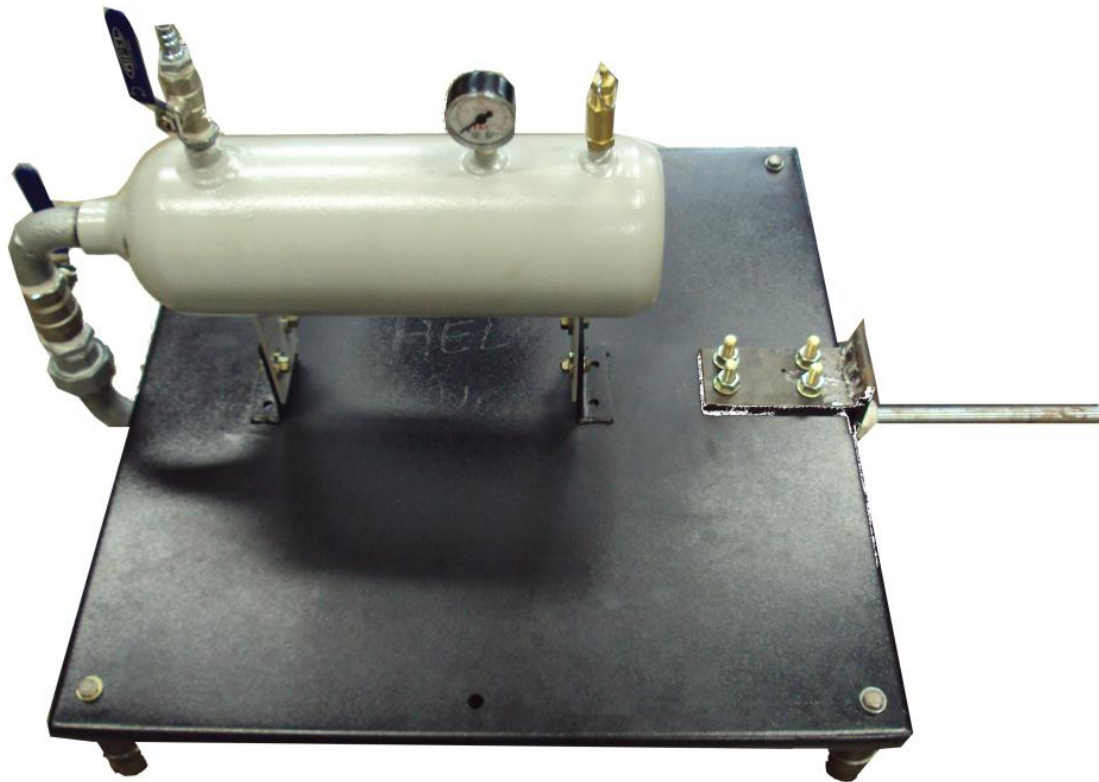


Figura 23: Sistema de propulsão do ensaio.

Neste ensaio foram medidas a velocidade média do treno, a energia cinética envolvida e a altura final de cada lata de alumínio.

Visando diferentes valores de velocidade, energia cinética, e absorção de energia algumas variáveis foram modificadas entre os ensaios de treno, foram elas:

- Latas de alumínio vazias e preenchidas com vermiculita;
- Barreira de Impacto formada por latas arranjadas em conjunto de cinco latas, sendo estas dispostas de maneira isolada e unidas por meio de uma fita adesiva;
- Limitação da carga do propulsor

A fim de garantir a mesma energia por lata dos ensaios de queda livre e então comparar com os resultados dos ensaios de impacto por trenó, as variáveis de distancia, massa do trenó, composição da barreira de impacto e carga do propulsor foram estipuladas em cada situação.

As condições de cada ensaio foram descritas nas tabelas abaixo.

Ensaio n°1

Tabela 9: Dados do ensaio numero 1.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas vazias separadas
Carga do propulsor	196,13 kPa

Ensaio n°2

Tabela 10: Dados do ensaio numero 2.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas vazias unidas
Carga do propulsor	196,13 kPa

Ensaio n°3

Tabela 11: Dados do ensaio numero 3.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas cheias separadas
Carga do propulsor	196,13 kPa

Ensaio n°4

Tabela 12: Dados do ensaio numero 4.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas cheias unidas
Carga do propulsor	196,13 kPa

Ensaio n°5

Tabela 13: Dados do ensaio numero 5.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas vazias separadas
Carga do propulsor	284,40 kPa

Ensaio n°6

Tabela 14: Dados do ensaio numero 6.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas vazias unidas
Carga do propulsor	284,40 kPa

Ensaio n°7

Tabela 15: Dados do ensaio numero 7.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas cheias separadas
Carga do propulsor	284,40 kPa

Ensaio n°8

Tabela 16: Dados do ensaio numero 8.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas cheias unidas
Carga do propulsor	284,40 kPa

Ensaio n°9

Tabela 17: Dados do ensaio numero 9

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas vazias separadas
Carga do propulsor	456,0 kPa

Ensaio n°10

Tabela 18: Dados do ensaio numero 10

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas vazias unidas
Carga do propulsor	456,0 kPa

Ensaio n°11

Tabela 19: Dados do ensaio numero 11

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas cheias separadas
Carga do propulsor	456,0 kPa

Ensaio n°12

Tabela 20: Dados do ensaio numero 12.

Distância total entre o trenó e o anteparo	6,5 metros
Massa total do trenó	52,5 quilos
Barreira de Impacto	5 latas cheias unidas
Carga do propulsor	456,0 kPa

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de Compressão

4.1.1 Ensaio de Compressão Axial em lata de alumínio.

4.1.1.1 Lata Vazia

Os dados referentes ao ensaio de compressão axial em latas de alumínio vazias foram plotados na tabela 21.

Tabela 21: Resultado do ensaio de compressão axial (lata de alumínio vazia).

Amostra	Força no Escoamento N	Força Máxima N
1	423.3	581.2
2	442.3	652.5
3	528.8	545.1
Média	464.8	592.9
Desvio Padrão	56.2	54.6

Observa-se que os valores apresentaram pouca diferença entre os ensaios, o gráfico contém os dados completos dos três ensaios de compressão axial em lata de alumínio. A força máxima de compressão teve um valor médio de 592,9 N e a força de compressão no escoamento foi de 464,82 N. Já a força média de compressão foi de 205,22 N e a energia absorvida pela lata foi de 18,47 J.

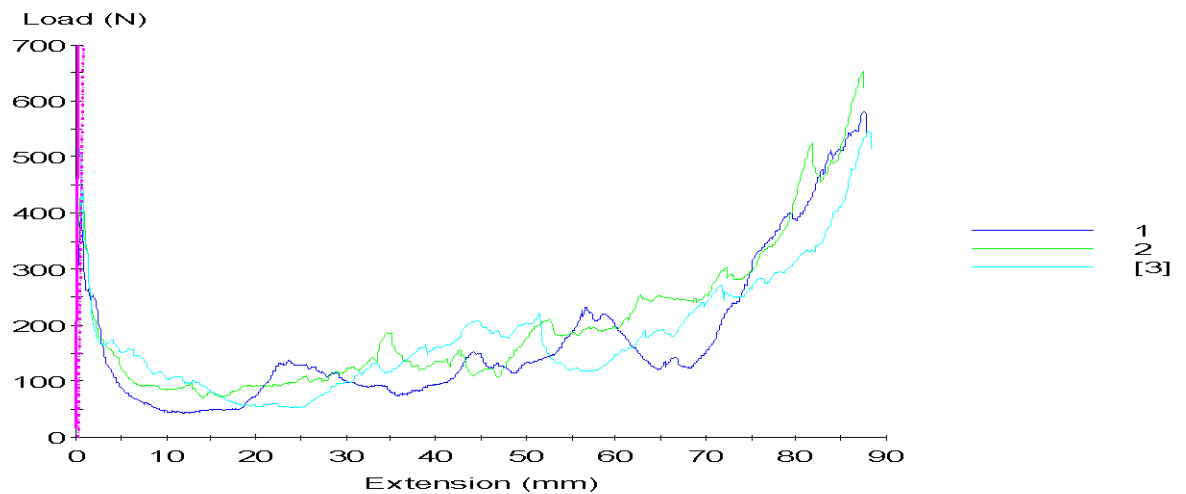


Figura 24: Gráfico do ensaio de compressão axial (lata de alumínio vazia).

Os picos apresentados nas curvas dos gráficos representam a formação de dobras enquanto a lata está sujeita as forças de compressão, tais dobras aumentam à resistência a compressão da lata, aumentando assim a energia absorvida durante o ensaio. Este comportamento pode ser observado pelo aumento da força necessária para formação de cada dobra e pelo aumento da rigidez da lata devido sua compressão.

4.1.1.2 Lata preenchida completamente com vermiculita

Os dados referentes ao ensaio de compressão axial em latas de alumínio cheias com vermiculita foram plotados na tabela abaixo.

Tabela 22: Resultado do ensaio de compressão axial (lata de alumínio com vermiculita).

Amostra	Força no Escoamento N	Força Máxima N
1	476.8	2579.5
2	533.0	2446.4
3	587.0	2241.0
Média	532.3	2422.3
Desvio Padrão	55.1	170.5

A força máxima de compressão teve um valor médio de 2422,31 N e a força de compressão no escoamento teve um valor médio de 532,29 N. Já a força média de compressão foi de 842.88 N e a energia absorvida pela lata foi de 75,86 J

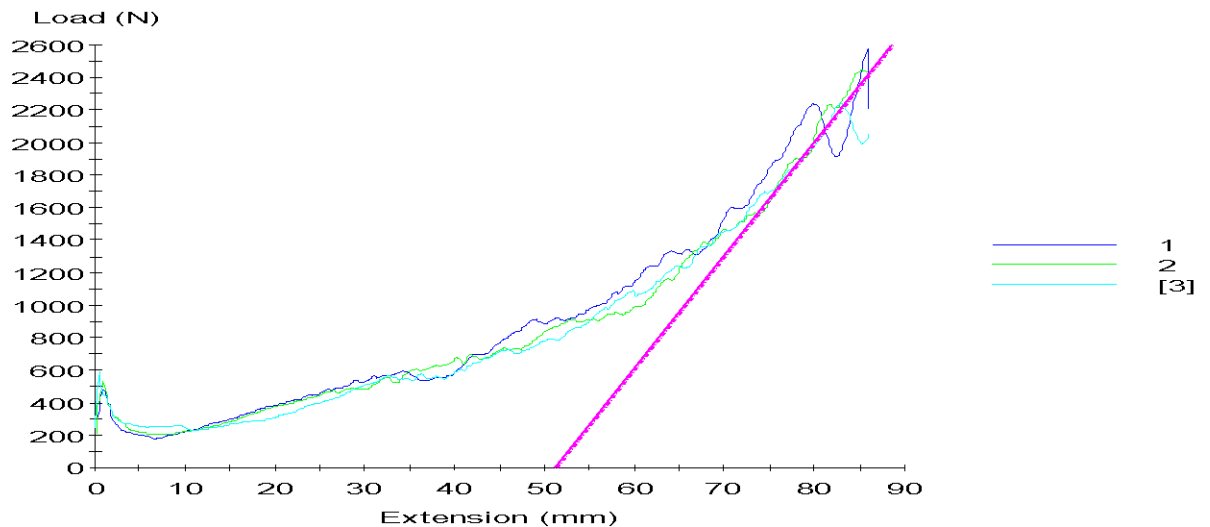


Figura 25: Gráfico do ensaio de compressão axial (lata de alumínio com vermiculita).

Assim como as curvas no gráfico das latas vazias, as curvas do gráfico com as latas preenchidas com vermiculita apresentaram os picos referente à formação de dobras, desse modo a vermiculita atuou de maneira significativa, tal comportamento pode ser explicado devido ao aumento da rigidez do conjunto (lata + vermiculita) e a densificação da vermiculita durante o ensaio, oferecendo maior resistência à compressão e aumentando assim a capacidade de absorver energia.

4.1.3 Análise dos Resultados dos Ensaio de Compressão

A tabela abaixo contém os dados de todos os ensaios. Analisando os dados foi possível perceber a influência positiva da vermiculita em aumentar a resistência a compressão das latas de alumínio.

Tabela 23: Resultados de todos os ensaios de compressão.

	Axial Vazia	Axial Vermiculita
Força Máxima (N)	592,9	2422,3
Força no Escoamento (N)	464,8	532,2
Força Média (N)	205,2	842,8
Energia (J)	18,47	75,86

Observando a tabela acima foi possível perceber a influência da presença da vermiculita tanto nos valores de Força no Escoamento quanto na Força Média, os quais apresentaram um aumento quando comparados às latas vazias, tal fenômeno pode ser explicado pelo aumento da rigidez proporcionado pelo preenchimento das latas com vermiculita, que dificultaram à formação das dobras e que em conjunto com a sua densificação ocasionaram o aumento da resistência a deformação, sendo que latas preenchidas completamente com vermiculita apresentaram uma força média de deformação de 4,2 vezes maior do que quando comparadas às latas vazias e um aumento de 15 % na Força de Escoamento. A influência de elementos de preenchimentos na absorção de energia condiz com os trabalhos já publicados por (S.SHABEYK, 2005) (M.KROGER H. Z., 2008) (MIRANDA, 2007) (M.KROGER H. Z., 2008) (A.G. HANSSEN M. L., 2001) (REDDY TY, 1988) (MN., 1993) (REDDY TY A.-H. S., 1993) (ABRAMOWIXZ W, 1988).

A figura 26 mostra as latinhas depois de ensaiadas.



Figura 26: Latas após ensaio de compressão.

4.2 Ensaio de Impacto por Queda Livre

Os resultados dos ensaios de impacto por queda livre foram agrupados adotando o critério da altura total da queda livre da massa impactante como denominador comum, sendo assim nos tópicos subsequentes tais dados serão apresentados nas situações de lata vazia e lata preenchida completamente com vermiculita expandida.

4.2.1.1 Ensaio de Impacto por Queda Livre com Altura de 0,3 metros.

Após realizar o teste foi medida a altura final de cada lata de alumínio. A energia obtida pela soltura da massa impactante da altura de 0,3 metros foi de 12,87 J. As latas sofreram deformação devido ao impacto de tal massa. As alturas finais de cada lata foram medidas e estão contidas nas tabelas abaixo.

Teste com lata de alumínio vazia

Tabela 24: Altura final das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.

Altura final da lata (cm)	
8,9	
8,8	
9,2	

Média	8,9
Desvio padrão	0,20



Figura 27: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.

A deformação média das latas neste ensaio foi de aproximadamente de 3,5 cm, o que representou uma deformação plástica de 28%.

Teste com lata de alumínio preenchida com vermiculita expandida.

Tabela 25: Altura final das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.

Altura final da lata (cm)	
	9,97
	9,94
	10,4
Média	9,97
Desvio padrão	0,25

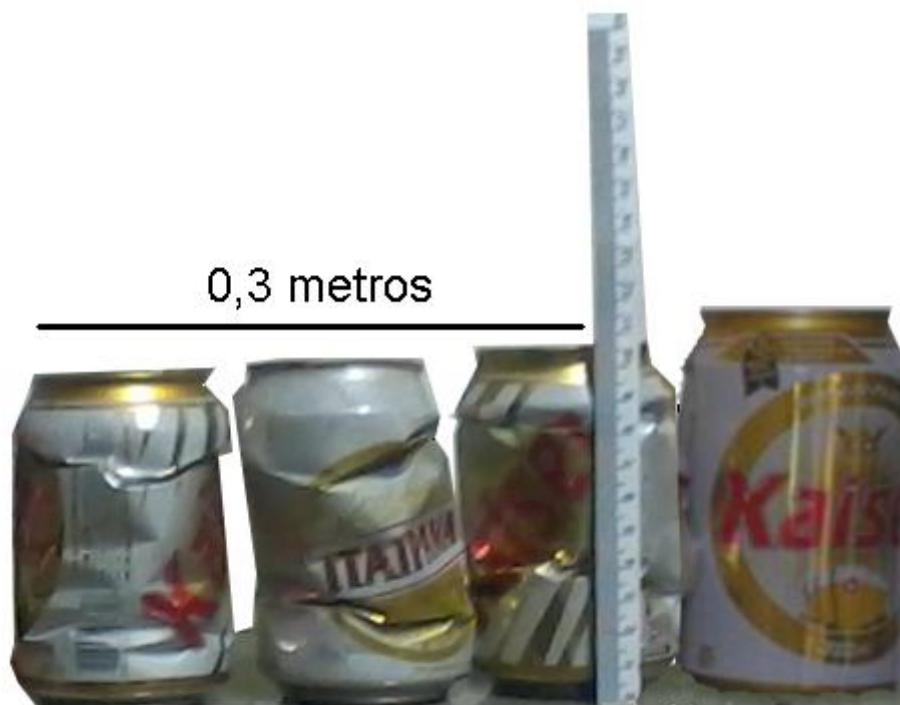


Figura 28: Imagem das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 0,30 metros.

A deformação média das latas neste ensaio foi de aproximadamente de 2,43 cm, o que representou uma deformação plástica de 20%.

4.2.1.2 Ensaio de Impacto por Queda Livre com Altura de 0,5 metros

Após realizar o teste mediu-se a altura final de cada lata de alumínio. A energia obtida foi de 21,46 J. As alturas finais de cada lata foram medidas e estão contidas nas tabelas abaixo.

Teste com lata de alumínio vazia.

Tabela 26: Altura final das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.

Altura final da lata (cm)
7,4

8
7,8

Média	7,8
Desvio padrão	0,30



Figura 29: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.

A deformação média das latas neste ensaio foi de aproximadamente de 4,6 cm, o que representou uma deformação plástica de 37%.

Teste com lata de alumínio preenchida com vermiculita expandida.

Tabela 27: Altura final das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.

Altura final da lata (cm)	
	9,53
	9,55
	9,66
Média	9,55
Desvio padrão	0,07



Figura 30: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 0,50 metros.

A deformação média das latas neste ensaio foi de aproximadamente de 2,85 cm, o que representou uma deformação plástica de 23%.

4.2.1.3 Ensaio de Impacto por Queda Livre com Altura de 1 metro.

A energia obtida pela soltura da massa impactante da altura de 1 metro foi de 42,92 J. As alturas finais de cada lata foram medidas e estão contidas nas tabelas abaixo:

Teste com lata de alumínio vazia.

Tabela 28: Altura final das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.

Altura final da lata (cm)	
	4,9
	4,8
	4,6

Média	4,8
Desvio padrão	0,15



Figura 31: Imagem das latas (vazias) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.

A deformação média das latas neste ensaio foi de aproximadamente de 7,6 cm, o que representou uma deformação plástica de 61%.

Teste com lata de alumínio preenchida com vermiculita expandida.

Tabela 29: Altura final das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.

Altura final da lata (cm)
8,02
7,98
8,21

Média	8,02
Desvio padrão	0,12

A deformação média das latas neste ensaio foi de aproximadamente de 4,38 cm, o que representou uma deformação plástica de 35%.

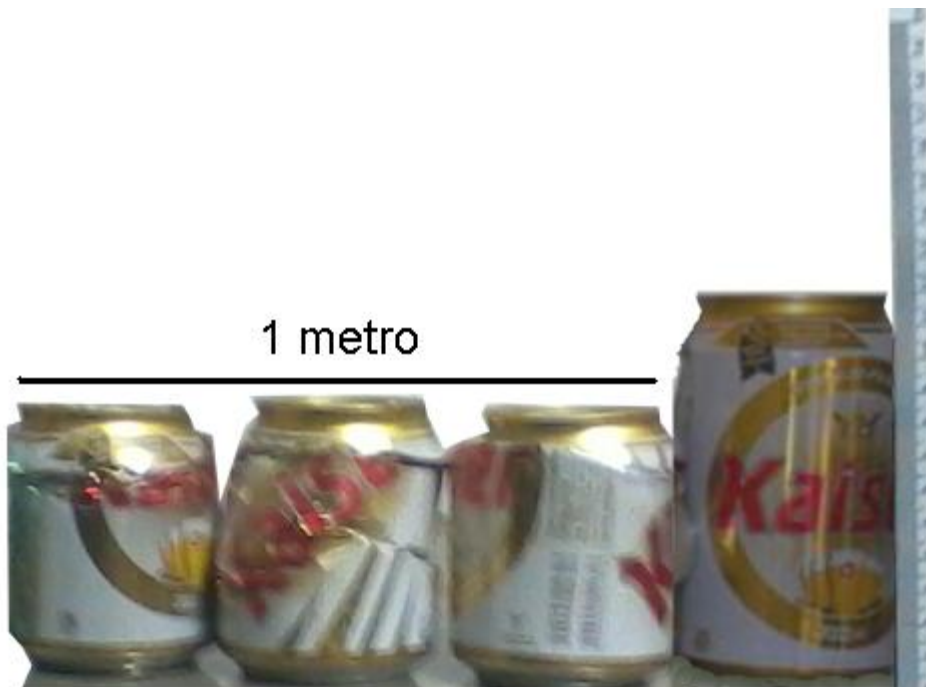


Figura 32: Imagem das latas (com vermiculita) após ensaio de queda livre com altura de 1 metro.

4.2.3 Análise e Discussão dos Resultados dos Ensaios de Impacto por queda livre

Após a realização dos ensaios possibilitou-se a análise dos dados de todos os testes de impacto por queda livre. A tabela seguinte contém os dados resumidos dos ensaios.



Figura 33: Imagem de todas as latas: vazias e com vermiculita após ensaio de queda livre com as diferentes alturas.

Tabela 30: Tabela com todos os resultados do ensaio de queda livre.

	Lata Vazia			Lata C/Vermiculita		
Altura de queda (cm)	30	50	100	30	50	100
Altura final da lata (cm)	8,9	7,8	4,8	9,97	9,55	8,02
Deformação (%)	28,23	37	61,29	20,00	23,00	35,00
Força Média (N)	367,71	466,52	564,74	529,63	752,98	979,91
Energia (J)	12,87	21,46	42,92	12,87	21,46	42,92

Analisando os dados da tabela pôde-se perceber que a deformação da lata aumenta com a altura da queda da massa impactante, e que as latas preenchidas com vermiculita deformaram muito menos quando comparadas às latas vazias. Avaliando as forças médias de cada situação nota-se um aumento de aproximadamente 1,6 vezes da resistência à compressão das latas contendo vermiculita.

4.3.1 Resultados do Ensaio em Trenó de Impacto

Ensaio n°1 até n°4

Durante os ensaios 1, 2, 3 e 4 o trenó de impacto, com uma massa total de 52,5 quilos percorreu a distância de 6,5 metros em 4,1 segundos até colidir com a barreira de impacto formada pelas latas de alumínio, a velocidade média calculada deste ensaio foi 1,6 m/s (equivalente a 5,7 km/h), a energia envolvida neste ensaio foi de 66 J, tal energia foi absorvida pela barreira de impacto, sendo que cada lata absorveu aproximadamente 13,2 J. Os resultados de deformação e altura final de cada lata em cada ensaio estão contidos nas tabelas abaixo.

Ensaio n°1

Barreira de impacto formada por cinco latas de alumínio vazias e separadas.

Tabela 31: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e separadas.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
8,7	30%
8,7	30%
8,9	28%
8,9	28%
9	27%

Média	8,8	29%
Desvio padrão	0,13	



Figura 34: Imagem das latas vazias após ensaio de treno de impacto.

Ensaio n°2

A barreira de impacto foi composta por cinco latas vazias e unidas com fita adesiva.

Tabela 32: Resultado do ensaio utilizando latas vazias unidas

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
9,1	27%
9,1	27%
9,3	25%
9,2	26%
9	27%

Média	9,14	26%
Desvio padrão	0,11	



Figura 35: Imagem das latas de alumínio vazias e unidas após ensaio em treno de impacto.

Ensaio n°3

As cinco latas de alumínio foram preenchidas com vermiculita e dispostas separadamente na barreira de impacto.

Tabela 33: Ensaio em treno de impacto utilizando latas separadas e preenchidas com vermiculita.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
9,8	21%
9,9	20%
10	19%
9,8	21%
9,8	21%

Média	9,86	20%
Desvio padrão	0,08	



Figura 36: Imagem das latas separadas e preenchidas após ensaio em treno de impacto.

Ensaio n°4

No ensaio n°4 foi utilizada uma barreira de impacto composta por cinco latas de alumínio unidas com fita adesiva e preenchidas com vermiculita,

Tabela 34: Ensaio em treno de impacto utilizando latas unidas e preenchidas com vermiculita.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
10,1	19%
10	19%
10	19%
10	19%
10	19%

Média	10	19%
Desvio padrão	0,04	



Figura 37: Imagem das latas unidas e preenchidas após ensaio em treno de impacto.

Ensaio n°5 até n°8

Nesses ensaios o treno de impacto percorreu a distância de 6,5 metros em 3,1 segundos até colidir com a barreira de impacto, a massa total do treno foi 52,5 quilos, a velocidade média calculada deste ensaio foi 2,1 m/s (equivalente a 7,5 km/h), a energia envolvida neste ensaio foi de 115,40 J, sendo que cada lata absorveu aproximadamente 23 J. A deformação e altura final de cada lata estão contidas nas tabelas abaixo.

Ensaio n°5

Neste ensaio a barreira foi composta por cinco latas de alumínio vazias e separadas.

Tabela 35: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e separadas.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
7,9	36%
7,9	36%
8	35%
7,7	38%
7,9	36%

Média	7,9	36%
Desvio padrão	0,10	



Figura 38: Imagem das latas vazias e separadas após ensaio em treno de impacto.

Ensaio n°6

Alterando a barreira de impacto de cinco latas vazias separadas para cinco latas e unidas, foi obtido a deformação e altura final de cada lata, estas estão contidas na tabela abaixo.

Tabela 36: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e unidas.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
7,7	38%
7,9	36%
8,1	35%
8,2	34%
7,7	38%

Média	7,9	36%
Desvio padrão	0,2	



Figura 39: Imagem das latas unidas e vazias após ensaio em treno de impacto.

Ensaio n°7

Neste ensaio a barreira de impacto foi formada por cinco latas separadas e preenchidas com vermiculita

Tabela 37: Ensaio em treno de impacto utilizando latas separadas e preenchidas.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
9,6	23%
9,6	23%
9,7	22%
9,5	23%
9,7	22%

Média	9,6	22%
Desvio padrão	0,08	



Figura 40: Imagem das latas separadas e preenchidas após ensaio em treno de impacto

Ensaio n°8

A barreira de impacto foi arranjada com cinco latas preenchidas com vermiculita e unidas com fita adesiva.

Tabela 38: Ensaio em treno de impacto utilizando latas com vermiculita unidas.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
9,7	22%
9,7	22%
9,8	21%
9,7	22%
9,8	21%

Média	9,7	21%
Desvio padrão	0,05	



Figura 41: Imagem das latas unidas e preenchidas após ensaio em treno de impacto

Ensaio nº9 até nº12

O trenó de impacto com uma massa total de 52,5 quilos percorreu a distância de 6,5 metros em 2,2 segundos até colidir com a barreira de impacto formada por cinco latas de alumínio separadas, a velocidade média calculada deste ensaio foi 2,9 m/s (equivalente a 10,5 km/h), a energia envolvida neste ensaio foi de 227 J, tal energia foi absorvida pela barreira de impacto, sendo que cada lata absorveu aproximadamente 45,42 J. A deformação e altura final de cada lata estão contidas nas tabelas abaixo.

Ensaio nº9

A barreira de impacto deste ensaio foi composta por cinco latas vazias e separadas.

Tabela 39: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e separadas.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
4,5	64%
4,6	63%
4,5	64%
4,4	65%
4,7	62%

Média	4,54	63%
Desvio padrão	0,11	



Figura 42: Imagem das latas vazias e separadas após ensaio em treno de impacto.

Ensaio n°10

Neste ensaio a barreira de impacto foi formada por cinco latas vazias e unidas.

Tabela 40: Ensaio em treno de impacto utilizando latas vazias e unidas

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
5	60%
4,6	63%
4,5	64%
4,6	63%
5	60%

Média	4,74	62%
Desvio padrão	0,24	



Figura 43: Imagem das latas unidas e vazias após ensaio em treno de impacto

Ensaio n°11

A barreira de impacto foi arranjada com cinco latas preenchidas com vermiculita e separadas.

Tabela 41: Ensaio em treno de impacto utilizando latas com vermiculita e separadas.

	Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
	8,5	31%
	8,4	32%
	8,3	33%
	8,3	33%
	8,4	32%
Média	8,38	32%
Desvio padrão	0,08	



Figura 44: Imagem das latas com vermiculita e separadas após ensaio em treno de impacto
Ensaio n°12

A barreira de impacto foi arranjada com cinco latas preenchidas com vermiculita e unidas com fita adesiva.

Tabela 42: Ensaio em treno de impacto utilizando latas com vermiculita e unidas.

Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
-------------------	------------------------

8,4	32%
8,5	31%
8,6	31%
8,6	31%
8,6	31%

Média	8,54	31%
Desvio padrão	0,08	



Figura 45: Imagem das latas unidas e preenchidas após ensaio em treno de impacto

4.3. Análise e Discussão dos Resultados dos Ensaios de Impacto por trenó

4.3.1 Influência da Forma

Os dados dos ensaios de impacto em trenó foram agrupados e analisadas quanto à forma e preenchimento das latas.

Os gráficos abaixo apresentam os dados comparativos referentes à influência da forma na barreira de impacto, pode-se observar que tanto em latas vazias quanto em latas preenchidas com vermiculita a disposição de como a barreira de impacto foi arranjada (latas separadas x latas unidas) não alterou os resultados de maneira significativa. Embora não tenha alterado de maneira significativa os valores de deformação axial das latas de alumínio, as paredes das latas em contato impedem a expansão lateral e assim aumenta a resistência à compressão.

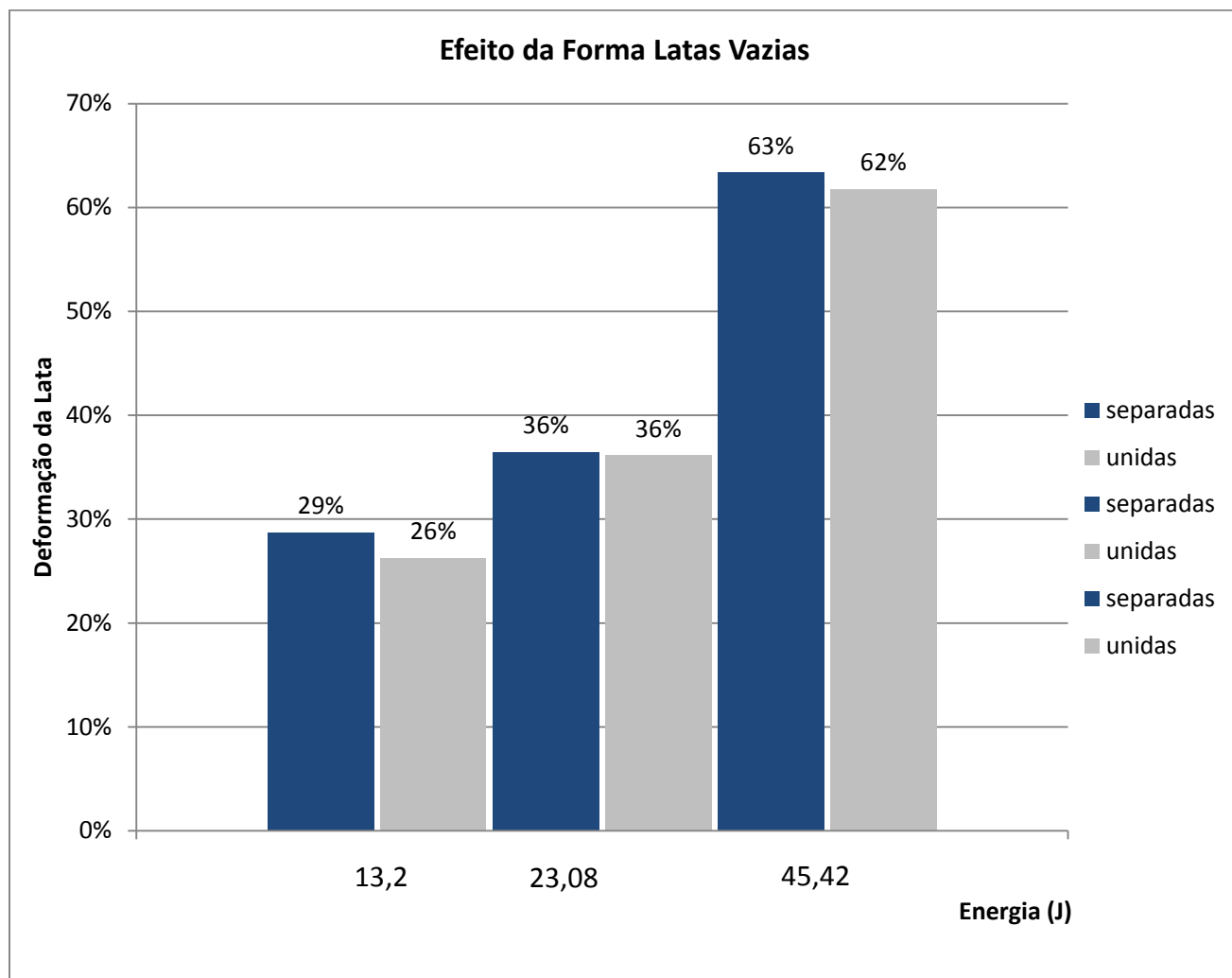


Figura 46: Gráfico da influência da forma em latas vazias

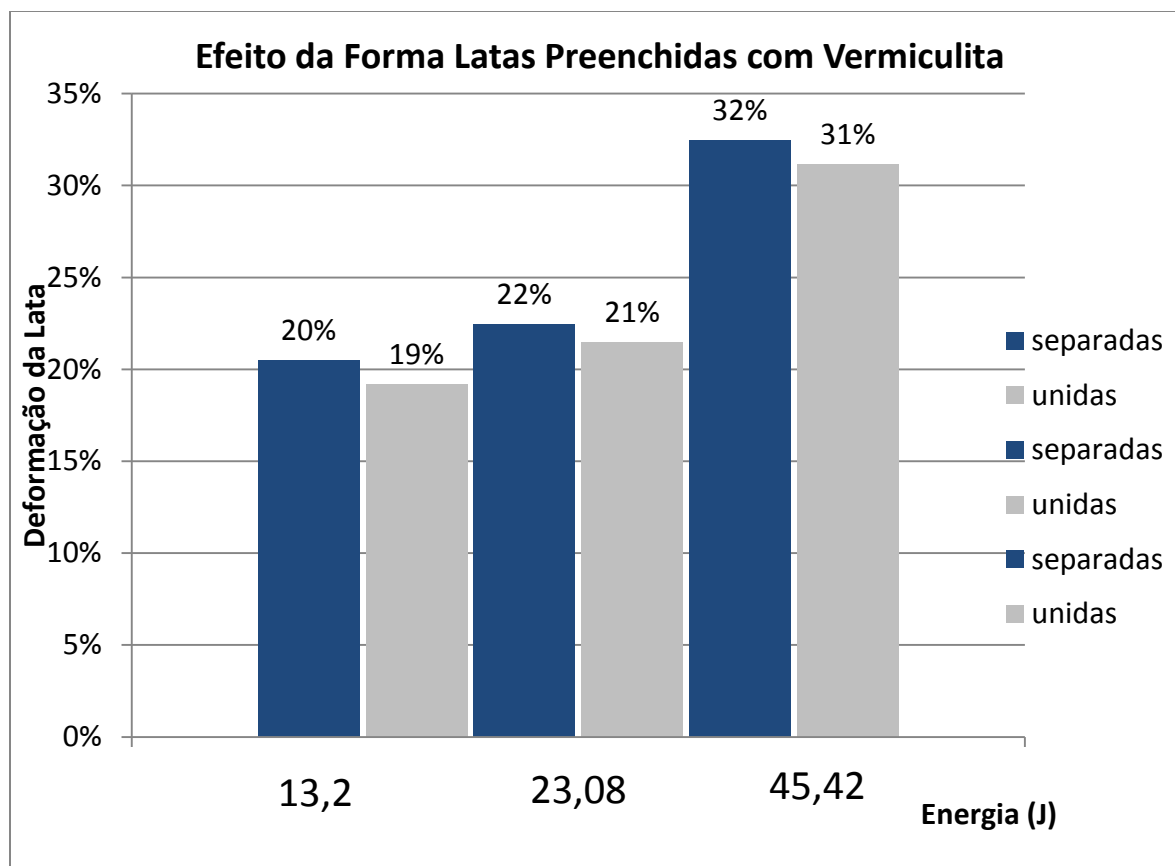


Figura 47: Gráfico da influência da forma em latas com vermiculita

4.3.2 Influência do Preenchimento das latas

Os ensaios realizados com barreira de impacto composta por latas preenchidas com vermiculita apresentaram menores valores de deformação, este fato pode ser explicado devido à vermiculita atua impedindo a formação de dobras na lata, e pelo aumento de resistência a compressão ocasionado pela densificação da vermiculita. Este comportamento condiz com diversos estudos publicados anteriormente.

A grande influência da vermiculita pode ser observada no gráfico abaixo, em todos os ensaios as latas de vermiculita absorveram a energia do teste deformando menos quando comparadas as latas vazias.

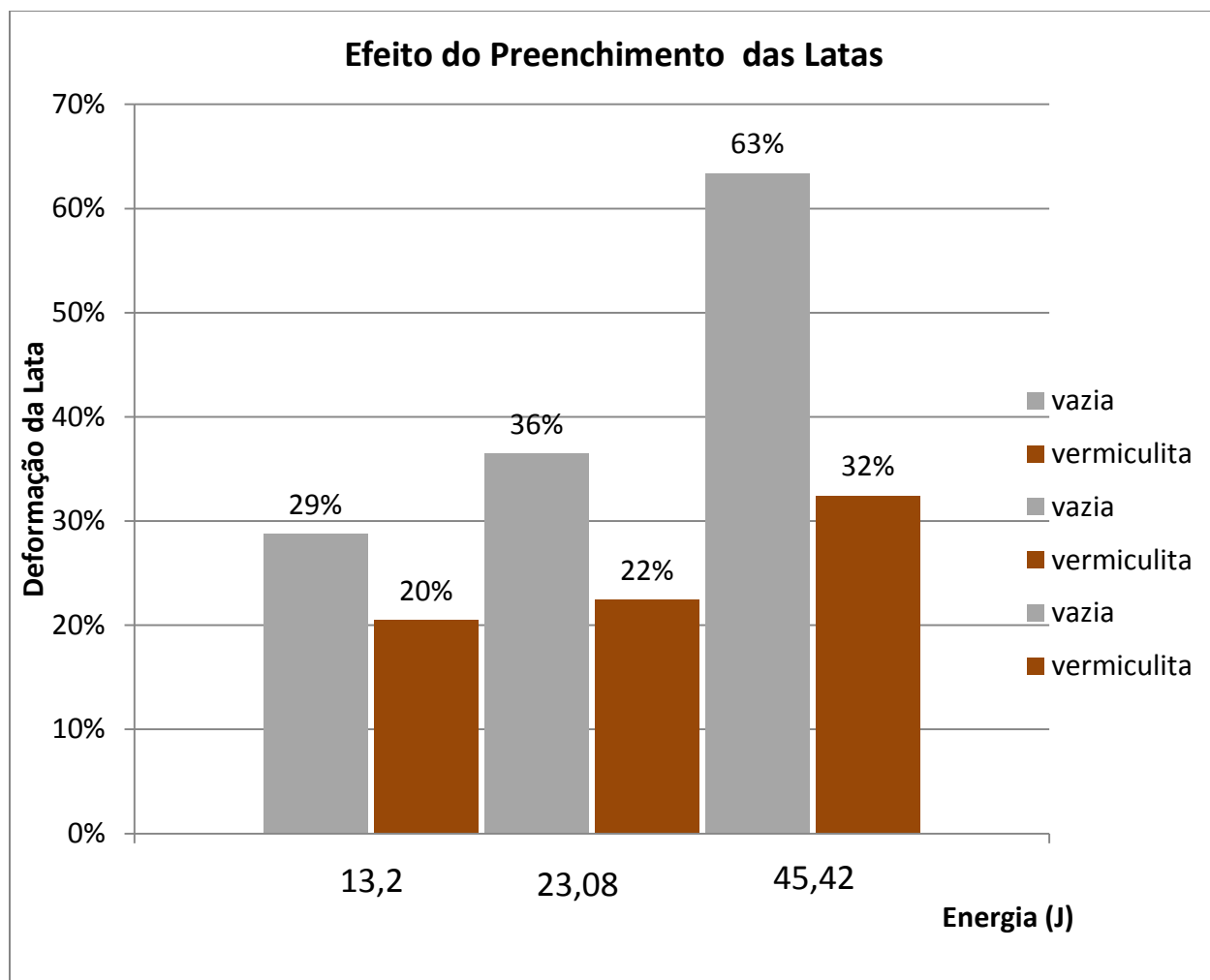


Figura 48: Gráfico da influência do preenchimento das latas.

4.3.3 Análise dos ensaios em trenó de impacto

A tabela abaixo apresenta de forma resumida os principais resultados dos ensaios de impacto por trenó.

Tabela 43: Principais resultados nos ensaios de trenó de impacto

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9	Ensaio 10	Ensaio 11	Ensaio 12
	Condição das latas		Condição das latas		Condição das latas		Condição das latas		Condição das latas		Condição das latas	
	Separadas	Unidas	Separadas e c/ verm.	Unidas e c/ verm.	Separadas	Unidas	Separadas e c/ verm.	Unidas e c/ verm.	Separadas	Unidas	Separadas e c/ verm.	Unidas e c/ verm.
Média da Altura da Lata (cm)	8,8	9,1	9,9	10,0	7,9	7,9	9,6	9,7	4,5	4,7	8,4	8,5
Deformação	29%	26%	20%	19%	36%	36%	22%	21%	63%	62%	32%	31%
Energia por Lata (J)	13,20	13,2	13,2	13,2	23,08	23,08	23,08	23,08	45,42	45,42	45,42	45,42
Força Média (N)	370,7	404,9	519,7	554,6	510,6	515,2	830,2	867,7	577,9	593,0	1129,9	1176,7

Avaliando os dados da tabela foi possível perceber uma grande diferença entre as deformações das latas em cada ensaio, assim como nos ensaios de compressão semi-estática e no ensaio de impacto por queda livre as latas arranjadas contendo vermiculita expandida apresentaram valores maiores de força média de deformação. Os ensaios que utilizaram a barreira de impacto com latas preenchidas com vermiculita obtiveram 1,7 vezes a mais de força média por latinha, e deformaram muito menos que as latas vazias.

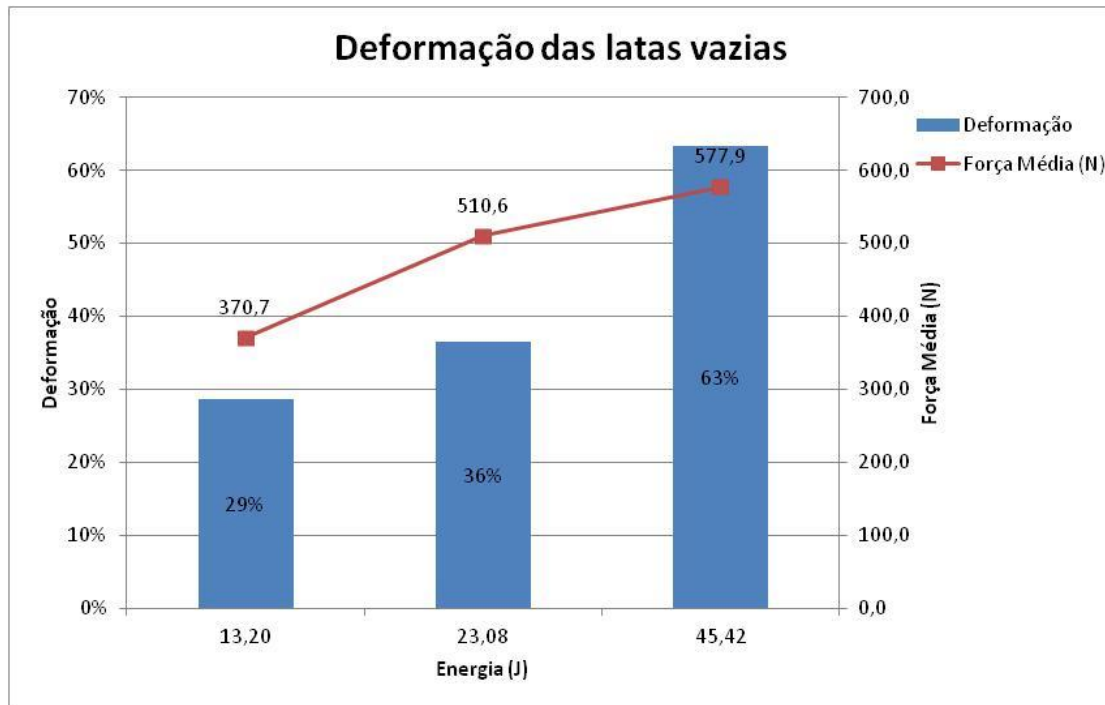


Figura 49: Gráfico da deformação em latas vazias

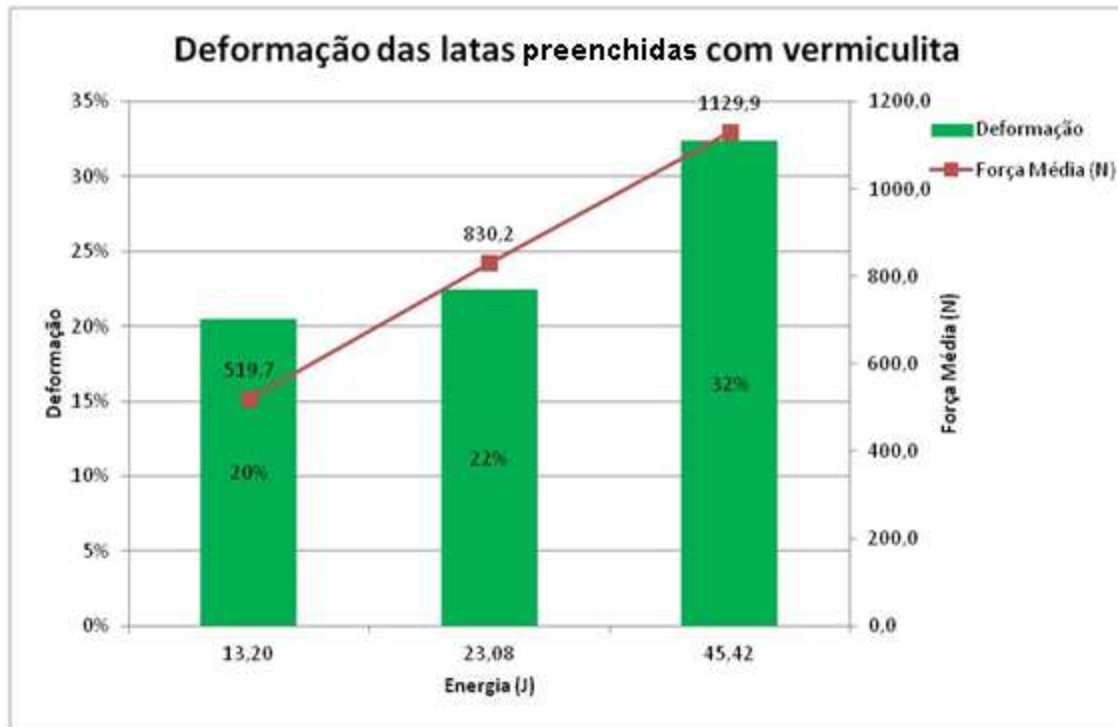


Figura 50: Gráfico deformação em latas com vermiculita

4.4 Análise comparativa entre os ensaios dinâmicos

Os resultados obtidos nos ensaios dinâmicos de impacto por queda livre e por trenó apresentaram valores semelhantes de deformação e força média para cada situação ensaiada, a relação de força média entre latas preenchidas com vermiculita e latas vazias apresentou um valor de 1,6 vezes maior para o ensaio dinâmico de impacto por queda livre e 1,7 vezes maior para o ensaio de impacto em trenó. A deformação das latas em cada ensaio também apresentou semelhança de valores, os gráficos abaixo contêm um comparativo com os resultados de cada ensaio dinâmico.

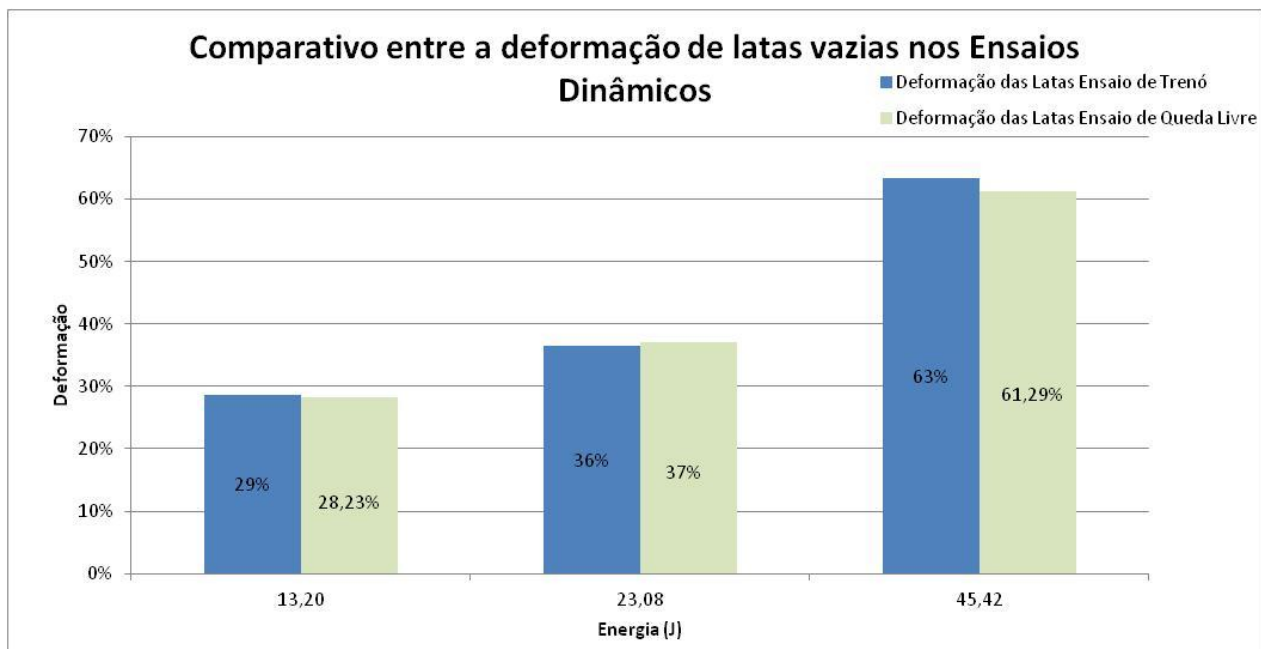


Figura 51: Gráfico comparativo de deformação das latas vazias entre os ensaios dinâmicos

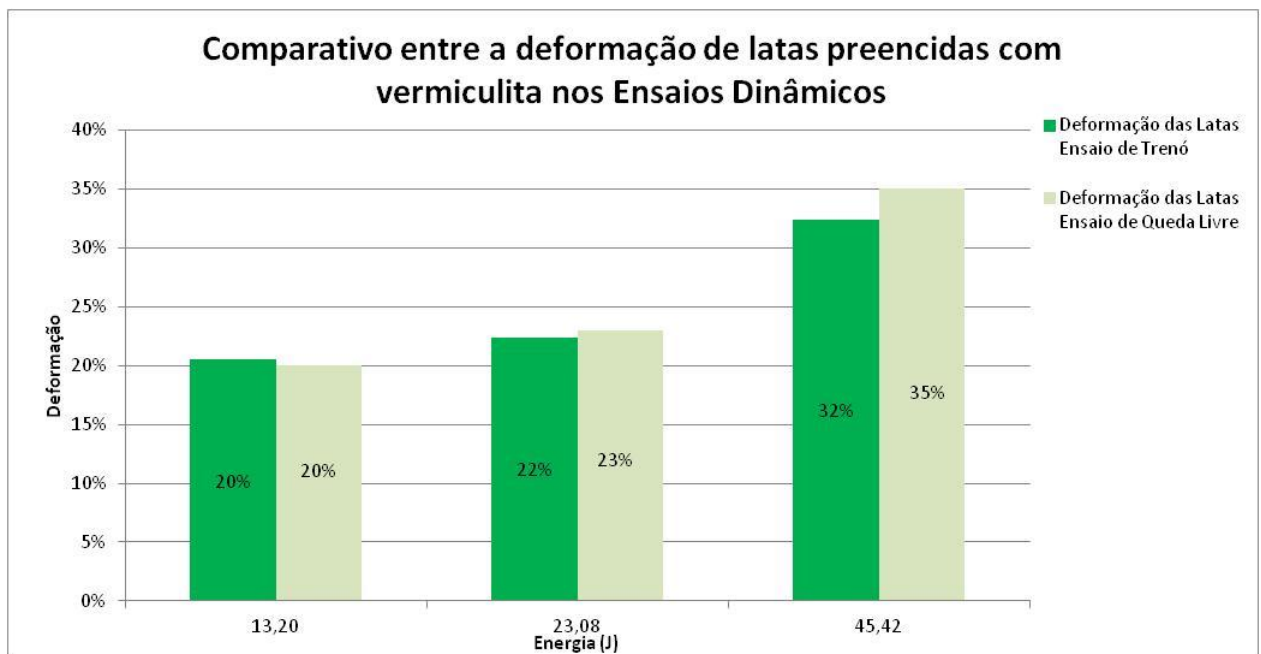


Figura 52: Gráfico comparativo de deformação das latas com vermiculita entre os ensaios dinâmicos

A relação encontrada entre energia envolvida no ensaio e deformação da lata propiciou a utilização da barreira de impacto composta por latas de alumínio de maneira efetiva para o equipamento o equipamento de *Sled Test*. Sendo possível assim controlar o tipo de impacto ideal para cada situação. Opta-se por latinhas com vermiculita como barreira de impacto visando uma batida “mais seca”, a utilização de latinhas vazias proporcionará uma batida com um maior tempo de dissipação de energia e maior deformação da lata, sendo assim uma batida “mais suave”. Sendo que para batidas com energia de até 350 joules as latas vazias apresentam um melhor comportamento de dissipação de energia, tornando-as ideais para a composição da barreira de impacto. Para batidas acima de 350 joules deve ser considerada a hipótese de utilizar uma barreira de impacto composta por mais de cinco latas de alumínio vazias ou utilizar latas preenchidas com vermiculita (Anexo C). Para ensaios com grandezas de medidas próximas as utilizadas na norma brasileira, pode-se utilizar outros elementos como absorvedores de impacto (Anexo A).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o comportamento de latas de alumínio em ensaios semi-estáticos e dinâmicos, para fins de absorção de energia de impacto e permitiu as seguintes conclusões:

Os ensaios de compressão estáticos possibilitaram a determinação da força necessária para o início da deformação da lata (força de escoamento), força média de deformação durante o ensaio e o aumento da resistência ocasionado, pela formação das dobras, ou pela densificação da vermiculita expandida. A presença da vermiculita aumentou a resistência em 4 vezes quando comparado ao ensaio com lata vazia.

Nos ensaios dinâmicos por queda livre foi verificado o aumento de 60 % da força média para as latas contendo vermiculita. A diferença dos valores obtidos nos ensaios estáticos e dinâmicos está relacionada com o tempo de atuação da aplicação da carga.

Os ensaios dinâmicos, em aplicação específica em trenó de impacto, possibilitaram avaliar a deformação e a força média em função das energias envolvidas. Os resultados obtidos permitiram estimar os parâmetros de utilização de latas de alumínio vazias ou preenchidas para diferentes condições de absorção de energia de impacto. O arranjo físico composto por cinco latas de alumínio preenchidas com vermiculita apresentou um valor de força média 1,7 vezes maior quando comparado ao conjunto de latas vazias evidenciando a influência do preenchimento e do arranjo físico.

Analisando a influência da forma da barreira de impacto foi possível concluir, que as latas de alumínio que estavam dispostas separadas apresentaram valores de deformação muito parecidos quando comparadas as latas que estavam unidas com fita adesiva, sendo assim o fator forma não apresentou mudanças significativas nos resultados.

Os ensaios dinâmicos de impacto por queda livre e impacto por trenó apresentaram valores similares de deformação tanto das latas preenchidas com vermiculita quanto das latas de alumínio vazias.

As latas de alumínio vazias apresentaram melhor comportamento na absorção de impacto para energias de até 65 J por lata. Considerando que para a aplicação desejada, trenó de impacto com arranjo físico de cinco latas alinhadas, e com energia máxima envolvida até 350 joules a solução de utilizar latas vazias foi a que apresentou melhor resultado.

Conclui-se que as latas de alumínio apresentam indícios satisfatórios e significativos quanto da sua utilização como agentes absorvedores de energia. A opção de utilizá-las torna-se uma alternativa viável pela facilidade de aquisição do produto, pelo fator econômico (custo das latas), pela condição de reciclagem, e pela característica de absorção de impacto, com deformação controlada. Os dados levantados para conjuntos de latas de alumínio permitem projetar soluções construtivas de absorção de impacto para diferentes aplicações.·.

Sugestões e trabalhos futuros

Para um melhor entendimento sobre as deformações em latas de alumínio deverá ser realizada uma análise utilizando softwares de elementos finitos bem como um modelamento matemático para prever a deformação e força média imposta em cada lata para outras utilizações.

Analisar utilizando acelerômetros às curvas de desaceleração obtidas pela absorção da energia de impacto em cada ensaio.

Avaliar o comportamento de latas de alumínio com outras dimensões disponíveis no mercado, bem como o material de preenchimento das latas.

Utilizar câmeras de alta velocidade para visualizar o comportamento do início até o final da deformação visando analisar a formação de dobras.

Referências bibliográficas

- A. PUGSLEY M. MACAULAY. (1960). The large-scale cumpling of thin cylindrical columns. *J. of Mechanics and Applied Mathematics*, pp. 1-9.
- A.G. HANSSEN, M. L. (Abril de 2000). Static and dynamic crushing of square aluminium extrusions with aluminium foam filler. *International Journal of Impact Engineering*.
- A.G. HANSSEN, M. L. (January de 2001). Optimum design for energy absorption of square aluminium columns with aluminium foam filler. *International Journal of Mechanical Sciences*.
- ABRALATAS. (2011). *Associação Brasileira de Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade*. Acesso em 2011, disponível em <http://www.abralatas.org.br/common/html/estrutura.php>.
- ABRAMOWIXZ W, W. T. (1988). Axial crushing of foam filled columns. *International Journal of Mechanical Science*.
- ALCOA. (s.d.). *Catalogo eletrônico de ligas de alumínio*. Acesso em 2011, disponível em http://www.alcoa.com/brazil/catalog/pdf/Catalogo_Ligas_e_Temperas_final_baixa.pdf.
- ALEXANDER, J. (1960). An approximate analysis of the collapse of thin cylindrical shells under axial load. *J. of Mechanics and Applied Mathematics*, pp. 10-15.
- ALGHAMDI, A. (2000). Collapse impact energy absorbers: an overview. *Thin - Walled Structures*.
- BERTOCCHI, M. (2005). *Segurança Veicular*. Campinas: Skill Elaboração de Materiais Didáticos Ltda.
- BIRCH, R. (2005). Impacto Veicular "Crashworthiness". In: S. Gerges, *Ruídos e Vibrações Veiculares*. Florianópolis.
- BRADASCHIA, C. (1981). *Fundição de ligas não-ferrosas: técnica de fundição do alumínio*. São Paulo: Édile.
- BUGELLI, B. E. (2005). Estudo do Impacto Axial em Tubos para Ensaio em Segurança Veicular. *Trabalho de Graduação, Escola Politécnica Universidade de São Paulo*.
- CUNAT, P. (2000). Stainless steel properties for structural automotive applications. *Metal bulletin international automotive materials conference*. Cologne.
- DENATRAN. (s.d.). *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Acesso em 2010, disponível em <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/anuario-2007.pdf>.
- FROSCH, R. (1977). *Patente N° 4,118,014*. EUA.

- HAMBLY ET, C. C. (1996). Buckling Experiments on Damages Cylindrical Shells. *International Journal of Solids Structures*.
- JONES, N. (1997). Structural Impact.
- JORGE, F. A. (2011). Fabricação, por tixoinfiltração, de materiais de baixa densidade a partir da liga AA 7075 e caracterização de suas propriedades físicas e mecânicas. *Tese de Doutorado, Unicamp*.
- KARAGIOZOVA, D. A. (2004). Transition from progressive buckling to global bending circular shells under axial impact- Part I: Experimental and numerical observations. *International Journal of Solids and Structures*.
- KING, A. (1993). Progress of Research on Impact Biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*, pp. 582-587.
- LU, GUOXING E YU, TONGXI. (2003). ENERGY ABSORPTION OF STRUCTURES AND MATERIALS. *WOODHEAD Publishing Limited*.
- M. KROGER, H. Z. (2008). Bending behavior of empty and foam-filled beams: Structural optimization. *International Journal of Impact Engineering*.
- M. KROGER, H. Z. (2008). Optimization of the foam-filled aluminum tubes for crush box application. *Thin-Walled Structures*.
- MACARTHUR, E. (2004). *Como se dissipa a Energia Cinética. In El Buen Camino: Renault y La Seguridad*.
- MADUREIRA, M. O. (2000). *Dinâmica da segurança veicular*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- MENEZES, C. (2004). Desenvolvimento de pára-choque traseiro para veículos de carga. Análise de materiais aplicados a estruturas de absorção progressiva de energia de impacto. *Tese de Doutorado Unicamp*.
- MIRANDA, V. (2007). Sobre a utilização de tubos preenchidos com espuma de alumínio para proteção contra impacto.
- MN., N. (1993). Impact energy dissipation characteristics of thin-walled cylinders. *Thin-Walled Structure*.
- ONUSIC, H. (1996). HIC (Head Injury Criterion) and SI (Severity Index) of Impactis with different pulse shapes. *International Journal Vehicle Design*, pp. 194 -202.
- PALANIVELU P., P. W. (2011). LOW VELOCITY AXIAL IMPACT CRUSHING PERFORMANCE OF EMPTY RECYCLABLE metal beverage cans. *International Journal of Impact Engineering*.
- REDDY TY, A.-H. S. (1993). Axial crushing of wood-filled square metal tubes. *International Journal of Mechanical Science*.

- REDDY TY, W. R. (1988). Axial compression of foam-filled thin-walled circular tubes. *International Journal of Impact Engineering*.
- REFRATIL. (2011). *Características granulométricas da vermiculita*. Acesso em 2011, disponível em <http://www.refratil.com.br/main.php?exec=swpage.php&id=25>.
- REXAMCAM. (2012). *Dimensões da lata de alumínio para embalagens de bebidas*. Acesso em 2011, disponível em http://www.rexamcan.com.br/produtos/lata_12_SDN.asp.
- ROBERTS, S. (1969). Head Trauma - A parametric Dynamic Study . *Journal Biomechanics*, pp. 397-415.
- S.R.REID. (1993). Plastic deformation mechanism in axially compressed metal tubes used as impact energy absorbers. *Inter.J. of Mechanical Sci.*, pp. 1035-1052.
- S.SHABEYK, A. A. (2005). Axial crushing of metal foam filled square columns: Foam density distribution and impact inclination effects. *Thin Walled Structures*.
- TERAMOTO, S. (2004). *Flambagem progressiva e global de cascas sujeitas a impacto axial. Dissertação de mestrado*. São Paulo: EPUSP .
- THOMASSONI, J. (1980). An approach to developing underride guard requirements for improves occupant protection. *SAE 801422*.
- VERRAN, G. O. (2004). Reciclagem de latas de alumínio visando a obtenção de matérias primas com qualidade para aplicação em processos metalúrgicos de fabricação. *Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e* . Florianópolis.
- WARD, C. (1981). Intracranial Pressure - A Brain Injury Criterion . *SAE 801304*.

Anexo A- Avaliação dinâmica de dispositivos de retenção para crianças em ensaio de queda livre.

Resumo

Estudo teórico-experimental do pulso de impacto em simulações de colisões automobilísticas, para fins de realização em testes de dispositivos de retenção para crianças. Utiliza como elemento absorvedor de impacto uma estrutura metálica composta por tubo de alumínio como suporte e parte frontal em formato de pirâmide, reduzindo o custo operacional do equipamento, o qual foi idealizado, projetado, construído e instalado para simulações de colisão frontal com operação vertical. Objetiva analisar o pulso de desaceleração durante a colisão do elemento deformável contra a barreira de impacto. A meta é aproximar os resultados visando cumprir o requerido pela norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas, Veículos Rodoviários - Dispositivos de Retenção para Crianças - Requisitos de Segurança ABNT NBR 14400.

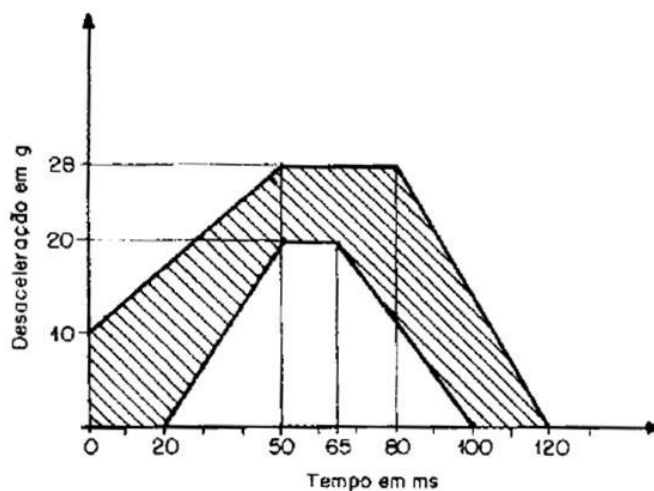


Figura 1: Curva de desaceleração para dispositivos de retenção infantil

A totalidade dos itens de segurança utilizados nos automóveis para proporcionar redução de lesões nos ocupantes, em caso de colisão veicular, deve passar por testes de impacto, os quais são realizados por amostragem. Os testes normalmente estão vinculados a normas de segurança,

sejam elas externas ex: ECE R44 ou internas a empresa fabricante do componente de segurança automotiva ou das montadoras.

Procedimentos experimentais

Fundamentação física do ensaio de impacto

O método que foi utilizado nos ensaios consistiu em realizar testes verticais, que utilizavam a gravidade terrestre como meio de aceleração. Nesse caso a aceleração ocorreu pela transformação de energia potencial ($m \cdot g \cdot h$) em energia cinética ($m \cdot v^2/2$). Esse tipo de teste não é previsto na norma NBR 14400, mas pôde ser considerado como uma aproximação dos testes horizontais nela previstos, desde que sejam levadas em conta as diferenças decorrentes do fato de o boneco e a cadeirinha ficar voltados para baixo (no sentido da trajetória de queda).

Esse teste atingiu a mesma velocidade final (imediatamente anterior ao impacto) prevista na norma NBR 14400, que é de 50 km/h, ou 13,89 m/s. Considerando a aceleração da gravidade igual a $9,8 \text{ m/s}^2$, e assumindo uma resistência do ar desprezível, seguindo a Equação de Torricelli:

$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta x \Rightarrow (13,89)^2 = 0 + 2 \cdot (9,8) \cdot \Delta x \Rightarrow \Delta x = 9,84 \text{ m} \quad (1)$$

onde: a é a aceleração, V é a velocidade, e Δx é a distância percorrida. Portanto, um carro de teste precisou percorrer 9,84 m em queda livre para atingir 50 km/h.

Os testes gravitacionais consistiram em suspender essas carroçarias com uma talha, em prédio em construção, até uma altura mínima de 12 metros. Desses 12 metros: 9,84 m foram para o percurso da queda livre, 1,10 m é o comprimento da carroçaria cortada, e os centímetros restantes foram utilizados como margem de segurança. Os ensaios resultaram em uma energia de aproximadamente 21 kJ.

Para a realização desse tipo de ensaio foi utilizado um veículo cortado ao meio e mantida a traseira com banco com cinto de segurança de três pontos, conforme as especificações da norma NBR 14400. Foram utilizadas carroçarias de veículos de pequeno porte (RENAULT TWINGO) e (FIAT UNO) soltos da altura calculada.

Os amortecedores de impacto foram compostos por uma estrutura metálica como corpo e uma parte frontal em formato de pirâmide, o corpo foi composto por um tarugo de aço no primeiro ensaio e por um tubo de alumínio no segundo ensaio. Para cada ensaio foram utilizados quatro amortecedores fixados num quadro de alumínio, o qual estava preso na estrutura do carro,

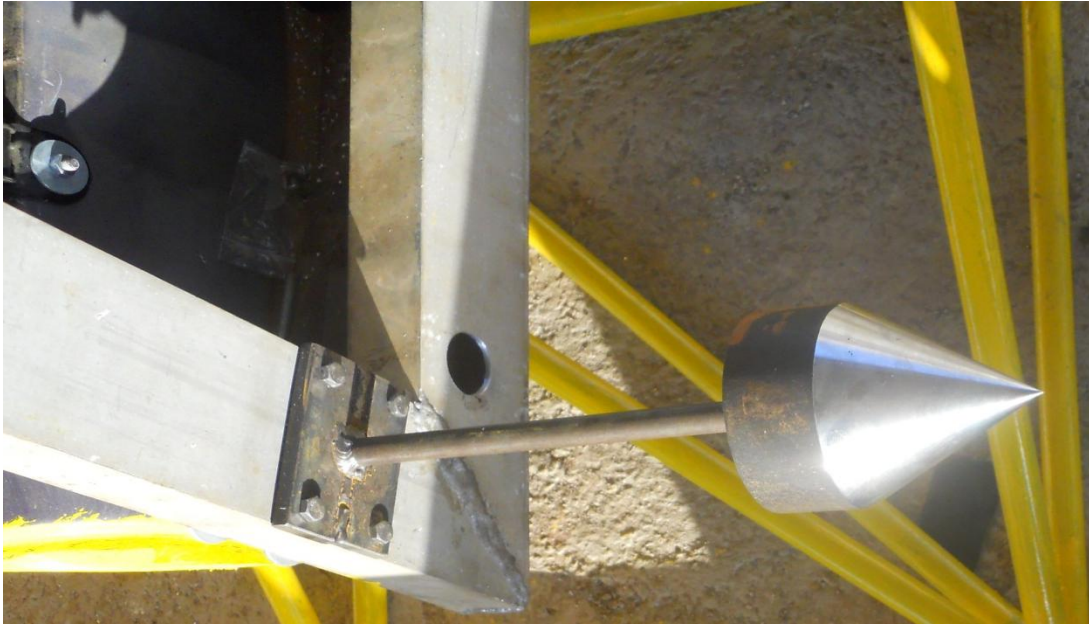


Figura 2: Elemento absorvedor de energia do ensaio numero 1

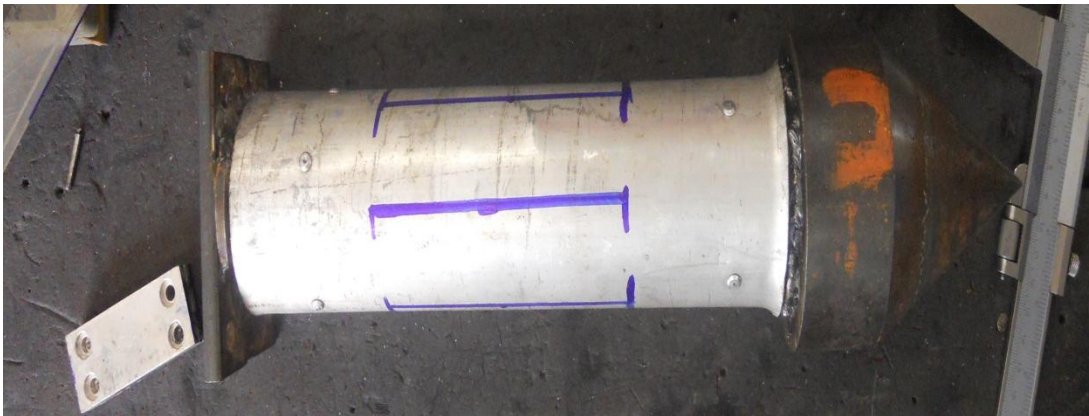


Figura 3: Elemento absorvedor de energia do ensaio numero 2

A barreira de impacto foi composta por 3m³ de areia compactada no buraco destinado ao fosso do elevador do prédio em construção. Visando um impacto uniforme a areia foi molhada, compactada e nivelada.

Devido ao fato de haver pouco espaço entre o carro e os vãos do prédio foram instalados quatro tubos de poliamida na carroceria para garantir o alinhamento do carro durante a queda diminuindo qualquer movimento indesejado, tais tubos deslizaram em cabos de aço fixados na estrutura do ensaio.



Figura 4: Esquema com carroceria e tubos guias



Figura 5: Carro pronto para ser içado, visualização dos tubos guias, cabos de aço e distancias entre o carro e o fosso

Em cada ensaio foram montados dois dispositivos de retenção infantil e bonecos com medidas antropométricas referentes a uma criança de 18 meses, tais bonecos foram preenchidos com areia, chumbo e espuma de vedação visando atingir a massa requerida na norma ECE R44.03.

Tabela 1: Distribuição de massa de um manequim de 18 meses

Component	Mass (kg)
Head+neck	2.73
Torso	5.06
Upper arm	0.27
Lower arm	0.25
Upper leg	0.61
Lower leg	0.48
Total mass	11.01

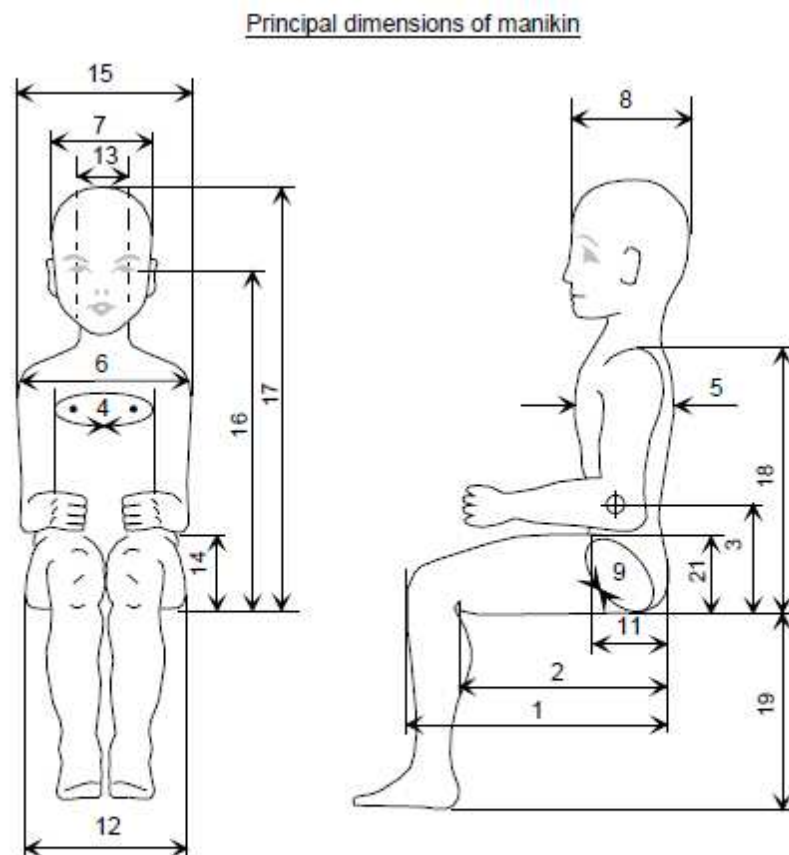


Figure 1

Principal dimensions of the 18 months manikin

Figura 6: Principais dimensões do manequim de 18 meses

Tabela 44: Dimensões do manequim de 18 meses

Table 2

No.	Dimension	Value (mm)
1	Back of buttocks to front of knee	239
2	Back of buttocks to popliteus, sitting	201
3	Centre of gravity to seat	193
4	Chest circumference	474
5	Chest depth	113
7	Head width	124
8	Head length	160
9	Hip circumference, sitting	510
10	Hip circumference, standing (not shown)	471
11	Hip depth, sitting	125
12	Hip width, sitting	174
13	Neck width	65
14	Seat to elbow	125
15	Shoulder width	224
17	Height, sitting	495 [*] / _—
18	Shoulder height, sitting	305
19	Sole to popliteus, sitting	173
20	Stature (not shown)	820 [*] / _—
21	Thigh height, sitting	66



Figura 7: Manequim utilizado durante os ensaios

Para medir a velocidade e variação da aceleração durante os ensaios foram utilizados acelerômetros instalados na carroceria do carro e no boneco de ensaio.

Resultados e Discussões

Ensaio numero 1

Após soltar o carro de aproximadamente 12 metros este percorreu a distância de 10 metros até colidir com a barreira de impacto composta por areia compactada, neste ensaio a velocidade atingida no momento antes do impacto foi de $13,66 \text{ m/s}^2$ (49,2 km/h), durante a queda o carro não apresentou nenhum movimento indesejado e caiu de maneira uniforme.



Figura 8: Carro após impacto contra areia

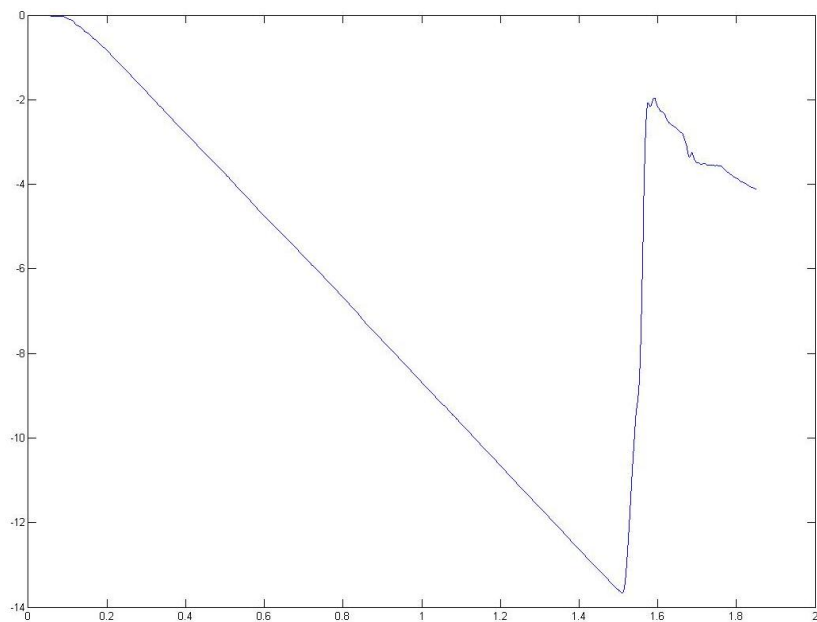


Figura 9: Velocidade no primeiro ensaio

Os valores de desaceleração foram superiores aos requeridos pelas normas dos ensaios de dispositivos de retenção infantil, atingiram aproximadamente 45g de pico de desaceleração num intervalo de 80 milissegundos, tais dispositivos demonstraram um comportamento satisfatório para o ensaio cumprindo com as especificações da norma.

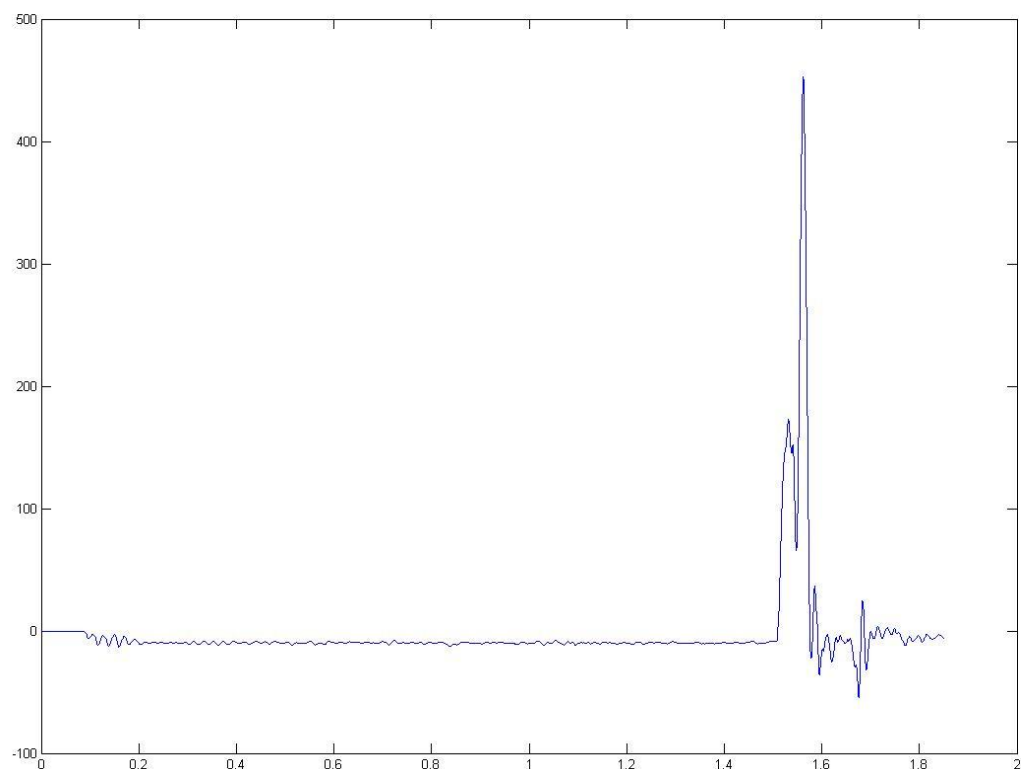


Figura 10: Desaceleração durante o primeiro ensaio

Os elementos de absorção de impacto sofreram deformação por flambagem global, tal deformação promoveu a dissipação de energia e provocou a desaceleração.

A estrutura do ensaio e do carro não foi comprometida após a execução do teste possibilitando assim um segundo ensaio.

Ensaio numero 2

O segundo ensaio consistiu em alterar o formato do elemento de absorção de impacto, sendo este composto por tubos de alumínio com a parte frontal em formato de pirâmide(igual a do primeiro ensaios). Tal alteração influenciou de maneira em diminuir os picos de desaceleração durante o impacto.



Figura 11: Deformação do elemento absorvedor do segundo ensaio

Neste ensaio a velocidade antes do impacto foi de $13,5 \text{ m/s}^2$ (48,6 km/h) e o pico de desaceleração foi de 35g, o intervalo de desaceleração foi de 80 milissegundos. Tal comportamento de desaceleração se aproximou mais da curva requerida pela norma de ensaio, infelizmente a estrutura do veículo ficou comprometida e impossibilitou novos testes.

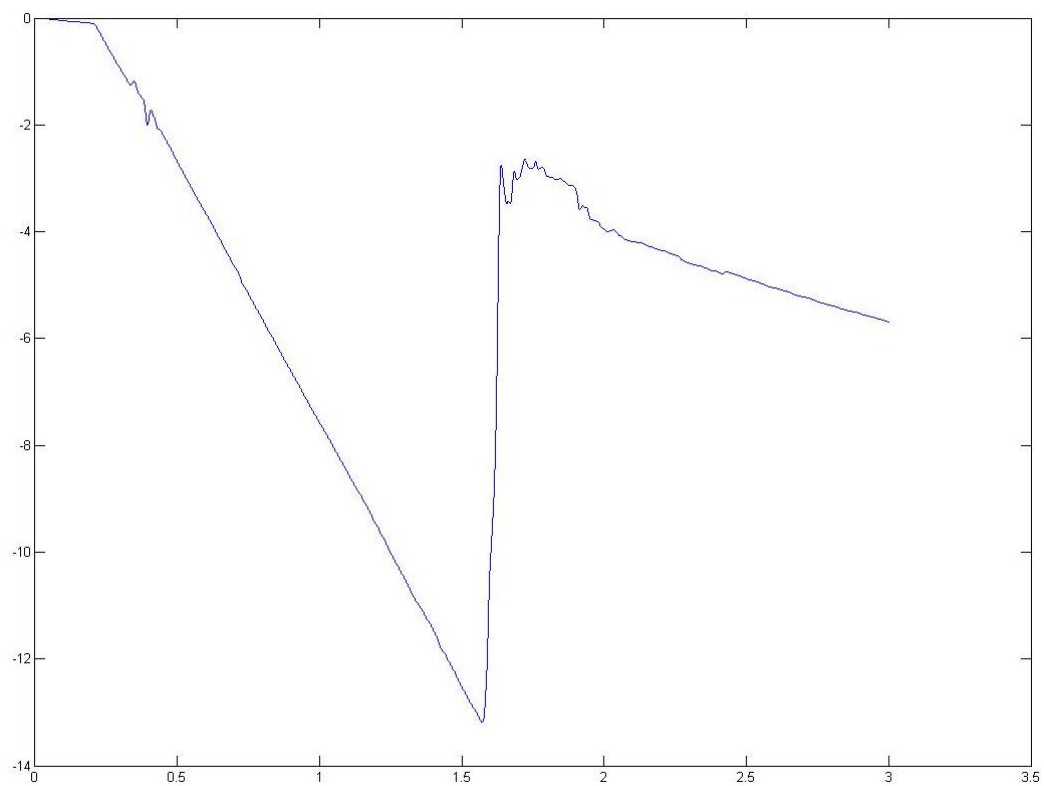


Figura 12: Velocidade durante o segundo ensaio

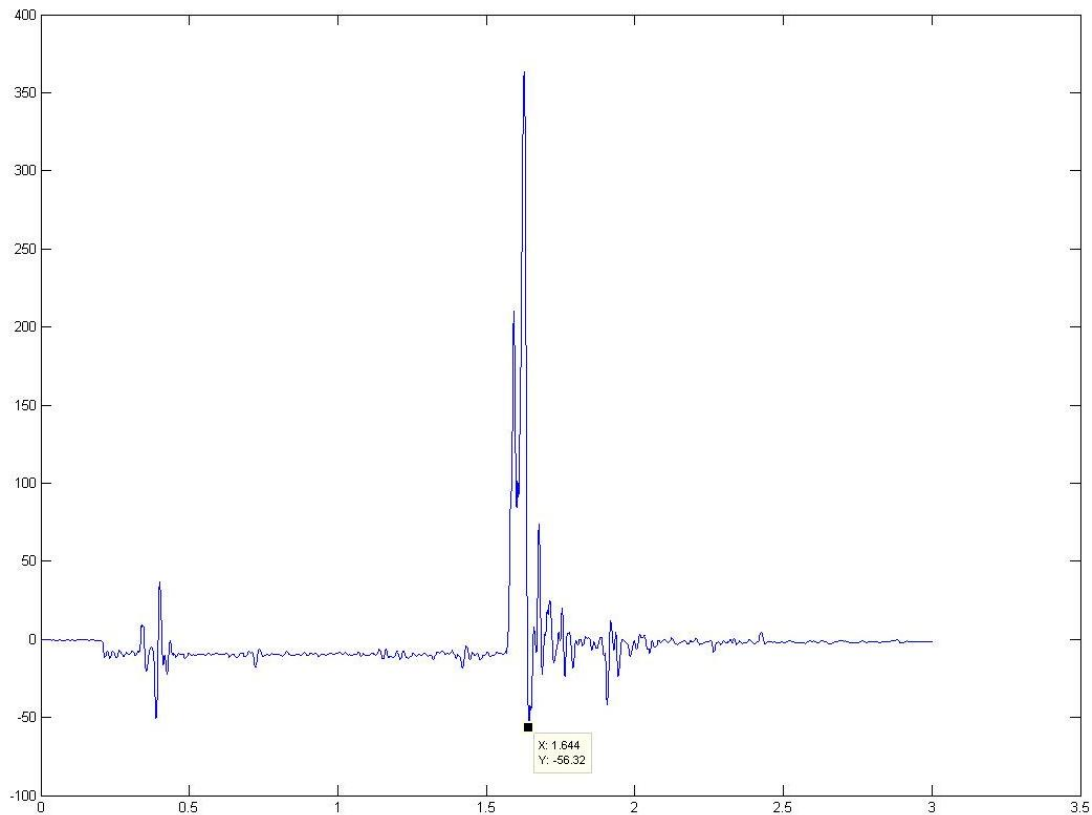


Figura 533: Desaceleração durante o segundo ensaio

Conclusão

O pulso de desaceleração ficou perto do desejado ainda assim os custos destes ensaios ficaram elevados. As características mecânicas dos materiais e da resistência à penetração proporcionada pelo formato da ogiva de impacto e de seus estruturais internos e externos recorre a soluções não convencionais para se obter reprodutibilidade de ensaio que são onerosas. A opção de utilizar latas de alumínio tornou-se inviável pelo número de latas a serem utilizadas (aproximadamente 500 latas por ensaio).

Anexo B - Produção de Latinhas com Laminados de Alumínio

O processo de fabricação de uma lata apresenta oito estágios produtivos descritos a seguir e representados na figura abaixo. Estas etapas consistem em:

- Primeiro estágio é a formação do corpo. O alumínio laminado, que vem em grandes bobinas, entra na prensa de estampagem. O equipamento computadorizado corta a chapa em vários discos dando-lhes a forma de um copo. O alumínio neste estágio ainda possui a espessura da lâmina original.

- No segundo estágio, os copos seguem para outra prensa onde suas paredes externas, submetidas a uma grande pressão, irão adelgaçar sua espessura e serão alongadas para formar o corpo da lata, tal como o conhecemos. Na saída da prensa, as bordas superiores são aparadas para que todos os corpos fiquem da mesma altura.

- No terceiro estágio se realiza a lavagem da lata, por dentro e por fora. Na lavadora, as latinhas passam por vários banhos e depois passam para um forno de secagem, o que garante sua limpeza e esterilização.

- No quarto estágio, o da impressão, os rótulos são feitos por um sistema de flexografia e podem receber várias cores ao mesmo tempo. As máquinas mais modernas conseguem imprimir acima de duas mil latinhas por minuto.

No quinto estágio é o revestimento interno. As latinhas recebem jatos de spray especial para formar uma película de proteção extra. Depois, seguem novamente para um forno de secagem.

- A sexta etapa de fabricação é a moldagem dos "pescoços" e do perfil da borda da lata, para que a tampa possa ser encaixada. O diâmetro da boca, diminuído nos últimos anos, permite utilizar uma tampa menor. Consequentemente, reduz o custo e o peso da embalagem.

- Com o corpo da latinha pronto, o sétimo estágio é o controle de qualidade, feito por meio de um teste de luz de alta intensidade. Todas as latas passam por esta avaliação, que é capaz de detectar qualquer defeito. De cada lote produzido são retiradas amostras para controle estatístico de qualidade, inclusive testes mecânicos de resistência à pressão interna e externa.

- No oitavo e último estágio, qualidade e resistência são condições essenciais de uma boa tampa, produzida com alta tecnologia e usando um sistema chamado "*stay-ontab*" (anel que não se desprende da tampa). As tampas são estampadas a partir de uma lâmina envernizada de ambos os lados. Em seguida, recebem um composto selante para garantir a perfeita vedação entre elas e os corpos. São, posteriormente, colocadas em prensa de alta precisão para formação e fixação dos anéis. Depois de prontas e inspecionadas, as tampas são embaladas para armazenagem e transporte.

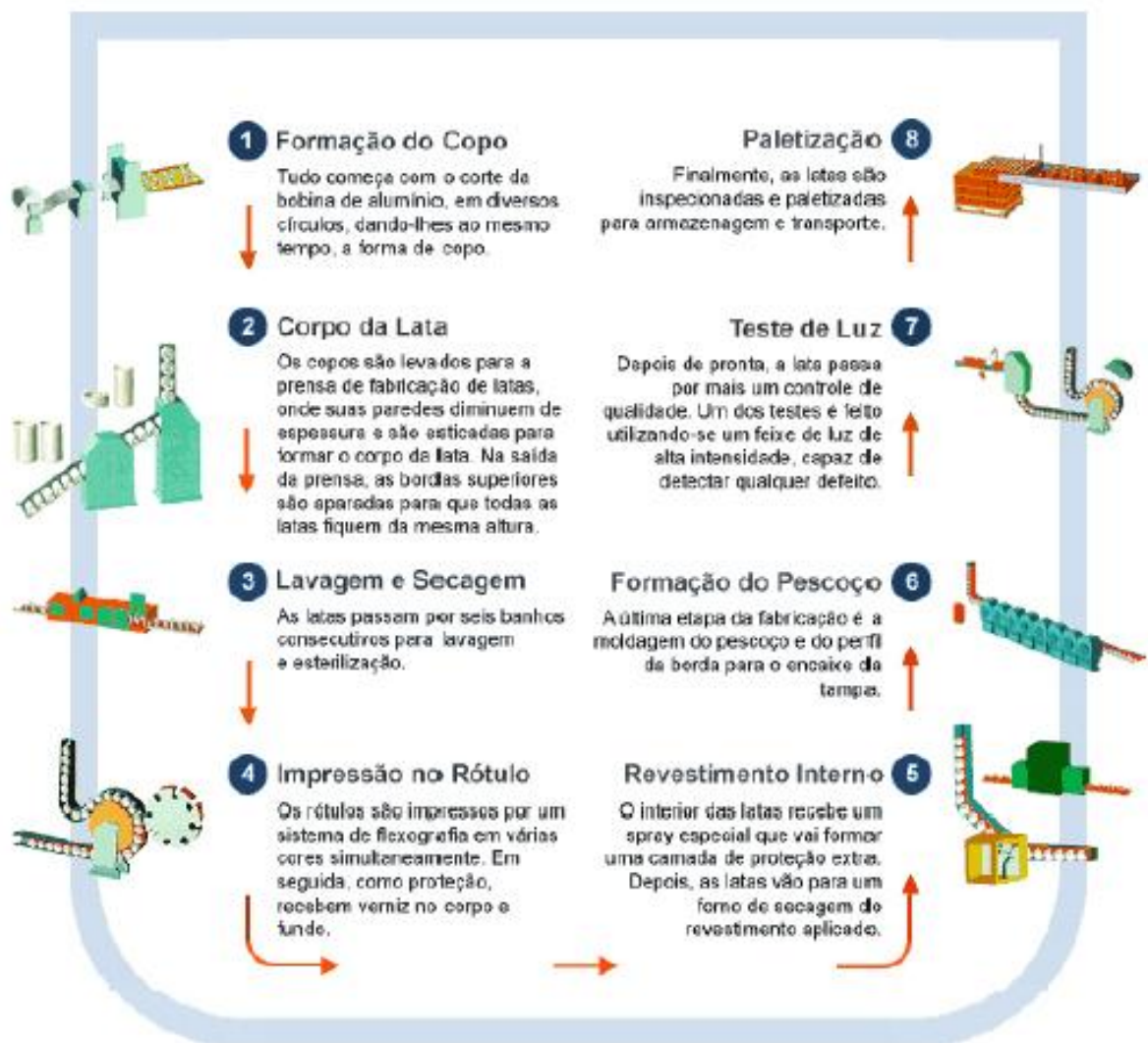


Figura 1: Fluxograma da produção de latas de alumínio (Abralatas, 2011)

Curiosidades sobre as latas de alumínio:

Dentre as principais curiosidades sobre as latas de alumínio (Abralatas, 2011):

- As tampas representam 23% do peso total da lata e são feitas com uma liga de alumínio mais resistente.
- Se enfileirássemos todas as latas de alumínio produzidas no Brasil em um ano (mais de 13 bilhões) seria suficiente para dar 40 voltas ao redor da Terra.
- 558 latas são produzidas no Brasil por segundo.
- Hoje 74 latas são produzidas com 1 kg de alumínio, enquanto que em 1992, 64 latas e em 1972, 49 latas.
- As linhas de enchimento dos fabricantes de bebidas passaram das 30 mil latas/hora para 120 mil latas/hora nos últimos anos.
- Hoje as latas de alumínio são 32% mais leves que as produzidas há 25 anos.
- Com uma chapa de alumínio de 1 metro de comprimento por 1,72m de largura, podem ser produzidas 99 latas.
- O Brasil tem uma das três maiores reservas de bauxita do mundo.
- Cada 1.000 kg de alumínio reciclado significam 5.000 kg de minério bruto (bauxita) poupados.
- Para reciclar o alumínio são gastos apenas 5% da energia que seria utilizada para se produzir o alumínio primário, ou seja, uma economia de 95%.
- No Brasil, mais de 17% das bebidas são envasadas em latas de alumínio.
- Atualmente no Brasil aproximadamente 38% de toda cerveja e 8% de todo refrigerante são envasados em latas de alumínio.
- Em 2005, 60,3% das cervejas e 46,6% dos refrigerantes produzidos nos Estados Unidos foram envasados em latas de alumínio.
- A cadeia da reciclagem do alumínio no Brasil - coleta, recuperação, transporte etc - envolve mais de 2 mil empresas e proporciona uma fonte de renda alternativa e ocupação para mão-de-obra não qualificada.
- O ciclo de vida da lata de alumínio - espaço entre a produção e o retorno aos centros de reciclagem - leva em média 30 dias.

- A coleta de latas usadas envolve o equivalente a mais de 200 mil no Brasil, que vivem exclusivamente desta atividade com renda média de dois salários mínimos.
- Em 2009 o Brasil reciclou 98,2% das mais de 14,5 bilhões de latas de alumínio consumidas, mantendo o país como campeão mundial, pelo oitavo ano consecutivo, entre os países onde a atividade não é obrigatória.
- A lata de alumínio gela mais depressa e ocupa menos espaço no freezer e na geladeira.
- Depois de pronta, a lata de alumínio passa por um rigoroso controle de qualidade e que um dos testes é feito utilizando-se um feixe de luz de alta intensidade capaz de detectar qualquer defeito.
- As latas de alumínio são formadas por duas partes básicas (corpo e tampa) e que o fundo da lata se encaixa perfeitamente na tampa de outra lata, facilitando o armazenamento.
- As tampas e os corpos das latas de alumínio são fabricados em fábricas diferentes.
- As empresas produtoras de latas e tampas estão presentes em todas as regiões brasileiras e atendem a todo o Brasil.

Anexo C- Ensaio em Trenó de Impacto com Energia acima de 300 joules

Ensaio n°1

O trenó de impacto com uma massa total de 42 quilos percorreu a distância de 6,5 metros em 1,63 segundos até colidir com a barreira de impacto formada por cinco latas de alumínio, a velocidade média calculada deste ensaio foi 3,98 m/s (equivalente a 14,35 km/h), a energia envolvida neste ensaio foi de 333,94 J, tal energia foi absorvida pela barreira de impacto, sendo que cada lata absorveu aproximadamente 66,79 J. A deformação e altura final de cada lata estão contidas na tabela abaixo.

Tabela 1: Ensaio em treno de impacto utilizando latas (vazias).

	Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
	3,1	75%
	3,15	75%
	3,15	75%
	3,2	74%
	3,15	75%
Média	3,15	75%
Desvio padrão	0,04	

Ensaio n°2

Os parâmetros utilizados nesse ensaio foram os mesmos dos utilizados no ensaio n°7, exceto pela barreira de impacto, que para este ensaio foi utilizada uma barreira de impacto composta por cinco latas preenchidas com vermiculita. A deformação e altura final de cada lata estão contidas na tabela abaixo.

Tabela 2: Ensaio em treno de impacto utilizando latas (com vermiculita).

	Altura final (cm)	Deformação da lata (%)
	8,1	35%
	8,2	34%
	8,2	34%
	8,2	34%
	8,3	33%
Média	8,20	34%
Desvio padrão	0,07	

Análise e Discussão dos Resultados dos Ensaios de Impacto por treno com Energia acima de 300 Joules

A tabela abaixo apresenta de forma resumida os principais resultados dos ensaios de impacto por treno.

Tabela 3: Tabela com os resultados do ensaio de impacto por treno.

	Ensaio 1	Ensaio 2
Condição da Lata	Vazia	Cheia
Altura Final da Lata (cm)	3,15	8,2
Deformação da Lata	75%	34%
Energia (J) por Lata	66,79	66,79
Força Média(N)	722,04	1590,20

Observando os dados percebe-se uma grande diferença entre as deformações das latas em cada ensaio, assim como nos outros ensaios as latas arrançadas contendo vermiculita expandida apresentaram valores maiores de Força média, tal comportamento é devido ao aumento da rigidez do conjunto e também a sua densificação durante os ensaios. Os ensaios que utilizaram a barreira de impacto com latas preenchidas com vermiculita obtiveram 2,35 vezes a mais de Força Média por latinha.

A relação encontrada entre energia envolvida no ensaio e deformação da lata propiciou a utilização da barreira de impacto composta por latas de alumínio de maneira efetiva para o

equipamento o equipamento de *Sled Test*. Sendo possível assim controlar o tipo de impacto ideal para cada situação. Opta-se por latinhas com vermiculita como barreira de impacto visando uma batida “mais seca”, a utilização de latinhas vazias proporcionará uma batida com um maior tempo de dissipação de energia e maior deformação da lata , sendo assim uma batida “mais suave”.