

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MACÊDO SANTOS DE OLIVEIRA**

**ESTUDO DE REAPROVEITAMENTO DE FILMES DE POLIETILENO PARA  
FABRICAÇÃO DE COLCHÕES DE AR COMPRIMIDO PARA UTILIZAÇÃO EM  
EMBALAGENS DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**BELÉM - PA**

**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDO DE REAPROVEITAMENTO DE FILMES DE POLIETILENO PARA  
FABRICAÇÃO DE COLCHÕES DE AR COMPRIMIDO PARA UTILIZAÇÃO EM  
EMBALAGENS DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Processos Industriais.

**MACÊDO SANTOS DE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ ANTÔNIO S. SOUZA**

**BELÉM - PA**

**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MACÊDO SANTOS DE OLIVEIRA**

**Título: Estudo de Reaproveitamento de Filmes de Polietileno para  
Fabricação de Colchões de Ar Comprimido para Utilização em  
Embalagens de Produtos Eletroeletrônicos**

**DEFESA DE MESTRADO**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica na área de concentração em Processos industriais do programa de pós-graduação Strictu Sensu em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – ITEC - UFPA**

Belém-Pa, \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/2011

---

Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza - UFPA  
Coordenador do CMPPI

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza  
Orientador - UFPA

---

Prof. Dr. Emanuel Negrão Macedo  
UFPA

---

Prof. Dr. João Nazareno Nonato Quaresma  
UFPA

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma direta ou indiretamente contribuíram com a evolução dessa dissertação e que, portanto, merecem meu profundo agradecimento, pois, tenho certeza de que a colaboração dessas pessoas foi fundamental para que essa dissertação fosse concluída.

Meus agradecimentos especiais ao Professor Doutor José Antonio Silva Souza, por sua contribuição em relação à idéia desse trabalho e pelo constante apoio durante o seu desenvolvimento. Agradeço, principalmente, por todas as leituras e releituras e pelas idéias e implementações que, sem dúvida, foram fundamentais para melhorar o conteúdo dessa tese, resultando nesta versão final.

Aos professores membros da banca de avaliação, pelas críticas construtivas, durante a qualificação, que foram fundamentais no realinhamento do tema dessa monografia.

Aos diversos profissionais de engenharia de P&D da Empresa Envision que permitiram que esse método fosse testado no setor de trabalho e que dispuseram a dar a sua contribuição. Por uma questão de sigilo comercial, não relaciono os seus nomes.

Aos professores da UFPA/ITEC que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração desse trabalho de pesquisa.

Aos alunos do Mestrado em Processos Indústrias, pela amizade, trocas de idéias para realização da dissertação.

A UFPA/ITEGAM, ao Departamento de pós-graduação, pelo o apoio administrativo para que o curso pudesse ter sido realizado da melhor forma possível.

Ao co-orientador Professor Ricardo Alfonso Blanco pelo apoio e dicas para estruturar a dissertação do mestrado.

*Com carinho,*

*Ao meu filho Anderson Lucas,  
razão de todo meu esforço.*

*À minha esposa Fabíola, por  
acreditar e compreender.*

*Aos meus pais Maria e José  
Isidório, pela vida e dedicação.*

*As minhas irmãs e meus  
amigos, pelo carinho e amizade.*

“O homem que venceu na vida é aquele que viveu bem, riu muitas vezes e amou muito que conquistou o respeito de homens inteligentes e o amor das crianças; que preencheu um lugar e cumpriu uma missão; que deixou o mundo melhor do que o encontrou, seja com uma flor, um poema perfeito ou o salvamento de uma alma; que procurou o melhor nos outros e deu aos outros o melhor de si.”

**Robert Louis Stevenson**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Cadeia de distribuição física	16
Figura 2.2	Representação da Estrutura da molécula de polietileno, onde as esferas escuras são átomos de carbono, as claras são átomos de hidrogênio	20
Figura 2.3	Esquema das Cadeias de alguns tipos de polietilenos	21
Figura 2.4	Cadeias moleculares em uma célula unitária de polietileno	21
Figura 2.5	Representação esquemática da estrutura do PEBD	25
Figura 2.6	Esquema da penetração das moléculas de água entre as cadeias de poliamida	30
Figura 2.7	Comportamento de algumas propriedades do polietileno em função da densidade do material	32
Figura 2.8	Processo de Extrusão dos Filmes de Polietileno	35
Figura 2.9	Processo de Coextrusão dos Filmes de Polietileno	36
Figura 2.10	Foto de um Extrusor de Polietileno	37
Figura 3.11	Gráfico Tensão x Deformação	40
Figura 3.12	Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Limite elástico (ponto A)	40
Figura 2.13	Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Limite de Proporcionalidade (ponto A')	41
Figura 2.14	Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Escoamento	42
Figura 2.15	Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Limite de Resistência	42
Figura 2.16	Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Limite de Ruptura (ponto C)	43
Figura 2.17	Gráfico Tensão x Deformação mostrando todos elementos	43
Figura 2.18	Princípio do Ensaio de Compressão	44
Figura 2.19	Demonstração de Compressão na Fase Elástica	45

Figura 2.20	Demonstração de Compressão na Fase Plástica	45
Figura 2.21	Comportamento no Ensaio de Compressão de um Material Dúctil	46
Figura 2.22	Comportamento no Ensaio de Compressão em Tubo ou Dutos	47
Figura 3.1	Filme de Polietileno (PE) Branco ou Transparente.	51
Figura 3.2	Filme de Polietileno (PE) Cinza descartados na produção	53
Figura 3.3	Filme de Polietileno Azul Descartado na Linha de Produção	54
Figura 3.4	Escala de aço de 30cm	55
Figura 3.5	Seladora para Filme de Polietileno	55
Figura 3.6	Mini compressor de ar comprimido.	56
Figura 3.7	Máquina de Tração e Compressão Autograph AGS-J	56
Figura 3.8	Esquema de Desenvolvimento de Amostra (coluna de ar) para Teste em Laboratório.	57
Figura 3.9	Desenho dimensional da coluna de ar para fabricação das amostras	58
Figura 3.10	Marcação e Corte dos Filmes de Polietileno para Fabricação das Colunas de Ar.	59
Figura 3.11	Processo de Soldagem dos Três Tipos de Filmes de Polietilenos.	60
Figura 3.12	Processo de Enchimento das Colunas de Polietileno com Ar Comprimido	60
Figura 3.13	Amostras das Colunas de Ar Infladas dos Três Tipos de Filme de Polietileno	60
Figura 3.14	Equipamento Utilizado no Teste de Compressão – AGS-J 10KN, Marca Shimadzu Autograph	61
Figura 3.15	Desenho da Base Inferior e superior especialmente desenvolvida e fabricada para o teste	61
Figura 3.16	Ajustes iniciais e amostra na base antes do início do teste	62
Figura 3.17	Processo de Desenvolvimento dos Calços de Poliestireno	63



	(EPS).	
Figura 3.18	Linha de Produção com Calço de Poliestireno Expandido (EPS)	64
Figura 3.19	Fases de Desenvolvimento dos Calços de Filmes de Polietileno (PE)	65
Figura 3.20	Linha de Produção com Calços de Filmes de Polietileno (PE).	65
Figura 4.1	Curva de Resistência a Compressão da 1ª amostra de Coluna de Ar Branca.	67
Figura 4.2	Curva de Resistência a Compressão da 2ª amostra de Coluna de Ar Branca.	68
Figura 4.3	Curva de Resistência a Compressão da 3ª amostra de Coluna de Ar Branca	69
Figura 4.4	Curva de Resistência a Compressão da 1ª amostra de Coluna de Ar Azul	70
Figura 4.5	Curva de Resistência a Compressão da 2ª amostra de Coluna de Ar Azul	71
Figura 4.6	Curva de Resistência a Compressão da 3ª amostra de Coluna de Ar Azul	72
Figura 4.7	Curva de Resistência a Compressão da 1ª amostra de Coluna de Ar Cinza	73
Figura 4.8	Curva de Resistência a Compressão da 2ª amostra de Coluna de Ar Cinza	74
Figura 4.9	Curva de Resistência a Compressão da 3ª amostra de Coluna de Ar Cinza	75
Figura 4.10	Gráfico do Limite de Máxima Resistência das Colunas de Ar dos Filmes de Polietilenos	76
Figura 4.11	Gráfico do Limite de Máxima Resistência das Colunas de Ar dos Filmes de Polietilenos	77
Figura 4.12	Gráfico da Deformação Elástica Máxima para as Amostra das Colunas de Ar	78
Figura 4.13	Foto do Caminhão Baú para Transporte e sua Dimensões	79
Figura 4.14	Gráfico Comparativo das Viagens do Caminhão Baú	79

Figura 4.15	Gráfico Comparativo de Preço para Cada Conjunto de Calço	80
Figura 4.16	Gráfico Comparativo do Tempo de Produção de Cada Tipo de Calço	82
Figura 4.17	Gráfico Comparativo da Capacidade de Estocagem na Fábrica	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Vantagens e desvantagens do emprego de materiais plásticos em Engenharia	18
Tabela 2.2	Propriedades de diferentes tipos de polietileno	32
Tabela 3.1	Característica do Filme de polietileno branco (transparente)	52
Tabela 3.2	Característica do Filme de Polietileno Cinza	53
Tabela 3.3	Característica do Filme de Polietileno Azul	54
Tabela 3.4	Tempo de Soldagem de cada Tipo de Filme de Polietileno	59
Tabela 4.1	Tabela com Limites Máximos de Resistência das Colunas de Ar	76
Tabela 4.2	Tabela com Deslocamentos Máximos das Colunas de Ar	77

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AV	Acetato de vinila
CNTP	Condições normais de temperatura e pressão
CPU	Unidade Central de Processamento (Central Processing Unit)
D	Coefficiente de difusividade
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
EPS	Polietireno Expandido
EVOH	Copolímero de etileno vinil álcool
FTIR	Espectrofotometria por infra-vermelho
LCD	Tela de Cristal Líquido (Liquid Crystal Display)
LED	Diodo Emissor de Luz (Light Emitting Diode)
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEBDL	Polietileno de baixa densidade linear
PEMD	Polietileno média densidade
PVDC	Policloreto de vinilideno
Tv	Televisores
Tg	Temperatura de transição vítrea
Tm	Temperatura de fusão
TGA	Termogravimetria
UR	Umidade relativa
VA	Acetato de vinila

## RESUMO

Filmes de polietileno (PE) são comumente utilizados em embalagens de produtos pequenos, tais como embalagem para câmeras digitais, filmadoras, garrafas de vinhos, instrumentos médicos, etc. em função de propriedades importantes como resistência mecânica (vibração, queda, etc.), térmica (temperatura, umidade, pressão) aliada à facilidade de processamento e um custo compatível. Na embalagem de eletroeletrônicos, são utilizados filmes de PE de baixa densidade, dependendo do produto a ser embalado. Assim, neste trabalho, foram avaliados filmes de polietilenos de baixa densidade utilizados para embalar painéis display na linha de produção, constituídos de mesmo polímero, com a substituição das embalagens de poliestireno expandido (EPS) pelo filme de polietileno com colchão de ar inflado e com alterações das espessuras dos filmes foram submetidos ao processo de fusão de duas camadas para formações de colchões de ar, sob determinadas condições de temperatura e pressão, cuja expansão dos filmes resultou em significativas alterações de propriedades físicas, mecânicas. Os filmes foram caracterizados antes e após a sua soldagem para confecções dos colchões de ar, no formato de colunas de ar que podem ser moldadas em embalagens para produtos eletroeletrônicos. Foi observado que de acordo com a mudança do tipo de material que constituem os filmes de polietilenos, ou seja, quanto mais resistente ao teste de compressão, maior é o grau de absorção de impacto dessa matéria-prima quando inflado na forma de colchão de ar, isso significa uma excelente performance para resistir ao peso de um produto durante os teste mecânicos, tais como: teste de queda, teste de vibração, teste de temperatura e umidade. Os estudos mostram que podemos estudar e realizar teste com filmes de alta resistência e que sejam descartados nas fábricas e reprocessados para fabricação de calços infláveis para serem utilizados em diversos produtos. O reaproveitamento dessas matérias-primas ajuda a diminuir o índice de resíduos descartados no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Embalagens, Filmes de polietilenos e Colchão de ar comprimido.

## ABSTRACT

Films of polyethylene (PE) are commonly used in packaging of small products such as packaging for digital cameras, camcorders, wine bottles, medical instruments, etc... as a function of important properties such as mechanical strength (vibration, drop, etc..) thermal (temperature, humidity, pressure) with the ease of processing and a cost. In electronics packaging, are used PE films of low density, depending on the product being package. In this work, films were evaluated as low-density polyethylene used for packing display panels on the production line, consisting of a single polymer, replacing the packaging of expanded polystyrene (EPS) by a polyethylene cushion with air mattress inflated with changes in the thickness of the films were subjected to the fusion of two layers of training for air mattresses, under certain conditions of temperature and pressure, where expansion of the films resulted in significant changes in physical, mechanical. The films were characterized before and after welding for clothing of air mattresses in the format of columns of air that can be molded into packaging for consumer electronics. It was observed that change according to the type of material making up the films of polyethylene, that is, the more resistant to compression test, the greater the degree of impact absorption when this raw material in the form of inflated air mattress this means an excellent performance to bear the weight of a product during the mechanical test, such as drop test, vibration test, test temperature and humidity.

Studies show that we can study and test films with high strength and are discarded and reprocessed in the factories for the manufacture of inflatable cushions to be used in various products. The reuse of these raw materials helps to reduce the rate of waste disposed in the environment.

**Key-words:** Polyethylene film, Packaging and Air cushion.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	1
1.1 MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	4
1.3 JUSTIFICATIVA .....	5
1.4 ESTRUTURAS DOS CAPITULOS .....	5
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
2.1 ESTADO DA ARTE DAS EMBALAGENS DOS PRODUTOS .....	6
2.1.1 PANORAMA HISTÓRICO .....	6
2.1.2 PRIMEIRA FASE – EMBALAGENS NATURAIS .....	6
2.1.3 SEGUNDA FASE – EMBALAGENS ARTESANAIS .....	7
2.1.4 TERCEIRA FASE – EMBALAGENS INDUSTRIAS.....	8
2.2 CONCEITOS DE EMBALAGENS.....	11
2.3 EMBALAGENS PARA PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS.....	13
2.4 MATERIAIS PARA EMBALAGENS PLÁSTICAS .....	17
2.4.1 PLÁSTICOS EM GERAL.....	17
2.4.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) .....	19
2.4.3 POLIURETANO (PU) .....	19
2.4.4 POLIETILENO (PE).....	20
2.4.4.1 POLETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD).....	22
2.4.4.2 POLETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) .....	23
2.4.4.3 POLETILENO DE BAIXA DENSIDADE LINEAR (PEBDL).....	24
2.4.5 NAYLON (POLIAMIDAS) .....	27
2.4.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS POLIMEROS.....	31
2.4.7 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS FILMES DE POLIETILENO .....	33

2.4.8 PROCESSO DE COEXTRUSÃO DE FILMES DE PLÁSTICOS .....	35
2.4.9 RECICLAGEM DOS FILMES DE POLIETILENOS .....	38
2.5 TEORIA SOBRE O GRÁFICO TENSÃO x DEFORMAÇÃO PARA OS ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO .....	39
2.5.1 LIMITE ELÁSTICO .....	40
2.5.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE .....	40
2.5.3 LIMITE DE PROPORCIONALIDADE .....	41
2.5.4 ESCOAMENTO .....	41
2.5.5 LIMITE DE RESISTÊNCIA .....	42
2.5.6 LIMITE DE RUPTURA.....	43
2.5.7 ESTRICÇÃO.....	44
2.6 TEORIA SOBRE O ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	44
2.6.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO EM MATERIAIS DÚCTEIS .....	46
2.6.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO EM PRODUTOS ACABADOS .....	47
2.7 A EMBALAGEM E O MEIO AMBIENTE.....	47
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS FILMES DE POLIETILENO UTILIZADO NA PESQUISA.....	51
3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	55
3.2.1 RÉGUA MILIMETRADA .....	55
3.2.2 MÁQUINA DE SOLDAGEM PARA FILME DE POLIETILENO .....	55
3.2.3 MINI COMPRESSOR DE AR COMPRIMIDO (PORTÁTIL).....	55
3.2.4 TESOURA E ESTILETE .....	56
3.2.5 LÁPIS PARA RETROPROJETOR.....	56
3.2.6 MATERIAIS SECUNDÁRIOS.....	56
3.2.7 MÁQUINA DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO COMPUTADORIZADA.....	56
3.2.8 LOCAL DO ENSAIO DE COMPRESSÃO .....	57
3.3 DESCRIÇÃO DA PREPARAÇÃO E FABRICAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	58



3.6 PREPARAÇÕES DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO NO LABORATÓRIO.....	61
3.7 REALIZAÇÕES DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO NO LABORATÓRIO .....	62
3.8 ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL EM UMA FÁBRICAS UTILIZANDO CALÇOS DE EPS .....	63
3.9 ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL EM UMA FÁBRICAS UTILIZANDO CALÇOS INFLÁVEIS DE FILME DE POLIETILENO (PE) .....	64
CAPÍTULO 4 – ANÁLISES DOS RESULTADOS .....	66
4. ANÁLISES DOS RESULTADOS .....	66
4.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO DAS COLUNAS DE AR NO LABORATÓRIO .	66
4.2 ANÁLISES DA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE DOS FORNECEDORES DOS CALÇOS ATÉ O CLIENTE .....	79
4.3 ANÁLISES DOS CUSTOS FINALS AQUISIÇÃO DOS CALÇOS PELO CLIENTE.....	80
4.4 ANÁLISES DOS TEMPOS DE PROCESSO PARA MONTAGEM DO PRODUTO NA LINHA DE PRODUÇÃO.....	80
4.5 ANÁLISES DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO NO ESTOQUE DA FÁBRICA .....	81
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	82
5.1 CONCLUSÕES .....	82
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Considerando primeiramente das palavras: acondicionamento e embalagem. Segundo a norma TB-77 – Acondicionamento e Embalagem: Terminologia Brasileira (1972), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a palavra acondicionamento possui duas acepções:

- 1º) ato de acondicionar e
- 2º) recipiente ou envoltório destinado a proteger e acomodar materiais e equipamentos embalados ou para os quais não se utiliza embalagem, por desnecessário ou inaplicável.

A palavra embalagem, do inglês “*packing*”, também possui duas acepções, a saber:

- 1º) ato de embalar e
- 2º) envoltório apropriado ou estojo diretamente aplicado ao produto para a sua proteção e preservação.

Logo, destacam-se destas definições termos importantes como “recipiente”, “envoltório”, “estojo”, os quais a destinado a “proteger”, “acomodar”, “preservar”, materiais e equipamentos, embalados ou não, ou seja, produtos em geral. Uma vez que todos estes termos são extremamente amplos no que se refere ao campo de abrangência da engenharia, desenvolveu-se o seguinte roteiro de aplicação deste trabalho, como forma de informar aos engenheiros e projetistas, tudo aquilo que se relaciona a embalagem e que deve ser considerado durante o projeto da mesma.

As embalagens plásticas de colchões de ar comprimido são amplamente usadas em embalagens de produtos pequenos, tais como, câmeras digitais, cartucho de impressoras, CPU, notebook, TVs e monitores LCD/LED, etc. As vantagens de aplicações dessas embalagens estão na flexibilidade das linhas de produção, facilidade de processamento, fácil aprendizagem dos colaboradores e aos diferentes tipos de produto, facilidade no manuseio, armazenamento, transporte e proteção do produto acabado, garantindo a total integridade e características principais conforme estabelecida na fábrica para inteira satisfação do cliente durante a plena funcionalidade do produto em sua casa.

Os TVs e Monitores LCD/LED representam uma das principais vias, através das quais a indústria de eletroeletrônicos pode inovar e se expandir. A

inovação em produtos é umas das chaves para o aumento da competitividade do setor.

Hoje a utilização de sistema de acondicionamento e embalagens adequados acarreta, além do aspecto comercial, grande benefício que é o aumento da proteção do produto durante o transporte rodoviário, aéreo e marítimo enfrentando as severas condições climáticas (temperatura, umidade e pressão).

A proteção dos produtos depende de três fatores: qualidade da matéria-prima, das condições que ele é exposto e da embalagem em que ele será acondicionado. A embalagem por sua vez, exerce a principal função de regular as transferências que podem ocorrer entre o meio interno, dentro da embalagem e o meio externo, ao qual ele é exposto às condições de estocagem e manuseio. Alterar esta condição é a proposta das embalagens plásticas com colunas de ar comprimido. Esta técnica consiste basicamente em colocar o produto em uma embalagem de filmes de polietileno injetando ar nas colunas até a pressão estabelecida em projeto. Com isso ar retido nas colunas do filme de polietileno, forma-se um colchão de amortecimento para proteger o produto de quedas e também proteger o produto de intempéries atmosféricas, tais como, temperatura, umidade e pressão.

O conhecimento sobre o poder de absorção do impacto através da embalagem e a proteção das intempéries atmosféricas é de grande importância para o estudo da embalagem em função do tempo de vida útil do produto eletroeletrônico.

Para que a função de proteger o produto, principalmente se estes são sensíveis a choque mecânicos e variações de temperatura e umidade, seja satisfatoriamente atendida, há a necessidade do uso de embalagem que funcionem como completo sistema de proteção do produto, para que ele chegue ao cliente em perfeitas condições de acordo com o especificado no projeto do fabricante.

O sistema de proteção de uma embalagem é avaliado em termo da espessura dos filmes de polietileno e da qualidade do material que é composto a embalagem.

Melhores características do material são obtidas com a combinação dos diversos tipos de polímeros numa mesma embalagem, como é o caso de embalagens de filme polietileno com nylon.

O objetivo maior dos filmes de polietileno é a integração de propriedades de diferentes matérias termoplásticas em uma única embalagem. Elas têm

encontrado excelente mercado na indústria de produtos eletroeletrônicos devido à sua potencialidade de conjugar propriedades como resistência mecânica, rigidez ou flexibilidade, como também barreiras para evitar mudanças de temperaturas e umidades durante o transporte do produto.

A composição das camadas varia de acordo com o tipo de produto a ser embalada, necessidade de resistência para absorção de impacto e custo do material.

Em suma, a combinação dos fatores: material da embalagem, o produto embalado e a condição de estocagem, referem-se ao fenômeno chamado interação produto/embalagem.

Estudada a interação entre o produto e o filme da embalagem plástica que o envolve, ensaios caracterização do filme, teste de compressão para medir a resistência de cada filme e a capacidade de absorção do impacto através do peso do produto são freqüentemente utilizados. As características do produto também são avaliadas durante o período de vida útil, com relação ao tempo de funcionabilidade do produto.

Para melhorar o desempenho da embalagem no momento de envase do produto, foram feitas propostas alternativas para embalagem de EPS (ISOPOR) atualmente usada, tais como a variação da espessura do filme de polietileno e o estudo da influência das condições do processamento e do ambiente de estocagem sobre as propriedades do filme. As características do filme de polietileno importada da embalagem atual e das propostas foram avaliadas em termos de propriedades mecânicas, como resistência a compressão, resistência a perfuração, resistência a tração. Os resultados destes ensaios foram comparados com o filme importado da embalagem atual.

No presente trabalho foram estudados os fenômenos envolvidos na perda de absorção de impacto pela resistência a compressão das colunas de ar das embalagens de filme de polietileno para produtos eletroeletrônicos. Esta falha no amortecimento da embalagem pode ser pelo produto, embalagem e ambiente, geralmente detectados antes do fim da vida útil do produto, ou durante o processo de embalagem do produto na linha de produção, relacionada às propriedades mecânicas e ao fenômeno do filme da embalagem. Somente com o conhecimento destes fenômenos será possível propor melhorias na utilização de materiais de embalagem, nas condições de estocagem e possivelmente no aumento da vida útil

do aparelho no cliente, aumentando com isso o tempo de garantia do produto, e conseqüentemente a diminuição de caso de produtos com defeitos levados as assistências técnicas das empresas.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho possui um caráter científico - tecnológico aplicado à realidade das empresas eletroeletrônicas e de embalagens para TVs Lcd/Led. Tem como finalidade incrementar com o conhecimento tecnológico no entendimento dos fenômenos do cotidiano e com isso facilitar o encontro de soluções para adversidades normalmente encontradas neste mercado. O tema enfoca as necessidades das indústrias eletroeletrônicas quando a garantia da qualidade do seu produto e os anseios da indústria de embalagem em propor os melhores conceitos.

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um estudo para o reaproveitamento dos filmes de polietilenos utilizados na proteção de painéis Lcd/Led nas linhas de produções das fábricas de eletroeletrônicos para fabricação de calços plásticos com colunas de ar infladas que serão utilizadas nas embalagens dos produtos (TV, Monitores, Câmeras e outros) e que possam suportar as condições severas ambientais (temperatura, umidade e pressão) e mecânicas (vibração e queda) ocorridas durante a logística dos produtos até os depósitos das lojas e as casas dos clientes.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar processos de fabricação das embalagens e acondicionamento dos produtos na linha de produção;
2. Estudar a interação produto/embalagem, fatores que afetam e os efeitos sobre o produto/embalagem;
3. Caracterizar e avaliar o material da embalagem atualmente utilizada;
4. Analisar a resistência das colunas de ar com diferentes tipos de testes a que são submetidos durante a realização dos experimentos;
5. Propor alternativas para melhorar o índice de despesas com o desenvolvimento, logísticas e processo de embalagem dos produtos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste trabalho pode ser justificado principalmente por fatores como:

1. A utilização de embalagem de filmes de polietileno com colchões de ar ainda pouco utilizados nos produtos de eletroeletrônico, tais como TV e Monitores;
2. Os testes realizados nas embalagens infladas dos produtos acabados podem alterar as propriedades proteção do mesmo, além de causar alterações físicas e químicas desses filmes.
3. O conhecimento dos efeitos de absorção de impactos das embalagens infladas nas propriedades deste filme, e conseqüentemente na proteção e garantia da qualidade dos produtos embalados é de extrema importância para as indústrias no setor de eletroeletrônico.

### 1.4 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

Esta dissertação foi estruturada da seguinte forma: Inicialmente é realizada uma revisão da literatura da origem da utilização de embalagem em produtos eletroeletrônicos. Ainda na revisão literária, são abordados: a caracterização do polietileno, propriedades mecânicas, utilização do nylon (PA) nas camadas de polietileno e no processo de fabricação do filme de polietileno. Em seguida são descritos os materiais e métodos utilizados na preparação das colunas de ar dos filmes de polietilenos, na caracterização das resistências mecânicas e físicas das colunas de ar, nos ensaios e testes realizados em laboratórios, e também, o planejamento experimental. Os capítulos seguintes descrevem os resultados e discussões, e as conclusões do estudo, bem como proposta para trabalhos futuros

## 2.1 ESTADO DA ARTE DAS EMBALAGENS DOS PRODUTOS

### 2.1.1 PANORAMA HISTÓRICO

Moura & Banzato, (1990), explica que as evoluções das embalagens estão divididas em três partes:

- 1) a primeira parte, compreende o período desde o surgimento do homem até aproximadamente 4000 a.C.. Esta fase apresenta uma época onde inicialmente as embalagens não eram desenvolvidas e confeccionadas, isto é, nos primórdios dos tempos os primitivos usavam por exemplos objetos oferecidos pela natureza, como chifres, peles ou bexigas de animais, bem como a confecção de cestos rudimentares;
- 2) Já a segunda parte, compreende desde os anos 4000 a.C. até aproximadamente 1760 d.C., observa-se o surgimento das embalagens propriamente dita, inicialmente usadas no intercâmbio de mercadorias entre o Egito e a Mesopotâmia ( por exemplo: recipientes de argilas, de alabastros, etc.);
- 3) Na terceira parte, de 1760 d.C. até os dias atuais, verifica-se a caracterização das embalagens as funções de proteção, ilustração e venda (por exemplo: TV LCD, TV LED, monitores, câmeras digitais, calculadoras, etc...

### 2.1.2 PRIMEIRA FASE – EMBALAGENS NATURAIS

A origem de o homem dar-se o começo do desenvolvimento das embalagens. Artefatos mais antigos nos dão uma idéia de quando certas embalagens foram usadas pela primeira vez. No início, um problema sério enfrentado por eles era como transportar alimentos, e a maneira encontrada foi usar suas mãos em forma de conchas. Mas, nelas a água não ia longe nem podia ser estocada. O homem voltou-se então para os crânios de animais, chifres ocos e grandes conchas. Com o tempo, ele aprendeu a montar cestos, usando certos vegetais, e a calafetá-los com resinas e argilas. E, finalmente, conseguiu construir os primeiros vasos de argilas puras, que serviam para o armazenamento de água e

comidas. Da mesma forma que com a água, um homem não pode transportar uma grande quantidade de pequenos objetos, como grão, em suas mãos. Esta necessidade de transporte foi atendida com a invenção de sacos e cestos.

Não se sabe com certeza onde realmente surgiu a primeira embalagem. Entretanto, tem se conhecimento de que as primeiras embalagens, que nada mais eram do que simples recipientes, foram utilizadas para o acondicionamento de líquidos, frutas silvestres e outros alimentos providos pela natureza. Mais tarde, quando o homem começou a cultivar o solo, elas foram provavelmente empregadas para acondicionar as suas colheitas.

Os primeiros recipientes foram, provavelmente, feitos de escamas, folhas, peças ocas de madeira, louças de barro e peles de animais. Posteriormente, esses materiais foram gradativamente substituídos por outros naturais, em várias formas - tecidos moldados ou costurados - e certamente esses objetos constituíram-se, essencialmente, em utensílios domésticos ou objetos de uso pessoal.

### 2.1.3 SEGUNDA FASE – EMBALAGENS ARTESANAIS

Embora haja informações do uso de cântaros (vaso grande e bojudo com uma ou duas asas, de barro ou de folha, para líquidos - AURÉLIO, 2009) e outros tipos de vasilhas pelos primórdios orientais e outras civilizações, a origem da embalagem propriamente dita, provavelmente tiveram lugar por volta do ano 4.000 a.C., através do intercâmbio de mercadorias entre o Egito e a Mesopotâmia.

Os produtos eram embarcados a granel - as sedas, especiarias (canela, noz-moscada) e gemas do Oriente (pedras preciosas); grãos (sementes), algodão, linho e animais do Egito. O principal recipiente era provavelmente feito de argila ou fibras naturais tecidas. Outro uso que se tem conhecimento provavelmente ocorreu por volta de 3.000 a.C. Os recipientes feitos de alabastro (rocha pouco dura e muito branca, translúcida, finamente granulada, constituída de gipsita - AURÉLIO, 2009) foram utilizados para conter pequenas quantidades de cosméticos para as damas da Mesopotâmia.

Na mesma época, os egípcios faziam garrafas rústicas de vidro e jarras, através de areias moldadas. Embora o processo fosse lento e apenas pequena quantidade fosse possível de se fazer, muitas delas eram usadas para conter cosméticos, óleos e perfumes. Esses recipientes parecem ter sido as primeiras



embalagens de consumo. Apesar desse antigo uso da embalagem para acondicionamento de cosméticos e outros produtos do gênero, a sua principal aplicação, através dos anos, foi para armazenar, proteger e auxiliar no transporte de produtos diversos. Gradualmente, os sacos de couro substituíram as jarras de barro, que eram facilmente quebráveis.

Ao redor de 300 a.C. foi desenvolvida ao sul e a leste do Mediterrâneo, a técnica de sopro, para confeccionar artigos de vidro. Isso permitiu fabricar recipientes relativamente grandes, com maior rapidez. Com o aumento do uso de recipientes de vidro, iniciou-se a prática de identificar o produto e o fabricante com gravação em suas próprias tampas, as quais eram feitas de argila ou chumbo.

A embalagem passou a ser mais importante do que apenas um auxílio ao transporte. Era desejado que ela evitasse derramamento e contaminação. Recipientes fechados, como barris e tampas, para selar garrafas, foram inventados para ajudar.

Nesta segunda fase, tem-se uma importante inovação que foi a introdução do papel. Os primeiros registros indicam que o papel como nós o conhecemos hoje foi feito na China no ano de 105 d.C. O papel-cartão também foi uma invenção chinesa do século XVI.

Durante o século XVII, a fabricação de embalagem de vidro se difundiu na Inglaterra, e o vidro substituiu largamente o couro e as louças de barro.

#### 2.1.4 TERCEIRA FASE – EMBALAGENS INDUSTRIAIS

A disponibilidade de embalagens de vidro e os rótulos de papel contribuíram com a origem da indústria farmacêutica. No início de 1.740, os remédios já eram vendidos na Inglaterra. Os primeiros frascos eram arrolhados e selados com cera. Os rótulos, impressos em papel rústico em branco e preto, eram atados ou amarrados ao redor do gargalo com um barbante.

A indústria farmacêutica foi, talvez, a primeira a utilizar a embalagem com certa extensão na venda de produtos de consumo. Outros artigos começaram também a ser embalados em quantidades de consumo e embalagens unitárias, contudo, a embalagem ainda era utilizada essencialmente para conter e proteger o produto.

Portanto, a terceira fase das embalagens, pode ser subdividida em três etapas:

I) a primeira etapa, a protetiva (1760-1890), compreende uma época onde a embalagem sempre foi essencialmente usada para manter a forma e a coesão dos produtos no transporte e manuseio.

II) a segunda etapa, ilustrativa (1890-1930), tem-se um período onde há a criação da marca para identificar o fabricante e a inclusão de instruções de uso.

III) a terceira etapa, de venda (1930-hoje), é provocada pelo surgimento da venda tipo auto-serviço.

Durante a década de 1760, uma série de invenções e aperfeiçoamentos tomou lugar na Inglaterra, abrindo as portas para a revolução industrial. Inovações nos processos de fabricação e desenvolvimentos de maquinarias ocorreram mais durante os 50 anos que se seguiram do que se verificara desde o início da civilização.

O rápido desenvolvimento do século XIX principalmente devido a descoberta do motor a vapor resultou em uma avalanche de produtos de consumo, produzidos por um grande número de fabricantes. Portanto, os fornecedores de embalagem desenvolveram equipamentos automáticos e adequaram muitos tipos de embalagens, de forma a acompanhar o aumento contínuo de consumo. Novos tipos de tampas foram introduzidos, embalagens a vácuo foram comercialmente introduzidas e os equipamentos para fabricar garrafas foram melhorados.

Apesar da rapidez no surgimento de novas máquinas e técnicas, bem como no acompanhamento da produção dos artigos, a atitude empresarial parecia permanecer inalterável. A embalagem ainda era relegada às funções de acondicionamento e proteção, sendo a única preocupação a de fazer o produto chegar ao distribuidor em condições utilizáveis. Isso significou a concentração na produção de embalagens em quantidades suficientes, de qualidade aceitável, para acompanhar a produção dos artigos.

As inovações em embalagens eram relacionadas, principalmente, à melhor proteção de produtos por longos períodos.

Por volta de 1.890, a embalagem ainda não era considerada como unidade de venda de produtos de consumo. Naquela época, os varejistas ainda estocavam a maioria dos alimentos em recipientes a granel. Assim, os consumidores levavam para casa chá, café, especiarias, arroz, feijão, açúcar, farinha, manteiga e muitos outros produtos e objetos em sacos de papel.

Em muitos casos, a preocupação não era tanto de fazer chegar os produtos ao lugar de consumo, mas sim, meramente, de atingir as prateleiras dos varejistas. As embalagens a granel eram melhores nessa situação, sob o ponto de vista dos produtores. Em vista do grande volume de produtos fabricados, o mercado fácil e os métodos de distribuição da época, poucos enxergavam qualquer benefício em manter a embalagem atraente ao consumidor.

Ao longo de sua evolução, a embalagem acompanhou e contribuiu para o desenvolvimento da sociedade de consumo como um todo, afinal, as lojas dos shoppings e supermercados se tornaram possíveis porque havia as embalagens, como deixa claro (Tambini, 1999) "...as embalagens foram capazes de substituir o vendedor com seu design e conteúdo informativos, viabilizando o auto-serviço".

- 1993 - Incorpora Embalagens infláveis e lança sua primeira produto "Void-Fill™"

- 1997 – En -CAP™ "Sleeves" são lançadas.

- 1998 – "Waffle" produtos são introduzidos proporcionando um novo nível de proteção e acolchoamento

- 2002 – "Air Lock Truck Dunnage Bags" são introduzidos elevar a franquia para uma performance e um preço acessível

- 2005 - Para atender o aumento da demanda Infláveis Embalagens abre uma instalação de produção adicional em "Oxford"

- 2006 – "Lucid Air" é lançado fornecer uma forma única tanto para proteger e apresentação dos produtos no transporte.

## 2.2 CONCEITOS DE EMBALAGENS.

A embalagem tem seu conceito variado de acordo com as diferentes áreas de uma empresa. Sendo assim, torna-se importante o estudo desses conceitos a fim de possibilitar o entendimento da visão de cada área perante a embalagem a ser desenvolvida.

De uma forma geral, uma empresa pode dividir-se em uma série de áreas, tais como: “marketing”, “design”, pesquisa & desenvolvimento (P&D), engenharia de produtos, protótipos, ferramentaria, laboratórios (desenvolvimento, metrologia, físico-químico, etc.), planejamento e controle de produção e materiais, engenharia residente, engenharia industrial, engenharia de fornecedores (recebimento), suprimentos, vendas, garantia da qualidade, produção, distribuição física, finanças, compras e ainda tem-se o setor jurídico. Logo, entende-se que a embalagem de um produto interage com essas áreas até chegar ao mercado consumidor a que se destina, o qual também tem seu próprio conceito.

Conforme MOURA & BANZATO (1990), pode-se dizer que para o consumidor de varejo, embalagem é um meio de satisfazer ao desejo de consumo do produto, ou ainda, em uma definição mais abrangente pode ser o sistema integrado de materiais e equipamentos com que se procura levar os bens e produtos às mãos do consumidor final, utilizando-se os canais de distribuição e incluindo métodos de uso e aplicação do produto. Também pode ser um elemento ou conjunto de elementos destinados a envolver, conter e proteger produtos durante sua movimentação, transporte, armazenagem, comercialização e consumo. Descreve-se, portanto, o conceito de embalagem para cada área de uma empresa:

- a) marketing: a embalagem protege, identifica, atrai a atenção e vende o produto, ou seja, estabelece uma imagem ou atração por meio dela;
- b) distribuição física: é um meio de proteger o produto durante a movimentação, estocagem e transporte;
- c) vendas: possui uma visão da embalagem idêntica ao setor de marketing, ou seja, embalagem é um elemento que atrai o consumidor e vende o produto;
- d) finanças: embalagem é uma função técnico/econômica, com o objetivo de proteger e distribuir produtos ao menor custo possível, além de promover as vendas, e conseqüentemente, aumentar os lucros;

- e) compras: a embalagem é o resultado da aplicação das técnicas de produção e marketing, para que o produto alcance o objetivo estabelecido com a relação utilidade/custo mais favorável possível;
- f) design: a palavra embalagem sugere, todavia, um aspecto físico e, neste sentido, pode ser definida como o material ou meio protetor que permite que uma mercadoria chegue ao consumidor em condições ótimas e, em alguns casos, garanta a sua apresentação e estado de conservação no momento de uso;
- g) engenharia Industrial (logística): é definida de forma idêntica à distribuição física, ou seja, a embalagem é caracterizada como sendo uma forma de proteger produtos durante sua movimentação, transporte e armazenagem;
- h) jurídica: é o conjunto de artes, ciências e técnicas utilizadas na preparação das mercadorias, com o objetivo de criar as melhores condições para seu transporte, armazenagem, distribuição, venda e consumo ou, alternativamente, um meio de assegurar a entrega de um produto numa condição razoável ao menor custo global, ainda leva-se em conta que a embalagem é um meio de informar características do produto, por exemplo, o grau de perigo, etc.;
- i) fornecedores: embalagem é o elemento que protege o que vende, além de vender o que protege. Embalar não é apenas envolver o conteúdo de forma segura, mas também dosá-lo e levá-lo ao consumidor, em uma unidade prática. A embalagem de um produto é considerada como o "rosto", como o "vestuário" e, por conseguinte, todos identificam o conteúdo através dela;
- j) produção: embalagem é geralmente definida como a técnica de preparar as mercadorias para distribuição, e pode incluir a limpeza, secagem, preservação, empacotamento, marcação e inutilização. Ou, ainda, pode ser considerada como a seleção ou construção de um contêiner para expedição e montagem de itens ou pacotes no seu interior, incluindo qualquer bloqueio, escoramento ou amortecimento, à prova das condições do tempo, reforços externos e marcação necessária para a identificação do conteúdo;
- k) engenharia de produto: é uma conseqüência da integração de arte e ciência, que exige conhecimentos de resistência de materiais, fluxogramas, logística, fabricação, movimentação de materiais, design, e mercado, além de elevada dose de bom senso e criatividade;
- l) P&D de produtos: pode ser configurada como a interface entre o produto e o meio visando a proteger o produto do meio ou o meio do produto, no caso dos perigosos.

A embalagem é o invólucro ou o recipiente usado para acondicionar as mercadorias. (REVISTA EMBANEWS, 1994) e

m) garantia da qualidade: a embalagem é um elemento que faz com que o produto chegue ao seu destino, sem ter sofrido perda de qualidade, ou seja, a embalagem é uma forma de garantir que um produto chegue ao consumidor com o mesmo grau de qualidade com que saiu da indústria.

### **2.3 EMBALAGENS PARA PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS**

Uma das principais funções da embalagem é proteger e preservar a qualidade do produto dentro dos pré-requisitos configurados da fábrica. Um dos mais importantes requisitos para seleção de uma embalagem é a propriedade de produtos contra as intempéries que ocorrem durante o transporte da fábrica até a casa do cliente.

Para manter o produto íntegro de acordo com o que foi especificado pela fábrica, a embalagem deve prover de amortecimento contra choques mecânicos e variações climáticas tais como: temperatura, pressão e umidade.

A falta de proteção do produto pode ser minimizada pelo uso de materiais de embalagem que um alto grau de proteção contra o choque. Funcionabilidade de um produto pode ser mantido pelo uso de uma embalagem que ofereça um excelente calço ou colchão de amortecimento. Portanto, sistema de embalagem bem projetado é benéfico para se estender a vida útil do produto eletroeletrônico embalado.

Por vários anos. O uso de embalagens com filme de polietileno tem tomado o lugar das embalagens de que feito de EPS (poliestireno expandido) para embalagem de produtos eletrônicos. As vantagens dos plásticos de filmes de polietileno com coluna de ar comprimido são numerosas:

- Baixo custo;

- Poupando espaços de armazenamento durante a estocagem;

- Maior dificuldade de quebra ou de afetar o produto durante o transporte;

- Reciclável;

- Redução de processo de embalagem e de recursos humanos;

- Redução da poluição do meio-ambiente;

Com estes benefícios as embalagens de filme de polietileno estão conquistando a preferência geral das empresas de eletroeletrônico pela conveniência.

Não é apenas pelo material que as compõem que as embalagens plásticas se diferenciam, mas também pelos métodos de fabricação e uso. Os métodos de fabricação de plásticos para embalagens estão se tornando cada vez mais difundidos e conhecidos, tais como a soldagem de filmes de polietileno para formação de colunas de ar, entre outras.

Métodos de polimerização, combinações químicas e orientação, estão sendo desenvolvidos para materiais plásticos, os quais estão constantemente evoluindo em novos materiais, propriedades e aplicações, com custos cada vez menores.

A coextrusão de polímeros é um exemplo desta evolução. Este processo aumenta enormemente a capacidade dos filmes plásticos usados em embalagens, pois possibilita a combinação das propriedades de vários polímeros em uma mesma estrutura.

O sistema de embalagem, definido por MOURA & BANZATO (1990), é tudo aquilo que a envolve, suas operações e materiais utilizados para levar os produtos do ponto de origem até o de consumo, inclusive maquinarias e veículos para o seu embarque. Pode-se afirmar ainda que um sistema de embalagem é constituído basicamente por um conjunto inter-relacionado de componentes de atividades, o qual envolve:

- a) a matéria-prima básica;
- b) as operações que conformam materiais em embalagens;
- c) as operações onde a embalagem é preenchida, quantificada, inspecionada quanto à qualidade e fechada;
- d) a inutilização ou outras preparações para distribuição;
- e) a distribuição através de canais, envolvendo estocagem, movimentação e transporte;
- f) o esvaziamento da embalagem através do consumo do produto e
- g) por fim, a disposição, reutilização ou reciclagem da embalagem.

Percebe-se, portanto que o sistema de embalagem é função direta da movimentação de materiais. Esta por sua vez, segundo MOURA (1979), é uma operação ou conjunto de operações, que envolve a mudança de coisas para qualquer processamento ou serviço, e/ou sua armazenagem interna ou externamente numa mesma unidade fabril, depósito ou terminal.

Logo, confirma-se a afirmação de MOREIRA (1990) de que o conhecimento da movimentação de materiais é um pré-requisito para o desenvolvimento de um projeto de embalagem. Sendo assim, é importante conhecer e analisar toda cadeia envolvida na distribuição física do produto, ou seja:

- a) os modais de transporte envolvidos;
- b) as movimentações envolvidas;
- c) os sistemas de armazenagem envolvidos e;
- d) a cadeia de distribuição física.

As condições físicas encontradas nos transportes incluem as limitações dimensionais e de peso dos veículos e equipamentos, as condições de acelerações, choques e vibrações, temperatura e umidade, e o tempo de transporte.

No transporte rodoviário, segundo MOURA & BANZATO (1990), as dimensões das medidas internas livres das carroçarias variam muito, de fabricante para fabricante. Uma largura bastante comum é a de 2400 mm. Para carroçarias fechadas, as alturas livres variam de aproximadamente 2500 até 2800 mm. As dimensões úteis do caminhão, e sua capacidade de carga, devem ser conhecidas através de um entendimento prévio com o transportador, e estas devem obedecer às limitações legais da “Lei da Balança” do Conselho Nacional de Trânsito (CNT). No transporte rodoviário, a carga fica sujeita a choques e às condições climáticas. Os choques produzem acelerações (até 5G), decorrentes de defeitos na estrada e devidas a frenagem ou a curvas. A carga transportada fica, também, sujeita a grandes variações de temperatura (de -10° a +60°C) e umidade (podendo chegar à saturação), principalmente do dia para a noite.

A Figura 2.1 mostra um fluxograma do transporte de produto acabado desde processo de fabricação até os consumidores.



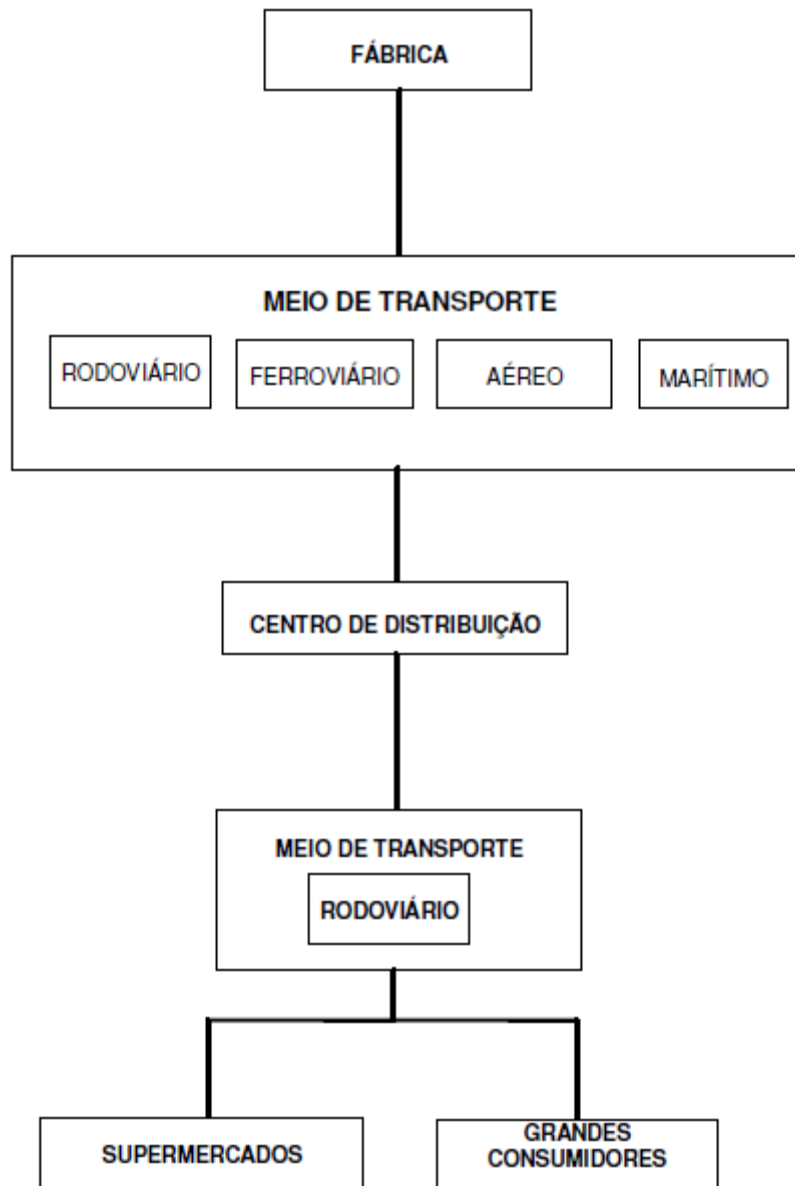


Figura 2.1 - Cadeia de distribuição física (MOREIRA, 1990).

MOURA & BANZATO(1990) descrevem que a carga submetida ao transporte aéreo está sujeita a choques, vibrações, temperatura, umidade e pressão. Os choques produzem acelerações verticais (5G), principalmente na aterrissagem. As vibrações (300 ~ 500 Hz) de pontos da estrutura da aeronave podem produzir falhas por fadiga em peças que respondam às freqüências de vibração mantidas durante muitas horas. A temperatura do avião pode cair a níveis muito baixos, principalmente à noite, e a umidade, por conseqüência, aumentará.

No transporte marítimo, (MOURA & BANZATO,1990) citam os seguintes fatores atuadores na carga a ser transportada: esforços, vibrações, temperatura e umidade. As grandes inclinações que o navio pode sofrer, de até 45° para cada

bordo, as acelerações devidas ao movimento do navio, bem como o empilhamento das cargas nos porões, podem provocar esforços muito grandes sobre as embalagens e produtos transportados. Os sistemas de propulsão provocam vibrações da carga na faixa de 10 a 24 Hz e de 80 a 100 Hz. Os porões dos navios, a temperatura pode atingir valores altos e variações intensas de mais de 50° C, principalmente àqueles que não possuem temperatura controlada. E a umidade é devida ao fechamento praticamente total dos porões dos navios, sem ventilação.

O transporte ferroviário possui dois fatores a considerar, segundo MOURA & BANZATO (1990), sejam eles: dimensões e vibração. As larguras internas de vagões fechados variam entre 2500 e 2800 mm, para a bitola de 1600 mm, e em torno de 2350 mm, para a bitola de 1000 mm. A altura livre é de aproximadamente 2200 mm. As dimensões mais críticas, porém, são as de abertura das portas, geralmente inferiores a 2100 mm. As vibrações são decorrentes da movimentação do trem.

## 2.4 MATERIAIS PARA EMBALAGENS PLÁSTICAS

### 2.4.1 PLÁSTICOS EM GERAL

A utilização dos materiais plásticos para os mais diversos fins com vantagens funcionais e econômicas vem crescendo nos últimos tempos e, por conseqüência, vem a deslocar os materiais clássicos de muitas aplicações tradicionais. Porém para um projeto visando seu máximo desempenho, deve-se ter conhecimento específico sobre eles devido ao fato destes materiais atenderem a um comportamento diferente dos materiais clássicos. "Materiais plásticos são materiais artificiais, geralmente de origem orgânica sintética, que em algum estágio de sua fabricação adquiriram condição plástica, ou seja, capacidade de ser moldado, geralmente com a ajuda de calor e pressão, e muitas vezes, com o emprego de moldes." BLASS (1988). Os materiais artificiais são resultantes de misturas e reações, são diferentes dos materiais de ocorrência natural (madeira, areia, minérios, etc.), citando ainda os materiais de origem organo - sintética que são resultantes de processos químicos e de sínteses a partir de matérias primas orgânicas simples. Os materiais plásticos são constituídos por um componente básico, chamado de resina, ou blenda, que, em certas condições definidas pode amolecer e escoar, adquirindo características de moldabilidade, a qual é elaborada

por processos de síntese química. Tais processos são conhecidos como reações de polimerização, realizadas a partir de um produto químico simples, o monômero.

A Tabela 2.1 apresenta as principais vantagens e desvantagens dos plásticos usados em engenharia.

TABELA 2.1 - Vantagens e desvantagens do emprego de materiais plásticos em Engenharia.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<u>Facilidade de fabricação:</u> os plásticos se adaptam facilmente à produção em massa, peças de geometria complicada podem ser feitas com um baixo custo.	<u>Baixa resistência:</u> os plásticos, via de regra, não são muito resistentes, mesmo quando se dá o desconto de sua baixa densidade.
<u>Economia em peso:</u> em geral, a densidade dos plásticos é bem menor do que a dos metais .	<u>Instabilidade dimensional:</u> os plásticos empenam, racham e estão sujeitos a se deformarem por fluência. São também, relativamente macios e facilmente riscáveis.
<u>Resistência à corrosão:</u> a maioria das peças de plásticos são imunes à oxidação, apodrecimento ou corrosão.	<u>Termicamente instáveis:</u> não podem por exemplo, ser levados "ao rubro". Eles queimam, e alguns, o fazem com demasiada facilidade.
<u>Isolação elétrica:</u> peças do distribuidor por exemplo são feitas de plásticos.	<u>Sujeitos à deterioração:</u> os plásticos se deterioram ante a exposição ao ar ou à luz solar.
<u>Isolação térmica:</u> os plásticos são maus condutores de calor.	<u>Odor:</u> alguns materiais plásticos possuem odores definidos, nem sempre agradáveis.
<u>Baixa permeabilidade a vapores.</u>	<u>Dificuldade de reparação:</u> peças de plástico quebradas raramente podem ser consertadas, e é preferível, normalmente, substituí-las.
<u>Transparência:</u> peças transparentes, ou de gama variada de cores, podem ser confeccionadas em plásticos.	<u>Custo:</u> os materiais plásticos não são baratos. Peças satisfatórias, em plástico, podem se tornar caras se fabricadas em pequenos lotes.
<u>Características de amortecimento:</u> peças que devam trabalhar em silêncio são feitas em plástico em função disto.	

Fonte: BLASS (1988).

Conforme BLASS (1988), o comportamento dos materiais plásticos à moldagem, determina a sua classificação em duas grandes categorias: termoplásticos e termoestáveis.

Diz-se que um material é termoplástico, quando este amolece, ou se plastifica, ou seja, a cada novo aquecimento ele plastifica o material, permitindo novamente a deformação e a moldagem. Logo, podem ser endurecidos ou amolecidos reversivelmente. Já os termoestáveis, também conhecidos como termofixos, possuem um comportamento muito diferente em relação ao aquecimento, ou seja, durante a moldagem ocorre uma reação entre as moléculas ou com o agente de cura, de tal forma que, uma vez ocorrida a cura, o material endurece e não pode mais ser remoldado. Por isso, os materiais termoestáveis apresentam melhor resistência à temperatura, estabilidade dimensional, resistência

química, e propriedades elétricas superiores às dos termoplásticos, entretanto, os processos de moldagem são economicamente mais dispendiosos.

#### 2.4.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O poliestireno, de acordo com BLASS (1988), é também usado na forma de espuma. É isolante térmico para baixas temperaturas, imune ao apodrecimento, à decomposição ou aos efeitos da umidade.

Segundo MOURA & BANZATO (1990), possui ainda boa resistência a choques, flexão, vibração; e à maior parte dos produtos químicos, impermeável ao vapor d'água, além de boa apresentação. Oferece pouca resistência a cortes e materiais como derivados de petróleo, óleos vegetais e solventes. Versátil e fácil de moldar adaptam-se às formas dos produtos que embala. Como é fornecido em forma de espuma, pode cobrir objetos de grande tamanho.

Custo: R\$ 2,60/kg poliestireno expansível antichama e R\$ 2,50/kg o poliestireno normal (EPS), segundo publicado na Revista Plástico Moderno (1996).

#### 2.4.3 POLIURETANO (PU)

Segundo HANLON (1984), a aplicação de poliuretano em embalagem tem duas formas: sólido e espuma. O material sólido como um filme ou como um material moldado tem excepcional resistência a abrasão, junto com elasticidade e resiliência que o colocam junto a borracha para alguns casos.

a) Características: espumas de poliuretano são disponíveis numa larga variedade de densidade.

b) Vantagens e Desvantagens: espuma de PU pode ser tingida, mas no seu estado natural ele é um branco creme. Ela rapidamente volta à marrom amarelado quando exposto a luz, e por essa razão ele é normalmente colorido para cobrir essa mudança.

c) Propriedades: a espuma de PU é inodora e resistente à oxidação, óleos, graxas e fungos. É afetada por ácidos fortes e alcalinos, halogênios, hidrocarbonetos aromáticos, ésteres, cetonas e alcoóis.

d) Custos: o preço está em torno de R\$ 3,40/kg de poliuretano, segundo publicado na Revista Plástico Moderno (1996).

#### 2.4.4 POLIETILENO (PE)

O polietileno, PE, é dentre os plásticos o que tem a estrutura mais conhecida e a, mais simples entre os polímeros comerciais (ROMAN, 1997).

O PE é um polímero parcialmente cristalino e flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pelas quantidades relativas das fases amorfas e cristalina. Sua estrutura planar obedece a conformação zig-zag, sendo constituído pela repetição do monômero  $-(CH_2)_n-$  e finalizado com grupos  $CH_3$ . O comprimento das ligações de carbono é cerca de  $1,54 \times 10^{-7} \mu m$ , e o ângulo de ligação entre os mesmos é de  $109,5^\circ$ . Como mostrado na Figura 2.2 à representação da estrutura da molécula de polietileno.

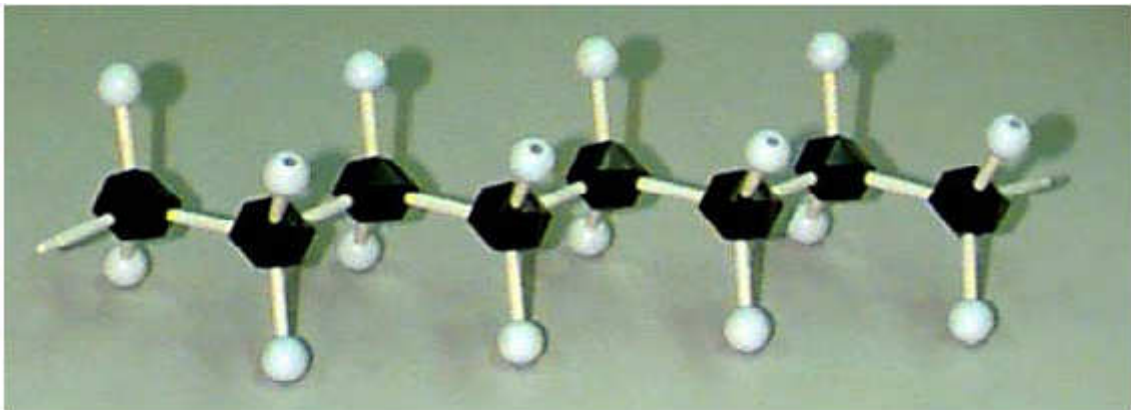


Figura 2.2: Representação da Estrutura da molécula de polietileno, onde as esferas escuras são átomos de carbono, as claras são átomos de hidrogênio (LEGUENZA, 1999).

O polietileno é usualmente encontrado como um polímero semicristalino podendo possuir uma macroestrutura conhecida como esferulita. O cristal do polietileno exibe polimorfismo pode apresentar-se com estrutura cristalina ortorrômbica ou monoclinica. As dimensões da célula unitária ortorrômbicas nas condições normais de temperatura e pressão são  $a=0,741 \times 10^{-6} \mu m$ ,  $b=0,494 \times 10^{-6} \mu m$  e  $c=0,255 \times 10^{-6} \mu m$  (Fig. 4). O comprimento e a espessura da lamela do polietileno são, respectivamente, da ordem de  $10 \sim 20 \mu m$  e  $10 \times 10^{-6} \mu m$ . A esferulita possui um diâmetro de aproximadamente  $10 \mu m$  (Young & Lovell, 1991).

O mais importante parâmetro de controle das propriedades do polietileno é a densidade, sendo em virtude disso, o polietileno classificado da seguinte forma (HERNANDEZ et al.,2000):

Polietileno de Baixa Densidade (PEBD):  $0,915$  a  $0,935 \text{ g/cm}^3$ ;

Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL):  $0,910$  a  $0,925 \text{ g/cm}^3$ ;

Polietileno de Media Densidade (PEMD): 0,925 a 0,941 g/cm<sup>3</sup>;

Polietileno de Alta Densidade (PEAD): 0,941 a 0,967 g/cm<sup>3</sup>;

Na Figura 2.3 mostra um esquema das cadeias moleculares dos principais tipos de polietileno.

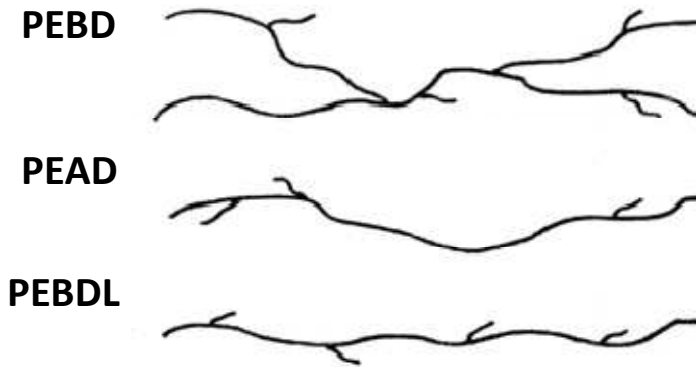


Figura 2.3: Esquema das Cadeias de alguns tipos de polietilenos (LEGUENZA, 1999).

Na Figura 2.4 mostra o comportamento das cadeias moleculares em uma célula unitária de polietileno, bem como uma idéia das distancias tridimensionais (altura, largura e comprimento) dessa cadeia.

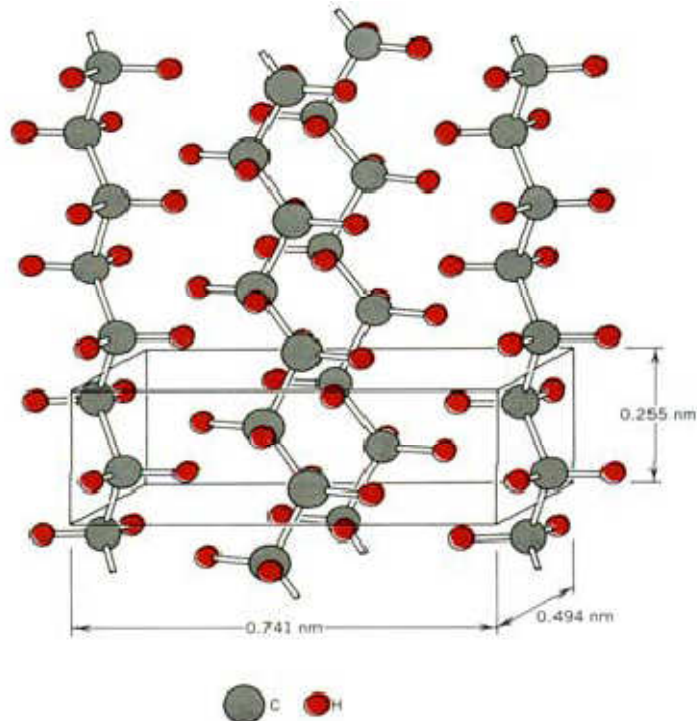


Figura 2.4: Cadeias moleculares em uma célula unitária de polietileno (LEGUENZA, 1999).

#### 2.4.4.1 POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD).

Segundo BLASS (1988), o polietileno é um termoplástico tenaz e coriáceo, com aparência untuosa, usado na confecção de filmes para embalagens e recipientes produzidos por extrusão, injeção ou sopro. HANLON (1984), para o PEBD descreve:

- a) Aplicações: suas aplicações mais conhecidas são em filmes e lâminas, injeção de molde, coberturas, moldagem por sopro, possuindo ainda diversas aplicações que não embalagens.
- b) Características: flexibilidade, impermeabilidade, baixo custo e pouco peso do material, são as características mais marcantes. Ele tem boa transparência em finas camadas, mas em recipientes de paredes espessas ele é translúcido e de aparência cerosa. Polietileno é praticamente inodoro e insípido na maioria das aplicações, mas deve ser cuidadosamente checado quando usado com alimentos.
- c) Vantagens e desvantagens: a maleabilidade do polietileno o torna útil como embalagem para roupas e alimentos e como material para garrafas flexíveis, mas ele se torna quase sem uso para embalagens rígidas. As embalagens flexíveis feitas de filmes de polietileno são difíceis de abrir devido ao fato de se alongarem muito sem que haja a ruptura.
- d) Propriedades: o polietileno é resistente a maioria dos solventes, mas em temperaturas acima de 60°C ele é atacado por alguns hidrocarbonetos aromáticos, óleos e gorduras que levam o recipiente a tornar-se pegajoso por fora, tornando-se necessário checá-lo cuidadosamente antes de usá-lo com este tipo de produtos. O polietileno não é afetado por ácidos e alcalinos, com a possível exceção do ácido nítrico concentrado quente. O polietileno é uma boa barreira para a umidade, mas ele permite a passagem de gases um tanto facilmente. Sua temperatura de amolecimento é por volta de 98°C para materiais de baixa densidade e 126°C para altas densidades. A superfície do polietileno é apolar, o que significa dizer que é de difícil aderência de adesivos e tintas. Tratamento com chama ou descarga de corona é necessário antes de ser impresso.
- e) Aprovação FDA: o polietileno propriamente é aceitável para embalar alimentos e medicamentos, contanto que nenhum aditivo e agentes desmoldantes sejam usados no processo de fabricação.

O precursor da família das poliolefinas foi o polietileno de baixa densidade (PEBD), tendo sido obtido acidentalmente em 1933 durante uma experiência do Dr. A. Michels. A *Imperial "Chemical Industrial Ltd"*. Foi a pioneira na produção comercial do PEBD, em 1939, empregando o processo de polimerização na fase gasosa, com altas temperaturas e pressões.

O PEBD possui uma cadeia mais ramificada, o que lhe confere menor temperatura de amolecimento, menor resistência física etc.

#### 2.4.4.2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

HANLON (1984), para o PEAD, descreve:

- a) Características: este plástico de baixo custo, moderadamente flexível é usado em larga extensão para garrafas moldadas por sopro. Ele é mais rígido e tem melhores propriedades de barreira que o polietileno de baixa densidade. O acabamento da superfície é inferior ao do polietileno de baixa densidade. Ele é translúcido em seu estado natural e pode ser tingido com qualquer cor opaca. O PEAD é essencialmente inodoro e insípido.
- b) Vantagens e desvantagens: tem boa barreira a umidade mas relativamente pobre para o oxigênio e outros gases. Ele irá atingir sua tensão de ruptura na presença de alguns detergentes, a menos que seja formulado com outras resinas para minimizar essa tendência. Algumas vezes o produto absorverá oxigênio da parte superior do recipiente causando deformação ou colapso do recipiente. Essa reação pode ser minimizada ou ocultada com um desenho adequado do recipiente. Quanto mais alta a densidade, mais rígido é o material, o que significa que uma parede de espessura menor pode ser usada.
- c) Propriedades: a maioria dos solventes não atacará o polietileno, que por sua vez também não é afetado por ácidos fortes e alcalinos com exceção do ácido nítrico concentrado quente. Ele é uma boa barreira para a umidade, mas gases passam através dele um tanto facilmente. A superfície do polietileno é apolar e portanto deve ser tratada com uma chama de gás ou descarga de corona antes de ser impresso ou usar adesivos.

Em 1955, o polietileno de alta densidade (PEAD) foi produzido pela primeira vez com catalisadores organometálicos de *Ziegler-Natta*, através do processo de polimerização na fase líquida, com temperaturas mais baixas e pressões próximas da pressão atmosférica.



O PEAD com uma estrutura mais linear é mais cristalino, mais rígido e mais resistente mecanicamente. Por isto a sua aplicação é mais orientada à moldagem por sopro ou injeção.

#### 2.4.4.3 POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE LINEAR (PEBDL)

Na década de 70, a “Union Carbide” introduziu o polietileno linear e baixa densidade (PEBDL) utilizando tecnologia própria de fase gasosa. Nos anos 90, a Dow Química lançou os plastômeros poliolefínicos e os polietilenos produzidos pela tecnologia “*Insite*” de catálise metalocênica (SARANTÓPOULOS ET AL., 2002).

As propriedades ideais do “grau” do polietileno para cada aplicação específica dependem do balanço adequado de características obtidas no processo de polimerização. O polietileno é essencialmente um material composto, consistindo da fase cristalina rígida (responsável pela resistência) e da fração amorfa elástica (responsável pela elasticidade, maciez e flexibilidade). Portanto, é necessário controlar a estrutura molecular do polietileno, o que passou a ser possível com a evolução dos processos de polimerização (MERGEN, 2003).

A faixa de produtos à base de etileno obtido com catalisadores metalocênicos parece ser quase ilimitada. Esses produtos incluem polietileno de baixa densidade linear, PEBDL, e poliofinas elastoméricas. O filme destes, se comparados com aqueles de PEBDL obtidos com catalisadores do tipo Ziegler-Natta, apresenta resistência aos rasgos de 2 a 4 vezes superior, resistência ao impacto 4 vezes superior, redução da temperatura de selagem, baixo percentual de extraíveis e melhores características de processamento. Para uma mesma densidade, os polímeros obtidos com catalisador Ziegler-Natta (Forte et al., 1996).

Os sistemas catalisadores metallocenos produzem apenas o copolímero desejado, incorporando igualmente o comonômero. Como resultados, têm-se maior transparência, menor teor de extraíveis, maior flexibilidade e melhor desempenho na termoselagem, uma vez que permite o controle da estrutura molecular e/ou a obtenção de copolímeros com maior concentração do comonômero (SELKE et al., 2004).

Dentre os polímeros mais utilizados na fabricação de filme extrudado, encontra-se o polietileno de baixa densidade, PEBD, o qual na forma de filme possui boas propriedades óticas e boa processabilidade, porém, baixa resistência mecânica. O contrário ocorre com o polietileno de baixa densidade linear, PEBDL, o

qual, como filme possui propriedades óticas pobres, processabilidade difícil, mas boa resistência mecânica. Assim, é comum a utilização de misturas físicas (blendas) destes dois polímeros para se obter filmes com boa processabilidade, boas propriedades óticas e boa resistência mecânica. Com o aumento da quantidade de PEBDL nas blendas, as opacidades totais diminuem e o brilho aumenta, já que este último varia inversamente com a opacidade superficial. O valor da cristalinidade “aparente” do filme PEBDL puro é levemente maior do que o das blendas, ou seja, o percentual de cristalinidade não é o único fator determinante das propriedades óticas do filme (GUERRINI et al., 2004).

A representação esquemática da estrutura de um polietileno de baixa densidade é mostrada na Figura 2.5.

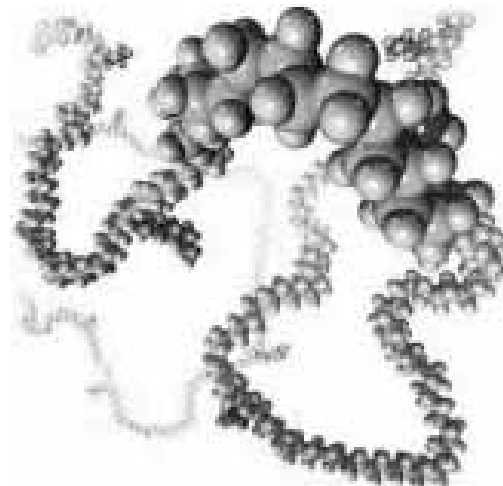


Figura 2.5: Representação esquemática da estrutura do PEBD (COUTINHO, MELLO & MARIA,2003).

O PEBD é um polímero parcialmente cristalino (50-60%), cuja temperatura de fusão está na faixa de 110°C à 115°C. Este polietileno contém cadeias ramificadas, sendo que estas ramificações são, na maioria das vezes, tão longas quanto à cadeia principal do polímero. A presença dessas ramificações determina o grau de cristalização, as temperaturas de transição e afeta os parâmetros cristalográficos tais como o tamanho dos cristalitos (COUTINHO et al,2003).

O PEBD também apresenta muitas propriedades importantes do ponto de vista industrial, tais como a tenacidade à temperatura ambiente e a baixas temperaturas (com resistência mecânica suficiente para muitas aplicações), a excelente resistência à corrosão, as ótimas propriedades de isolamento, a ausência de cheiro e sabor, e a baixa permeação de vapor d'água (SMITH, 1998).

O PEBDL é mais cristalino que o PEBD, conseqüência do baixo teor de ramificações curtas e da ausência das ramificações longas. As ramificações de cadeia curta têm influência, tanto no PEBDL como no PEBD, sobre a morfologia e algumas propriedades físicas tais como, rigidez, densidade e resistência à tração. Com cadeias lineares de baixo grau de ramificações curtas, o PEBDL cristaliza em lamelas ordenadas e mais espessas do que o PEBD. Conseqüentemente, o PEBDL apresenta melhores propriedades mecânicas e maior temperatura de fusão. Ainda, o PEBDL é um termoplástico com elevada capacidade de selagem a quente, sendo muito utilizado em embalagens de gêneros de primeira necessidade, substituindo o PEBD em varias aplicações (COUTINHO et al., 2003).

Misturas de PEBD com PEBDL são utilizadas comercialmente na produção de filmes para diversas aplicações como sacaria industrial, empacotamento automático de alimentos, termo encolhíveis, esticáveis e outros. Ambas as resinas, PEBD e PEBDL, apresentam propriedades físicas e características de processamento particulares devido às diferenças em suas estruturas moleculares, principalmente quanto ao grau e comprimento das ramificações e polidispersão (BECKER et al., 2002).

O PEBDL obtido pela tecnologia do catalisador metalocênico apresenta propriedades melhoradas em relação ao PEBDL convencional, como: alta rigidez mecânica; resistência ao calor; resistência a penetração; tenacidade ao puncionamento; baixa opacidade; alto brilho; insípido e inodoro; além de boa selabilidade. Outra vantagem está na possibilidade de se reduzir a espessura do filme, possibilitando economia de resina. O PEBDL metalocênico é utilizado principalmente na produção de filmes multicamadas, sendo que seu principal campo de aplicação está na fabricação de filmes de alta resistência para embalagem (MAIER, 2000).

A natureza e o teor do comonômero incorporado nas resinas de PEBDL influenciam a cristalinidade e a densidade das mesmas. O aumento do teor e do comprimento das ramificações ao longo da cadeia principal diminui a simetria ou regularidade de macromolécula, o que provoca uma redução da cristalinidade, abaixamento da densidade, do módulo elástico e da temperatura de fusão do polímero (BECKER et al., 2002).

A disponibilidade no mercado de PEBDL com diferentes estruturas e características, e a utilização destes em misturas com PEBD permitem a obtenção de uma grande variedade de produtos com propriedades diferenciadas.

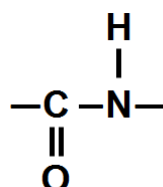
A adição de PEBDL ao PEBD modifica sensivelmente o comportamento térmico da mistura final devido, principalmente, a diferenças na cristalinidade dos mesmos. Estas diferenças dão origem à variação na estrutura e na massa molar, os quais influenciam diretamente na formação dos cristalitos. O aumento da proporção de PEBDL não altera significativamente o percentual de cristalinidade da mistura, mas aumenta a quantidade de cristalitos que se formam ou fundem em temperaturas mais altas, alterando assim as características do processamento, tais como estabilidade do balão e propriedades óticas e físicas dos filmes obtidos (BECKER et al., 2002).

Já o PEAD é altamente cristalino (acima de 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Sua temperatura de fusão cristalina é de aproximadamente 132°C. Devido à cristalinidade e à diferença de índice de refração entre as fases amorfas e cristalinas, os filmes de PEAD são translúcidos e menos transparentes que os filmes de PEBD, que são menos cristalinos. Um aumento no teor de ramificações reduz a cristalinidade e é acompanhado por variação significativa das características mecânicas, uma vez que causa um aumento no alongamento na ruptura e uma redução da resistência à tração. Enfim, o PEAD e o PEBD têm muitas aplicações em comum, mas em geral, o PEAD é mais duro e resistente e o PEBD é mais flexível e transparente (COUTINHO et al., 2003).

A forma e as condições de processamento dos materiais poliméricos influenciam na orientação das cadeias e na cristalinidade do polietileno, que estão diretamente ligadas ao comportamento mecânico do material. Desta forma, para uma mesma formulação, podem-se obter diferentes propriedades mecânicas.

#### 2.4.5 NYLON (POLIAMIDAS)

Nylon é o nome comercial das poliamidas. Estes polímeros contem uma ligação amida-carbonila característica com muitas variações da cadeia de carbono entre elas.



Os dois átomos carregados presentes na sua fórmula estrutural, o oxigênio ( $\delta^-$ ) da carbonila e o nitrogênio ( $\delta^+$ ) da amida conferem características polares. Estes grupos funcionais exibem uma forte atração um ao outro e tendem a alinhar-se por ligações intermoleculares fortes chamadas pontes de hidrogênio. As características deste material (rigidez, estabilidade térmica e mecânica) são devidas as ligações por pontes de hidrogênio entre as cadeias do polímero (oxigênio de uma cadeia com um átomo de hidrogênio na cadeia vizinha), responsáveis pelo alto nível de regularidade das cadeias, por isso a maioria dos nylons são considerados semicristalinos.

As poliamidas apresentam uma temperatura de transição vítrea elevada, entre 25 e 55°C. A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é a temperatura em que acontece uma mudança nas propriedades dos polímeros. Abaixo desta temperatura o polímero é rígido e duro, como um vidro. Acima desta temperatura o polímero torna-se macio e elástico, como uma borracha. Em temperaturas bem acima da  $T_g$  o polímero pode fundir e torna-se um líquido viscoso. Na temperatura ambiente, polímeros cristalinos possuem uma alta rigidez das cadeias, que estão compactadas suficientes para proporcionar uma baixa difusão de moléculas penetrantes e altas resistências. Polímeros considerados elásticos, como o PE e PP, possuem uma  $T_g$  abaixo da temperatura ambiente (-120°C), por isso, apresentam alta permeabilidade a penetrantes e flexibilidade devido à mobilidade de suas cadeias.

Características dos Filmes de Nylon:

A aplicação da poliamida em embalagem tem se expandido bastante como podemos verificar no nosso dia-a-dia. Para atender as necessidades de qualidade, fácil manuseio, durabilidade da embalagem e principalmente garantir a qualidade do produto através da absorção dos impactos e proteções as intempéries atmosférica. A poliamida tem inúmeras vantagens a oferecer.

A poliamida é freqüentemente usada como filmes em embalagens flexíveis devido as suas:

- Propriedades mecânicas;
- Propriedades absorção de impactos (choques, quedas);

- Propriedades óticas (transparência, brilho);
- Soldável com outros filmes plásticos.

Estas propriedades não são obtidas utilizando-se apenas matérias como polietileno, por isso, a contribuição da poliamida na estrutura de um filme destinado ao acondicionamento de produtos eletroeletrônicos que extremamente valioso e delicado.

Segundo alguns autores, as propriedades do filme são afetadas por fatores como:

- Tipo da resina:
  - Peso Molecular
  - Aditivos
- Condições de processamento:
  - Taxa de resfriamento
  - Estiramento
- Construção da estrutura do filme:
  - Espessura das camadas
  - Posição da camada em estrutura multicamadas
- Meio ambiente:
  - Temperatura
  - Umidade

Na Figura 2.6 mostra um esquema da penetração das moléculas de água entre as cadeias de poliamida. Como há um espaçamento entre as moléculas, a água penetra facilmente, tornando esse tipo de plástico higroscópico.

A Influência da absorção de água nas propriedades do filme de nylon é sentida quando as moléculas de água entram facilmente entre as cadeias de poliamida e atacam as ligações intermoleculares, enfraquecendo e aumentando a mobilidade das cadeias. A água é um plastificante natural da poliamida.

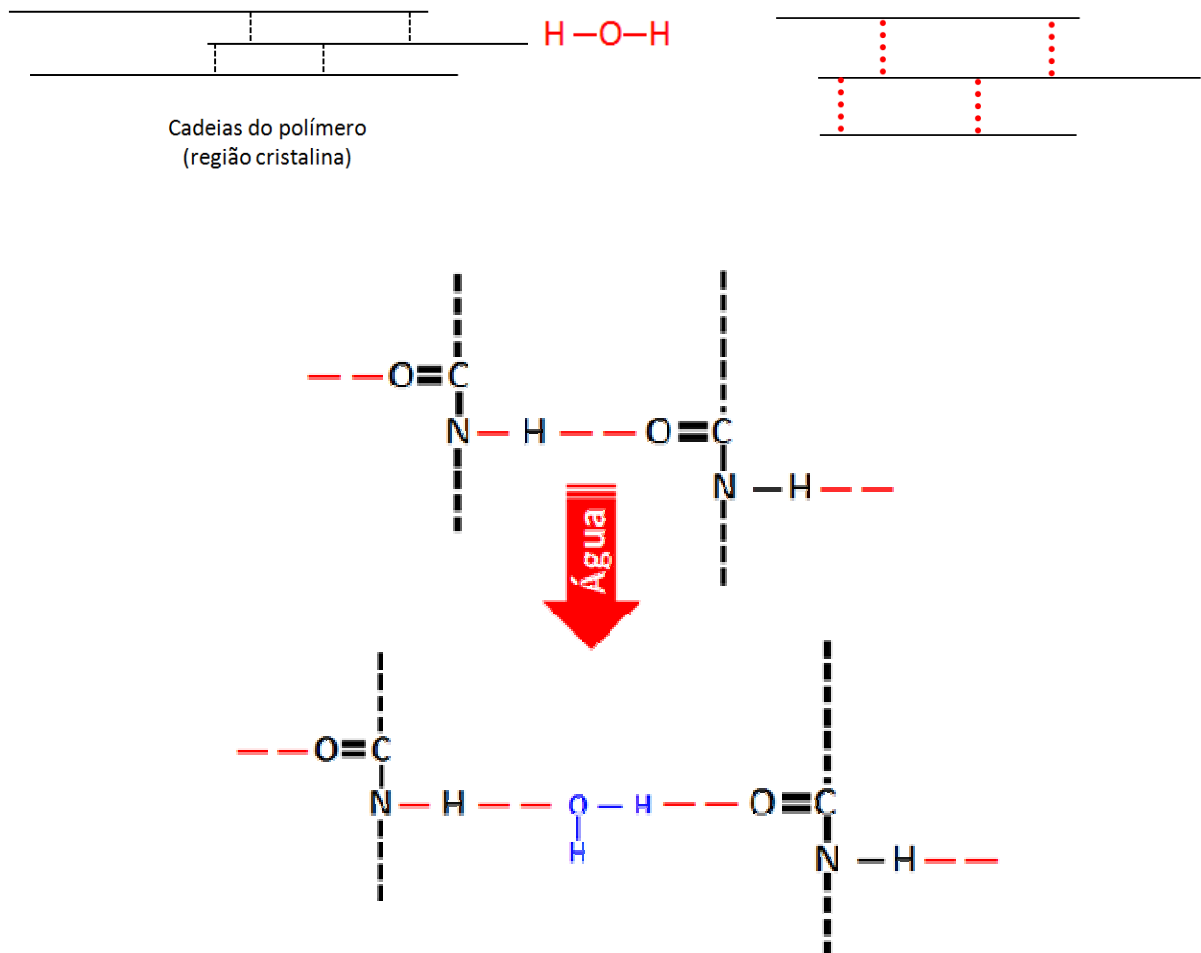


Figura 2.6: Esquema da penetração das moléculas de água entre as cadeias de poliamida.

Normalmente, a transição vítrea da PA é aproximadamente 55°C, no entanto, esta temperatura pode ser alterada pelo meio ambiente. Água no ar ambiente tem um grande efeito sobre a taxa de relaxação da PA, como resultado, a Tg poderia facilmente diminuir abaixo da temperatura ambiente. Por exemplo, para 50% de umidade relativa, a Tg da PA cai de 55°C para a aproximadamente 15°C.

Um estado sólido pós-cristalização ocorre nas regiões amorfas da PA e resulta em 1 a 2% de encolhimento dentro de 7 dias após a extrusão. Entretanto, condições forçadas de umidade (submersão em água) abaixam a Tg da PA,

estimulando a taxa de relaxação molecular. Usando elevada temperatura da água compensam as tensões adquiridas pelo filme na extrusão e proporcionam a PA a alcançar seu estado de relaxação termodinâmica on-line. Posicionando a temperatura da água para menos de 80C deve ser requerida para copoliamida 6/66, devido ao fato dela ter mais regiões amorfas que a PA6. Claramente menores temperaturas trabalham melhor, mas deve requerer um maior tempo de residência. Utilizando água aquecida em contato com o filme é mais efetivo caminho para transferir calor e deverá ser mais uniforme e consistente.

As condições de umidade afetam a taxa de permeabilidade ao oxigênio de materiais hidrofílicos como o nylon, o EVOH e o celofane. A água absorvida pelo polímero age como um plastificante associa-se às cadeias do polímero dando mobilidade e permitindo uma maior difusão do oxigênio no polímero.

#### **2.4.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS POLÍMEROS**

As propriedades mecânicas podem ser consideradas as mais importantes de todas as propriedades físicas e químicas dos polímeros para a maioria das aplicações.

Há vários fatores estruturais que determinam a natureza das propriedades mecânicas dos materiais tais como:

1. Peso molecular;
2. Ligação cruzada e ramificação;
3. Cristalinidade e morfologia do cristal;
4. Orientação molecular.

Variáveis externas também são importantes na determinação das propriedades mecânicas:

1. Temperatura;
2. Tempo;
3. Freqüência da taxa de tensão ou deformação;
4. Amplitude de tensão e deformação.
5. Tipo de deformação (cisalhamento, tensão biaxial);
6. Tratamento por aquecimento ou história térmica;
7. Natureza da atmosfera circundante;
8. Pressão.

Na Tabela 2.2, são mostradas algumas propriedades físicas para os diversos tipos de polietileno (PEBDL, PEBD e PEAD).



Tabela 2.2- Propriedades de Deferentes Tipos de Polietileno.

Propriedades	PEBDL	PEBD	PEAD
Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	0,910 – 0,925	0,915 – 0,935	0,941 – 0,967
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	125	106 -112	130 -133
Tensão de deformação (MPa)	14 - 21	6,9 – 17,2	18 -30
Elongação até Ruptura (%)	200 - 1200	100 - 700	100 - 1000
Módulo de Flexão (MPa)	248 - 365	415 - 795	689 - 1654
Resistência ao Impacto Izog (J/m)	----	0,67 - 21	27 - 160
Dureza (Shore D)	41 - 53	45 - 60	60 - 70

A Figura 2.7 mostra o comportamento de algumas propriedades do polietileno em função da densidade do material, com isso podemos classificar o plástico mais fácil e de forma bem detalhada e acordo com a sua utilização.

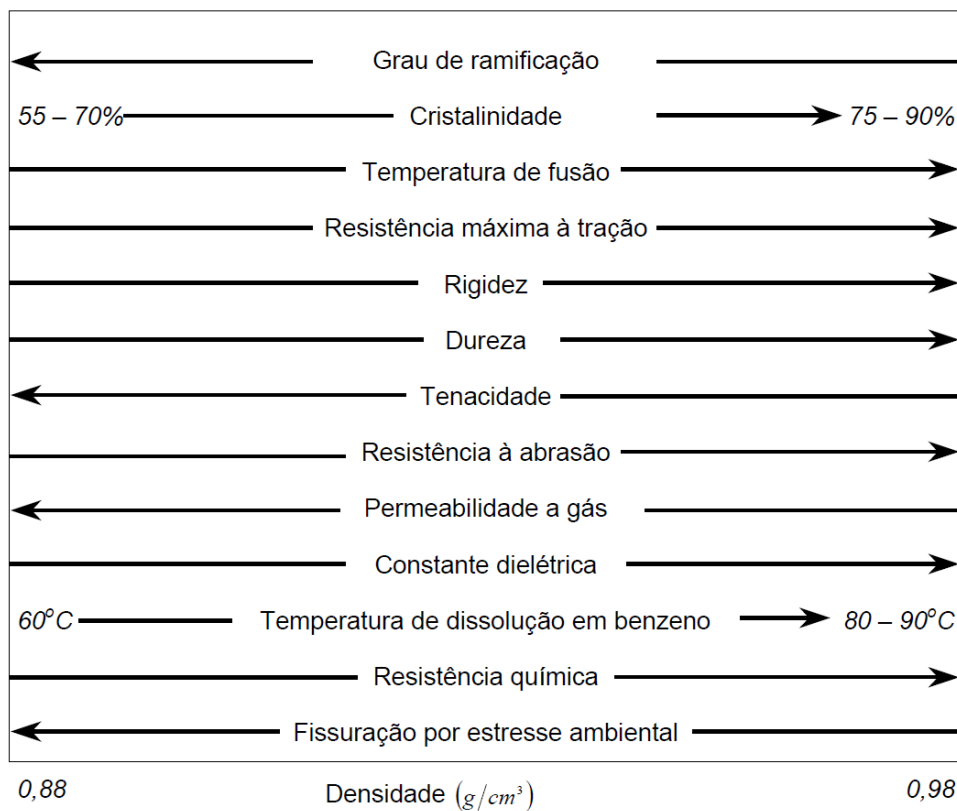


Figura 2.7 – Comportamento de algumas propriedades do polietileno em função da densidade do material (FELDMAN,1996).

#### 2.4.7 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO FILME DE POLIETILENO

Extrusão é um processo de transformação de termoplástico. O processo é realizado a partir da fusão e homogeneização do material a uma dada vazão, pressão e temperatura.

As resinas que constituem um filme em estudo são recebidas na forma de grânulos sólidos e transformadas em filme pela passagem deste material em uma extrusora.

O polímero, na forma de grão ou em pó, é alimentado através da caçamba ou funil para a carcaça ou barril que estão aquecidos, onde o material é fundido e bombeado para dentro da matriz pelo movimento de rotação de um parafuso ou rosca sem fim. A extrusora é mais que uma bomba, pois ela proporciona energia térmica necessária para fundir o polímero por cisalhamento, além de ser responsável pela mistura e homogeneização do material fundido. Este processo é empregado não apenas na fabricação de filmes como também na cobertura de fios elétricos, na fiação de fibras, na produção de chapas, tubos, “parisons” para garrafas, entre outros.

O cilindro e a rosca são construídos em aço especial de alta resistência física à ação da força de cisalhamento e temperatura imposta pelo aquecimento da parede do cilindro e alta resistência química à abrasão do polímero, masterbatches, cargas e aditivos.

O aquecimento da estrutura é conseguido, na grande maioria dos processos por resistências elétricas e o controle por termopares ou termoelementos, ao longo do cilindro, que monitoram o acionamento das resistências.

A rosca ou parafuso que transporta o material é constituído fundamentalmente por três zonas:

1 – Alimentação, geralmente constituída de canais profundos; o material nesta região não estará totalmente fundido.

2 – Compressão, transição ou plastificação: onde ocorre a maior parte da fusão do polímero; a menor profundidade dos canais provoca o cisalhamento da resina.

3 – Dosagem, dosificação ou bombeamento: possui canais rasos para homogeneizar e transportar o material fundido com pressão e vazão uniforme para matriz.

Na seção dianteira do cilindro é instalada uma placa perfurada que sustenta um conjunto de telas de aço, objetivando filtrar ou impedir a passagem de contaminantes da resina para a matriz e ao mesmo tempo criar uma contrapressão no fluxo de material fundido melhorando a plastificação e homogeneização da massa de polímero.

Depois de passar pelas telas a massa fundida atravessa a matriz, solidificando ao passar por uma fenda, que são lábios circulares concêntricos que forma um balão. Ar é soprado para dentro do balão para, juntamente com os rolos puxadores, manter a pressão interna e o diâmetro que definem a espessura do filme. Nestes rolos puxadores, o filme recebe o tratamento corona, que consiste em uma descarga de alta frequência, na ordem de 3,0 kHz ou maior, e alta voltagem sobre o filme. Esta descarga produz ozônio, e óxidos de nitrogênio, oxidantes fortes com odor bem característico, que contatando com a superfície do filme torna-a polarizada, pela formação de radicais orgânicos chamados carbonila e carboxila, bastantes compatíveis com as tintas de impressão e adesivos.

Em bobinas, os filme são deixados em um deposito por no mínimo 5 dias até serem impressos e finalmente cortados e selados, dando forma à embalagem. Este tempo em as bobinas aguardam o acabamento é necessário, principalmente neste tipo de material, para se obter a cura do filme, ou seja, a acomodação dimensional e o alívio das tensões adquiridas durante a fusão, resfriamento e estiramento no processo de extrusão. Finalmente, como mostrado na Figura 2.8, as bobinas passam pela fase de acabamento onde são cortadas e seladas nas dimensões projetadas para embalagem.

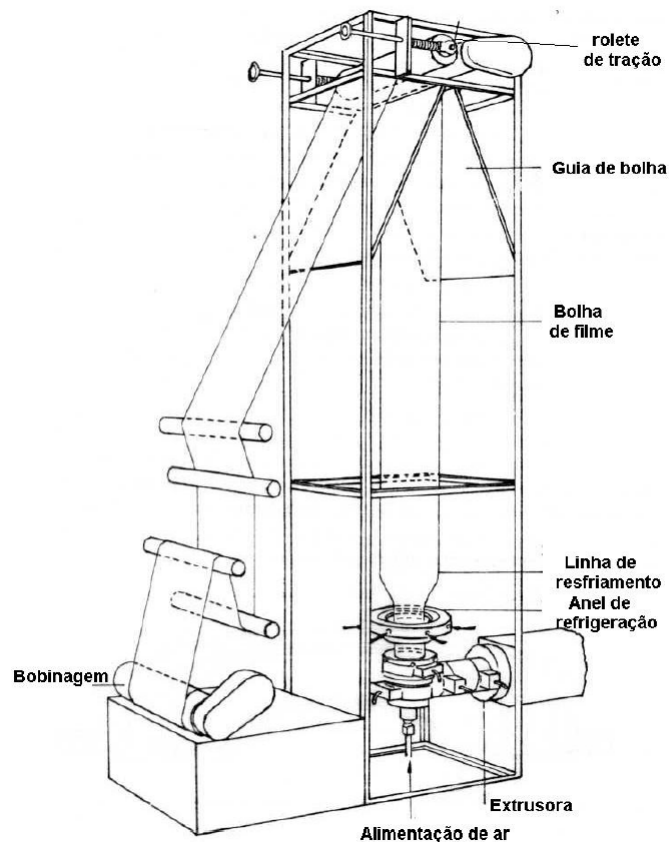


Figura 2.8: Processo de Extrusão dos Filmes de Polietileno (MOTON-JONES, 1993)..

#### 2.4.8 PROCESSO DE COEXTRUSÃO DE FILMES PLÁSTICOS

Coextrusão é a combinação de duas ou mais camadas de polímeros fundidos, que formam um único filme e atendem às necessidades específicas de desempenho para uma determinada aplicação. A coextrusão desenvolveu-se inicialmente em pequenos nichos de mercado, tais como filmes com barreira ao oxigênio, utilizando resinas de poliamida, revestidas com polietileno para se obter características de termo-selagem. Assim, com apenas um processamento e a um custo mais baixo, era possível substituir a laminação de filmes de polietileno com folha de alumínio ou com outros materiais de barreira (MARTÍNEZ e ARROYO, 1998).

No processo de coextrusão, a resina termoplástica é introduzida em um cilindro aquecido e o material plástico amolecido é forçado, por um veio roscado ou parafuso rotativo, a entrar através de uma abertura em uma matriz, para a obtenção de formas contínuas. Depois de sair do molde, a peça extrusada deve ser resfriada abaixo da temperatura de transição vítrea do material, de modo a assegurar a

estabilidade dimensional requerida. O resfriamento é geralmente realizado com jato de ar ou com água (SMITH, 1998).

Filmes soprados são produzidos pela extrusão do polímero fundido, na forma de um tubo, através de uma matriz anelar, no centro da qual ar é injetado, inflando o tubo até este atingir um diâmetro maior. Uma “bolha” então é formada, cujas paredes são estiradas na circunferência (pelo ar injetado) e na vertical, por rolos puxadores, ao mesmo tempo em que são resfriadas, conferindo então ao filme soprado uma orientação biaxial. A Figura 2.9 demonstra esquematicamente o processo de extrusão de filmes em sistema “blow” (GUERRINI et al., 2004).

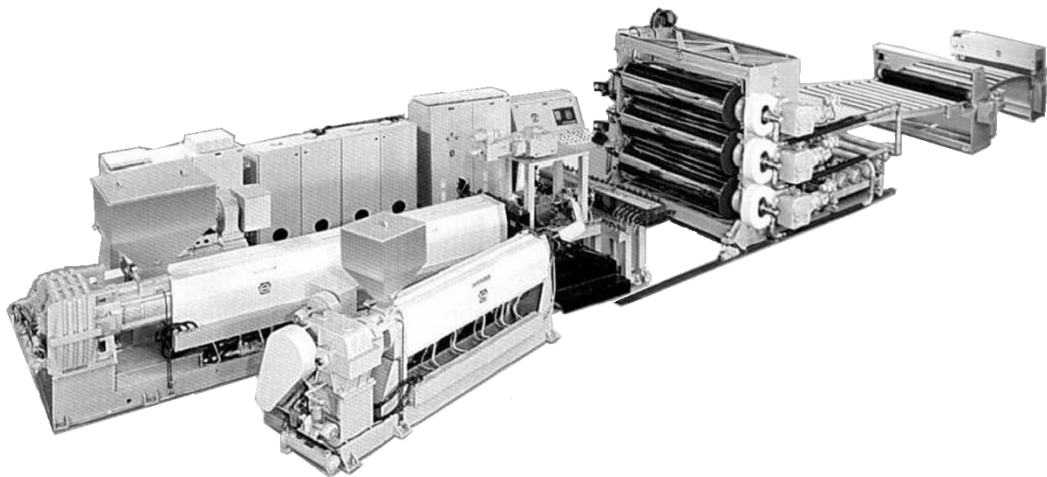


Figura 2.9: Processo de Coextrusão dos Filmes de Polietileno (MOTON-JONES,1993).

Especialistas desenvolveram uma extrusora com doze roscas dispostas em formato de anel, cujas características abrem possibilidades completamente novas para a formulação e transformação de resinas plásticas, além de assegurar uma alta adaptabilidade aos diferentes tipos de processos a serem aplicados. Os resultados dos ensaios confirmaram a sua eficácia com relação à desgaseificação e ao alto grau de dispersão do produto, além da possibilidade de serem obtidos melhores índices de produtividade. A Figura 2.10 mostra a ampla área da região de fusão torna possível um nível de desgaseificação substancialmente melhor em comparação com as extrusoras de rosca dupla convencionais. A superioridade da extrusão em anel torna-se clara quando se faz uma comparação direta com uma moderna extrusora de rosca dupla, ou seja, devido ao maior torque disponível para a extrusora em anel, foram obtidos níveis de produção bem maiores para este equipamento do que para a tecnologia convencional de extrusão com rosca dupla.

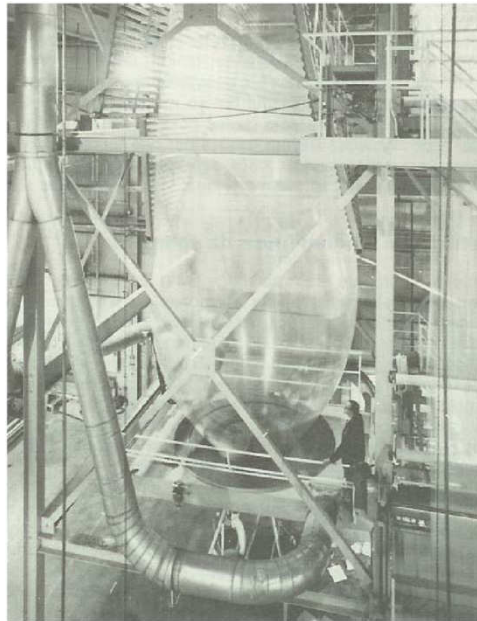


Figura 2.10: Foto de um Extrusor de Polietileno (PATTON,1978).

Apesar do alto torque total, a tensão de cisalhamento máxima gerada por torção é substancialmente menor do que a observada para a extrusora com rosca dupla, proporcionando também garantia adicional contra a ruptura da rosca (VORBERG, 2002).

O cabeçote de sopro da matriz, além da extrusora, também é um dos componentes mais importantes para uma produção flexível e de alta qualidade. Sua missão é assegurar que um espectro mais amplo possível de materiais possa ser processado em uma matriz, sob altos níveis de produção, e que a bolha de filme extrusado seja tão homogênea quanto possível, em termos de espessura e temperatura. O resfriamento do extrudado ainda é o fator que limita a magnitude da produção de filmes tubulares e também exerce uma grande influência na qualidade do produto, uma vez que as condições heterogêneas de resfriamento podem provocar efeitos adversos não apenas na espessura do filme, mas também em sua transparência e brilho (SPIRGATIS e WORTBERG, 2002).

A coextrusão permite reduzir a espessura final de um filme, mantendo e até mesmo melhorando o seu desempenho final. Utilizando a coextrusão podemos otimizar a utilização dos polietilenos de alto desempenho, fato que representa uma vantagem competitiva para o transformador. Além disso, a coextrusão permite também a redução do número de processamentos necessários para se obter as propriedades desejadas para um filme ou uma estrutura laminada (MARTÍNEZ e ARROYO, 1998).

A utilização de sistemas internos de resfriamento está dando uma importante contribuição para aumentar a capacidade de produção, devido ao fato de que ambas as faces da bolha do filme são resfriadas. Isto é limitado apenas pelo diâmetro da matriz de extrusão. Com este processo, consegue-se um resfriamento mais intenso da bolha de filme, evitando-se ainda o bloqueio do filme em função de uma temperatura excessiva da bolha antes da passagem pelos rolos de achatamento (SPIRGATIS e WORTBERG, 2002).

Os recentes avanços na tecnologia dos equipamentos utilizados no processamento de polímeros, a introdução de novos polímeros, e o desenvolvimento de novos mercados de aplicação, atualmente torna mais atraentes a utilização de filmes coextrusados. Para permanecer competitivo dentro destes mercados, torna-se imprescindível desenvolver as técnicas e o conhecimento adequado para tirar o máximo proveito dos novos polímeros (MARTÍNEZ e ARROYO, 1998).

O perfil transversal de espessura de uma bolha de filme é controlado pelo ar de resfriamento, sendo que o ajuste é efetuado por uma mudança local da vazão ou temperatura do ar. A bolha cilíndrica de filme é comprimida na unidade de achatamento, transformando-se em filme plano com duas camadas. As bobinadoras estão se tornando cada vez mais importantes nos equipamentos para produção de filmes tubulares, sendo que nos sistemas atuais estão integradas funções tais como troca automática e manipulação de rolos, ou gerenciamento dos parâmetros de bobinamento, tais como comprimento do lote, tensão na tira de filme, pressão de contato, e outros, em função do tipo de formulação processada. Todos os componentes de uma linha para produção de filme tubular estão agrupados em uma unidade operacional com um sistema de controle, tais como controle de produção, de temperatura e dos parâmetros de produto, como largura do filme achatado, planicidade da tira e perfil da espessura do filme (SPIRGATIS e WORTBERG, 2002).

#### 2.4.9 RECICLAGEM DOS FILMES DE POLIETILENOS

A estrutura molecular do PEBD permite que ele seja totalmente reciclado para uma variedade de usos, de componentes plásticos em brinquedos, tampas de garrafas e de fitas para enchimento macio em almofadas e roupas. Se não for reciclado, o PEBD é considerado não biodegradável, como vai demorar séculos para se degradar. Estudos recentes na aplicação de bactérias descartados PEBD

renderam algum sucesso em dividi-lo muito mais rápido, e a pesquisa está sendo feito nesta área

Baixa densidade de polietileno (PEBD) é um termoplástico feito de petróleo. Ele é fabricado por um processo de alta pressão através da polimerização de radicais livres. Desde o PEBD tem uma capacidade de reciclagem de bom, é amplamente utilizado na fabricação de sacos e outras embalagens.

## 2.5 TEORIA SOBRE O GRÁFICO TENSÃO x DEFORMAÇÃO PARA OS ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO

Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio.

Mas o que interessa para a determinação das propriedades do material ensaiado é a relação entre tensão e deformação.

Sabendo que a tensão (T) corresponde à força (F) dividida pela área da seção (S) sobre a qual a força é aplicada. No ensaio de tração convencionou-se que a área da seção utilizada para os cálculos é a da seção inicial (S<sub>0</sub>).

Assim, aplicando a fórmula:  $T = \frac{F}{S_0}$ , podemos obter os valores de tensão para montar um gráfico que mostre as relações entre tensão e deformação.

Os valores de deformação, representados pela letra grega minúscula e (épsilon), são indicados no eixo das abscissas (x) e os valores de tensão são indicados no eixo das ordenadas (y).

A curva resultante apresenta certas características que são comuns a diversos tipos de materiais usados na área da Mecânica.

Analisando o diagrama tensão-deformação passo a passo, se conhece cada uma das propriedades que ele permite determinar. A primeira delas é o limite elástico. Na Figura 2.11 mostra um diagrama padrão de tensão x deformação



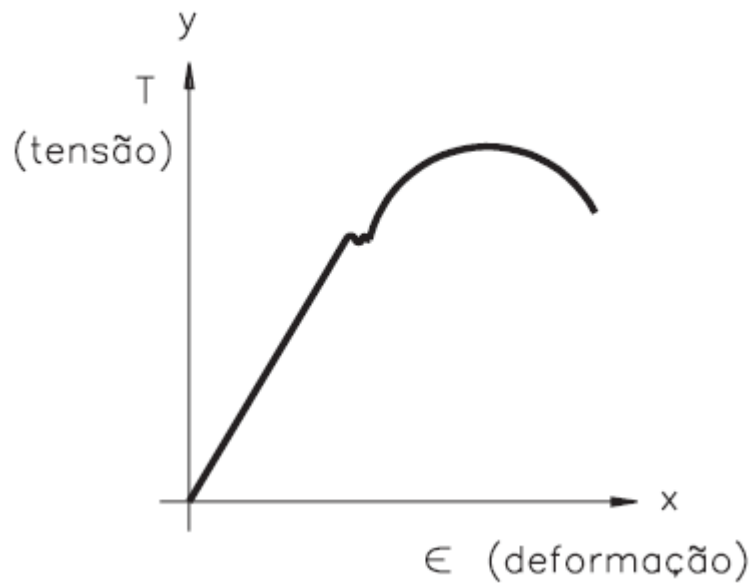


Figura 2.11: Gráfico Tensão x Deformação.

### 2.5.1 LIMITE ELÁSTICO

Observando o diagrama a seguir. Nota-se na Figura 2.12 que foi marcado um ponto A no final da parte reta do gráfico. Este ponto representa o limite elástico.

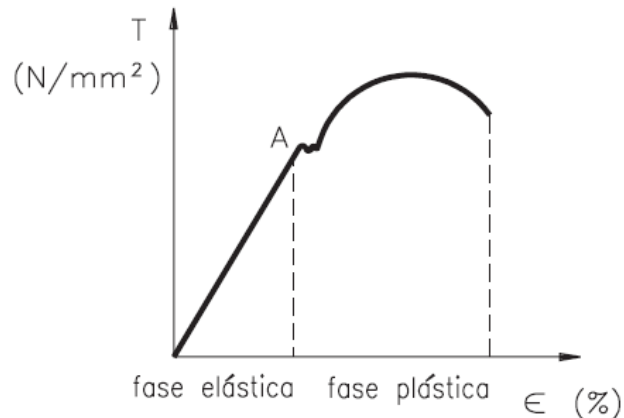


Figura 2.12: Gráfica Tensão x Deformação mostrando o Limite elástico (ponto A).

O limite elástico recebe este nome porque, se o ensaio for interrompido antes deste ponto e a força de tração for retirada, o corpo volta à sua forma original, como faz um elástico. Na fase elástica os metais obedecem à Lei de Hooke. Suas deformações são diretamente proporcionais às tensões aplicadas.

### 2.5.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Na fase elástica, se dividirmos a tensão pela deformação, em qualquer ponto obteremos sempre um valor constante.

Este valor constante é chamado módulo de elasticidade.

A expressão matemática dessa relação é:

$$E = \frac{T}{\epsilon}, \quad 2.1$$

Onde E é a constante que representa o módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade é a medida da rigidez do material. Quanto maior for o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão e mais rígida será o material. Esta propriedade é muito importante na seleção de materiais, como por exemplo, para fabricação de molas.

### 2.5.3 LIMITE DE PROPORCIONALIDADE

Na prática, considera-se que o limite de proporcionalidade e o limite de elasticidade são coincidentes. Porém, a Lei de Hooke só vale até um determinado valor de tensão, denominado limite de proporcionalidade, que é o ponto representado no gráfico a seguir por A', conforme mostrado na Figura 2.13, a partir do qual a deformação deixa de ser proporcional à carga aplicada. Na prática, considera-se que o limite de proporcionalidade e o limite de elasticidade são coincidentes.

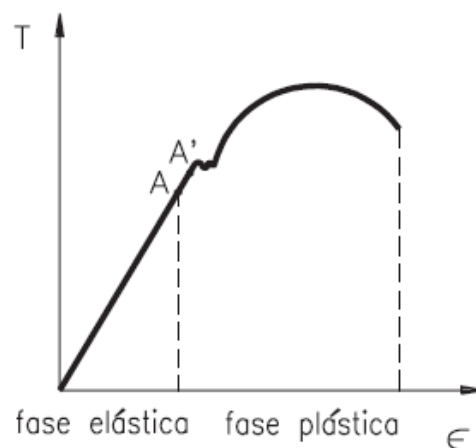


Figura 2.13: Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Limite de Proporcionalidade (ponto A').

### 2.5.4 ESCOAMENTO

Terminada a fase elástica, tem início a fase plástica, na qual ocorre uma deformação permanente no material, mesmo que se retire a força de tração. No início da fase plástica ocorre um fenômeno chamado escoamento, conforme mostrado na Figura 2.14. O escoamento caracteriza-se por uma deformação permanente do material sem que haja aumento de carga, mas com aumento da velocidade de deformação. Durante o escoamento a carga oscila entre valores muito próximos uns dos outros.

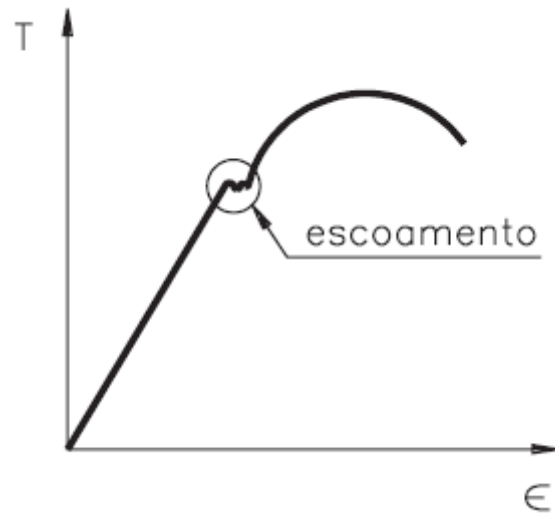


Figura 2.14: Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Escoamento

### 2.5.5 LIMITE DE RESISTÊNCIA

Após o escoamento ocorre o encruamento, que é um endurecimento causado pela quebra dos grãos que compõem o material quando deformados a frio. O material resiste cada vez mais à tração externa, exigindo uma tensão cada vez maior para se deformar.

Nessa fase, a tensão recomeça a subir, até atingir um valor máximo num ponto chamado de limite de resistência (B), conforme mostrado na Figura 2.15.

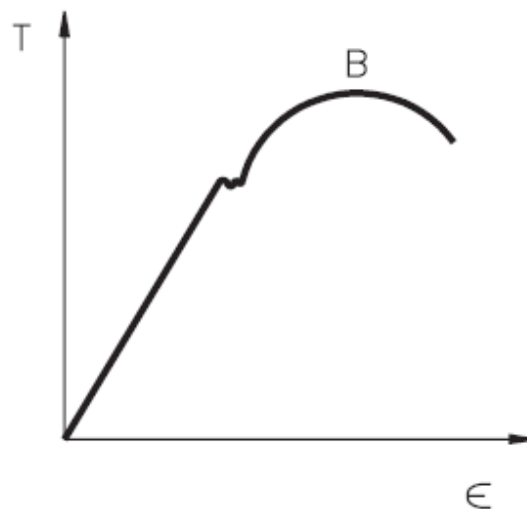


Figura 2.15: Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Limite de Resistência

Para calcular o valor do limite de resistência (LR), basta aplicar a fórmula:

$$LR = \frac{F_{max}}{S_0} \quad 2.2$$

### 2.5.6 LIMITE DE RUPTURA

Continuando a tração, chega-se à ruptura do material, que ocorre num ponto chamado limite de ruptura (C), conforme mostrado na Figura 2.16. A tensão no limite de ruptura é menor que no limite de resistência, devido à diminuição da área que ocorre no corpo de prova depois que se atinge a carga máxima.

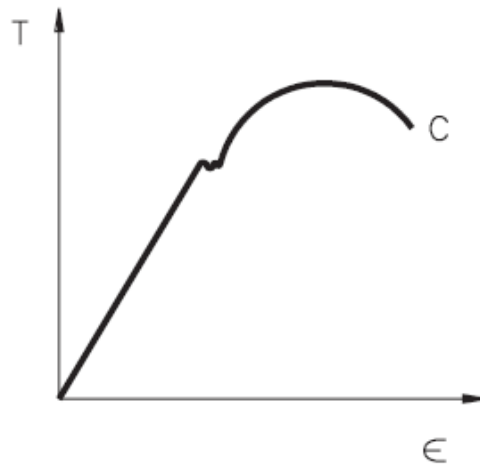


Figura 2.16: Gráfico Tensão x Deformação mostrando o Limite de Ruptura (ponto C)

Fazendo um resumo, temos condições de analisar todos esses elementos representados num mesmo diagrama de tensão-deformação, como na Figura 2.17.

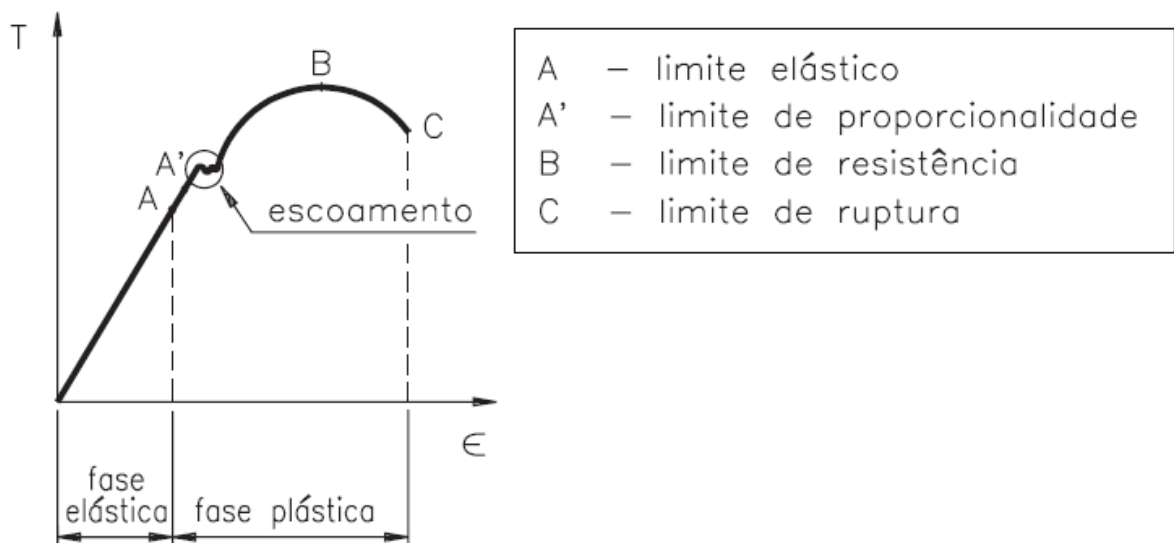


Figura 2.17: Gráfico Tensão x Deformação mostrando todos os elementos

### 2.5.7 ESTRICÇÃO

É a redução percentual da área da seção transversal do corpo de prova na região aonde vai se localizar a ruptura.

A estrição determina a ductilidade do material. Quanto maior for a porcentagem de estrição, mais dúctil será o material.

### 2.6 TEORIA SOBRE O ENSAIO DE COMPRESSÃO APLICADO NO LABORATÓRIO

O ensaio de compressão consiste em um esforço axial, que tende a provocar um encurtamento do corpo submetido a este esforço, conforme mostrado na Figura 2.18.

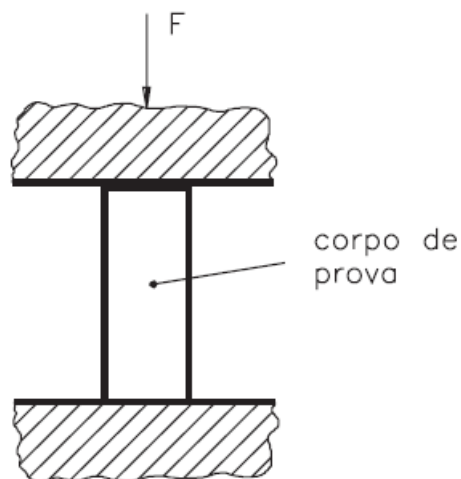


Figura 2.18: Princípio do Ensaio de Compressão.

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

Do mesmo modo que o ensaio de tração, o ensaio de compressão pode ser executado na máquina universal de ensaios, com a adaptação de duas placas lisas, uma fixa e o outro móvel. É entre elas, que o corpo de prova é apoiado e mantido firme durante a compressão.

As relações que valem para tração valem também para a compressão. Isso significa que um corpo submetido a compressão também sofre uma deformação elástica e a seguir uma deformação plástica.

Na fase de deformação elástica, o corpo volta ao tamanho original quando se retira a carga de compressão, conforme mostrado na Figura 2.19.

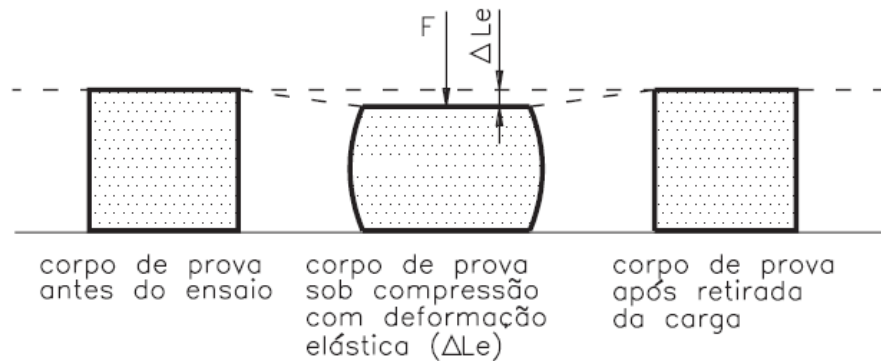


Figura 2.19: Demonstração de Compressão na Fase Elástica.

Na fase de deformação plástica, o corpo retém uma deformação residual depois de ser descarregado, conforme mostrado na Figura 2.20.

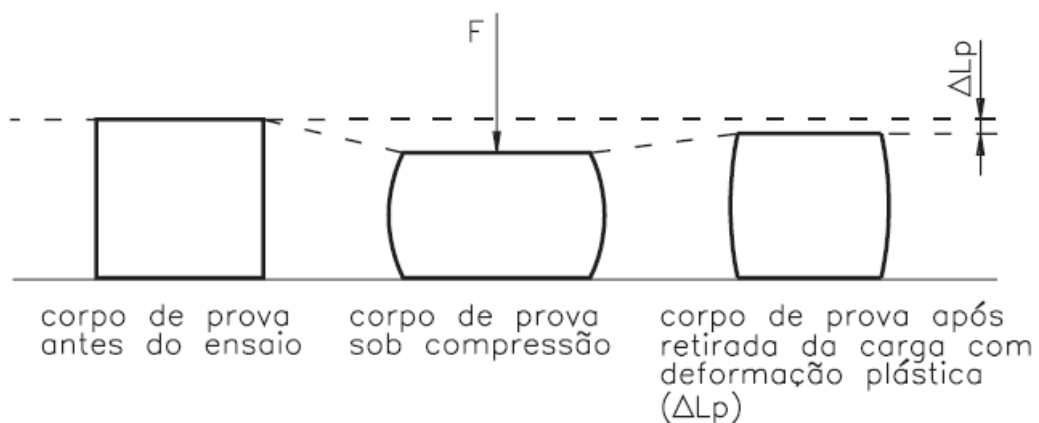


Figura 2.20: Demonstração de Compressão na Fase Plástica.

Nos ensaios de compressão, a lei de Hooke também vale para a fase da deformação, e é possível determinar o módulo de elasticidade para diferentes materiais.

Na compressão, as formulas para os cálculos da tensão, da deformação e do módulo de elasticidade são semelhantes às de tração. Estas fórmulas estão mostradas no Quadro 2.1.

RELAÇÕES VÁLIDAS PARA OS ESFORÇOS DE COMPRESSÃO	
FÓRMULA	SIGNIFICADO
$T = \frac{F}{S}$	T → tensão de compressão
	F → força de compressão
	S → área da seção do corpo
$\epsilon = \frac{L_o - L_f}{L_o}$	$\epsilon$ → deformação
	$L_o - L_f$ → variação do comprimento do corpo
	$L_o$ → comprimento inicial do corpo
$E = \frac{T}{\epsilon}$	E → módulo de elasticidade
	T → tensão
	$\epsilon$ → deformação

Quadro 2.1: Formulas utilizada para um corpo submetido a compressão.

### 2.6.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO EM MATERIAIS DÚCTEIS

Nos materiais dúcteis a compressão vai provocando uma deformação lateral apreciável. Essa deformação lateral prossegue com o ensaio até o corpo de prova se transformar num disco, sem que ocorra a ruptura, conforme mostrado na Figura 2.21.

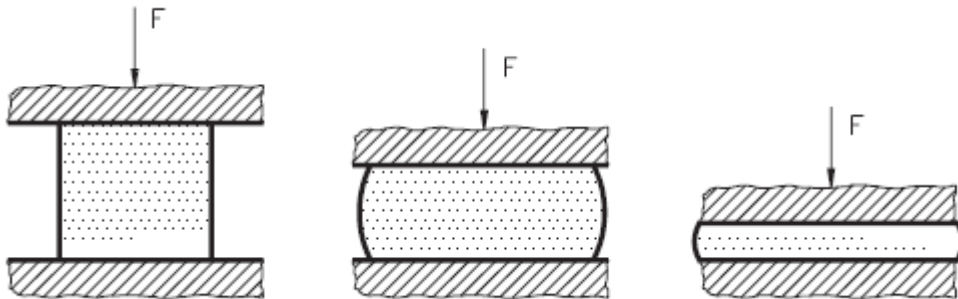


Figura 2.21: Comportamento no Ensaio de Compressão de um Material Dúctil.

É por isso que o ensaio de compressão de materiais dúcteis fornece apenas as propriedades mecânicas referentes à zona elástica.

As propriedades mecânicas mais avaliadas por meio do ensaio são: Limite de proporcionalidade, limite de escoamento e módulo de elasticidade.

## 2.6.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO EM PRODUTOS ACABADOS

Ensaio de achatamentos em tubos ou dutos – Consiste em colocar uma amostra de um seguimento de tubo deitada entre as placas da máquina de compressão e aplicar uma carga até achatá-la, conforme mostrado na Figura 2.22.

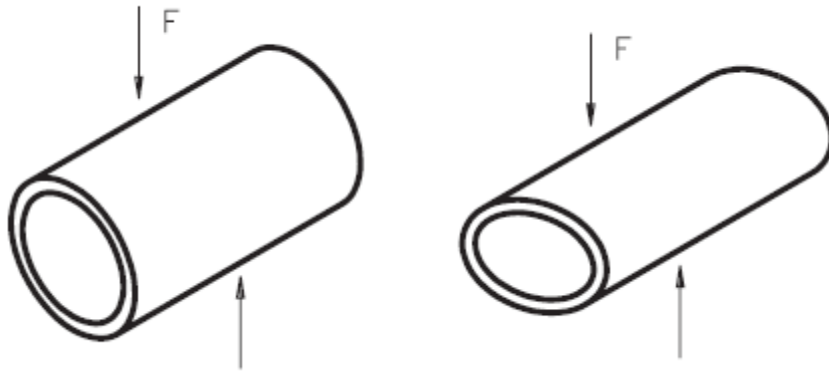


Figura 2.22: Comportamento no Ensaio de Compressão em Tubo ou Dutos.

A distância final entre as placas, que varia conforme a dimensão do tubo ou duto deve ser registrada. O resultado é avaliado pelo aparecimento ou não de fissuras, ou seja, rachaduras, sem levar em conta a carga aplicada.

Este ensaio permite avaliar qualitativamente a ductibilidade do material, do tubo ou do duto e do cordão de solda do mesmo, pois quanto mais o tubo se deforma sem trinca, mais dúctil será o material.

## 2.7 A EMBALAGEM E O MEIO AMBIENTE

Esta seção apresenta uma descrição sobre a influência da embalagem no meio ambiente. Apresentar-se-á uma abordagem desse tema, considerando o cenário nacional e internacional. Na seqüência, explicar-se-á o que é rótulo ecológico e o que é auditoria ambiental, com a descrição de suas fases, bem como o “check-list” da auditoria ambiental relacionado a embalagem.

Conforme CORDARO (1994), com o crescimento populacional e o acelerado ritmo de desenvolvimento urbano e industrial das últimas décadas, surgiram diversos desequilíbrios sociais, ambientais e econômicos, que vêm comprometendo a qualidade de vida e do meio ambiente em todo o planeta.



BRAUN & MADI (1994) descrevem que no final deste século, mais objetivamente a partir dos anos 90, têm surgido muitos desafios aos profissionais da área de embalagem de todo o mundo. Nos dias de hoje defronta-se com o paradoxo do acelerado avanço tecnológico que a área sustenta e o constante ataque por parte de críticos que vêm à embalagem como um “mal necessário” à sociedade, ignorando desta forma o bem-estar social, o crescimento econômico e o aumento do padrão de vida que ela proporciona. Sendo assim, a Embalagem e o Meio Ambiente assumem uma posição importante no desenvolvimento sócio-econômico dos países de todo o mundo. A cada dia, são desenvolvidos novos materiais, novas tecnologias e novos sistemas com o objetivo de gerar uma vida melhor, mais segura e mais confortável para o homem. Em contrapartida, o meio ambiente tem pressionado todas as áreas industriais, e entre elas a embalagem, apesar de representar em média 30% do resíduo sólido municipal e 1% do resíduo sólido total de um país. Sem desconhecer que a eliminação dos resíduos sólidos constituem um importante problema social, o impacto das embalagens no meio ambiente parece ter chamado a atenção desproporcionalmente do grande público, particularmente em relação a outros problemas de meio ambiente, como a redução da camada de ozônio, o efeito estufa, a chuva ácida, etc.. CORDARO (1994) descreve ainda, que a riqueza do lixo brasileiro é um indicativo da cultura do desperdício que predomina em nossa sociedade. A composição média dos resíduos urbanos engloba: 55% de material orgânico decomponível, 28% de papéis, 6% de plásticos, 5% de metais, 3% de vidros, e outros. Deste total, cerca de 90% poderia ser reaproveitado, no entanto, estes materiais estão simplesmente sendo descartados no lixo.

De acordo com GIOSA (1994), a reciclagem começou a ser mais usada nos últimos anos devido ao aumento da consciência ecológica e também por ser um meio de reaproveitamento de materiais de alta economia. Constitui-se em um poderoso instrumento de “marketing” das empresas preocupadas com o meio ambiente e com a reação de seus consumidores, e pode representar uma alternativa de receita adicional àqueles que participem de um programa de reciclagem.

Conforme BRAUN & MADI (1994), a atual situação internacional, pode ser dividida em dois grupos: a dos países industrializados e a dos países em desenvolvimento, como o Brasil.

Os países desenvolvidos apresentam um excelente sistema de embalagem, de distribuição de alimentos e de conveniência, mas sofrem hoje uma

pressão muito forte do ponto de vista político e têm que atuar de uma forma adequada a esta situação. Existe ainda uma grande diferença entre as estratégias adotadas por vários países industrializados e que dificulta a adoção de uma medida única para a solução do problema. Já os países em desenvolvimento têm outros problemas completamente diferentes como:

- falta de um sistema de embalagem adequado;
- perda de alimentos em níveis altos e;
- sistemas de tratamento de resíduos desorganizado.

Verifica-se, assim, que os países em desenvolvimento apresentam uma postura diferente, e atuam ainda de forma incipiente e desorganizada no que se refere à área de embalagem e meio ambiente. Para reduzir ou no mínimo amenizar estas diferenças, BRAUN & MADI (1994) citam ainda, que o Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA), baseado em sua experiência, sugere:

- a) estar muito bem informado sobre o que está sendo analisado em todo o mundo;
- b) empenhar e organizar grupos de trabalho analisando os diferentes materiais separadamente e como reciclá-los;
- c) organizar grupos de trabalhos multi setoriais para discutir os problemas de coleta, separação, reciclagem e mercado de materiais;
- d) organizar um grupo de trabalho para discutir os aspectos legais, que serão gradualmente aplicados na sociedade;
- e) avaliar sempre a solução com base nos seguintes pontos: redução na fonte; reutilização; reciclagem; incineração; aterro sanitário.

BRAUN & MADI (1994) concluem que no mundo de hoje, não existem tecnologias de embalagem para países industrializados e para países em desenvolvimento, existem sim, tecnologias, algumas mais adaptáveis ou adequadas a uns ou a outros. O conhecimento destas tecnologias é importante pois, em determinados casos, algumas das tecnologias utilizadas nos países industrializados são perfeitamente adequadas aos países em desenvolvimento, e estes, têm uma excelente oportunidade de aprender com os problemas que se sucederam nos países industrializados e evitar que isso se repita no futuro.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os equipamentos utilizados para fazer os ensaios de compressão no laboratório e os parâmetros para os três tipos de filmes reaproveitados da linha de produção e as embalagens dos componentes utilizados na aplicação dos filmes de polietileno para suportar esforços mecânicos e variações atmosféricas. São descritos os métodos empregados na caracterização mecânica e micro estrutural dos filmes de polietileno disponíveis no mercado, o planejamento dos ensaios mecânicos realizada em laboratórios.

A elaboração da dissertação de mestrado através deste projeto foi baseada nas seguintes etapas de desenvolvimento:

A primeira etapa do experimento consiste no desenvolvimento do conhecimento específico captação de referencias bibliográfica e elaboração de um plano de trabalho junto aos professores orientadores.

A segunda etapa foi feita uma análise dos materiais descartados na linha de produção da empresa Envision Indústria de Produto Eletroeletrônico LTDA, onde foram recolhidas e reaproveitadas as amostras dos filmes de polietilenos para o desenvolvimento da pesquisa experimental sobre o tema proposto. Para isto, foram realizadas análise de caracterização do material da embalagem e de suas propriedades, estudos dos processos de fabricação de produtos eletroeletrônicos (TV LCD, TV de LED, Monitores, etc.) e da embalagem, identificação de variáveis relacionadas ao desempenho da embalagem.

Na terceira e ultima etapa deste trabalho comparamos dois processos utilizando tipos de calços embalagens diferentes empregados nas indústrias de eletroeletrônicos nos distritos industriais. Um processo utilizando calços embalagens de poliestireno expandido EPS (isopor) e o outro processo utilizando os calços infláveis de filmes de polietileno (PE). Esses calços de EPS ou de PE deverão suportar os eventos mecânicos tais como: choque, queda, vibrações, bem como todas as intempéries atmosféricas (calor, frio, umidade, pressão) ocorrida durante o transporte do produto da fábrica até as lojas das cidades, seja por via aérea, terrestre ou marítimo.

A metodologia utilizada foi aplicada para um mesmo segmento de produto eletrônico, no caso a produção de TV LCD. Para essa metodologia foram selecionados os critérios para comparação dos dois processos, tais como: logística de aquisição da embalagem no fornecedor, a quantidade de calços armazenados no estoque da fábrica, custo de aquisição de um conjunto de embalagem e o tempo de produção de um aparelho.

### 3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS FILMES DE POLIETILENO UTILIZADO NA PESQUISA

Para a preparação das amostras de filme de polietileno foram utilizados três tipos diferentes listados a seguir:

a) 1º Tipo de Filmes de Polietileno é o da cor branca ou Transparente (Considerado Amostra Padrão)

Atualmente utilizado no exterior utilizado para fazer calços com coluna de ar inflável na China.

O filme é sintética de dupla face e PE NYLON chamados bi-orientada axialmente Nylon Filmes, que tem anti-alongamento e equilíbrio características de superfície e é uma boa impressão. Existe várias opções de materiais AIR-PAQ para você escolher: uma é PE / PA / PE, filme produzido pela combinação PA com muita força com linear de baixa densidade PEBDL; a outra é um PE / EVOH / PE e filmes PE sintético plástico filme co-extrudado pela baixa densidade PEBD que satisfaz o teste não tóxico da proteção do ambiente.

A Figura 3.1 mostra a folha de filme transparente utilizada com padrão ou referencia no nosso ensaio com outros filmes propostos,



Figura 3.1: Filme de Polietileno (PE) Branco ou Transparente.

Na Tabela 3.1 mostra o detalhamento desse filme de polietileno na cor transparente e suas principais características.

Tabela 3.1: Característica do Filme de Polietileno Branco (Transparente)

DESCRIÇÃO DO PARÂMETRO	VALORES ESPECIFICADOS
Tamanho da coluna de ar (antes e depois de enchimento de ar)	40mm
Espessura do Material (mm)	0,15mm
Peso aplicado na embalagem do produto	1,0kg ~ 50kg *
Máxima Pressão de preenchimento	0,8~0,15MPa **
Pressão de Ar do Comprimido do Sistema	0,04MPa ~ 0,10MPa *
Temperatura Máxima	+75°C
Temperatura Mínima	-20°C

Notas :

\* De acordo com a aplicação de fora da caixa de embalagem.

\*\* Seleção de materiais filme baseado em clientes.

Resistência à Umidade: material plástico, resistência à umidade, à prova de água

Fornecimento de materiais diversificados e amostras por demanda de clientes.

Processamento de vibrações diferentes, batendo, deixando cair às embalagens nos testes, em conformidade com os clientes.

#### a) 2º Tipo: Filmes de Polietileno da Cor Cinza.

Filmes de polietileno de baixa densidade utilizados para proteger painéis LCD/LED, descartado após a montagem dos produtos das linhas de produções de empresa de eletroeletrônico no distrito industrial. Estes filmes coletados precisam ter a característica antiestática devido a alta sensibilidade dos painéis com a descarga eletrostática. Todas as embalagens dos painéis são descartadas e colocados em um depósito para ser vendida a reciclagem.

Filmes de multicamadas de barreira (camada antiestática / metalizado poliéster / PE / camada antiestática oferta) superior proteção contra a EMI, ESD e absorção de umidade.

Na Figura 3.2 mostra a linha de produção retirando esse filme de polietileno que é utilizado para embalar painéis LCD e LED. Esses filmes são todos descartados e vendidos para reciclagem.

Na Tabela 3.2 mostra algumas características específicas desse filme cinza, que serve de referência para a sua aplicabilidade.



Figura 3.2: Filme de Polietileno (PE) Cinza descartados na produção.

Tabela 3.2: Característica do Filme de Polietileno Cinza

DESCRIÇÃO DO PARÂMETRO	Valores Especificados
Tamanho da coluna de ar (antes e depois de enchimento de ar)	40mm
Espessura do Material (mm)	0,11mm
Máxima Pressão de preenchimento	0,8~0,18MPa
Pressão de Ar do Comprimido do Sistema	0,04MPa ~ 0,10MPa
Temperatura Máxima	+80°C
Temperatura Mínima	-20°C

Fonte: Eurostat 1900 Metal in Static Shelding Bags

b) 3º Tipo: Filmes de Polietileno da Cor Azul.

Filmes de polietileno de baixa densidade utilizados para proteger painéis LCD/LED, descartado após a montagem dos produtos das linhas de produções de empresa de eletroeletrônico no distrito industrial. Estes filmes coletados precisam ter a característica antiestática devido a alta sensibilidade dos painéis com a descarga eletrostática. Todas as embalagens dos painéis são descartadas e colocados em um deposito para ser vendido para reciclagem.

Antiestático saco do PE é primeiro golpe moldado a partir do composto de PEBD, PEBDL, antiestática pigmentos, aditivos e ingredientes estabilidade de cor e, em seguida selado a quente e corte em sacos.

Este produto tem a função antiestático, assim como todas as características que o saco do PE comum. Seu material derruba muito mole e da espessura pode ser ajustado livremente, o que tornou amplamente utilizado para embalar produtos eletrônicos em geral, como placa de circuito impresso. Como um envoltório, por um lado, pode economizar custos, por outro lado, ele pode manter os

componentes eletrônicos longe de danos causados por estática esfrega isolante mutuamente.

Dados Técnicos:

Seus índices técnicos como a seguir: Método MIL-B-81705B; resistência da superfície interna e externa está entre  $108\Omega$  e  $1011\Omega$ ; Tempo necessário para a remoção de estática é menos de 2 segundos. De acordo com a especificação dos clientes pode ser necessário fazer em folha, bobina, saco de fecho inferior e um saco de envelopes. E em termos de cor pode ser feita personalizada.

Na Figura 3.3 mostra a linha de produção retirando esse filme de polietileno azul que é utilizado para embalar vários tipos de painéis LCDs. Esses filmes azuis são todos descartados e vendido para reciclagem.

Na Tabela 3.3 mostram algumas características específicas desse filme azul, que serve de referência para a sua aplicabilidade



Figura 3.3: Filme de Polietileno Azul Descartado na Linha de Produção.

Tabela 3.3: Característica do Filme de Polietileno Azul

Parâmetros do Filmes	Especificações
Tamanho da coluna de ar (antes e depois de enchimento de ar)	40mm
Espessura do Material (mm)	0,13mm
Máxima Pressão de preenchimento	0,8~0,11MPa
Pressão de Ar do Comprimido do Sistema	0,04MPa ~ 0,10MPa
Temperatura Máxima	+60°C
Temperatura Mínima	-10°C

Fonte: Eurostat 1900 Metal in Static Shelding Bags

### 3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

São descritos agora os materiais de consumo máquinas e equipamentos necessários na preparação das amostras das colunas de ar com filmes de polietileno para serem usadas no ensaio de compressão no laboratório.

#### 3.2.1 RÉGUA MILIMETRADA

A Figura 3.4 mostra uma régua de aço milimetrada de 30cm utilizada para traçar e dimensionar as colunas de ar para o teste no laboratório.



Figura 3.4: Escala de aço de 30cm.

#### 3.2.2 MÁQUINA DE SOLDAGEM PARA FILME DE POLIETILENO

Máquina seladora de filme de polietileno 110 v, modelo: F-300, com temporizador em segundos, utilizada para soldar os filmes de polietilenos que irão formar as colunas de ar, conforme mostrado na Figura 3.5.



Figura 3.5: Seladora para Filme de Polietileno.

#### 3.2.3 MINI COMPRESSOR DE AR COMPRIMIDO (PORTÁTIL)

Mini compressor de ar de 250 psi, 12v utilizado para encher as amostra de colunas de que será utilizado no ensaio de compressão ah uma pressão predeterminada para realização do ensaio, conforme mostrado na Figura 3.6.





Figura 3.6: Mini compressor de ar comprimido.

#### 3.2.4 TESOURA E ESTILETE

São ferramentas de corte, utilizadas para cortar os filmes de polietilenos na dimensão especificada para ensaio da coluna de ar.

#### 3.2.5 LÁPIS PARA RETROPROJETOR

Lápis utilizado para marca os filmes de polietileno na dimensão especificada para confecção das colunas de ar para o ensaio.

#### 3.2.6 MATERIAIS SECUNDÁRIOS

- Mesa reta com borracha em cima com medidas 1,5 x 1,0 metro
- Estilete de corte, marca Starret S07
- Paquímetro de Aço Analógico fabricante Mitutoyo, escala 0,05mm

#### 3.2.7 MÁQUINA DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO COMPUTADORIZADA

Máquina de compressão “Autograph” AGS-J com capacidade 10 kg, fabricante “Shimadzu”, utilizada para fazer a compressão das colunas de ar comprimido traçando os resultados força x deslocamento. Conforme mostrado na Figura 3.7.



Figura 3.7: Máquina de Tração e Compressão Autograph AGS-J

### 3.2.8 LOCAL DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

O equipamento e materiais necessários para o desenvolvimento deste trabalho encontram-se localizado na casa do autor dessa dissertação, porém somente a máquina de tração e compressão encontra-se no laboratório de uma fábrica de trefilação de fios e cabos par ao distrito industrial de Manaus.

As condições climáticas no local de preparação das amostras e teste no laboratório foram mantidas sob controle, com temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar em  $74\% \pm 2\%$ .

Para o desenvolvimento das amostras e teste no laboratório, estar mostrado de acordo com o esquema na Figura 3.8.

#### **Fluxo para Desenvolvimento das Amostras Padrões:**

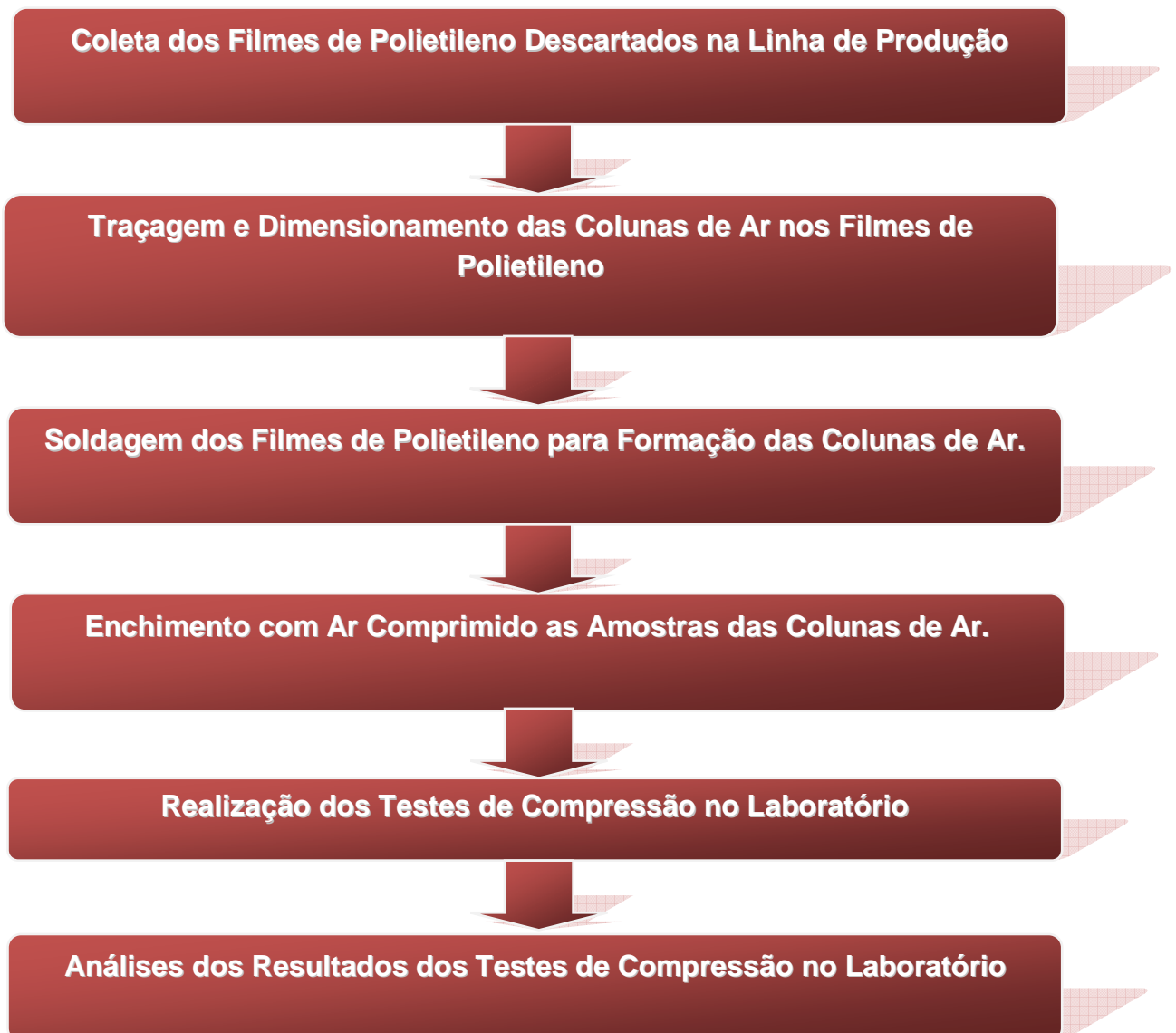


Figura 3.8: Esquema de Desenvolvimento de Amostra (coluna de ar) para Teste em Laboratório.

### 3.3 DESCRIÇÃO DA PREPARAÇÃO E FABRICAÇÃO DAS AMOSTRAS

O processo fabricação das amostras das colunas de ar com filme de polietileno de baixa densidade foi utilizada uma mesa comum de madeira (0.70 x 1.5m) para realizar o trabalho de confecção das amostras padrões. Com amostras dos três tipos filmes de polietilenos mencionados anteriormente (filme transparente, azul e cinza, começou a traçar e cortar as colunas de ar de acordo com o desenho mostrado na Figura 3.9.

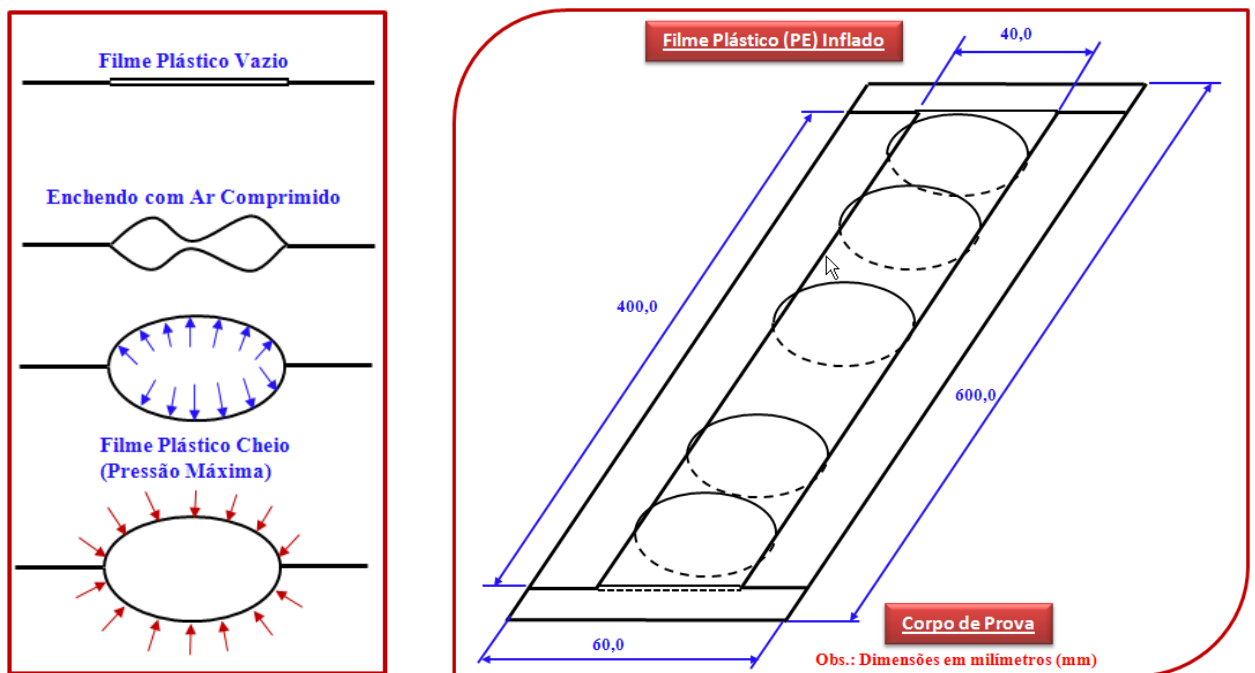


Figura 3.9: Desenho dimensional da coluna de ar para fabricação das amostras.

A preparação das amostras se desenvolveu em várias fases conforme listadas a seguir:

a) Fabricação das colunas de ar dos três tipos de filmes de Polietilenos

Marcação das linhas com auxílio de um lápis retroprojeter e uma régua milimetrada das colunas de ar que servirão de guia para a soldagem dos filmes de polietileno e o corte com um estilete as colunas de ar, formando assim os corpos de provas, conforme mostrado nas Figuras 3.10.

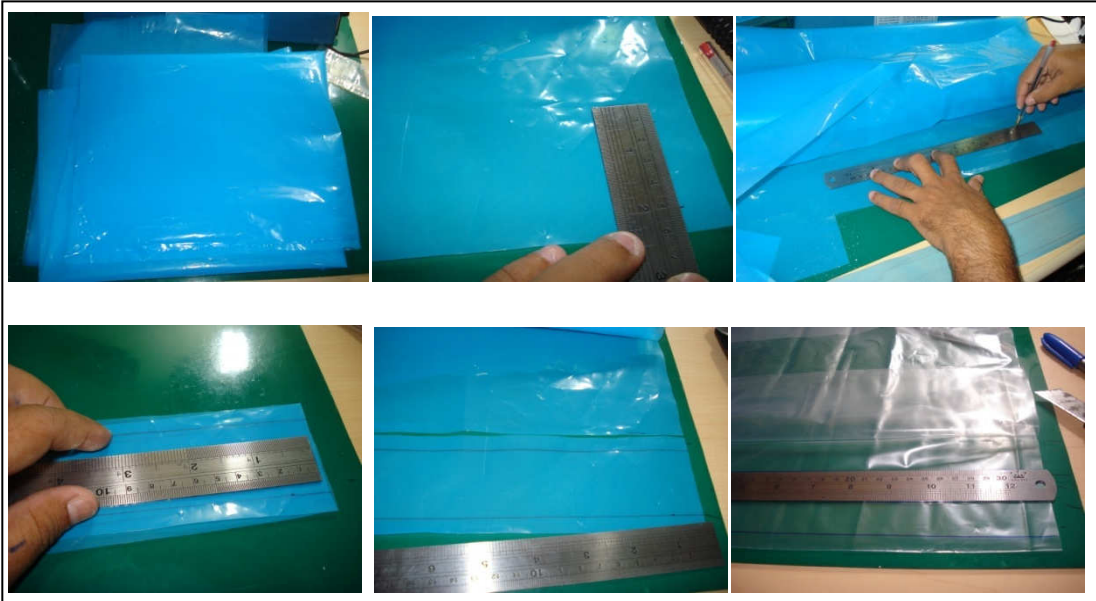


Figura 3.10: Marcação e Corte dos Filmes de Polietileno para Fabricação das Colunas de Ar.

#### b) Soldagem dos Filmes de Polietilenos

Depois de concluída a fase anterior com a fabricação das três amostras de coluna de ar com cada um dos três tipos de filmes de polietilenos utilizados no experimento, passou-se para etapa de soldagem desses filmes através de uma máquina especialmente desenvolvida e adquirida no mercado para soldagem dos filmes de polietilenos (PE) controlado através de um temporizador. Para cada tipo de filme foi ajustado um tempo padrão para obter uma soldagem perfeita entre os dois filmes. Conforme mostrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Tempo de Soldagem de cada Tipo de Filme de Polietileno

Tipo de Filmes de Polietileno	Tempo (s)
Filme de Polietileno Transparente (padrão)	4
Filme de Polietileno Azul	5,5
Filme de Polietileno Cinza	7,5

Nas Figuras 3.11 mostram as soldagens dos filmes de polietilenos manualmente controladas pelo temporizador da máquina.



Figura 3.11: Processo de Soldagem dos Três Tipos de Filmes de Polietilenos.

### c) Processo de Enchimento com Ar Comprimido as Colunas de Polietilenos

Para inflar as colunas de polietilenos utilizou-se um compressor de ar comprimido portátil controlado através de um manômetro instalado no próprio equipamento. Foi utilizado a mesma pressão para os três tipos de filmes estudado no experimento, cujo valor foi de 0.12MPa. Nas Figuras 3.12 mostram o processo de enchimento das colunas com ar comprimido.

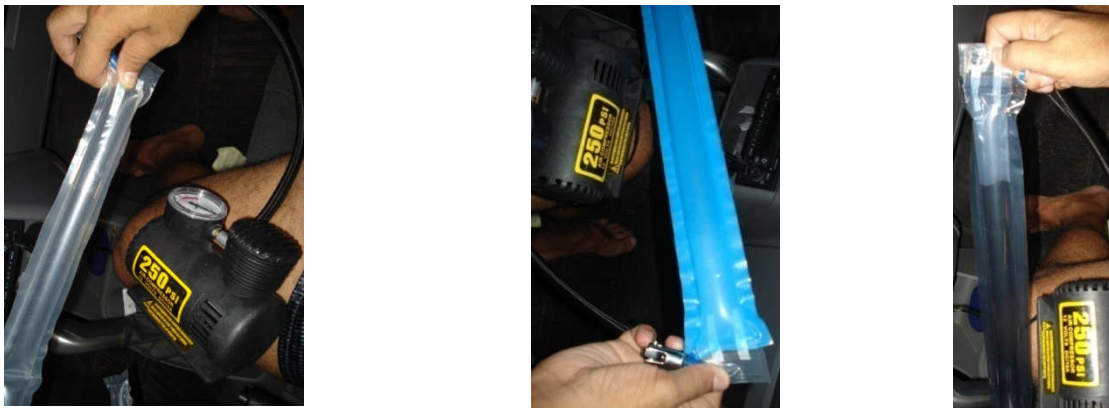


Figura 3.12: Processo de Enchimento das Colunas de Polietileno com Ar Comprimido.

Após a conclusão de todas as fases anteriores obtivemos as nove (9) amostras infladas, sendo três de cada tipos de filmes de polietilenos, conforme mostradas na Figura 3.13 e prontas para serem efetuadas o teste de compressão no laboratório.



Figura 3.13: Amostras das Colunas de Ar Infladas dos Três Tipos de Filme de Polietileno.

### 3.6 PREPARAÇÕES DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO NO LABORATÓRIO

A máquina do teste de compressão é AGS-J 10KN Marca “Shimadzu Autograph” e os equipamentos para os testes de compressão são os mesmos, diferenciando apenas alguns acessórios, Figura 3.14.

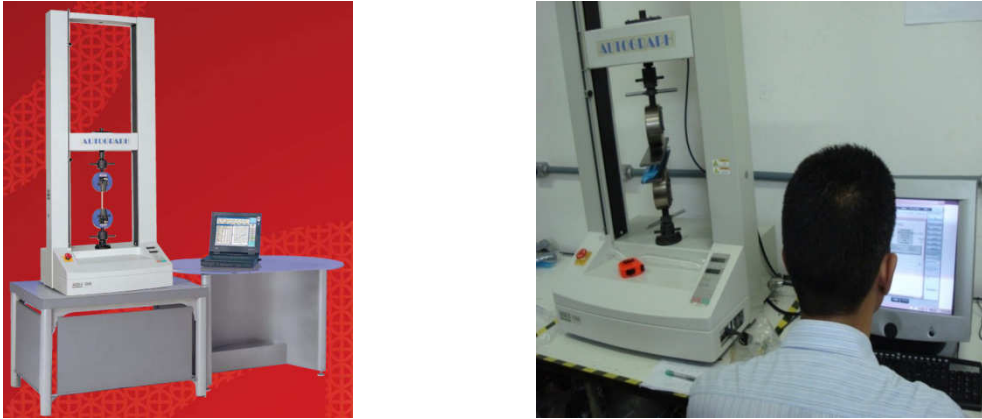


Figura 3.14: Equipamento Utilizado no Teste de Compressão – AGS-J 10KN.

A Figura 3.15 mostra o desenho da base superior e inferior especialmente construída para o ensaio de compressão que será utilizada na máquina de compressão para o teste no laboratório e a Figura 3.16 mostra o ajuste inicial das bases e a amostra nas bases do equipamento de ensaio de compressão antes do início do teste.

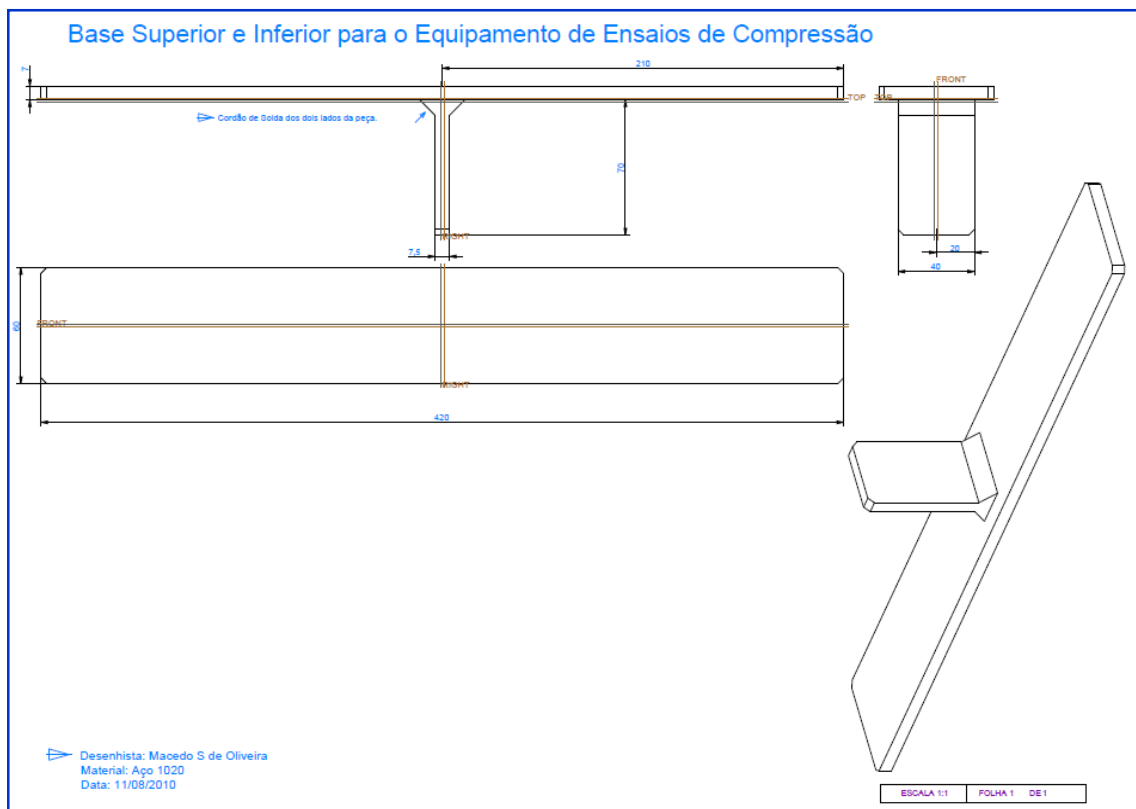


Figura 3.15: Desenho da Base Inferior e superior utilizada para o teste.



Figura 3.16: Ajustes iniciais e amostra na base antes do início do teste.

### 3.7 REALIZAÇÕES DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO NO LABORATÓRIO

A realização dos ensaios de compressão: das amostras de filme de polietileno tem o intuito de determinar algumas das propriedades mecânicas associadas a este tipo de carregamento. Os ensaios de compressão seguiram as especificações de norma ASTM (American Society for Testing and Materials) de numero D3039/D, 3039D -00 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Materials”. Desde modo adotou-se a velocidade de aplicação da carga igual a 25 mm/min.

O equipamento utilizado para as amostras de filme de polietileno foi a maquina de ensaio universal AGS-J 10 KN, da marca “Shimadzu”, “Autograph”, integrada a um sistema de coleta de dados. Este equipamento está no Laboratório de Ensaio Mecânicos, de uma fabrica de trefilação de fios localizada no distrito industrial de Manaus. Para a realização dos testes foi acoplada ao equipamento duas bases sendo uma superior e a outra inferior, dependendo do teste que desejamos realizar na máquina.

Este método é utilizado para coletar os dados de propriedades tensil e especificações dos materiais plásticos. Os dados são úteis para a caracterização qualitativa e para a pesquisa e desenvolvimento. A maioria dos materiais há uma especificação que requer o uso deste método, mas com modificação do procedimento, que antecede quando aderir à especificação.

### 3.8 ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL EM UMA FÁBRICA UTILIZANDO OS CALÇOS DE EPS

Iniciaremos falando de como é o desenvolvimento dos calços de poliestireno expandido (EPS). Depois de desenvolvido o produto em 3D no CAD em que se deseja fazer os calços de poliestireno expandido (EPS), inicia-se o projeto em 3D no CAD aproveitando a forma geométrica do design do produto para fazer a cavidade interna e em seguida colocando as espessuras das paredes do calço de EPS. Geralmente as paredes externas dos calços são retas onde as mesma ficarão em contato com a caixa de papelão que se é colocado o calço de EPS mais o produto. Após os desenvolvimentos do calço em 3D, o arquivo do CAD é enviado para o fabricante do molde, onde os formatos dos calços serão usinados em varias cavidades, geralmente são utilizados ligas de alumínio para a construção desses moldes. O custo de fabricação desses moldes é totalmente financiado pelo dono do produto que se deseje por no mercado. O custo médio de uma ferramenta de alumínio estar em torno de R\$ 30.000,00 para um TV LCD de 32". Após a fabricação da ferramenta, a mesma é enviada para o fornecedor escolhido pelo cliente onde que serão injetados os calços de poliestireno expandido (EPS). Os calços injetados ficam estocados até serem enviado por caminhões baús para fábrica do cliente. Esses calços são armazenados em um estoque intermediário que fica perto da linha de produção e do posto de trabalho onde será montado com o produto na caixa de papelão. Esse processo é mostrado na Figura 3.17 que vai desde fase desenvolvimento do calço em 3D até a embalagem final do produto.



Figura 3.17: Processo de Desenvolvimento dos Calços de Poliestireno (EPS).

Na Figura 3.18 abaixo mostra uma linha de produção de produto eletrônico utilizando os calços de poliestirenos (EPS) no final da linha para embalar os produtos acabados.



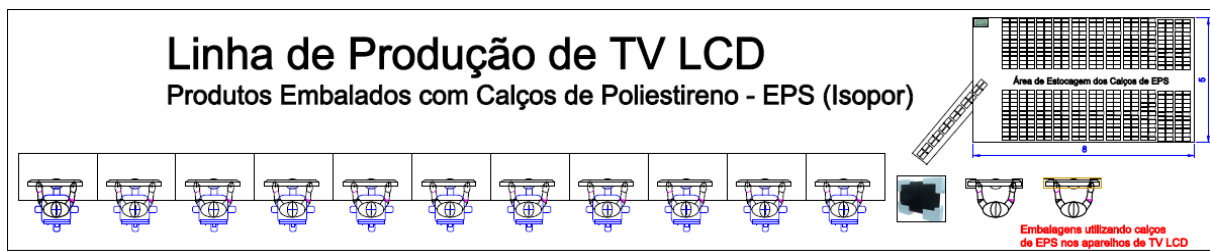


Figura 3.18: Linha de Produção com Calço de Poliestireno Expandido (EPS).

### 3.9 ANÁLISE DO PROCESSO UTILIZANDO OS CALÇOS PLÁSTICOS INFLÁVEIS DE FILME DE POLIETILENO (PE)

Depois de desenvolvido o produto em 3D no CAD em que se deseja fazer os calços de filme de polietileno (PE), inicia-se o projeto em 3D no CAD aproveitando a forma geométrica do design do produto para dimensionar a cavidade interna e em seguida ajustando as áreas das colunas de ar, no qual se formarão o colchão de ar depois de inflado. Este desenvolvimento é exato, visto que terá que prever depois do calço inflado a uma pressão estabelecida em projeto a dilatação das paredes externa dos calços que ficarão retas e em contato com a caixa de papelão que se é colocado o calço de filme de PE junto com o produto no cliente. Após os desenvolvimentos do calço de filme de PE em 3D, o arquivo do CAD é enviado para o fabricante dos calços de filme de polietileno. O fornecedor do calço de polietileno ajusta os setups das máquinas de soldagem dos filmes de acordo com as dimensões estabelecida em projeto de 3D. Nessas máquinas são alimentadas de bobinas de filme de polietileno especificado no projeto. A máquina faz a soldagem dos filmes de polietilenos juntamente com as válvulas de retenções que são colocadas em cada coluna de ar formada. A máquina também coloca um bico plástico na extremidade da embalagem, por onde o mesmo será utilizado pelo cliente para insuflar o ar comprimido para formação do colchão de ar na linha de produção dos seus produtos. Após o filme de PE passar pela sua fabricação na máquina, os mesmos são empilhados vazios em centenas em uma caixa de papelão até serem enviado por caminhões baús para fábrica do cliente. Cada caixa possui centenas de calços e esses são colocados diretamente no posto de trabalho na linha de produção do onde será montado com o produto na caixa de papelão. Esse processo é mostrado na Figura 3.18 que desde fase desenvolvimento do calço em 3D até a embalagem final do produto.



Figura 3.19: Fases de Desenvolvimento dos Calços de Filmes de Polietileno (PE).

Na Figura 3.20 abaixo mostra uma linha de produção de produto eletroeletrônico utilizando os calços inflados de filme de PE no final da linha para embalar os produtos acabados. O colaborador pega um calço de filme de PE vazio e com auxílio de um bico de ar comprimido infla o calço até a sua pressão estabelecida em projeto e que todas as colunas de ar esteja completamente cheia. Após isso o calço inflado é colocado no produto e juntamente ao mesmo é colocado em uma caixa de papelão para ser lacrado e enviado para as lojas.



Figura 3.20: Linha de Produção com Calços de Filmes de Polietileno (PE).

## 4 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Serão mostradas umas análises dos resultados dos ensaios em laboratório dos três tipos de matéria-prima que poderão ser utilizados para fazer colchão de ar inflável utilizadas nas embalagens de produtos eletrônicos, como também será feito uma avaliação e uma comparação dos dois processos utilizando os calços de poliestireno expandido (EPS) e os calços de filme de polietileno (PE) nas embalagens de produtos de eletroeletrônicos mais especificamente em TV LCD através de quatro critérios. Os principais resultados serão mostrados a seguir:

### 4.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO DAS COLUNAS DE AR NO LABORATÓRIO

Neste ensaio, foram utilizados nove corpos de prova de filmes de polietilenos, sendo três para o filme de polietileno transparente (chamado de coluna de ar branca), três para filme de polietileno azul (coluna de ar azul) e três para filme de polietileno cinza (coluna de ar cinza).

As curvas de força versus deslocamento obtidas nos ensaios de compressão realizado no laboratório serão mostradas a seguir:

1) A primeira amostra estudada foi o filme de polietileno transparente ou branco, cuja coluna de ar foi extraída de uma embalagem inflável.

Foram confeccionadas três amostras do material que já é utilizado como colchão de ar para embalagem de produtos eletrônicos. Essas amostras servirão de referência (padrões) para os outros dois materiais utilizados na pesquisa.

As amostras de coluna de ar branca (transparente) obtiveram um comportamento gráfico conforme mostrado nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3, obtido durante o ensaio de compressão. Esses gráficos foram traçado pelo próprio software do equipamento utilizado no ensaio de compressão do laboratório.

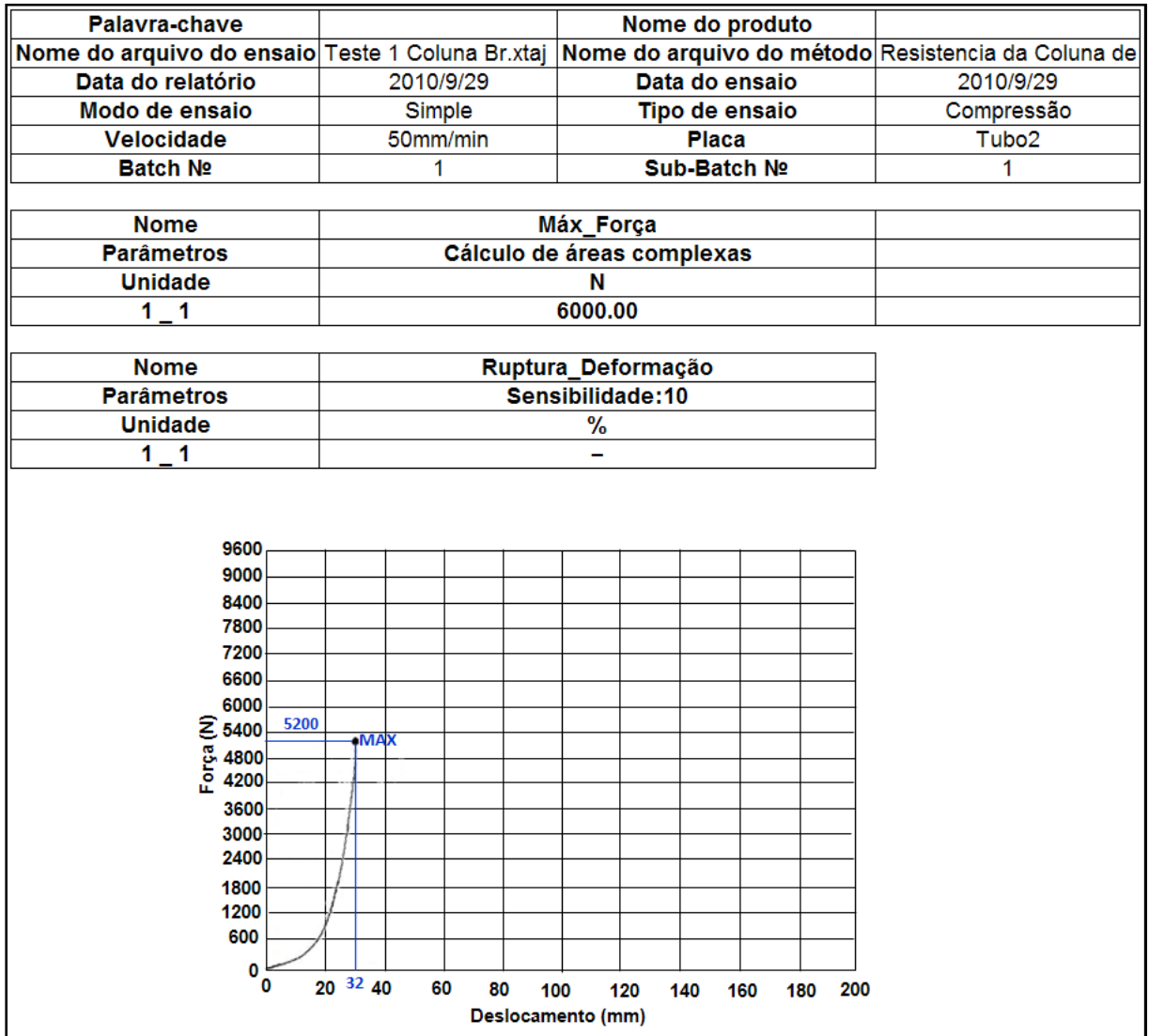


Figura 4.1: Curva de Resistência a Compressão da 1ª amostra de Coluna de Ar Branca.

Conforme visto no gráfico da Figura 4.1, ele nos mostra que a primeira amostra da coluna de ar branca se rompeu quando atingiu a força de 5200 N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 32 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno.

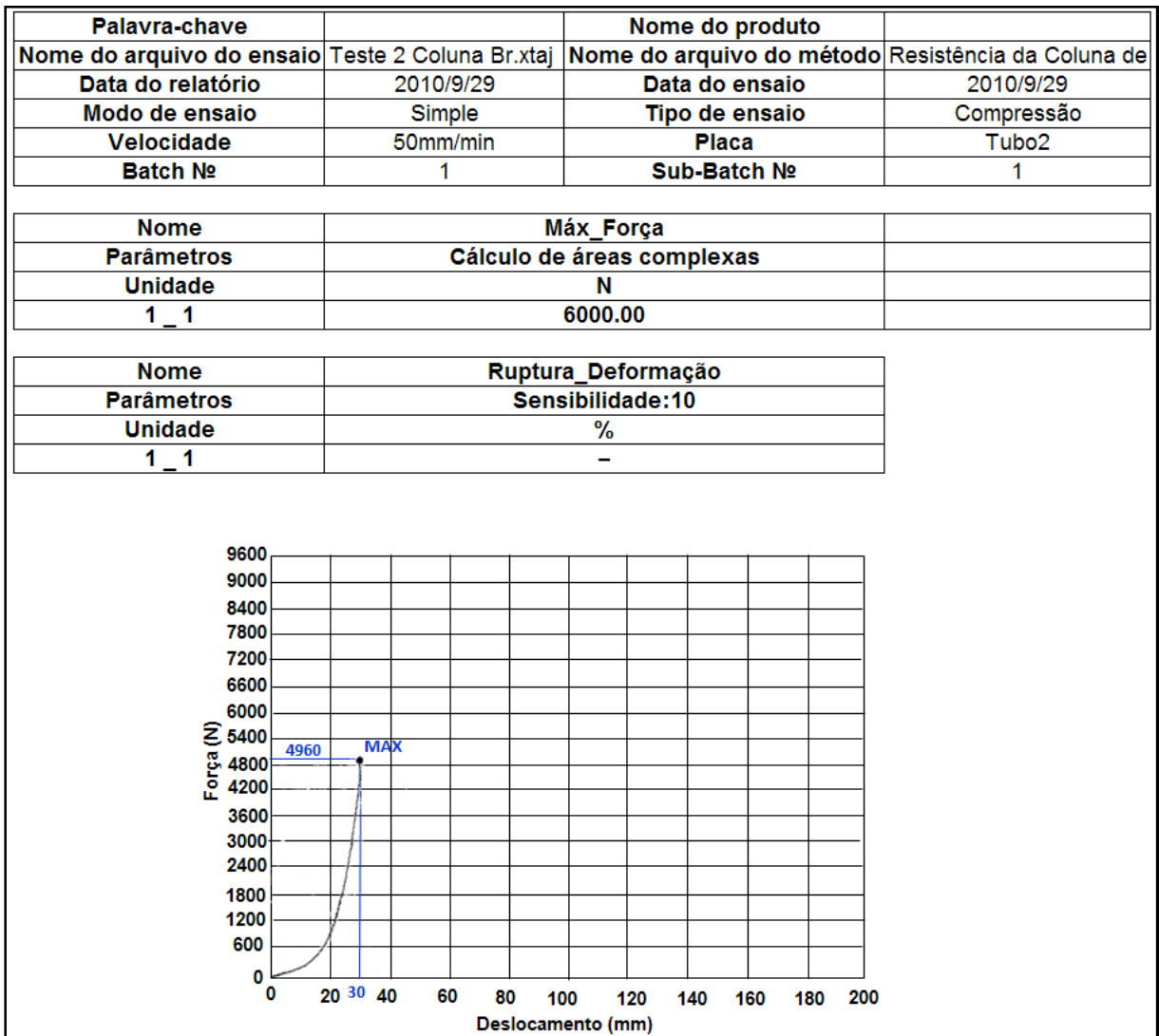


Figura 4.2: Curva de Resistência a Compressão da 2ª amostra de Coluna de Ar Branca.

Conforme visto no gráfico da Figura 4.2, ele nos mostra que a segunda amostra da coluna de ar branca se rompeu quando atingiu a força de 4960 N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 30 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno.

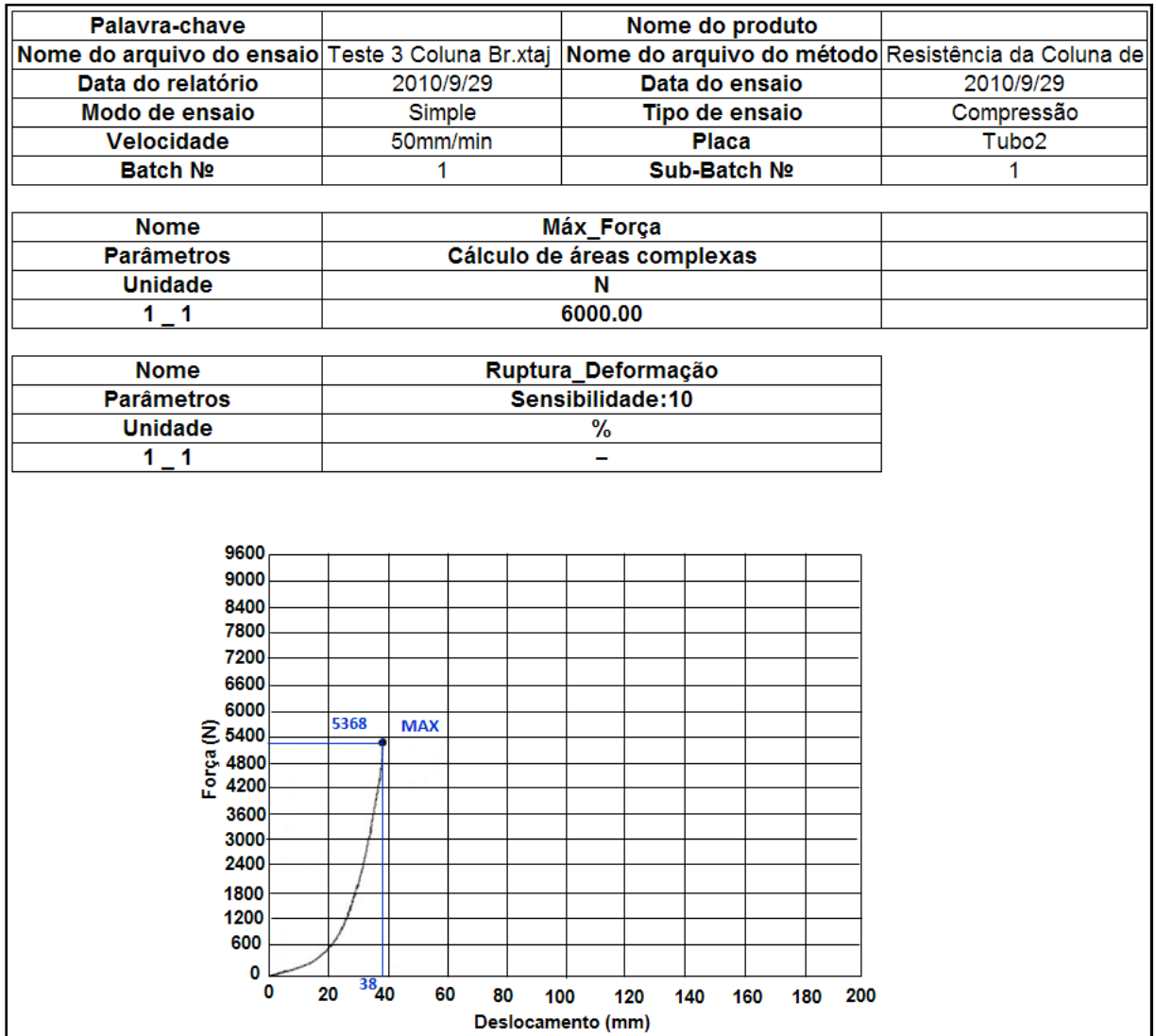


Figura 4.3: Curva de Resistência a Compressão da 3ª amostra de Coluna de Ar Branca.

Conforme visto no gráfico da Figura 4.3, ele nos mostra que a terceira amostra da coluna de ar branca se rompeu quando atingiu a força de 5368 N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 38 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno.

2) O segundo tipo de filme de polietileno estudado foi o de cor azul e utilizou-se esse material para confeccionar amostras de coluna de ar azul, estão representadas a seguir pelas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6. Na qual representa o teste com o primeiro material alternativo sugerido para substituir a matéria-prima já existente. Esse filme é descartado nas linhas de produções, na qual fazem parte da embalagem dos painéis LCDs importados.

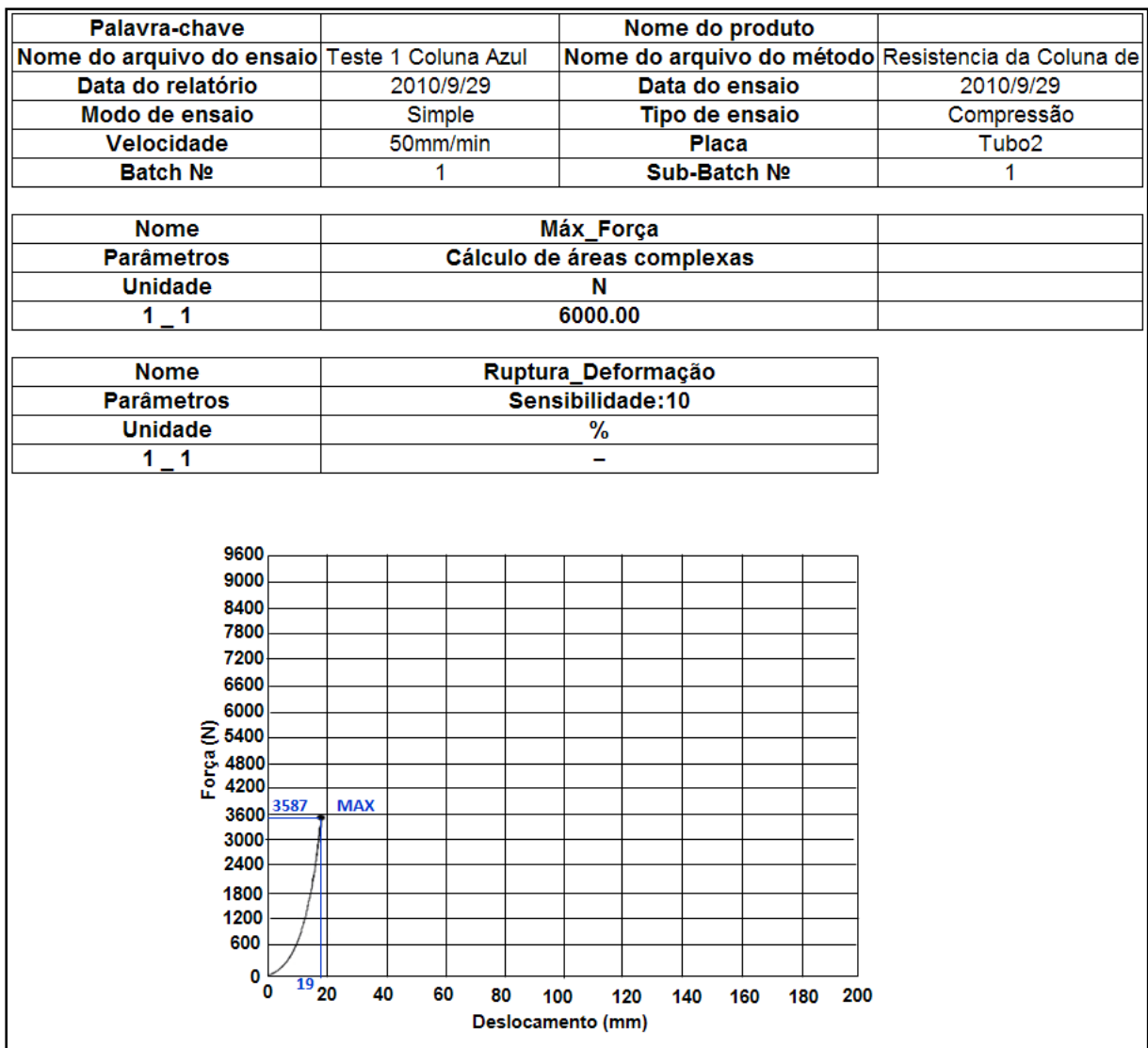


Figura 4.4: Curva de Resistência a Compressão da 1ª amostra de Coluna de Ar Azul

Conforme visto no gráfico da Figura 4.4, ele nos mostra que a primeira amostra da coluna de ar azul se rompeu quando atingiu a força de 3587 N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 19 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno.

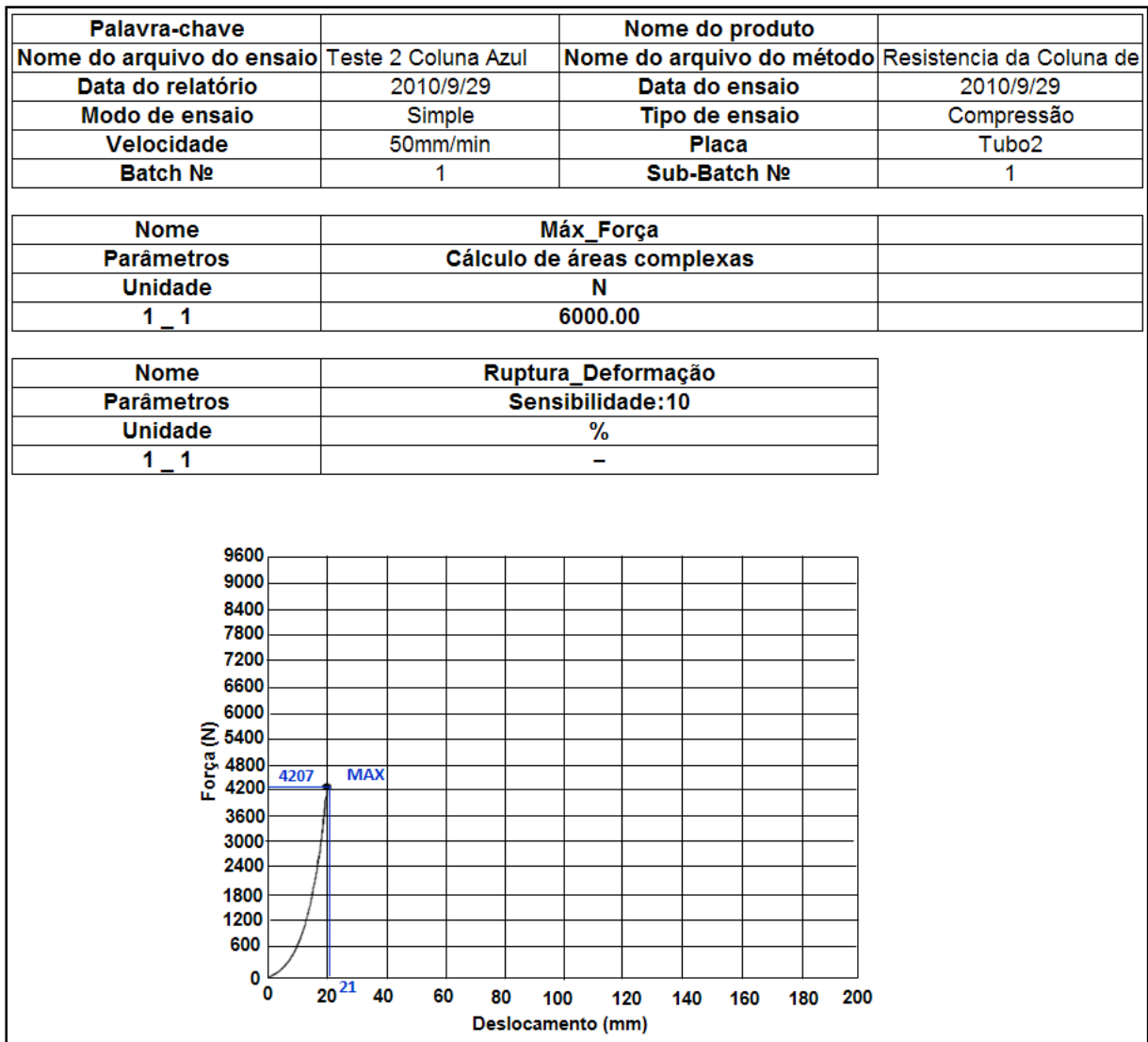


Figura 4.5: Curva de Resistência a Compressão da 2ª amostra de Coluna de Ar Azul

Conforme visto no gráfico da Figura 4.5, ele nos mostra que a segunda amostra da coluna de ar azul se rompeu quando atingiu a força de 4207N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 21 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno. Essa amostra resistiu um pouco mais do que a primeira amostra estudada anteriormente.



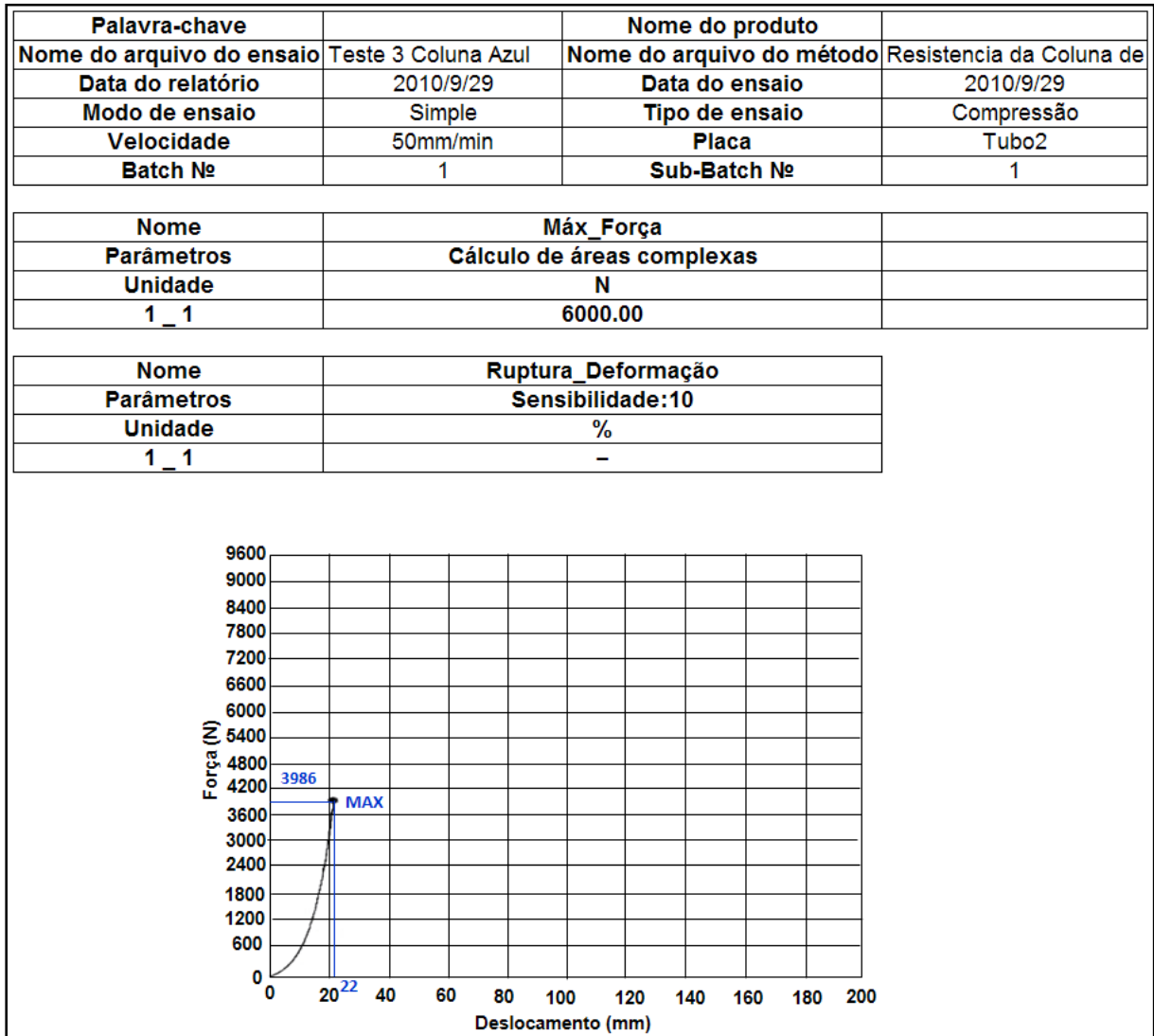


Figura 4.6: Curva de Resistência a Compressão da 3ª amostra de Coluna de Ar Azul

Conforme visto no gráfico da Figura 4.6, ele nos mostra que a terceira amostra da coluna de ar azul se rompeu quando atingiu a força de 3986N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 22 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno. Essa amostra resistiu um pouco mais do que a primeira amostra estudada, porém seu desempenho foi inferior a segunda amostra estudada para o mesmo tipo de material.

3) O terceiro e último material utilizado foi um da cor cinza, esse filme também é utilizado e descartado na linha de produção de eletroeletrônicos. Esse material também é utilizado para proteger os painéis LCDs durante o transporte até a fábrica. Para os testes com as amostras de coluna de ar cinza, serão apresentadas a seguir pelas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9. Na qual representa o teste com o segundo material alternativo sugerido para substituir a matéria-prima já existente.

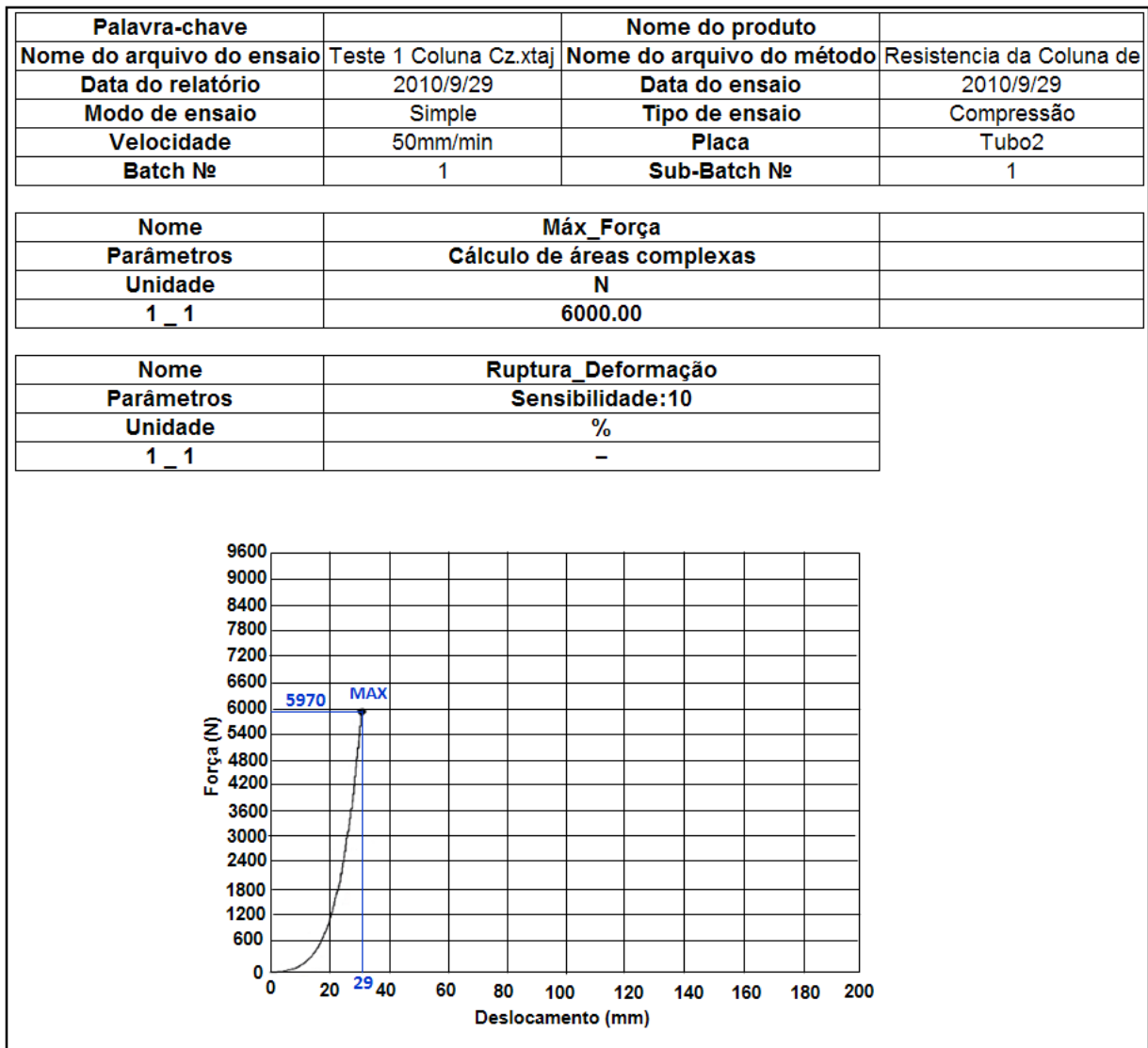


Figura 4.7: Curva de Resistência a Compressão da 1ª amostra de Coluna de Ar Cinza

Conforme visto no gráfico da Figura 4.7, ele nos mostra que a primeira amostra da coluna de ar cinza se rompeu quando atingiu a força de 5970N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 29 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno.

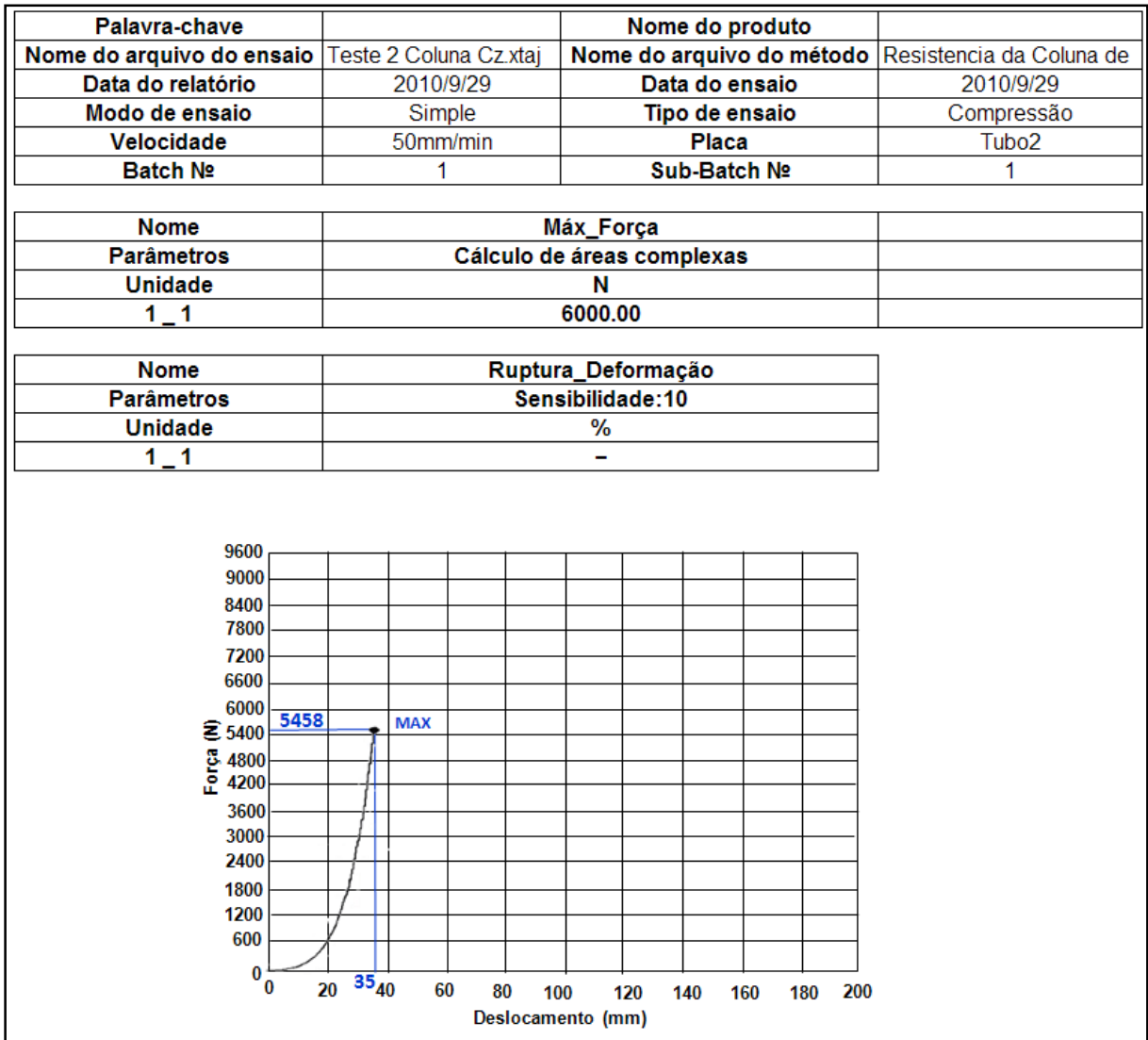


Figura 4.8 Curva de Resistência a Compressão da 2ª amostra de Coluna de Ar Cinza

Conforme visto no gráfico da Figura 4.8, ele nos mostra que a segunda amostra da coluna de ar cinza se rompeu quando atingiu a força de 5458N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 35 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno. Essa amostra resistiu um pouco mais do que a primeira amostra desse mesmo material estudado anteriormente.

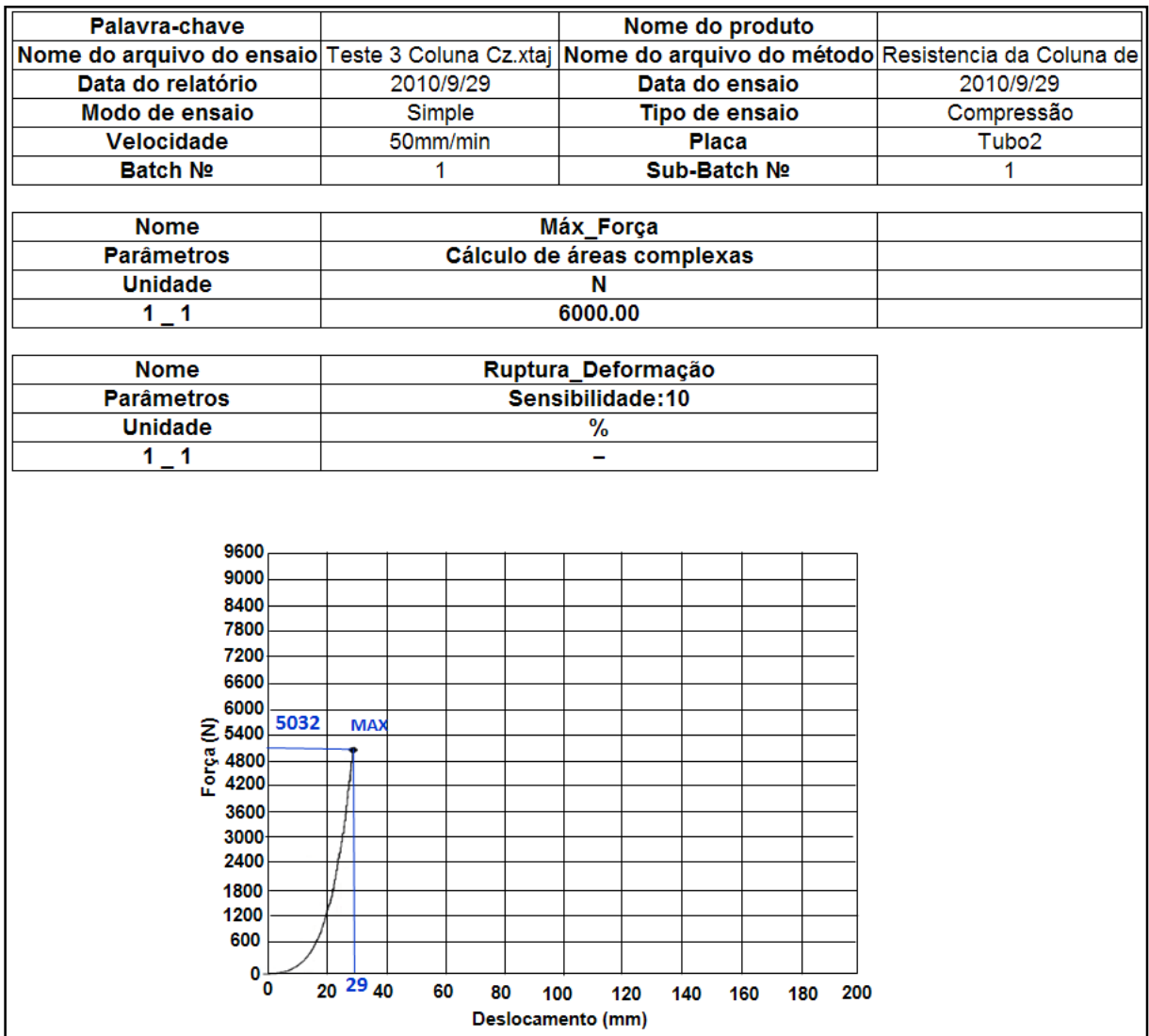


Figura 4.9: Curva de Resistência a Compressão da 3ª amostra de Coluna de Ar Cinza

Conforme visto no gráfico da Figura 4.9, ele nos mostra que a terceira amostra da coluna de ar cinza se rompeu quando atingiu a força de 5032N e o mesmo o corpo de prova foi comprimido em uma distância de 29 mm até ocorrer o rompimento final do colchão de ar. Esses valores representam quanto esse colchão de ar resistiu até o rompimento final de seu filme de polietileno. Essa amostra teve um desempenho pior do que as duas amostras estudadas anteriormente para o mesmo tipo de material.

Na Tabela 4.1 mostra o limite máximo de resistência na unidade de força de todos os ensaios de compressões realizados nos três tipos de filmes de polietileno branco, azul e cinza. Foram feitos três amostras (corpos de provas) no

formato de colunas de ar infláveis dos três tipos de materiais utilizados nos experimentos.

Tabela 4.1: Tabela com Limites Máximos de Resistência das Colunas de Ar

FORÇA (N)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
<b>COLUNA DE AR BRANCA</b>	5200	4960	5368
<b>COLUNA DE AR AZUL</b>	3587	4207	3986
<b>COLUNA DE AR CINZA</b>	5970	5458	5032

Na Figura 4.10 mostra graficamente todos os resultados obtidos de limite máximo de resistência durante os ensaios de compressão no laboratório.

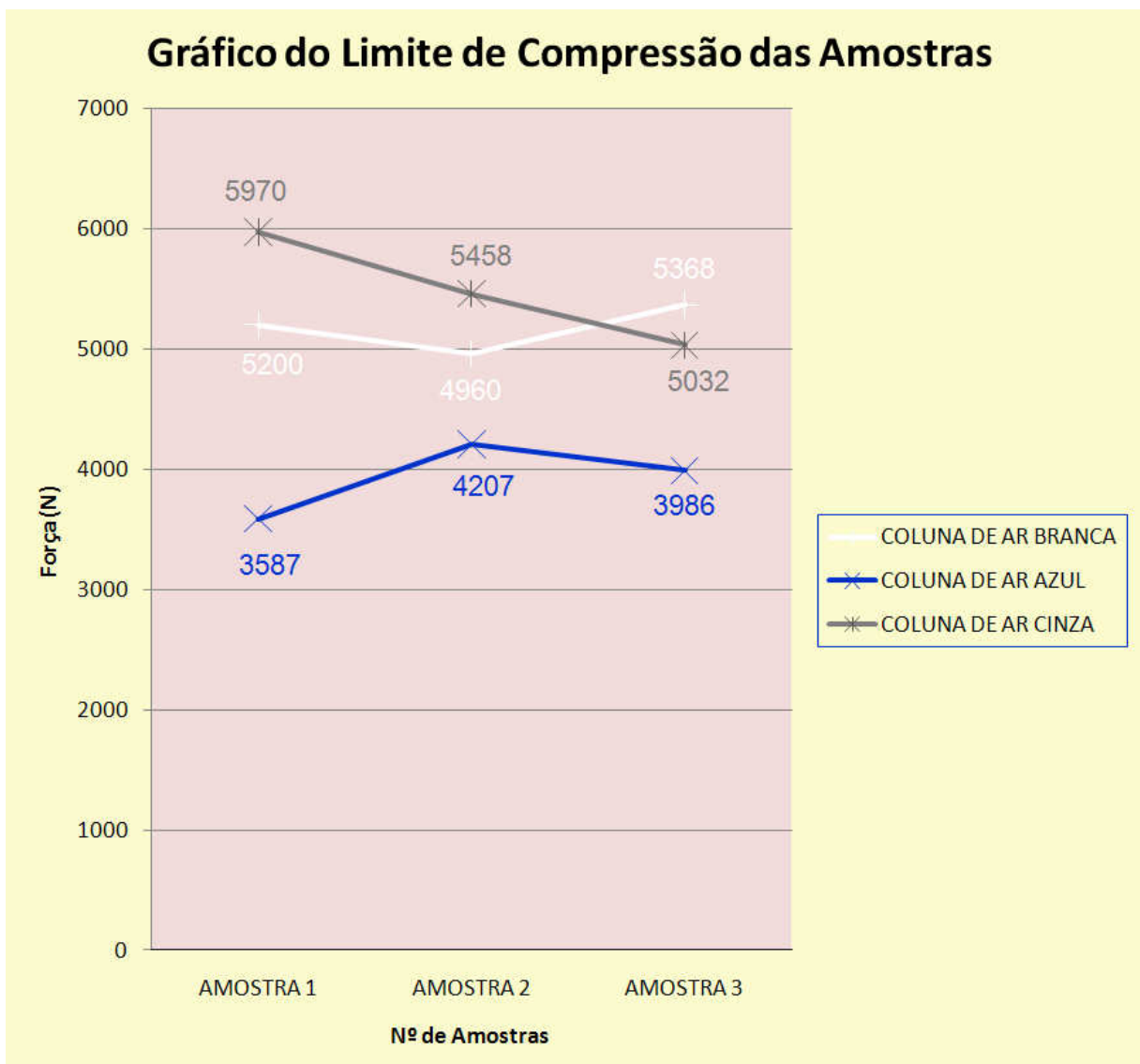


Figura 4.10: Gráfico do Limite de Máxima Resistência das Colunas de Ar dos Filmes de Polietilenos

Nesse gráfico da Figura 4.10 mostra que os desempenhos das amostras das colunas de ar cinza tiveram praticamente seus limites de resistência superiores ao das colunas de ar branca, considerado nesse estudo como amostra padrões e de referencia visto que esse material já é utilizado como calço de amortecimentos das embalagens de produtos eletrônicos. Já os de colunas de ar azul tiveram um desempenho inferior ao das colunas de ar branca, pois esses filmes possuem uma resistência a compressão baixa, porém não pode ser descartados, pois podem ser utilizados para proteger produtos de pequenos e leves.

Na Tabela 4.2 mostra a deformação elástica máxima ( $\Delta Le$ ) de todas as colunas de ar testadas até o momento de rompimento do filme de polietileno durante os ensaios no laboratório. De acordo com o esquema mostrado na Figura 4.11.

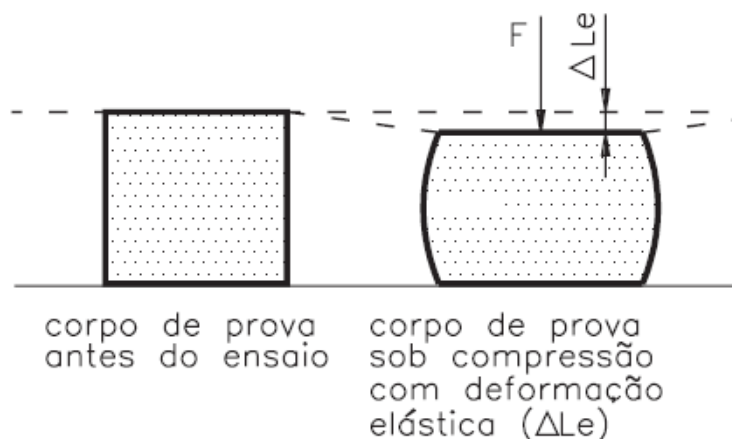


Figura 4.11: Gráfico do Limite de Máxima Resistência das Colunas de Ar dos Filmes de Polietilenos

Tabela 4.2: Tabela com as Deformações Elásticas Máximas das Colunas de Ar

DESLOCAMENTO $\Delta Le$ (mm)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
COLUNA DE AR BRANCA	32	30	38
COLUNA DE AR AZUL	19	21	22
COLUNA DE AR CINZA	29	35	29

Na Figura 4.12 mostra graficamente todos os resultados obtidos para as deformações elásticas durante os ensaios de compressão no laboratório para todas as amostras dos três tipos de materiais.

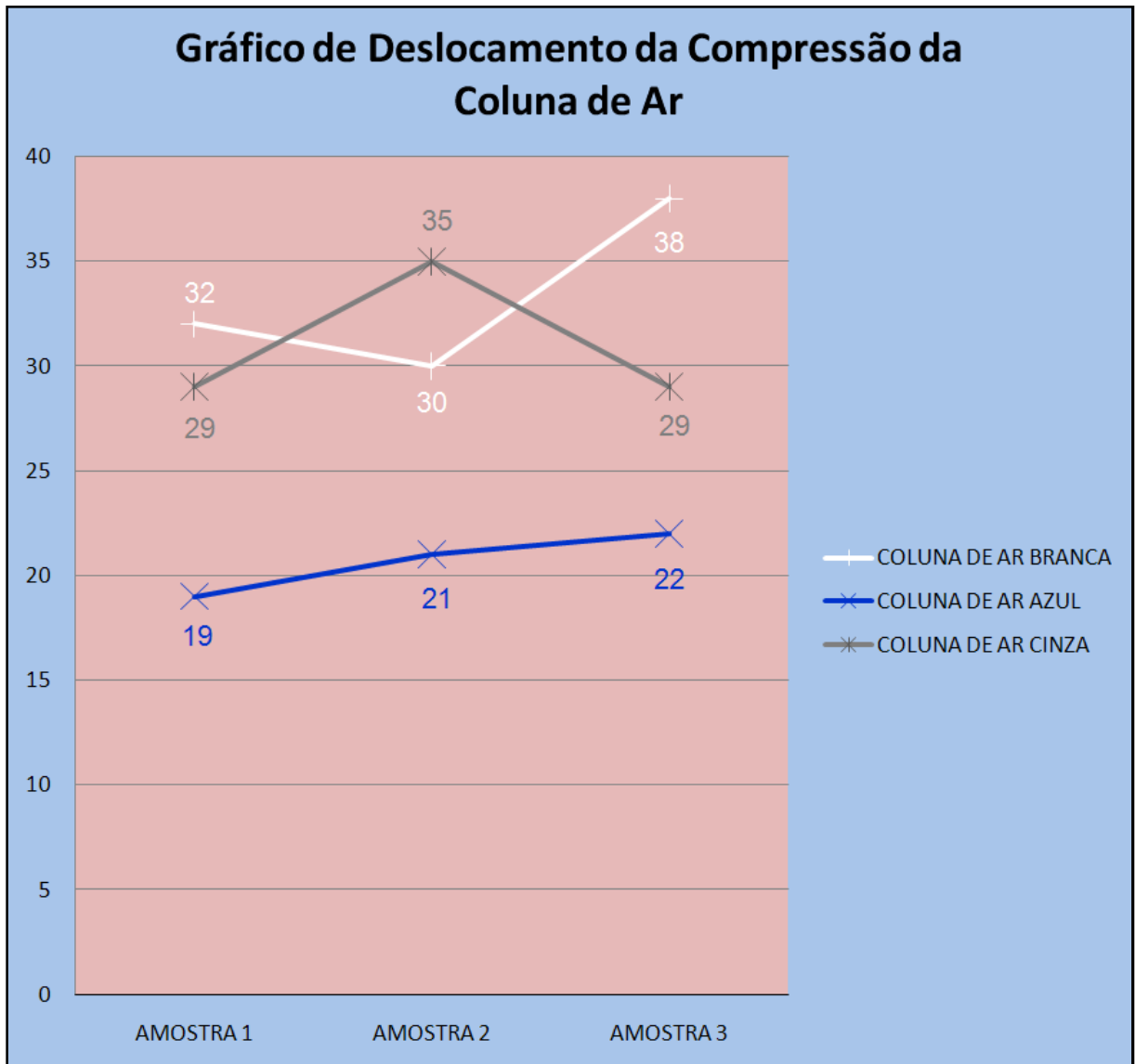


Figura 4.12: Gráfico da Deformação Elástica Máxima para as Amostras das Colunas de Ar

Nesse gráfico da Figura 4.12 mostra que as deformações elásticas das amostras das colunas de ar cinza tiveram em média os mesmos resultados ao das colunas de ar branca, considerado nesse estudo como amostras padrões e de referência visto que esse material já é utilizado como calço de amortecimentos das embalagens de produtos eletrônicos. Já os de colunas de ar azul tiveram uma deformação elástica inferior ao da coluna de ar branca, pois esses filmes possuem uma deformação elástica baixa, porém não pode ser descartados, pois podem ser utilizados para proteger produtos de pequenos e leves.

## 4.2 ANÁLISES DA LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE DO FORNECEDOR DOS CALÇOS ATÉ O CLIENTE

A quantidade de calços transportado do fornecedor dos calços até a linha de produção do cliente é importante quando se refere aos custos de transportes. Geralmente esses calços são transportados através de caminhões baús conforme mostrado na Figura 4.13 abaixo:



Figura 4.13: Foto do Caminhão Baú para Transporte e sua Dimensões.

O gráfico da Figura 4.14 mostra quantas viagens do caminhão baú são necessárias para transportar as mesmas quantidades de calços de EPS e PE até a fábrica do cliente. Os custos de logística dos subitens do produto são muito importantes para preço final do produto acabado.

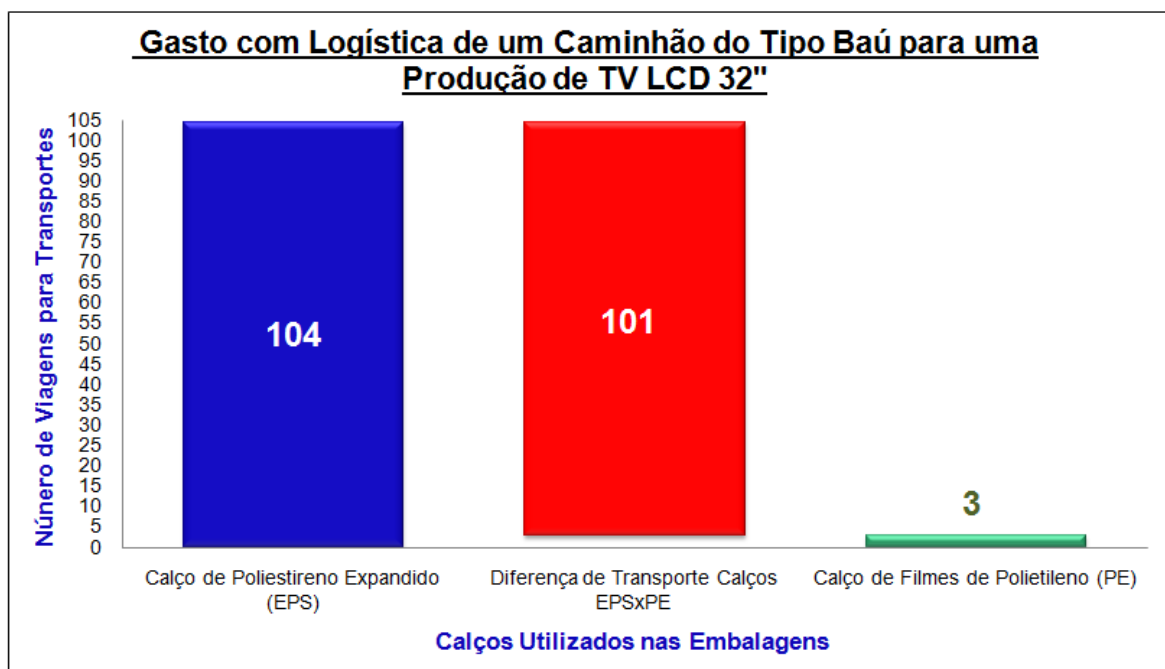


Figura 4.14: Gráfico Comparativo das Viagens do Caminhão Baú.



### 4.3 ANÁLISES DOS CUSTOS FINAIS DE AQUISIÇÃO DOS CALÇOS PELO CLIENTE

No gráfico da Figura 4.15 mostra quanto à cliente paga por cada conjunto de calço adquirido na sua fábrica. Esse custo é muito importante, pois está inteiramente relacionado ao preço final que o cliente cobrará para venda do seu produto na loja.

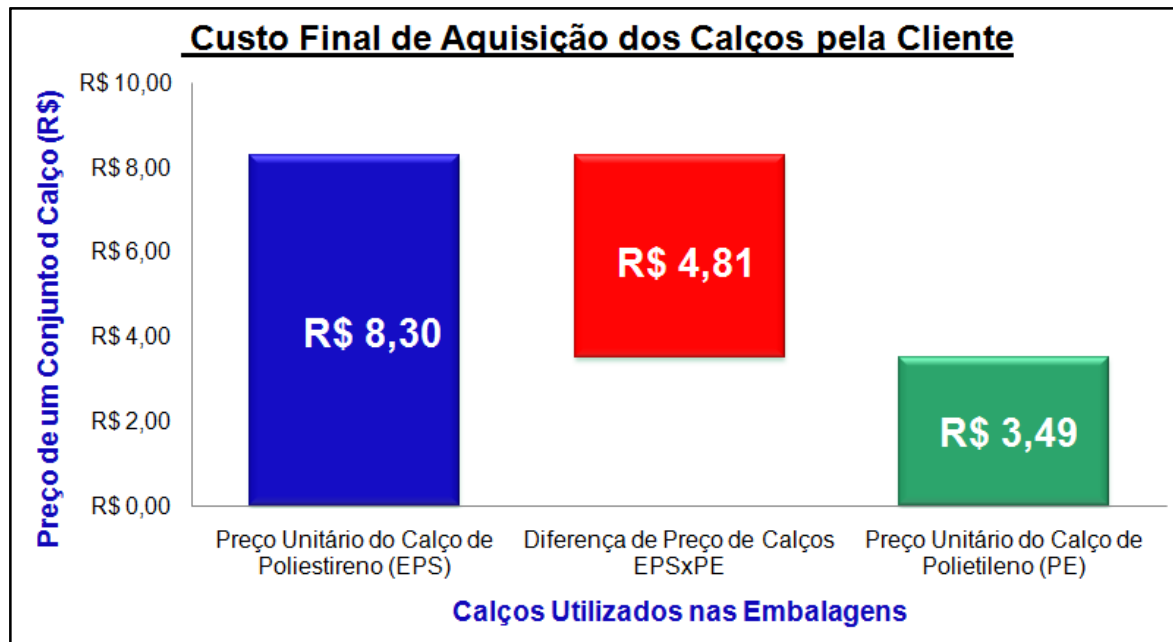


Figura 4.15: Gráfico Comparativo de Preço para Cada Conjunto de Calço.

### 4.4 ANÁLISES DOS TEMPOS DE PROCESSO PARA MONTAGEM DO PRODUTO NA LINHA DE PRODUÇÃO

No gráfico da Figura 4.16 mostra quanto tempo o cliente gasta para produzir um produto acabado na sua linha de produção utilizando diferentes tipos de calços na sua embalagem. Esse tempo é importante, pois dimensiona a capacidade produtiva (mensal e anual) de um segmento da fábrica em certo período do ano.

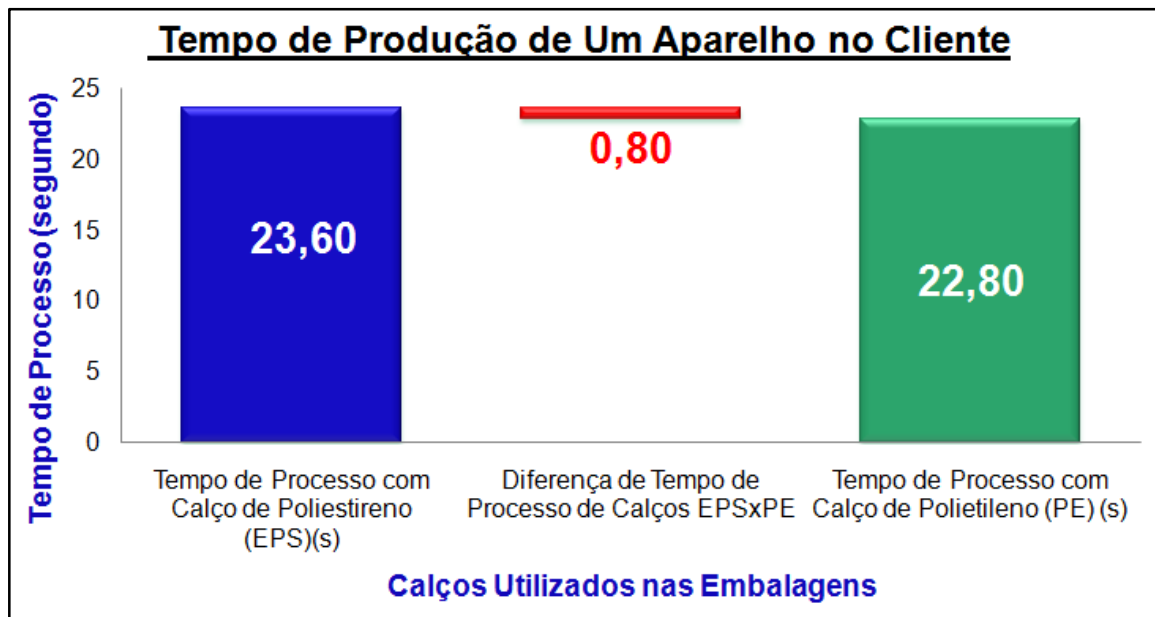


Figura 4.16: Gráfico Comparativo do Tempo de Produção de Cada Tipo de Calço.

#### 4.5 ANÁLISES DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO NO ESTOQUE DA FÁBRICA

No gráfico da Figura 4.17 mostra a capacidade que o estoque da fábrica do estudo de caso suporta para armazenar os calços das embalagens antes de serem enviados para montagem na linha de produção. O volume do estoque da fábrica de  $80\text{m}^3$  e de acordo com o volume ocupado de cada tipo de calço estudado, essa capacidade se torna muito importante, pois se o volume de produção anual for alto, a fábrica necessitará de uma grande área de estoque. Cada metro quadrado ( $\text{m}^2$ ) ocupado na fábrica agrega um valor a mais no produto final.

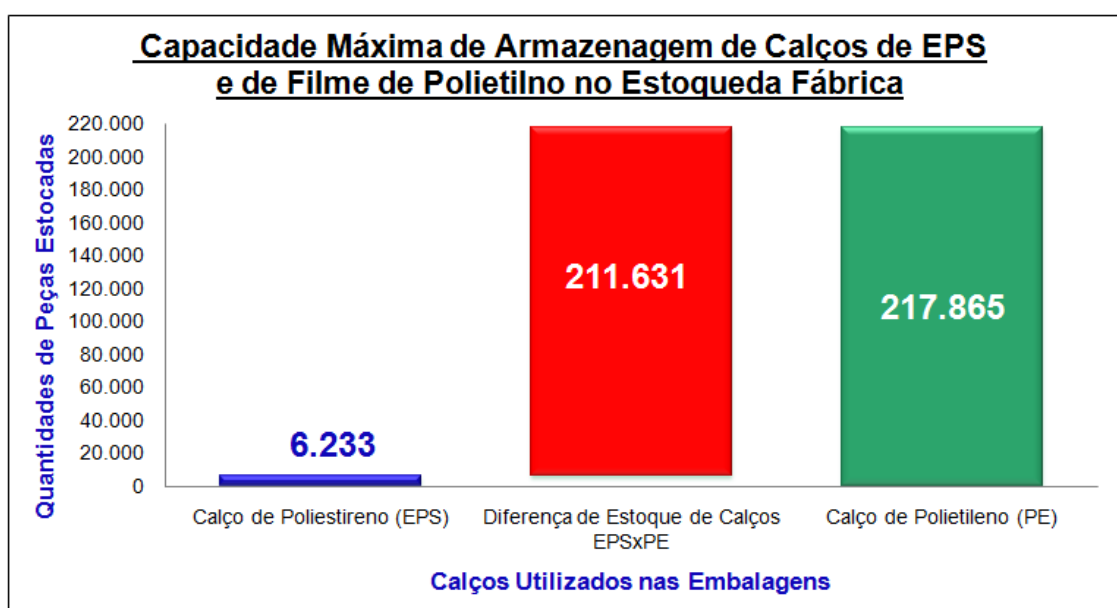


Figura 4.17: Gráfico Comparativo da Capacidade de Estocagem na Fábrica.

## 5.1 CONCLUSÕES

As curvas dos ensaios realizados no laboratório indicaram que os filmes de polietileno da cor cinza obtiveram uma resistência igual e até superior ao filme de polietileno branco (transparente) considerado padrão nos estudos, pois os filmes transparentes já são utilizados atualmente para fabricação de calços de embalagem para produtos eletrônicos pequenos e leves na indústria. Outra característica importante observada é que o filme de polietileno cinza possui uma temperatura de fusão mais elevada com relação aos outros filmes usados nesse ensaio, indicando que precisa de equipamentos mais potentes para soldagem dos filmes para a construção das colunas de ar. Os testes mostraram que o filme cinza possui uma alta resistência a compressão e ao impacto, tornando um excelente absorvedor de choque durante os testes de quedas e vibrações realizadas pelo o setor de confiabilidade da fábrica e que podem ser utilizados para produtos mais pesados.

Os filmes de polietileno da cor azul apresentaram nas suas respectivas curvas um desempenho inferior aos outros filmes de polietilenos cinza e brancos do estudo de caso, visto que a sua composição da matéria-prima é um pouco inferior e menos resistente a força de compressão. Porém esses filmes de polietilenos azuis não podem ser descartados e sim utilizados em produtos eletrônicos de pequenos e leves.

Numa visão geral, conclui-se que os resultados obtidos durante os ensaios de laboratório, indicaram que todos os três tipos de filmes de polietileno (branco, azul e cinza) podem ser usados para confecção de calços infláveis para serem utilizados nas embalagens de produtos eletrônicos no pólo industrial de Manaus. A principal vantagem de utilização desses filmes é o reaproveitamento e reciclagem desse material na linha de produção. A utilização de colchão de ar inflável no processo de embalagem dos produtos extremamente viável e econômico, visto que seu processo de fabricação é simples, barato e muito fácil de ser manuseado no processo produtivo.

Foi analisado também no estudo de caso o processo de fabricação dos calços em larga escala (alta produção), pois as indústrias de eletroeletrônico precisam de um alto investimento para a fabricação dos calços de poliestireno expandido (EPS), tais como: desenvolvimento desenhos de calços robustos, que

possam suportar condições severas dos testes mecânicos; construção de ferramentas; fornecedores com máquinas injetoras potentes e processo de fabricação bem ajustados para manter um bom controle de qualidade, visto que os calços de EPS possuem um custo elevado com a logística devido ao seu volume ocupado. Os estudos mostraram através de gráficos e análises do processo produtivo de um fornecedor de calços de uma empresa de eletroeletrônico, que fazendo uma mesma comparação do processo de fabricação utilizando os calços de filmes de polietileno se concluíram que é bem mais simples e mais barato, pois não precisa desenvolver ferramenta (moldes de injeção) e os mesmos utilizam ajustes simples de máquina de soldagem para a produção dos filmes de polietileno no fornecedor. A produção desses calços plásticos é rápida e eficiente. Esses calços de filme de PE podem ser armazenados em centenas numa caixa, porém para os calços de EPS isso não é possível devido o mesmo ocuparem muito espaço, esse ponto é muito significativo, pois diminui o custo de transporte e a área de armazenamento no fornecedor e no cliente. Os estudos mostraram que o custo é menor de aquisição final pelo cliente utilizando filmes de polietileno do que os calços de EPS, conseqüente isso faz que os produtos seja mais competitivos no mercado com uma significativa redução no preço.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. As empresas de eletroeletrônico deveriam investir mais nos desenvolvimentos de calços infláveis de filmes de PE para seus produtos de médio e grande porte, pois é um insumo totalmente reciclável e não degrada o meio ambiente.
2. Desenvolver um equipamento ou máquina que possa soldar esses filmes no formato de colunas de ar para que possa ser utilizado junto com os produtos e serem avaliados nos testes de confiabilidades.
3. Classificar e selecionar mais filme que polietilenos descartados e serem utilizados nos componentes eletrônicos que possam se analisados e estudados para serem desenvolvidos calços infláveis de filme de polietilenos.
4. Simular e analisar no processo produtivo (linha de produção) a utilização desses novos calços com filmes de polietilenos reciclados.
5. Estudar novos formatos de bolsas de ar, adequando com o design de cada produto.
6. Avaliar os custos e os ganhos com o reaproveitamento e reciclagem desses filmes de polietileno descartados em outros componentes eletrônicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BECKER, G. M., C.Forte, M. M., & N<sup>o</sup>, R. B. . ***Preparação e Avaliação Técnica e Reológica de Mistura de PEBD/PELBD***. São Paulo: Polímero: Ciência e Tecnologia, 2002, vol. 12, n<sup>o</sup> 2, p. 85-95.
2. BLASS, A. **Processamento de polímeros**. 2. ed. Florianópolis : UFSC, 1988. 312 p.
3. BRAUN, H.G. ,MADI, L. **Embalagem e o meio ambiente: realidade e tendências mundiais**. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE EMBALAGEM (1994 : São Paulo). **Anais...** São Paulo : ABRE, Associação Brasileira de Embalagens, 1994. P.93-96.
4. MOTON-JONES, D. H. *Polymer Processing*, London, Chapman & Hall, 1993.
5. CORDARO, V.M. **Programa auto sustentável de reciclagem**. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE EMBALAGEM (1994 : São Paulo). **Anais...** São Paulo : ABRE, Associação Brasileira de Embalagens, 1994. p.89-92.
6. COUTINHO, F. M., MELLO, I. L., & MARIA, L. C.,. ***Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações***. São Paulo: Polímero: Ciência e Tecnologia, 2003,vol. 13, n<sup>o</sup> 1, p. 1-13.
7. FELDMAN, D., & BARBALATA. ***A Synthetic Polymers Technology Properties Applications***. London: Chapman &Hall,1996.
8. FORTE, M. C., Miranda, M. S., & Dupont, J. ***Novas Resinas Produzidas com Catalisadores Metalocênicos***. São Paulo: Polímero: Ciência e Tecnologia, 1996,vol. 6, n<sup>o</sup> 3, p. 49-60.
9. FURASTÉ, P. A.. ***Normas Técnicas para o Trabalho Científico - ABNT 2009*** (15<sup>a</sup> ed.). Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: 2009, Dáctilo - Plus.
10. GIOSA, J.R. ***Reciclagem de latas de alumínio no Brasil: histórico e perspectivas***. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE EMBALAGEM (1994 : São Paulo). **Anais...** São Paulo : ABRE, Associação Brasileira de Embalagens, 1994. p.97-102.
11. GUERRINI, L. M., F<sup>o</sup>, P. I., Bretas, R. E., & Bernardi, A. ***Correlação entre as propriedades Reológicas, Óticas e a Morfologia de Filmes Soprados de***

- LLDPE/LDPE.** São Paulo: Polímeros: Ciência e Tecnologia, 2004, vol. 14, nº1, p. 38-45.
12. HANLON, J.F., **Handbook of package engineering.** 2. ed. Baskerville : McGraw-Hill, 1984.
13. HERNANDEZ, R. J., SELKE, S. E., & CURTER, J. D.. **Plastics packaing: properties, processing, applications, and regulations.** Munich: Hanser Garner, 2000.
14. LEGUENZA, E. L.. **Influência do negro de carbono (carbon black) nas propriedades dieletricas do polietileno envelhecido sob radiação UV.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1999.
15. MACHLINE, C.; SÁ MOTTA, I.; WEIL, K. E. et al. **Manual de administração da produção.** 2. ed. Rio de Janeiro : Fundação Getúlio Vargas, 1971. 617 p. 1. v. Cap. 5, p. 205-246: Gestão de estoque.
16. MAIER, R. D. . **Metaloceno: Por que ele torna as resinas especiais? Plástico Industrial.** São Paulo: Aranda, Ano II - Nº 18, 2000, p. 28-49.
17. MARTÍNEZ, F.; ARROYO, I. **A coextrusão: uma ferramenta para se diferenciar no mercado.** PE news América Latina - Soluções DOW, mai. 1998.
18. MERGEN, I. Z. **Estudo da Perda de Vácuo em Embalagens Multicamadas para Produto Carne Curados.** Florianópolis: Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
19. MOURA, R.A., BANZATO, J.M., **Embalagem: acondicionamento, unitização & containerização - Manual de movimentação de materiais.** São Paulo : IMAM, 1990. 2. v.
20. MOURA, R.A., **Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais: materials handling.** São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 1979.
21. NDIHO, J.. **Ziegler-Natta Catalysis in Polymerization Reactions.**, 27 de Abril de 2010, Fonte: <http://www.chee.iit.edu>
22. PATTON, W. J. **Materiais de Construção para Engenharia Civil.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1978.

23. OLIVEIRA, Macêdo Santos de; SOUZA, José Antônio S.; LOPES, Antônio Dimael de Almeida; MONTEIRO, Alberto de Castro; DELON, José Alain. “**A Utilização da Prototipagem Rápida para Otimização e Diminuição do Tempo/Custo de Desenvolvimento de Novas Peças para Produtos Eletroeletrônicos**”. 1º CONEPRO-SUL – Congresso de Engenharia de Produção da Região Sul. SOCIESC – Sociedade Educacional de Santa Catarina – Campus Marquês de Olinda, Santa Catarina, 2010. Artigo Publicado.
24. ROMAN, A.. **Polietileno PEBD - Processo de Transformação**. (2a ed.). São Paulo: Érica, 2007.
25. SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002.
26. SELKE, S. E., CULTER, J. D., & HERNANDEZ, R. J. **Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations**. Munich: Hanser Gardner, 2004.
27. SMITH, W. F. **Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais** (3a ed.). Portugal: McGraw-Hill, 1998.
28. SPIRGATIS, J.; WORTBERG, J. **Versatilidade e flexibilidade: os novos requisitos para a produção de filmes tubulares**. **Plástico Industrial**, São Paulo, Aranda Editora, Ano IV - N°47, p. 62-75, ju l. 2002
29. TAMBINI, M. **O Design do Século**. São Paulo: Ática, 1999.
30. YOUNG, R. E., & LOVELLI, P. **A Introduction to Polymers**. London: Chapman & Hall, 1991.
31. WARD, I. M., & HADLEY, D. W. **Mechanical Properties of Solid Polymers**. England: John Wiley & Sons Ltd, 1993.
32. REVISTA EMBANEWS. **A embalagem e o futuro**. São Paulo, out. 1994. p. 32. Tendência.
33. REVISTA PLÁSTICO MODERNO. **Mercado**. São Paulo, jun. 1996, p. 4-6.
34. VORBERG, F. **Extrusora com doze roscas: um novo projeto aperfeiçoa o processamento de resinas**. **Plástico Industrial**, São Paulo, Aranda Editora, Ano IV - N°45, p. 132-139, mai. 2002.